UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

SCHRIFTENREIHE PRODUKTIONSTECHNIK
Herausgeber: H. Bley und C. Weber

Band 44

Holger Burr

Informationsmanagement an der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktionsplanung im Karosserierohbau

LKT

Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD
Saarbrücken 2008

Informationsmanagement an der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktionsplanung im Karosserierohbau

Dissertation zur Erlangung des Grades des

Doktors der Ingenieurwissenschaften

der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät III

der Universität des Saarlandes

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Holger Burr

Tag der Einreichung: 28.April 2008

Tag des Kolloquiums: 28.Juli 2008

Dekan:	Prof. Dr. Uli Müller
Vorsitzender:	Prof. Dr. rer. nat. Walter Arnold
1. Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Christian Weber
2. Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Martin Eigner
Akademischer Mitarbeiter:	Dr.-Ing. Wolfgang Ripplinger

Saarbrücken 2008

Holger Burr

Informationsmanagement an der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktionsplanung im Karosserierohbau

Universität des Saarlandes
Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 44

Geleitwort der Herausgeber

Die Schriftenreihe Produktionstechnik wird von den Inhabern der Lehrstühle für Konstruktionstechnik/CAD (Prof. Dr.-Ing. C. Weber), für Fertigungstechnik/CAM (Prof. Dr.-Ing. H. Bley) und der Universität des Saarlandes gemeinsam herausgegeben. Zweck der Schriftenreihe ist es, die auf dem Gebiet der Produktionstechnik an der Universität des Saarlandes erarbeiteten Forschungsergebnisse einer breiteren Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen. In der Schriftenreihe erscheinen in erster Linie die an den Lehrstühlen entstandenen Dissertationen. Daneben werden aber auch andere Forschungsberichte, die in den thematischen Rahmen passen und von allgemeinem Interesse sind, in die Schriftenreihe aufgenommen. Die Herausgeber wünschen sich ein reges Interesse an der Schriftenreihe und würden sich freuen, wenn hieraus fruchtbare Dialoge mit Praktikern und Forschern entstünden.

Prof. Dr.-Ing. C. Weber
Prof. Dr.-Ing. H. Bley

© Universität des Saarlandes 2000
Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM
Prof. Dr.-Ing. Helmut Bley
Postfach 15 11 50
D – 66041 Saarbrücken

ISBN 978-3–930429–73-8
ISSN 0945–6244

Vorwort des Verfassers

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner fünfjährigen Dienstzeit am Forschungszentrum der Daimler AG in Ulm, wo ich mich intensiv mit dem Produktentstehungsprozess von Fahrzeugkarosserien auseinandergesetzt habe. Während dieser Zeit hat eine Vielzahl von Personen zum Gelingen dieser Dissertation beigetragen.

Zunächst möchte ich mich ganz herzlich bei meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr.-Ing. Christian Weber, bedanken, der mich im Sommer 1995 vom Studiengang der Konstruktions- und Fertigungstechnik an der Universität Saarbrücken überzeugt und damit gleichzeitig den Grundstein für meine gesamte Ingenieursausbildung gelegt hat. Durch die Bereitschaft, ein Forschungsprojekt gemeinsam mit der Industrie durchzuführen sowie durch die zahlreichen gemeinsamen Publikationen auf wissenschaftlichen Konferenzen hat er maßgeblich zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen.

Mein weiterer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Martin Eigner für die freundliche Übernahme des Co-Referates dieser Arbeit. Er hat mir in zahlreichen Diskussionen sehr weitergeholfen und mir vor allem durch seine profunden Kenntnisse des industriellen PDM-Umfelds viele interessante Anregungen mit auf den Weg geben.

Auf industrieller Seite bin ich Dr.-Ing. Thomas Bär zu Dank verpflichtet, von dem die Initiative zu dem gemeinsamen Projekt kam und der mir in den fünf Jahren, die ich in seinem Team verbracht habe, als Vorgesetzter fachlich und menschlich immer zur Seite gestanden hat.

Durch den Einsatz in Ulm war ich am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD in Saarbrücken leider nur ein seltener Gast. Dennoch haben mir die Mitarbeiter des Lehrstuhls immer das Gefühl gegeben, dazu zu gehören. In dem Zusammenhang danke ich besonders Rüdiger Maus, Till Deubel, Michael Steinbach sowie Sören Wanke, der als mein Schreibtischnachbar am LKT für alle dienstlichen und privaten Diskussionen stets ein offenes Ohr hatte. Ein herzliches Dankeschön gilt vor allem auch Frau Renate Kröner für ihr Engagement und all die Zeit und Mühe, die sie für die Schriftenreihe Produktionstechnik und die Promotionskolloquien aufwendet.

Auch am Forschungszentrum gab es einige Personen, die mich in den vergangenen Jahren sehr unterstützt haben. Vor allem Michael Vielhaber möchte ich danken, der mir als Kollege und Freund in vielen Phasen dieser Promotionsarbeit zur Seite gestanden hat. Ebenso Marco

Müller, der mir in seiner Zeit als Diplomand und später als Kollege immer für kritische Diskussionen und gute Anregungen zur Verfügung gestanden hat.

Gedankt sei auch den zahlreichen anderen Kollegen am Forschungszentrum Ulm, die durch ihre nette und offene Art für ein hervorragendes Arbeitsklima gesorgt haben. Besonders erwähnen möchte ich hier meine Projektkollegen Annika Boenisch, Erich Müller, Barbara Zengler, Marcus Flehmig und Michael Bitzer, die gemeinsam mit mir in Sindelfingen tätig waren.

Im Leben eines Promotionskandidaten gibt es aber auch ein privates Umfeld, bestehend aus Freunden und Familie, ohne die das Schreiben einer solchen Arbeit nicht möglich wäre.

Hier danke ich in erster Linie meinen Eltern Klaus und Hannelore, die mir die vielen Möglichkeiten in meinem Leben eröffnet haben und mich auf den Wegen meiner Ausbildung immer bestätigt und gefördert haben. Auch meiner Schwester Claudia und meinem Schwager Otto sei dafür Danke gesagt, dass sie immer an die Fertigstellung dieser Arbeit geglaubt haben.

Von ganzem Herzen danke ich meiner Freundin Corinna, die mich auf der Zielgeraden zu dieser Arbeit immer wieder motiviert und angetrieben hat. Danke, dass Du an mich glaubst und jeden Tag aufs Neue für mich da bist!

Ottweiler, im April 2008 Holger Burr.

Kurzfassung

Die Verwaltung und konsequente Weitergabe von Informationen nimmt in heutigen Unternehmensprozessen eine wichtige Stellung ein, mit deren Hilfe sich die Qualität der Prozesse und damit der Unternehmenserfolg wesentlich beeinflussen lassen. Im Falle des Produktentstehungsprozesses der Automobilindustrie stellen besonders die Schnittstellen zwischen den Teilprozessen der Prozesskette einen maßgeblichen Bereich dar. An diesen Übergängen gehen viele Informationen verloren oder sie sind nicht ausreichend dokumentiert, wodurch sie in nachgelagerten Prozessen nur eingeschränkt verwendet werden können oder aufwendig nachmodelliert werden müssen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird der Produktentstehungsprozess im Karosserierohbau eines Automobilherstellers untersucht. Dabei wird der Gesamtprozess als Zusammenspiel von Produkt- und Produktionsentwicklung verstanden, d.h. die Betrachtung zielt auf eine integrierte Entwicklung von Fahrzeugkarosserien und auf die zu ihrer Herstellung notwendigen Fertigungsmittel und -prozesse.

Ausgehend von einer detaillierten Analyse dieser Schnittstelle wird ein Informationsmodell entwickelt, das einerseits eine sinnvolle Integration der beteiligten Teilprozesse erlaubt, diese aber gleichzeitig soweit wie möglich voneinander entkoppelt, um den unterschiedlichen Anforderungen und Verantwortlichkeiten der jeweiligen Fachbereiche gerecht zu werden.

Daran anschließend wird ein Datenmodell spezifiziert, das im Rahmen eines Pilotprojekts in der existierenden Systemlandschaft des betrachteten Unternehmens implementiert und kritisch bewertet wird.

Abstract

Today, the management and consequent distribution of information is one of industry's key success factors that influences the process inherent quality and thereby the company's success in the global competition. Focusing on the product development process in automotive engineering, especially the process interfaces between separate process steps are an area of interest. At these transitions, various kinds of information get lost or are documented in an improper way. This leads to high efforts in follow-up processes where the information has to be re-modeled or, in some cases, can't be used at all.

In the present research work a car manufacturer's body-in-white process chain is being investigated. In this context, the overall process is considered as the interaction of product and production development, aiming for the integrated development of car-bodies as well as the relevant production means and manufacturing processes.

Starting with a detailed analysis of the above mentioned process interface an information model is introduced. This allows on the one hand an efficient integration of the relevant process steps, while on the other hand these steps are decoupled as much as possible with respect to the different demands and responsibilities of the participating departments.

In the next step, a data model is being specified and implemented within the company's existing system environment. The research work closes with a critical evaluation of the achieved process improvements.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 1

1.1 Motivation ... 1

1.2 Zielsetzung ... 5

1.3 Aufbau der Arbeit ... 9

2 Wissenschaftliche Vorgehensweise ... 11

2.1 Forschungsverständnis ... 11

2.2 Forschungsrelevante Fragestellungen ... 15

2.3 Angewandte Forschungsmethodik ... 16

2.4 Abgrenzung der Arbeit ... 29

3 Der Produktentstehungsprozess in der Automobilindustrie ... 32

3.1 Begriffsverständnis Produktentstehung ... 32

3.2 Produktentwicklung ... 37

3.2.1 Organisation ... 38

3.2.2 Methode ... 44

3.2.3 Systeme ... 47

3.2.4 Informationen und Daten ... 51

3.3 Produktionsentwicklung ... 57

3.3.1 Organisation ... 58

3.3.2 Methoden ... 65

3.3.3 Systeme ... 71

3.3.4 Information/Daten ... 76

4 Analyse der Verbesserungspotentiale innerhalb der Prozesskette Karosserierohbau ... 83

4.1 Verbesserungspotentiale aus der Prozesskette Karosserierohbau ... 84

4.1.1 Produktdatenversorgung ... 85

4.1.2 Datenqualität und Informationsbereitstellung 87
4.1.3 Informationen für Folgeprozesse 89
4.1.4 Anzahl der abzubildenden Varianten 91
4.1.5 Lieferantenintegration 94
4.1.6 IT-Landschaft 96
4.1.7 Änderungsmanagement 97
4.1.8 Wiederverwendung von Daten 99
4.2 Veränderung der Randbedingungen des Produktentstehungsprozesses 100
4.2.1 Produktionsgetriebene Gestaltung des Produkts 100
4.2.2 Design for Re-Tooling 102
4.2.3 Überdeckende Systemfunktionalität 103
4.2.4 Änderung der Lieferantenrolle 105
4.2.5 Zeitliche Randbedingungen 108
4.3 Zusammenfassung der Verbesserungspotentiale 110
4.3.1 Methoden 110
4.3.2 Informationen/Daten 111
4.3.3 Systeme 113
4.3.4 Organisation 114
4.4 Ableitung der forschungsrelevanten Fragestellungen 115
4.5 Einflussgrößen und Messgrößen 117
5 Stand der Technik 123
5.1 Kommerzielle Anbieter 123
5.1.1 Parametric Technology Corporation (PTC) 123
5.1.2 Siemens PLM 125
5.1.3 Dassault Systèmes 129
5.2 Wissenschaftliche Ansätze 131

5.2.1 SFB 336 [LRIL99], [ReDü00] ... 131
5.2.2 iViP [KrTA02] ... 134
5.2.3 IDASTEP [IDAS04], [KlRe02] ... 138
5.2.4 weitere Ansätze ... 141
6 Konzept für ein verbessertes Informations-management ... 145
6.1 Organisatorischer und methodischer Ansatz ... 147
6.2 Ansatz für die Informationsmodellierung ... 161
6.2.1 Das Schalenmodell zur Informationsmodellierung ... 161
6.2.2 Implementierung des Schalenmodells in der Fertigungsstruktur ... 167
6.2.3 Darstellung von Varianten in der Fertigungsstruktur ... 169
6.2.4 Berücksichtigung von bauteilübergreifenden Produktentwicklungsdaten ... 171
6.2.5 Unterstützung der produktionsgetriebenen Produktgestaltung ... 174
6.3 Definition der Datenmodelle ... 177
6.3.1 Datenmodell für Produktdaten ... 177
6.3.2 Bündelelement für Prozessdaten ... 180
6.3.3 Bündelelement für Ressourcedaten ... 184
6.3.4 Zusammenspiel der Datenmodelle ... 185
6.4 Einbettung in die Systemlandschaft ... 187
6.4.1 Operative Integration in die aktuelle Systemumgebung ... 188
6.4.2 Mittel- bis langfristige Umsetzung in einer veränderten PDM-Landschaft ... 195
7 Operative Umsetzung des Konzepts ... 204
7.1 Eingesetzte IT-Systeme ... 204
7.1.1 CAD-System CATIA V5 ... 205
7.1.2 PDM-System Smaragd ... 205
7.1.3 Planungsdatenbank PPR-Hub ... 206
7.1.4 CAP-System DPM ... 207

7.2 Die Beispielbaugruppe ZB Hauptboden 207
7.3 Das Spann- und Fixierkonzept 209
7.4 Die operative Implementierung der Fertigungsstruktur 211
7.4.1 Neue Datenmodelle in Smaragd 211
7.4.2 Aufbau der Struktur in Smaragd 213
7.4.3 Nutzung der Struktur in CATIA V5 224
7.4.4 Anwendung der Fertigungsstruktur in den Folgeprozessen 228
7.4.5 Das neue organisatorische Konzept 233
8 Kritische Bewertung des Konzepts 237
8.1 Erfahrungen im Rahmen der operativen Umsetzung 237
8.1.1 Bewertung der methodischen Änderungen 237
8.1.2 Bewertung der geänderten Verwaltung von Informationen/Daten 240
8.1.3 Bewertung der Auswirkungen auf die Systemlandschaft 242
8.1.4 Bewertung der Auswirkungen auf die Organisation 243
8.2 Beantwortung der forschungsrelevanten Fragestellungen 245
9 Zusammenfassung und Ausblick 248
9.1 Zusammenfassung 248
9.2 Ausblick 249
Glossar 253
Literaturverzeichnis 257
Lebenslauf 266
Veröffentlichungen 268

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Inhaltliche Veränderungen im Konstruktionsprozess [Eign05] 3
Abbildung 1-2: Entwicklung der PDM-Software- und -Service Umsätze in Deutschland [Comp04] 4
Abbildung 1-3: Wissensverluste an Prozessschnittstellen [BDVH03] 6
Abbildung 1-4: Abgrenzung der vorliegenden Arbeit gegenüber existierenden Ansätzen..... 7
Abbildung 2-1: Der Forschungsprozess im Allgemeinen 11
Abbildung 2-2: Alternative Vorgehensweisen bei Forschungsarbeiten [Jørg90] 13
Abbildung 2-3: Vorgehensmodell für wissenschaftliche Arbeiten nach [Bles02]..... 17
Abbildung 2-4: Das Engineering Information Management System nach [Sven03]..... 18
Abbildung 2-5: Das Prozessanalysemodell nach [Viel05]..... 19
Abbildung 2-6: Rahmenwerk für die Prozessanalyse in der vorliegenden Arbeit 20
Abbildung 2-7: Das semiotische Dreieck und die Entwicklung von Wissen [MüSc99] 21
Abbildung 2-8: ARIS-Sichtenmodell nach [Sche97]..... 26
Abbildung 2-9: Entity-Relationship-Modell nach [Chen76] 27
Abbildung 2-10: Alternative Vorgehensweisen bei der Konzeptentwicklung..... 27
Abbildung 2-11: Einordnung der vorliegenden Arbeit in das Modell von Duffy/Andreasen [DuAn95] 30
Abbildung 3-1: Der Lebenszyklus eines Produkts 32
Abbildung 3-2: Das Y-Modell nach [Sche97] 34
Abbildung 3-3: Gegenüberstellung verschiedener Definitionen des Begriffs "Produktentstehungsprozess“ 35
Abbildung 3-4: Begriffsverständnis des Produktentstehungsprozesses..... 36
Abbildung 3-5: Der Produktentwicklungsprozess in der Automobilindustrie..... 39
Abbildung 3-6: Zusammensetzung Toleranzarbeitskreis..... 46
Abbildung 3-7: Funktionen und Systeme in der Produktentwicklung 51
Abbildung 3-8: Aufbau der Sachnummer als Master-Objekt mit mehreren Instanzen..... 55
Abbildung 3-9: Entity-Relationship-Modell einer Sachnummer im PDM-System 56
Abbildung 3-10: Der Produktentstehungsprozess mit der Produktionsentwicklung 58
Abbildung 3-11: Verschiedene Planungsphasen und deren Inhalte..... 60
Abbildung 3-12: Die Planungspyramide nach Aggteleky [Aggt87]..... 61
Abbildung 3-13: Global verteilte Entwicklungsprozesse..... 65
Abbildung 3-14: Koordinierungsebene innerhalb der Planungspyramide [Aggt87] 66
Abbildung 3-15: Absicherung der Schweißzangenzugänglichkeit 70

Abbildung 3-16: Digitale Unterstützung verschiedener Phasen des Produktentstehungsprozesses [BHZB02] 72
Abbildung 3-17: Funktionen und Systeme in der Produktionsentwicklung 76
Abbildung 3-18: Von der Produktstruktur zur Fertigungsstruktur (Fügefolge) 78
Abbildung 4-1: Verbesserungspotentiale innerhalb der Prozesskette Karosserierohbaub 85
Abbildung 4-2: Zunehmende Anzahl an Baureihen und darin enthaltenen Varianten 92
Abbildung 4-3: Entstehung von Karosserievarianten innerhalb einer Baureihe 94
Abbildung 4-4: Ablauf des Produktentstehungsprozesses nach Andreasen 101
Abbildung 4-5: Historisch gewachsene IT-Landschaft [BVDW04] 104
Abbildung 4-6: Änderung der Lieferantenrolle [Beck02] 106
Abbildung 4-7: Verkürzung der Prozesszdauer in der Automobilentwicklung [Harv04] 109
Abbildung 4-8: Impact Model als Ergebnis der Potentialanalyse 119
Abbildung 5-1: Systemarchitektur der Firma Parametric Technologies (PTC) 124
Abbildung 5-2: Zusammenhang zwischen Produktdaten und Prozessstruktur in Windchill (PTC) 125
Abbildung 5-3: Systemarchitektur der Firma Unigraphics Solutions (UGS) 126
Abbildung 5-4: Zusammenhang der verschiedenen Strukturen bei Unigraphics Solutions (UGS) 128
Abbildung 5-5: Systemarchitektur der Firma Dassault Systèmes (DS) 130
Abbildung 5-6: Produktstruktur und Planungsprojekt bei Dassault Systèmes (DS) 131
Abbildung 5-7: Systemarchitektur im iViP-Projekt 136
Abbildung 5-8: IT-Architektur im Projekt IDASTEP 140
Abbildung 6-1: Vorgehensweise anhand des Rahmenwerks unter Einbeziehung der Forschungsfragen 146
Abbildung 6-2: Prozessphasen bei der Erstellung der Fügefolge 148
Abbildung 6-3: Ist-Zustand der betrachteten Prozesskette 149
Abbildung 6-4: Allgemeine Gliederung eines Karosserierohbaus 154
Abbildung 6-5: Von der Produktstruktur zur Fertigungsstruktur 156
Abbildung 6-6: Fügefolgeableitung für verschiedene Fahrzeugvarianten mit identischen Strukturanteilen 157
Abbildung 6-7: Einhängen der ZB-Stufen in die Fertigungsstruktur 158
Abbildung 6-8: Veränderungen innerhalb der Prozesskette (fett hervorgehoben) 159
Abbildung 6-9: Schalenmodell als Grundlage für die Informationsmodellierung 163
Abbildung 6-10: Implementierung des Schalenmodells in der Fertigungsstruktur 167
Abbildung 6-11: Beschreibung der Vorrichtungen innerhalb der Aufbaustufen 168
Abbildung 6-12: Drei Stufen zur Einbeziehung von Fahrzeugvarianten in der Fertigungsstruktur 170

Abbildung 6-13: Übernahme von bauteilübergreifenden Informationen aus der Produktstruktur 173
Abbildung 6-14: Prozessablauf beim Design for Re-Tooling 176
Abbildung 6-15: Datenmodell für Produktdaten 179
Abbildung 6-16: Datenmodell für Prozessdaten 183
Abbildung 6-17: Datenmodell für Ressourcedaten 185
Abbildung 6-18: Zusammenspiel der Datenmodelle 186
Abbildung 6-19: Existierende Systemlandschaft für die betrachtete Prozessschnittstelle 189
Abbildung 6-20: Verschiedene technische Ausprägungen von Systemschnittstellen [DoMu00] 190
Abbildung 6-21: Implementierung der Fertigungsstruktur in die existierende Systemumgebung 194
Abbildung 6-22: Veränderte Systemlandschaft mit TDM-Systemen [BVDW04] 196
Abbildung 6-23: Integrationskonzepte für die veränderte Systemlandschaft [BVDW04] 197
Abbildung 6-24: Implementierung der Fertigungsstruktur in der veränderten Systemumgebung 202
Abbildung 7-1: Die Baugruppe ZB Hauptboden 208
Abbildung 7-2: Fügefolge des ZB Hauptboden 209
Abbildung 7-3: Prinzipdarstellung des Spann- und Fixierkonzepts 210
Abbildung 7-4: Gliederungsbeispiel für die Fertigungsstruktur in Smaragd 213
Abbildung 7-5: Ablauf beim Anlegen eines Bündelelements für Prozessinformationen 214
Abbildung 7-6: Angelegtes Bündelelement in Smaragd mit den darin enthaltenen Dokumenten 215
Abbildung 7-7: Resultierende Fertigungsstruktur in Smaragd 216
Abbildung 7-8: Anwendung der Konfiguration innerhalb der Fertigungsstruktur 217
Abbildung 7-9: Übertragung der Transformationsmatrix auf die Fertigungsstruktur 219
Abbildung 7-10: Erzeugung einer Kopie der Transformationsmatrix 220
Abbildung 7-11: Umgang mit symmetrischen Bauteilen in der Fertigungsstruktur 221
Abbildung 7-12: Abbildung von Fahrzeugvarianten 222
Abbildung 7-13: Implementierung der Filtermöglichkeiten für die Fertigungsstruktur 223
Abbildung 7-14: Filtermöglichkeiten für die Fertigungsstruktur in Smaragd 224
Abbildung 7-15: Hauptboden mit fertig konstruiertem Spann- und Fixierkonzept 225
Abbildung 7-16: Fertigungsstruktur im CAD-System CATIA V5 227
Abbildung 7-17: Vorrichtung für den ZB Hauptboden in der Fertigungsstruktur 229
Abbildung 7-18: Produktionsabsicherung einer Seitenwand in einer Vorrichtung 231
Abbildung 7-19: Weiterverwendung der Fertigungsstruktur im CAP-System 232
Abbildung 7-20: Prozessablauf mit den zugeordneten Rollen 236

„Die einzigen, vor denen ich als Konkurrenz wirklich Angst habe,
sind die Deutschen – wenn sie endlich verstehen, wie sie
miteinander reden müssen.“

Ein Manager von Toyota

1 Einleitung

1.1 Motivation

In den letzten Jahren wird in Medien und der Politik immer häufiger von der sogenannten Informationsgesellschaft gesprochen. In einer Grundsatzrede im Rahmen der Eröffnung des Paderborner Podiums im Juni 1998 sagte der damalige Bundespräsident Roman Herzog: „Unsere Industriegesellschaft wandelt sich mit hoher Geschwindigkeit in eine Kommunikations- und Wissensgesellschaft. So wie im Industriezeitalter die schwere körperliche Arbeit durch die Maschinenkraft ersetzt wurde, dringt im Informationszeitalter der Computer in immer neue, bisher dem Menschen vorbehaltene Bereiche vor“ [Herz98]. Auch für die vergangene Bundesregierung hatte die aktive Gestaltung des gesellschaftlichen Wandels von der Industrie- zur wissensbasierten Informationsgesellschaft eine sehr hohe Priorität. Dazu wurde im Herbst 2003 das Aktionsprogramm „Informationsgesellschaft Deutschland 2006“ beschlossen, das sich als „Motor für Innovationen“ versteht [BmBF03]. Schwerpunkte des Programms sind u.a. die Bereiche digitale Wirtschaft und eGovernment. Mit seiner Aussage charakterisierte Roman Herzog einerseits die Situation innerhalb der Gesellschaft als gesamte Einheit. Diese Aussage hat aber auch und gerade heute Gültigkeit im industriellen Umfeld. Es ist nicht mehr als konsequent, dass auch die Industrie als wichtiger Bestandteil der Gesellschaft auf diese Entwicklung reagiert. Stellvertretend für viele andere Programme sei hier als ein Beispiel die „Initiative D21“ genannt, in der viele namhafte Vertreter der deutschen Industrielandschaft engagiert sind. Ziel dieser Initiative ist es, Deutschland zu einem Spitzenplatz im internationalen Wettbewerb um die Anwendung und Produktion von Informationstechnologien zu verhelfen [WWW01]. Gerade in einem rohstoffarmen Land wie Deutschland gilt es, mittels effizienter Produktionstechnologien die langfristige Sicherung des Wirtschaftsstandortes zu gewährleisten. Die Unterstützung durch Informationstechnologien gewinnt dabei immer stärker an Bedeutung. Zu diesem Schluss kommt auch Jörg Becker, Wirtschafts- und Informatik-Journalist und einer der Autoren der digitalen Fachbibliothek „Das innovative Unternehmen“: „Der Erfolg eines Unternehmens hängt zunehmend vom Umgang mit der Ressource Information ab. Moderne Kommunikationstechnologien ermöglichen dezentralisierte Organisationsformen und eine optimierte Kundenkommunikation. Jedoch bedarf es gezielter Strategien und Instrumente, um aus Information unternehmensrelevantes Wissen zu generie-

ren. Hierarchien und versteinerte Strukturen sind Hindernisse auf dem Weg zu einem effektiven Wissensmanagement.“ [BGHS03].

Bei Prozessen in produzierenden Unternehmen steht im Vordergrund häufig die Forderung nach zeitlicher Verkürzung des Produktenstehungsprozesses, um schneller auf dem Markt und damit beim Kunden zu sein. In gleichem Maße wächst der Kostendruck auf alle an der Entwicklung beteiligten Bereiche, um im internationalen Vergleich wettbewerbsfähig zu sein. Damit wären neben der nach wie vor geforderten hohen Produktqualität die wesentlichen Charakteristiken der Marktsituation von Unternehmen genannt. Die Faktoren im Hintergrund sind allerdings wesentlich vielschichtiger. Zunächst ändern sich die Produkte in starkem Ausmaß. Galt es früher noch, ein hauptsächlich aus mechanischen Komponenten bestehendes Produkt zu entwickeln, so halten heute in immer stärkerem Maße Elektrik, Elektronik oder Software-Komponenten Einzug in die Entwicklungsprozesse. Gemäß einer Studie des Verbandes der deutschen Automobilindustrie liegt der Anteil an Elektronik-Bauteilen in modernen Fahrzeugen heute zwischen 25 und 30 Prozent, eine Steigerung auf 40 Prozent bis zum Jahre 2010 wird prognostiziert [VDA05]. Im Rahmen der so genannten „Mass-Customization“ wird gleichzeitig ein ständig steigender Individualisierungsgrad der verkauften Produkte angestrebt, was sich wiederum in wachsenden Variantenzahlen manifestiert und im steigenden Flexibilisierungsgrad der Produktionsanlagen niederschlägt. Aber auch die organisatorischen Randbedingungen der Prozesse ändern sich. Viele Unternehmen haben durch Zukäufe oder strategische Partnerschaften heute globale Ausmaße erreicht, wodurch Entwicklungstätigkeiten über verschiedene Länder, Kontinente und damit auch Zeitzonen hinweg verteilt sind. Dies erfordert wiederum ganz neue Modelle der Zusammenarbeit, wobei der Anteil der Wertschöpfung dabei oft jenseits der Unternehmensgrenze in den Händen von Zulieferern oder Entwicklungsdienstleistern liegt, die ebenfalls berücksichtigt und in die bestehende Infrastruktur integriert werden müssen.

Die Auswirkungen dieser rasanten Veränderungen kann man exemplarisch anhand der Verlagerung der Konstruktionstätigkeit erkennen, wie in Abbildung 1-1 dargestellt [Eign05]. Während die eigentliche kreative Konstruktionstätigkeit eines Entwicklungsingenieurs 1980 noch über die Hälfte der Gesamtprozesszeit ausmachte, liegt dieser Wert heute nur noch bei annähernd 30 Prozent. Den Rest der Zeit verbringt der beteiligte Ingenieur mit der Beschaffung, Verwaltung oder Weitergabe von Informationen oder der Dokumentation seiner Arbeitsergebnisse. Dieser Aufwand ist nötig, um die relevanten Informationen anderen Beteiligten zur

Verfügung zu stellen, damit diese ihre Arbeitsumfänge auf der Grundlage eines ausreichenden Informationsstandes bearbeiten können. Dafür ist in Großunternehmen der eigentliche kreative Anteil der Entwicklungstätigkeit gesunken, da speziell diese Arbeitsumfänge gezielt in die Hände von Lieferanten übergeben wurden.

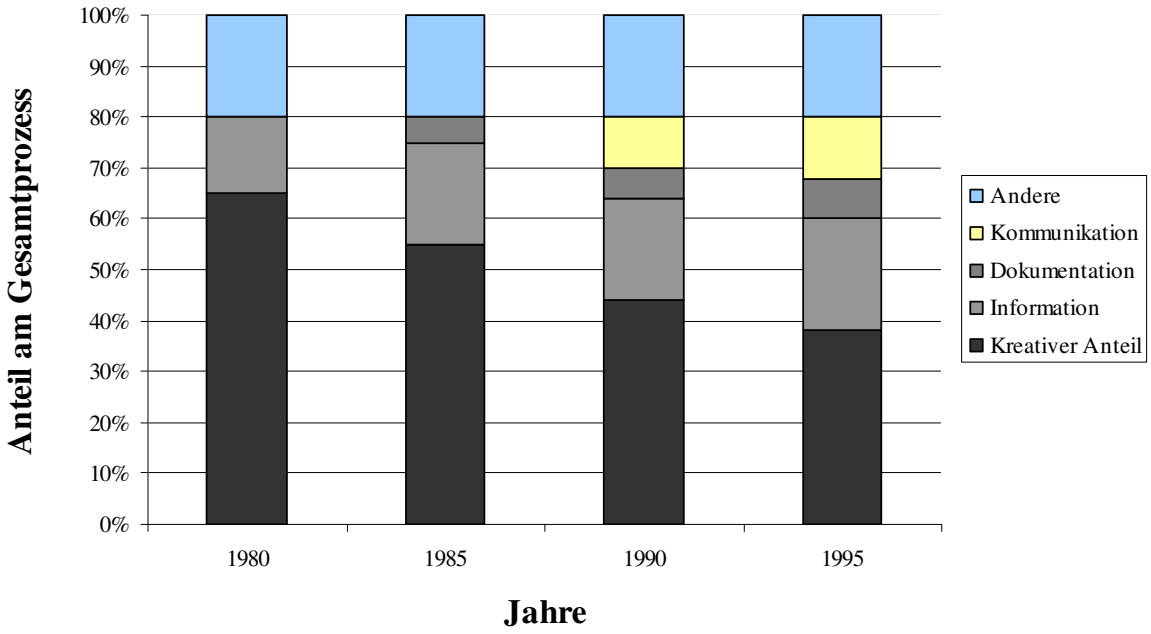


Abbildung 1-1: Inhaltliche Veränderungen im Konstruktionsprozess [Eign05]

An solchen Entwicklungen wird die Bedeutung der Begriffe „Information“ oder „Wissen“ innerhalb des Unternehmens deutlich. Sie sind entscheidende Faktoren, die letzten Endes auch über Effizienz und Unternehmenserfolg entscheiden, vor allem hinsichtlich der Art und Weise, wie mit den vorhandenen Informationen und dem daraus abgeleiteten Wissen im Unternehmen umgegangen wird [vgl. Bull05]. Das heißt also, die Art und Weise, wie Kommunikation zwischen beteiligten Bereichen und Disziplinen effizient und transparent gestaltet werden kann, ist entscheidend für die bereits genannten Faktoren Zeit, Kosten und Qualität in Unternehmensprozessen. Der Produktentstehungsprozess im Sinne einer gemeinsamen Betrachtung von Produkt- als auch Produktionsentwicklung nimmt dabei als Kernprozess innerhalb des Unternehmens bei der Wertschöpfung eine zentrale Rolle ein. Produktionsentwicklung bedeutet in diesem Zusammenhang die simultan zur Konstruktion des Produkts ablaufende Konzeption der Produktionsprozesse, sowie die Entwicklung und Bereitstellung der dafür benötigten Ressourcen.

Im Rahmen der Konstruktions- und Entwicklungstätigkeit gibt es für die dabei anfallenden Aufgaben eine Vielzahl von Computersystemen zur Unterstützung. Dies beginnt bei der Modellierung der Bauteile im CAD bis hin zur Analyse und Optimierung ihrer Eigenschaften in CAE-Werkzeugen, wie beispielsweise für mechanische Beanspruchungen oder Schwingungsverhalten. Innerhalb der Produktionsentwicklung ist die digitale Unterstützung erst in den vergangenen Jahren forciert worden [WaBa99], [KaFV99]. Ein Begriff, der in der letzten Zeit immer häufiger im industriellen Umfeld auftaucht, ist die sogenannte „Digitale Fabrik“. Deren Ziel ist die „ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt“ [VDI4499]. Mit der digitalen Fabrik wurde ein Ansatz geschaffen, um die Phase der Produktionsplanung bereits frühzeitig in die Produktentstehung mit einzubeziehen und dadurch das oft angestrebte „Simultaneous Engineering“ erst zu ermöglichen. Das frühzeitige „Einwirken von Fertigungs- und Realisierungskompetenz auf den Produktentwicklungsprozess“ verhilft dabei zu abgesicherten Ergebnissen, die höhere Reifegrade in kürzerer Zeit generieren können [Kiel01], [OvWS05]. Vor allem innerhalb der Automobilindustrie ist die Nutzung der Methoden der digitalen Fabrik eines der vorrangigsten Ziele [Reit02], [Scho04], [Ung02].

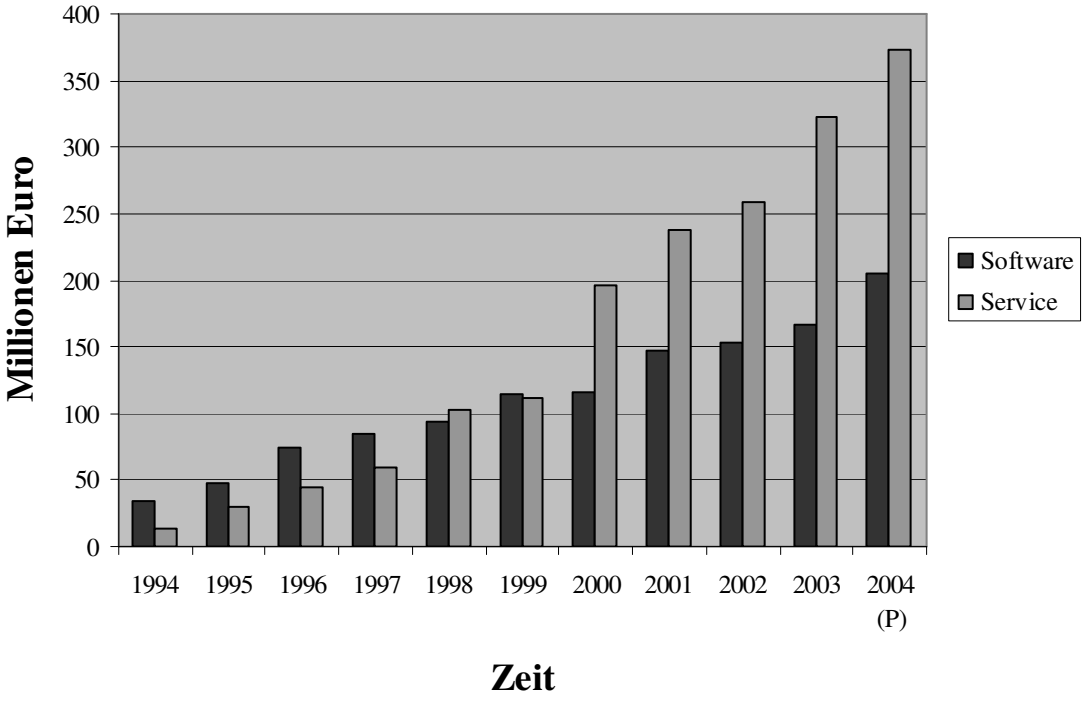


Abbildung 1-2: Entwicklung der PDM-Software- und -Service Umsätze in Deutschland [Comp04]

Eine wichtige Voraussetzung für die erfolgreiche Einführung der digitalen Fabrik ist dabei ein effizientes Management der in den jeweiligen Prozessketten anfallenden Informationen, um diese ganzheitlich und integriert verwalten zu können [KnSt05], [WaKe04]. Erst damit wird eine sinnvolle Vernetzung der einzelnen digitalen Modelle, der relevanten Methoden und ihrer Werkzeuge überhaupt erst möglich [VDI4499], [Walt02] oder [Musc02]. Das sich die Unternehmen in Deutschland dieser Aufgabe stellen, kann an Hand der in Abbildung 1-2 dargestellten, steigenden Umsätze für PDM-Software und -Serviceleistungen nachvollzogen werden [Comp04]. Die steigenden Investitionen in PDM-Software und Dienstleistungen zeigen, dass innerhalb der Unternehmen ein immer stärkerer Bedarf besteht, die anfallenden Datenmengen sinnvoll zu verwalten.

Von besonderer Bedeutung bei dieser Verwaltung von Informationen ist die Schnittstelle beim Übergang von Produktentwicklung zu Produktionsplanung [vgl. West05], die im Mittelpunkt der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen steht. Dieser Übergang stellt innerhalb des Produktentstehungsprozesses nach wie vor eine Schnittstelle dar, an der sehr viele Reibungsverluste auftreten, da hier verschiedene Ingenieursdisziplinen mit jeweils eigenen Teilzielen miteinander kooperieren müssen. Gleichzeitig gehen auf Grund der unzureichenden, systemseitigen Integration an diesem Übergang viele Informationen verloren. Für diese Prozessschnittstelle wird mit Hilfe geeigneter Datenmodelle ein Konzept zur effizienten Integration der verschiedenen, an dieser Schnittstelle aktiven, Ingenieursdisziplinen geschaffen.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit, die in enger Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum eines Automobilunternehmens entstand, ist es, vor dem Hintergrund eines durchgängig rechnergestützten Produktentstehungsprozesses ein Konzept für eine integrierte Verwaltung anfallender Informationen zwischen der Produktentwicklung einerseits und der Produktionsplanung andererseits zu schaffen und dieses anhand von prototypischen wie operativen Prozessen auf seine Praxistauglichkeit hin zu prüfen. Als Referenzszenario dient hierzu der Bereich Karosserierohbau innerhalb der Fahrzeugentwicklung eines international operierenden Automobilkonzerns, aus dem im Rahmen einer Prozessanalyse verschiedene Charakteristika abgeleitet werden.

Schnittstellen zwischen Teilprozessen sind im Allgemeinen immer mit Einbußen am Informationsgehalt und damit mit Wissensverlusten verbunden, wie in Abbildung 1-3 dargestellt. Dies ist häufig ein Resultat der innerhalb der einzelnen Glieder der Prozesskette verwendeten IT-Werkzeuge, die unterschiedliche Datenmodelle und Strukturen verwenden. Beim Übergang von einem Bereich in den nächsten lassen sich nicht alle Informationen übertragen, bzw. muss ein Teil der zu übertragenden Informationen aufwendig nachmodelliert werden. Dies ist teilweise gewollt, kann aber auch für Probleme sorgen, da eine Einbuße am Informationsgehalt der ausgetauschten Modelle hingenommen werden muss. Dabei verspricht die Optimierung der Informationsweitergabe größere Potentiale zur Zeiteinsparung als die lokale Optimierung der Tätigkeiten einzelner Teilprozesse, wobei gleichzeitig ein schnellerer Anstieg des dokumentierten Produktwissens und damit ein höherer Reifegrad im Produktentstehungsprozess erreicht werden kann.

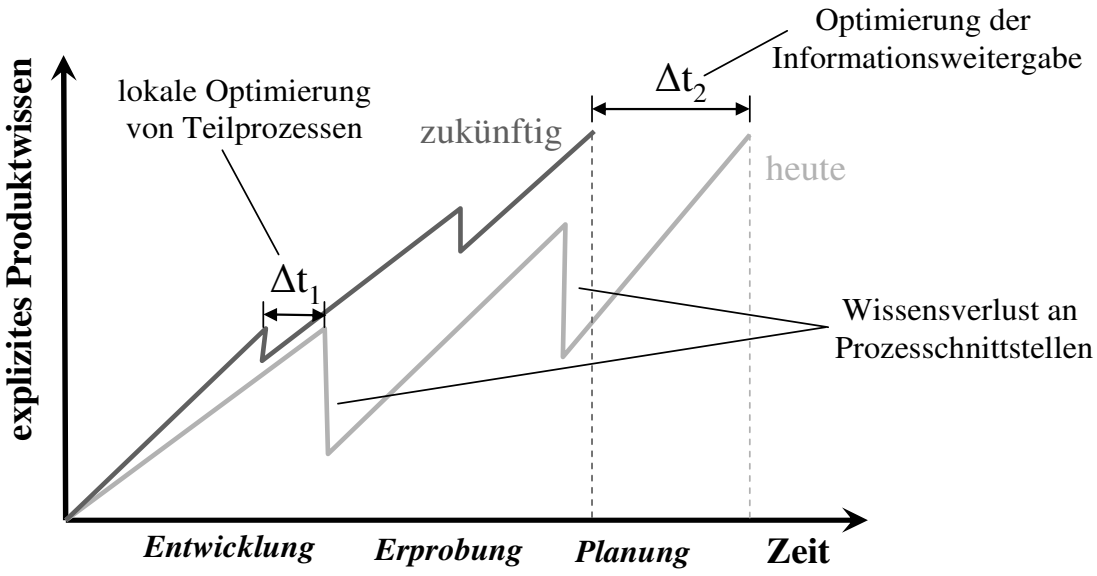


Abbildung 1-3: Wissensverluste an Prozessschnittstellen [BDVH03]

Die Schnittstelle zwischen Entwicklung und Planung wird anhand der herrschenden Randbedingungen in aktuellen Entwicklungsprozessen im Karosserierohbau eingehend analysiert, um mit den dabei gewonnen Anforderungen ein Konzept für eine nahtlose Prozesskette zu schaffen, das bisherige Schwachstellen behebt und die Informationsflüsse optimiert. Existierende Ansätze in anderen Forschungsarbeiten zielen oft auf eine Nutzung von Informationen aus frühen Prozessphasen im Rahmen späterer Tätigkeiten, so wie es etwa mit Hilfe der Feature-Technologie versucht wurde. Dabei werden aber oft nur einzelne Glieder einer Prozesskette miteinander vernetzt, beispielsweise die Übernahme von Designflächen in die Flächenkon-

struktion. Das sogenannte „front-loading“ von Entwicklungsprozessen, d.h. die Verlagerung nachgelagerter Tätigkeiten in frühe Prozessphasen, ist ein weiteres Schlagwort das gerade im industriellen Umfeld oft benutzt wird, um den bereits genannten Herausforderungen moderner Entwicklungsprozesse zu begegnen. Gleichzeitig setzen diese Prozesse nach wie vor eine sequentielle Abarbeitung des Entwicklungsprozesses voraus, bei der der Informationsfluss von Prozessbereich zu Prozessbereich nur in einer Richtung stattfindet. Im Rahmen der Prozessanalyse wird aber gezeigt werden, dass diese Ansätze nicht die gewünschten Erfolge bringen können, da die Charakteristik der analysierten Prozessschnittstelle einen Informationsfluss von der Produktionsentwicklung zurück in die Produktentwicklung nötig macht, um eine bidirektionale Transparenz zwischen allen beteiligten Prozessbereichen zu realisieren. Grundlage dafür ist ein im Rahmen dieser Arbeit konzipiertes Informationsmodell, das einerseits eine sinnvolle Integration erlaubt, gleichzeitig aber einzelne Teilprozesse soweit wie möglich voneinander entkoppelt.

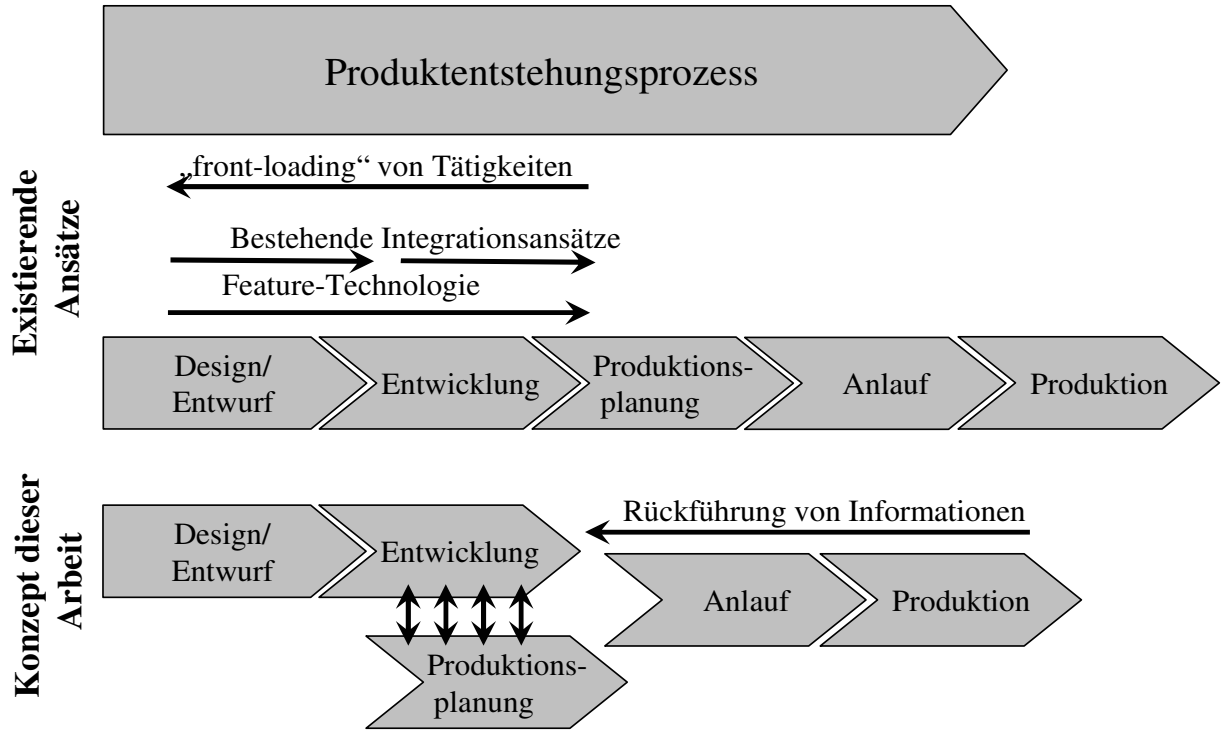


Abbildung 1-4: Abgrenzung der vorliegenden Arbeit gegenüber existierenden Ansätzen

Kern dieses Konzepts ist ein Informationsmodell, das die verschiedenen Informationen aus den beteiligten Domänen miteinander verknüpft, unter Berücksichtigung der im Prozess verankerten Verantwortlichkeiten und der durchzuführenden Aufgaben. Dabei muss das Informa-

tionsmodell in die bestehende, größtenteils heterogene Systemlandschaft der Karosserieentwicklung eingebracht werden können. Anhand ausgewählter Prozessbeispiele ist die Tragfähigkeit des Konzepts unter Beweis zu stellen, wobei die Praxistauglichkeit kritisch diskutiert wird. Letztendlich soll auch die Übertragbarkeit des Konzepts auf andere Prozessketten wie beispielsweise die Endmontage oder die Herstellung des Antriebstranges überprüft werden.

Die wesentlichen Randbedingungen des aktuellen Produktentstehungsprozesses, die im Rahmen der Prozessanalyse später noch ausführlicher beleuchtet werden, seien an dieser Stelle kurz erwähnt:

- Steigende Variantenzahl: Zu einer konkreten Fahrzeug-Baureihe existieren in der Regel viele verschiedene Derivate, die auf der gleichen Plattform aufbauen, sich aber in der geometrischen Ausprägung der Karosserie stark unterscheiden.

- Hohe Dynamik: Innerhalb der Karosserieentwicklung werden verschiedene Phasen durchlaufen, beginnend bei frühen Prototypen zum Aufzeigen der Konzepttauglichkeit bis hin zu Vorserien- und Serienfahrzeugen, mit deren Hilfe die Produktionsanlagen ausgelegt und optimiert werden. Durch zahlreiche Iterationen kommt es dabei immer wieder zu Produktänderungen, die seitens der Folgeprozesse aufgefangen werden müssen.

- Hohe Flexibilität: Die Produktvarianten wirken sich in starkem Maße auch auf die benutzten Fertigungssysteme aus. Diese werden immer flexibler, gleichzeitig müssen in verschiedenen Produktionsstandorten auch unterschiedliche Charakteristika berücksichtigt werden.

- Interdisziplinärer Charakter: An der Karosserie-Entwicklung sind viele verschiedene Ingenieursbereiche beteiligt, deren Informationen teilweise aufeinander aufbauen und gegenseitig berücksichtigt werden müssen.

Das im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelte Konzept muss diesen Randbedingungen gerecht werden, gleichzeitig soll es aber auch vor dem Hintergrund bereits heute absehbarer Trends und Veränderungen des Produktentstehungsprozesses anwendbar sein.

1.3 Aufbau der Arbeit

Zunächst wird im Kapitel 2 das der Arbeit zugrunde gelegte Forschungsverständnis, die wissenschaftliche Vorgehensweise und die angewandte Methodik näher erläutert. Dies erscheint vor allem deshalb hilfreich, weil so einige Besonderheiten bei industriell geprägten Aufgabenstellungen und Forschungsaktivitäten herausgestellt werden können. Gleichzeitig wird hier ein Rahmenwerk hergeleitet, mit dessen Hilfe die analysierten Prozesse betrachtet werden.

In Kapitel 3 wird dann im Rahmen einer Prozessanalyse der Produktentstehungsprozess am Beispiel des Karosserierohbaus untersucht, wobei vor allem auf die im vorangegangenen Abschnitt bereits kurz erwähnten Randbedingungen detailliert eingegangen wird. Als Referenz für diese Analyse dienen die Beobachtungen aus der mehrjährigen Mitarbeit in zwei Fahrzeugentwicklungsprojekten der Kompaktklasse, die auf Grund ihrer Stückzahl und ihrer Planungsprämissen als stellvertretend für eines der gewinnträchtigsten Segmente des betrachteten Unternehmens angesehen werden können.

Anschließend an die Beschreibung der Teilprozesse der Produkt- und Produktionsgestaltung erfolgt im Kapitel 4 die Ableitung der Verbesserungspotentiale. Dabei werden zunächst die innerhalb der analysierten Prozesskette gefundenen Defizite beschrieben, bevor im zweiten Teil auf die allgemeinen Veränderungen im Produktentstehungsprozess und die dadurch ausgelösten Herausforderungen eingegangen wird.

In Kapitel 5 wird der Stand der Technik beleuchtet, einerseits hinsichtlich kommerzieller Software-Anbieter, die gerade für große Industrieunternehmen von entscheidender Bedeutung sind, andererseits aber auch in Bezug auf rein wissenschaftliche Forschungsaktivitäten an Universitäten oder im Rahmen von öffentlich geförderten Projekten.

Kapitel 6 beschreibt mit dem Konzept der Fertigungsstruktur und der Informationsmodellierung mit Hilfe des Schalenmodells schließlich den Ansatz der Dissertation. Dies geschieht im ersten Teil anhand von Prozessbeschreibungen, aber auch detailliert anhand von Informationsmodellen und Spezifikationen. Der zweite Teil des Kaptitels widmet sich der Einbettung des vorher definierten Modells in die informationstechnische Systemumgebung eines modernen Unternehmens auf abstrakter Ebene.

Eine Übertragung auf existierende Prozesse und Szenarien erfolgt schließlich im Rahmen der prototypischen Umsetzung in Kapitel 7, bei der das zuvor beschriebene Konzept auf Praxistauglichkeit hin geprüft wird und eine Validierung hinsichtlich der in Kapitel 3 und 4 aufgezeigten Randbedingungen erfolgt. Die Implementierung erfolgt dabei sowohl anhand einer operativen Einführung im Produktiv-Umfeld einer Zielbaureihe sowie im idealisierten Systemumfeld.

In Kapitel 8 wird das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Konzept an Hand der Erfahrungen aus der Umsetzung in den operativen Fahrzeugprojekten kritisch bewertet. Gleichzeitig wird auf die mögliche Übertragbarkeit des Konzeptes auf die Prozesse der Montageplanung und der Entwicklung des Antriebsstranges eingegangen.

Kapitel 9 fasst schließlich die vorliegende Arbeit zusammen und mündet in einem Ausblick auf weiterführende Aktivitäten in diesem Forschungskontext.

2 Wissenschaftliche Vorgehensweise

In diesem Kapitel wird auf die dieser Arbeit zugrunde gelegte wissenschaftliche Vorgehensweise und das dabei zugrunde gelegte Forschungsverständnis eingegangen. Gleichzeitig werden die relevanten Forschungsfragen, die im Rahmen der Arbeit beantwortet und bewertet werden sollen, genannt und erläutert.

2.1 Forschungsverständnis

Einen wissenschaftlichen Beitrag im Rahmen einer Forschungsarbeit zu liefern bedeutet, das existierende Wissen zu einem bestimmten Themenkomplex mit neuen Erkenntnissen anzureichern. Die Anforderungen hinsichtlich der Plausibilität und Stichhaltigkeit der dabei formulierten Aussagen sind sehr strikt. Um dies von gewöhnlichem Wissen abzugrenzen, wird deshalb von wissenschaftlichen Erkenntnissen gesprochen [Sven05]. Die Rolle der Forschung kann in diesem Kontext als Vermittler zwischen diesen wissenschaftlichen Erkenntnissen und der Realität angesiedelt werden, wie in Abbildung 2-1 dargestellt. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse liefern die Basis für die Forschungsaktivität, also die Grundsumme der Methoden und Konzepte, die zu einem konkreten Thema existieren. Dabei kann wiederum zwischen Grundlagenwissen und Anwendungswissen unterschieden werden, wie beispielsweise bei [Viel05] beschrieben. Mit diesem Handwerkszeug ausgestattet, beobachtet und analysiert der Wissenschaftler die Realität, d.h. es findet zwischen Forschung und Realität eine Interaktion statt, bei der wiederum neues Wissen und neue Erkenntnisse erzeugt werden. Diese werden dann der Wissensbasis zugefügt. Die Verbreitung dieser neuen Erkenntnisse geschieht dabei in der Regel über Publikationen oder in Beiträgen auf Konferenzen oder Seminaren.

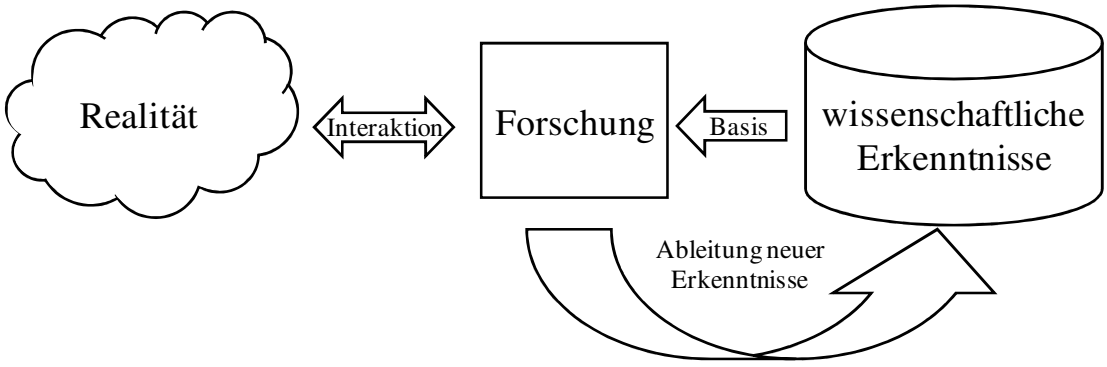


Abbildung 2-1: Der Forschungsprozess im Allgemeinen

Für die Interaktion zwischen Realität und Forschung gibt es dabei verschiedene Sichtweisen. Im Realismus wird davon ausgegangen, dass die Realität unabhängig von der Art und Weise der menschlichen Betrachtung existiert, womit das Wissen zu einem möglichst genauen Abbild der Realität wird. Der kritische Realismus folgt dem gleichen Verständnis, allerdings unter der Betonung, dass das abgeleitete Wissen abhängig ist von den Kenntnissen und Methoden, die beim Studium der Realität zum Einsatz kommen. Beim Konstruktivismus dagegen wird davon ausgegangen, dass wissenschaftliche Erkenntnisse keine passive Reproduktion der Realität sind, sondern es sich vielmehr um ein Konstrukt handelt, das von Menschen gemacht wird, die die Realität beobachten und analysieren. Dabei werden die Beobachtungen des Forschers in starkem Maße von seinem Verständnis der Realität beeinflusst.

Das Verständnis von Forschung kann also unterschiedlich sein, was es nötig macht, im Rahmen einer wissenschaftlichen Arbeit die angewandten Methoden und Vorgehensweisen näher zu erläutern. Die vorliegende Arbeit kann am ehesten der Sichtweise des Konstruktivismus zugeordnet werden, was, da es sich um einen Beitrag aus dem Bereich der industriellen Forschung handelt, auch nahe liegend erscheint.

Bei Jørgensen [Jørg90] werden zwei grundsätzliche Vorgehensweisen unterschieden, wie Forschung betrieben werden kann. Der erste Ansatz besteht in einer problem-basierten Herangehensweise. Dabei werden existierende Problemfälle anhand von Fallstudien analysiert, wobei es darum geht, interne Strukturen aufzudecken, Kausalitäten zu finden und empirische Regeln zu beschreiben. In der anschließenden Synthese-Phase werden dann Lösungsvorschläge für das analysierte Problem formuliert, wobei versucht wird, Alternativen zu berücksichtigen und Konsequenzen abzuschätzen. Die eigentliche Forschungsphase endet mit dem so erzeugten neuen Wissen, das nun zur Anwendung bereitsteht. In der dann folgenden Phase der Entwicklung kommt es zum Wissenstransfer, wobei die gefundenen Lösungsansätze und ihre Konsequenzen, soweit vorhersehbar, anhand von vorher definierten Szenarien bewertet werden. Die zweite, andere Vorgehensweise wird als theorie-basierter Ansatz verstanden. Hier werden in der zuerst durchgeführten Synthese-Phase Strukturen und Konzepte aufgebaut und interne Konsistenzkriterien formuliert. Das damit erzeugte Modell wird dann in der anschließenden Analyse-Phase auf externe Konsistenz und Anwendbarkeit hin geprüft. Auch hier erfolgt nach Abschluss der Forschungsphase im Rahmen der Entwicklung die Übertragung der Ergebnisse auf die Realität, wobei wiederum die Praxistauglichkeit evaluiert wird.

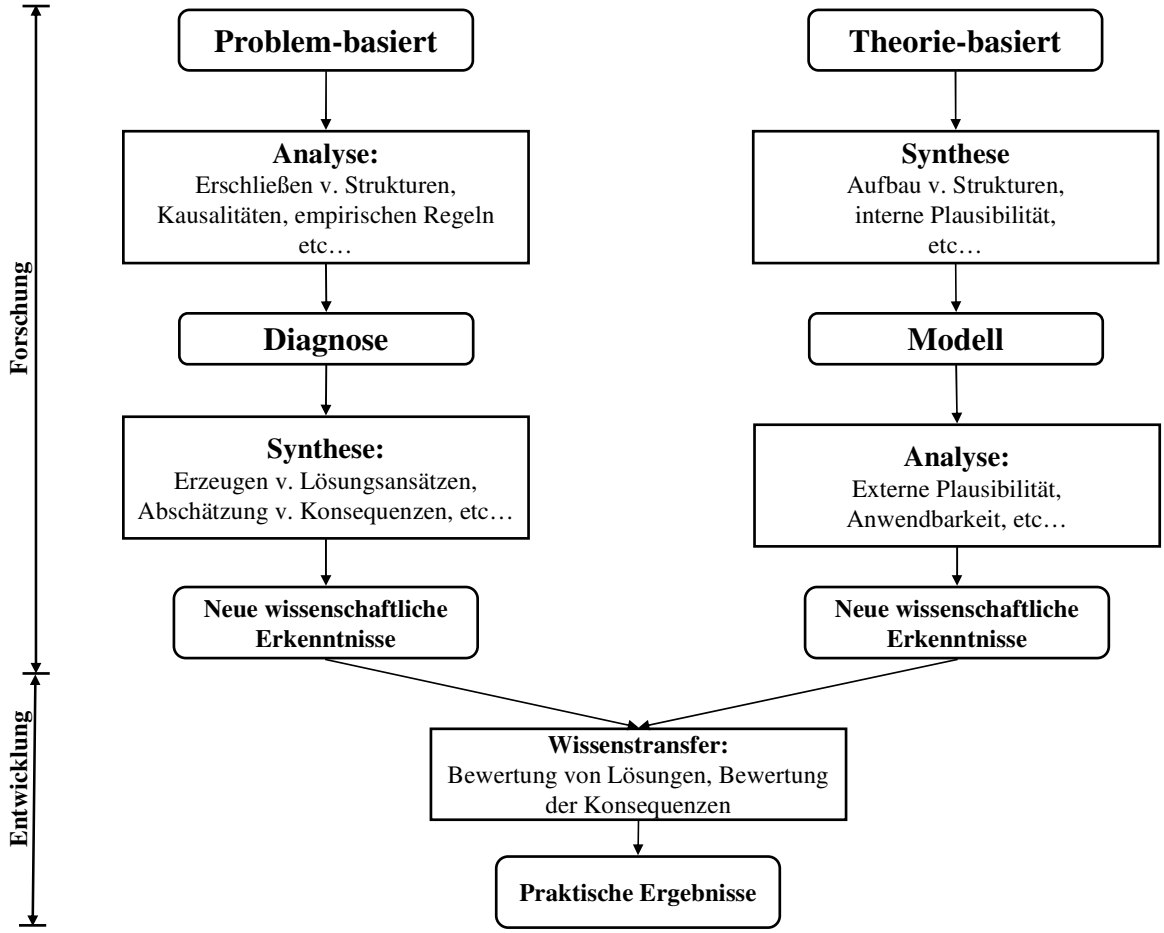


Abbildung 2-2: Alternative Vorgehensweisen bei Forschungsarbeiten [Jørg90]

Im Rahmen der industriellen Forschung empfiehlt sich dabei eine Kombination aus beiden Ästen des in Abbildung 2-2 dargestellten Modells, wie bei Jørgensen [Jørg90] postuliert. Einerseits gibt es das Bestreben, bestehende Prozesse und Methoden ständig zu optimieren, um neue Nutzenpotenziale zu erschließen und die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens sicher zu stellen. Andererseits ist aber auch die Einbeziehung wissenschaftlicher Quellen im Rahmen von Studien und Literaturrecherchen ein wesentlicher Bestandteil der Forschungsaktivität, mit der sich bereits existierende Ansätze und Erkenntnisse berücksichtigen lassen und damit zu einer Verbesserung des Gesamtergebnisses beitragen. Das in Abbildung 2-1 gezeigte Grundschema lässt sich damit für den Fall der industriellen Forschung erweitern. Dabei nimmt die Produktentwicklung die zentrale Rolle in den Unternehmensprozessen ein. Hier werden Ideen und Einflüsse, die aus den Märkten und damit letztendlich vom Kunden stammen, zu Produkten und Innovationen umgesetzt. Ziel und zugleich Motor des Prozesses ist dabei die Erzielung von Profit, der mit den Produkten und den damit verbundenen Dienstleistungen realisiert wird.

Die Forschung im industriellen Umfeld interagiert in diesem Fall im Rahmen der Produktentwicklung mit der unternehmerischen Realität, in dem bestehende Prozesse analysiert und Optimierungspotenziale aus dieser Analyse abgeleitet werden. Aufgabe des produktiven Unternehmensteils ist es dabei, mit einem Teil der erzielten Gewinne die Forschung zu finanzieren. Aus dieser Situation lassen sich einige Anforderungen an die industrielle Forschungsaktivität als solche ableiten:

- ***Praxisrelevanz:*** Die bearbeiteten Themen müssen zur Ausrichtung des Unternehmens passen und praxisrelevante Themen beinhalten, die im Idealfall innerhalb der mittelfristigen Zukunft für das Unternehmen von entscheidender Bedeutung werden. Diese kann monetärer oder strategischer Natur sein, beispielsweise wenn es darum geht, mit herausragenden Technologien Innovationsführer auf dem Markt zu sein.

- ***Finanzierbarkeit:*** In der Regel müssen für die Forschungsprojekte Patenschaften innerhalb des Unternehmens gefunden werden, die die Notwendigkeit der durchgeführten Arbeiten erkennen und im Rahmen von Beauftragungen auch finanziell unterstützen. Als Gegenleistung liefert die Forschung einerseits interne Dienstleistungen, andererseits aber auch den so genannten „Blick von außen“, der oft nicht zu unterschätzende Nutzenpotenziale zu Tage bringt, für die im Alltagsgeschäft innerhalb der betroffenen Bereiche kaum jemand ein Auge hat.

- ***Messbarkeit:*** Diese Anforderung ist wohl, unabhängig ob im industriellen oder im rein universitären Kontext, der entscheidendste Faktor beim wissenschaftlichen Arbeiten. Allerdings wird gerade in der Industrie gerne nach dem erzielten und quantifizierbaren Nutzen gefragt, wobei dieser zeitlicher, monetärer oder qualitativer Natur sein kann. Die Beantwortung dieser Frage wird dabei umso schwieriger, je stärker man in konzeptionellen Themen tätig ist. Das gleiche gilt für Konzepte, die verschiedene Teilprozesse überspannen, da die erzielten Verbesserungen wie beispielsweise verkürzte Durchlaufzeiten oder höhere Datenqualität nur mittelbar messbar sind, da sie über verschiedene Bereiche verteilt auftreten.

- ***Berücksichtigung Organisatorische Randbedingungen:*** Aufgrund der Größenordnung vieler Unternehmen ist es nicht immer leicht, punktuell ansetzende Verbesserungen auch auf weitere Unternehmensbereiche auszuweiten und diese vom Nutzen oder Mehrwert eines Konzepts gegenüber der bisherigen Arbeitsweise zu überzeugen. Ge-

rade in wirtschaftlich schwierigen Zeiten werden zusätzliche Belastungen nur ungern in Kauf genommen. Die Einführung neuer Methoden und Werkzeuge ist in der Automobilindustrie oft an konkrete Baureihen geknüpft, wodurch wiederum eine gewisse Trägheit bedingt wird. Ist eine Vorgehensweise erst einmal festgelegt, so ist es schwer bis unmöglich, sie kurz- oder auch mittelfristig wieder zu ändern, abhängig vom finanziellen Aufwand, der dafür erbracht werden musste.

Für den Forschungsalltag des wissenschaftlichen Mitarbeiters im industriellen Umfeld bedeuten diese Randbedingungen eine sehr starke Anwendungsbezogenheit in seiner Arbeit. Dies wird gewährleistet durch starke Einbindung der Forschungsprojekte in existierende Unternehmensprozesse im Rahmen von Szenarien. Hier muss allerdings der Spagat zwischen aktuellen Problemen und operativem Druck einerseits sowie längerfristigen Aufgabenstellungen und Visionen, die ein gewisses Abstraktionsvermögen verlangen, andererseits geschafft werden.

2.2 Forschungsrelevante Fragestellungen

Auf dem Gebiet der Konstruktionsmethodik gibt es bereits seit längerem Ansätze, um das Vorgehen beim wissenschaftlichen Arbeiten zu formalisieren und dem Forscher eine effiziente Methodik als Werkzeug an die Hand zu geben. In [Bles02] wird beispielsweise das Formulieren von für die konkrete Aufgabenstellung relevanten Fragen vorgeschlagen, den so genannten „Research Questions“. Diese forschungsrelevante Fragestellungen gehen hervor aus der Beobachtung und Analyse existierender Probleme. Die durchgeführten Forschungsarbeiten sollen entsprechend eine Antwort auf diese Fragen liefern. Die im Rahmen dieser Arbeit formulierten Fragestellungen werden zum besseren Verständnis bereits an dieser Stelle genannt. Eine Herleitung mit entsprechender Zuordnung zur wissenschaftlichen Vorgehensweise innerhalb dieser Arbeit wird allerdings erst im Kapitel 4 Abschnitt 11 detailliert vollzogen, da die Fragestellungen ein Resultat der Potentialanalyse darstellen. Die Beantwortung der Fragen erfolgt dementsprechend im Anschluss an den Konzeptteil.

Folgende Fragestellungen sind im Rahmen der Arbeit zu untersuchen:

- ***Fragestellung 1:*** Welche Informationen müssen zu welchen Zeitpunkten an der betrachteten Schnittstelle zwischen Produkt- und Produktionsentwicklung miteinander ausgetauscht werden, und welche Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten müssen

diesen Informationen innerhalb des Gesamtprozesses zu Grunde gelegt werden, um die Gesamtprozesskette effizienter zu gestalten?

- ***Fragestellung 2:*** Wie können Informationen zwischen Teilprozessen der Produktentwicklung und der Produktionsentwicklung ausgetauscht werden, um einerseits eine effiziente Integration zu verwirklichen, andererseits aber so weit wie möglich voneinander entkoppelt zu sein, um innerhalb der Teilprozesse arbeitsfähig zu bleiben?

- ***Fragestellung 3:*** Wie müssen Informationsmodelle aussehen, die bei einem Austausch von Informationen an den Schnittstellen innerhalb der Prozesskette Rohbau den jeweiligen Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten gerecht werden, im Sinne des Gesamtprozesses aber dennoch eine Basis für eine durchgängige Integration liefern?

- ***Fragestellung 4:*** Wie kann man diese Datenmodelle so in die existierende Systemlandschaft einbetten, dass die heute eingesetzten Systeme und ihre Funktionen möglichst weiterhin verwendet werden können, ohne beliebig viele neue Schnittstellen zu schaffen, gleichzeitig aber die durchgängige Dokumentation und Verwendbarkeit der Informationen in allen Teilprozessen sichergestellt ist

2.3 Angewandte Forschungsmethodik

Die konkrete wissenschaftliche Vorgehensweise orientiert sich, analog zu dem im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Konzept der forschungsrelevanten Fragestellungen an dem von [Bles02] vorgeschlagenen Rahmenwerk für Forschungsaktivitäten aus dem Umfeld der Konstruktionsmethodik. Dieses in Abbildung 2-3 dargestellte Rahmenwerk ist auf die hier behandelte Aufgabenstellung problemlos anwendbar, da die Beschreibung ausreichend allgemein gehalten ist und nicht allein auf den Bereich Konstruktionsmethodik festgelegt ist.

Im Rahmen der vorgeschlagenen Methodik besteht der erste Schritt in der Definition von Kriterien, anhand derer die Forschungsarbeit bewertet werden kann, wobei die Meßbarkeit der Kriterien sehr wichtig ist. Die höchste Ebene stellen dabei die so genannten Erfolgskriterien dar, die typischerweise in den Begriffen Produktqualität, Herstellungskosten oder Durchlaufzeit manifestiert sind. Da in der vorliegenden Arbeit nicht nur die Produktentwicklung, sondern auch die Produktionsentwicklung Gegenstand der Betrachtung ist, sollte das erste Er-

folgskriterium als Qualität im allgemeinen verstanden werden, also in Produkten, aber auch in den relevanten Prozessen und vor allem in den ausgetauschten Informationen.

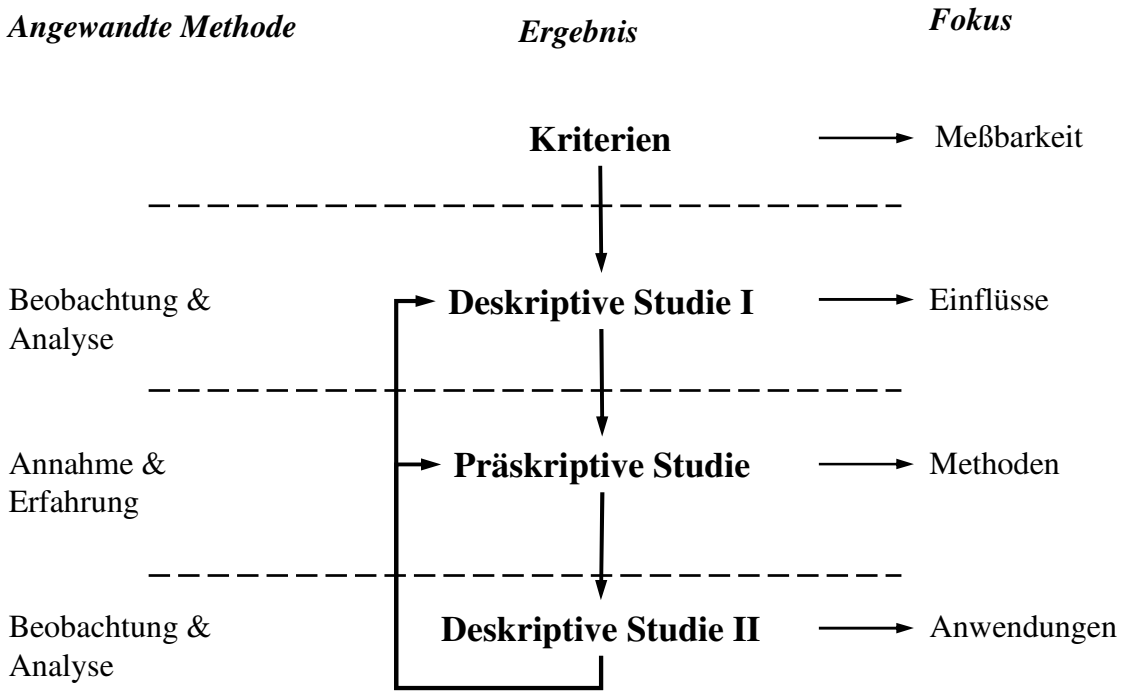


Abbildung 2-3: Vorgehensmodell für wissenschaftliche Arbeiten nach [Bles02]

Da es in der Realität oft schwer ist, einzelne Aspekte der Forschung direkt auf eines dieser drei Kriterien abzubilden, wird in [Bles02] vorgeschlagen, leichter messbare Kriterien von diesen Erfolgskriterien abzuleiten. Im Rahmen einer ersten deskriptiven Studie werden dann anschließend Faktoren ermittelt, die diese messbaren Kriterien beeinflussen und somit eine Basis für die weitere Forschungsarbeit liefern. Darauf aufbauend liefert die folgende präskriptive Studie dann Ansätze zur Verbesserung des Forschungsgegenstandes im Sinne einer Beseitigung zuvor beschriebener Defizite. Die dabei formulierten Konzepte und Methoden sollten in dieser Phase auch bewertet werden, in dem die zuvor definierten Einflussfaktoren hier weiterverfolgt und auf Funktionalität und Konsistenz hin geprüft werden. Innerhalb der zweiten deskriptiven Studie soll ermittelt werden, ob die Ergebnisse der vorangegangenen Phase auch problemlos in der Realität anwendbar sind, d.h. in der Regel erfolgt hier die Übertragung auf die Anwendungsebene und die Validierung anhand realer Szenarien durch eine prototypische Umsetzung des beschriebenen Konzepts. Die einzelnen Phasen können im Verlauf der Forschungsaktivität mehrfach iterativ durchlaufen werden, um die erarbeiteten Konzepte und Methoden sukzessiv zu optimieren und auf veränderte Randbedingungen reagieren zu können.

In realen Forschungsprojekten kann ein solches Rahmenwerk sicherlich nicht immer in vollem Umfang und vollständig akkurat umgesetzt werden, was hauptsächlich an zeitlichen Begrenzungen und der notwendigen Eingrenzung des betrachteten Umfangs liegt. Aber der Forschungstätigkeit wird damit zumindest eine gewisse Orientierung und Stringenz mitgegeben. Gerade die starke Betonung der Bewertbarkeit der Ergebnisse anhand der im Vorfeld definierten Erfolgskriterien hat im industriellen Umfeld sicherlich ihre Berechtigung.

Ausgangspunkt einer wissenschaftlichen Arbeit, die der Vorgehensweise auf der linken Seite des Modells aus Abbildung 2-2 folgt, ist die Analyse bestehender Prozesse, um für die Aufgabenstellung Anforderungen aus der Beobachtung der Realität ableiten zu können. In der Wissenschaft gibt es viele beschriebene Methoden, um solche Prozessanalysen durchzuführen. Wichtig ist dabei, dass ein Raster definiert wird, das der Prozessanalyse zu Grunde gelegt ist, um die Ergebnisse anhand zuvor kategorisierter Kriterien besser bewertbar und vergleichbarer zu machen. In [Sven03] wird das so genannte „Engineering Information Management (EIM)“ System definiert, das eine technische Sicht auf die Aktivitäten innerhalb eines Unternehmens beim Umgang mit ingenieursbezogenen Informationen darstellt. Es setzt sich aus den Bausteinen Prozess, Information, Informationssystem und Organisation zusammen, wie in Abbildung 2-4 dargestellt. Dabei wird postuliert, dass diese vier Sichten zwar unabhängig voneinander analysiert werden können, sich etwaige Änderungen und Optimierungskonzepte aber an das EIM als ganzes wenden müssen.

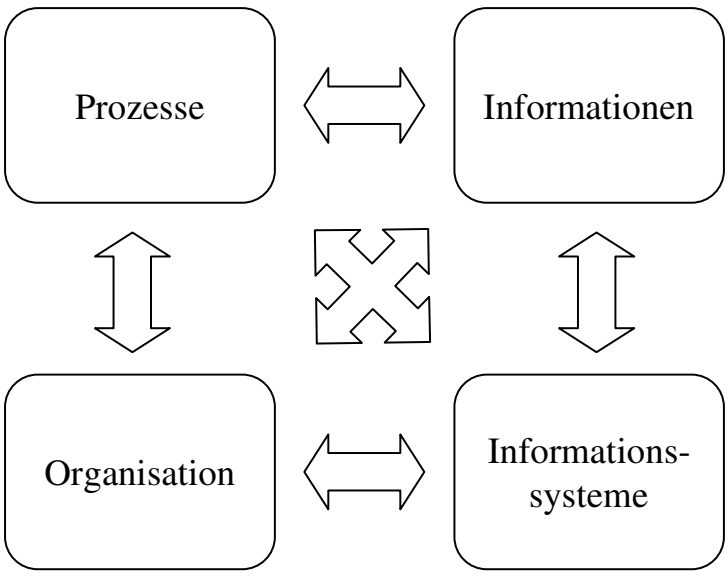


Abbildung 2-4: Das Engineering Information Management System nach [Sven03]

Sie stellen somit eine unteilbare Einheit dar, um existierende Prozesse innerhalb der Aktivitäten in Ingenieursdomänen zu beschreiben.

In der Arbeit von [Viel05] wird dieses Modell für die wissenschaftliche Beschreibung der Prozessanalyse erweitert und mit Ansätzen aus [ASNL04] kombiniert, da die Arbeit ebenfalls starke Bezüge zum Thema Datenmanagement aufweist. Als wesentliche Neuerung wird dabei eine fünfte Sicht eingeführt, nämlich die der „Methode“, worunter die formale Beschreibung der Aktivitäten innerhalb der Ingenieursdomänen verstanden wird. Diese dient auch als Grundlage für Informationsmodelle und die entsprechenden Systeme. Das erweiterteVorgehensmodell ist in Abbildung 2-5 dargestellt.

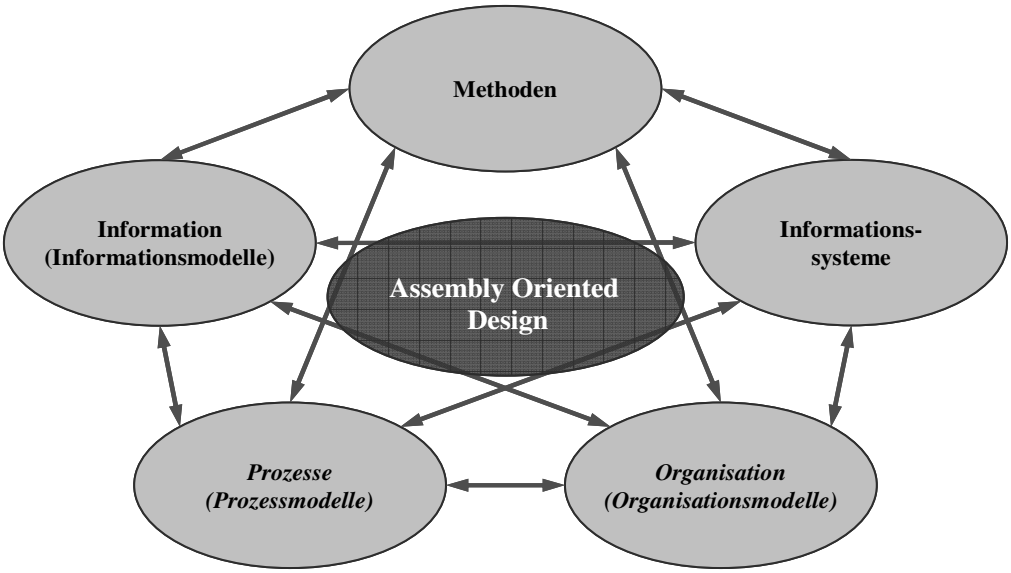


Abbildung 2-5: Das Prozessanalysemodell nach [Viel05]

Bei [Viel05] werden dabei hauptsächlich Entwicklungs- und Konstruktionsmethoden beschrieben und analysiert. Analog zu [Sven03] wird dieses Geflecht aber ebenfalls als unteilbare Einheit betrachtet, Prozessverbesserungen müssen auch hier alle Dimensionen dieses Spannungsfelds adressieren.

Dieses EIM soll im Rahmen der vorliegenden Arbeit ebenfalls als Grundlage für die Prozessanalyse dienen, allerdings in etwas veränderter und erweiterter Form. Während der Forschungsarbeiten hat es sich herausgestellt, dass die einzelnen Dimensionen nicht unbedingt als gleichberechtigt nebeneinander existieren, sondern eher aufeinander aufbauen und sich dabei wechselseitig beeinflussen. Die im Kontext dieser Arbeit verwendete Sichtweise ist in Abbildung 2-6 gezeigt.

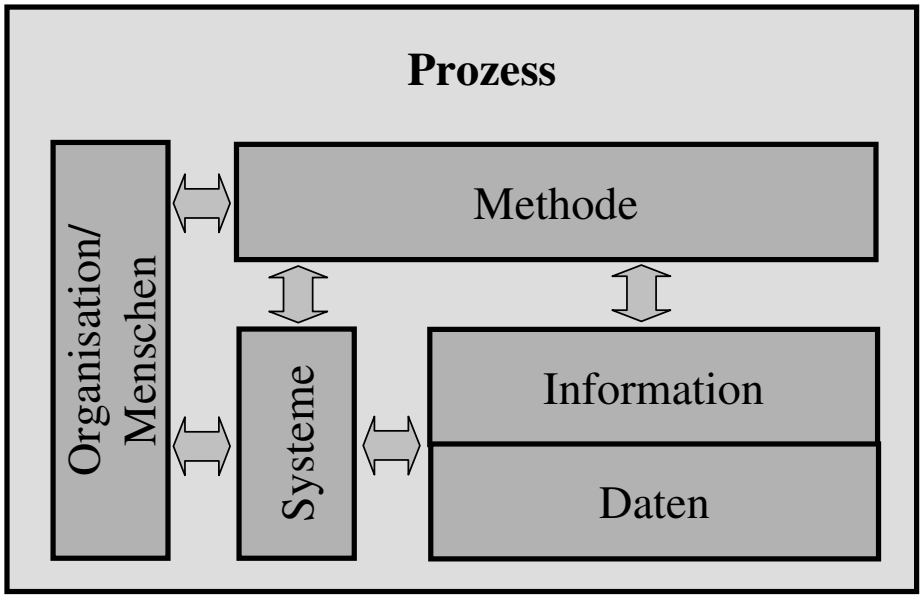


Abbildung 2-6: Rahmenwerk für die Prozessanalyse in der vorliegenden Arbeit

Im Unterschied zu [Sven03] und [Viel05] wird die Sicht „Information“ zunächst erweitert um eine eigene Sicht „Daten“. Dem liegt das Verständnis zugrunde, dass aus einfachen Datenbeständen erst durch Interpretation innerhalb eines bestimmten Kontexts eine Information entsteht, entsprechend der Darstellung im so genannten semiotischen Dreieck in

Abbildung 2-7. Daten per se sind dabei zunächst bedeutungslos, sie unterliegen lediglich einer bestimmten Syntax, z.B. Binärcode oder Ähnliches. Demgegenüber beinhaltet die Information eine Semantik, d.h. erst damit erhalten die Daten ihre kontextabhängige Bedeutung. Durch Anwendung der somit gewonnenen Information entsteht dann erst in einem weiteren Schritt das Wissen, das die pragmatische Interpretation der Information darstellt. Dieser Schritt ist, ebenso wie der vorausgehende, kontext- und damit auch anwenderabhängig. Für eine detaillierte Darstellung dieser Sichtweise sei hier auf [MüSc99] verwiesen.

Für das in der Prozessanalyse benutzte Rahmenwerk bedeutet dies, dass erst durch die Interaktion mit dem Menschen und dessen Intelligenz und Erfahrungsschatz die Information nutz-

bar und interpretierbar gemacht wird. Genauso ist Wissen erforderlich, um aus einem bestehenden Datenmodell eine Information „abzulesen“. Dazu bedient sich der Mensch gegebenenfalls eines Systems, das ihm bei der Aufbereitung der Informationen hilft und dabei eine Sicht auf die Daten herstellt. Dieses System sowie die organisatorische Einbettung des Anwenders im gesamten Prozessablauf, beschreiben somit den Kontext, in dem die Information und damit das Wissen interpretiert wird. Viel wichtiger wird diese Trennung aber für den Syntheseschritt, denn dabei kann aus der Forderung nach bestimmten Informationen ein bestimmtes Datenmodell abgeleitet bzw. angepasst werden. Es wird also deutlich, dass bestimmten Informationen ein spezifisches Datenmodell zu Grunde liegt, das gegebenenfalls analysiert werden kann oder, im umgekehrten Fall, spezifiziert werden muss.

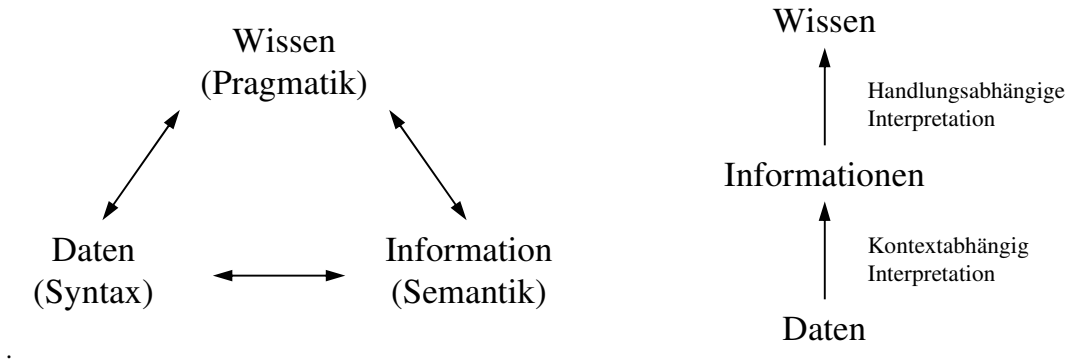


Abbildung 2-7: Das semiotische Dreieck und die Entwicklung von Wissen [MüSc99]

Die Sicht „Methode“ beeinflusst wiederum die Informationssicht, denn das Anwenden bestimmter Methoden setzt das Vorhandensein bestimmter Informationen voraus, woraus im nächsten Schritt eine Anpassung bestehender Datenmodelle bzw. eine Erweiterung des Datenbestands erfolgen kann. Unter Methoden wird hier allgemein die inhaltliche Beschreibung einzelner Aktivitäten für Prozesse oder Teilprozesse verstanden, oder, wie es bei [Scha01] heißt: „Eine Methode ist eine geordnete Sammlung von Regeln, die ein planmäßiges Erreichen eines bzw. mehrerer Ziele eines Prozesses erlaubt.“ Innerhalb einer Prozessbeschreibung stellt die Methodensicht eines der zentralen Elemente dar, da in ihr sowohl Ziel, Vorgehensweise als auch Ein- und Ausgangsgrößen des Prozesses formuliert sind.

Von der „Methode“ ausgehend besteht eine nächste Relation zur „Systemsicht“. Auch hier kann es sein, dass bestimmte Methoden bestimmte Systeme bedingen und umgekehrt. Der Begriff „System“ versteht sich dabei als jedwede rechnergestützte Applikation, die den Menschen bei der Erfüllung seiner Tätigkeiten während einer bestimmten Aktivität unterstützt. Hier seien in erster Linie sämtliche Arten von so genannten CA-Werkzeugen genannt, bei-

spielsweise CAD-Systeme oder Systeme zur digitalen Produktionsplanung, aber auch Datenverwaltungssysteme wie PDM. Den einzelnen Systemen liegen dabei wiederum bestimmte Methoden oder Teile davon zu Grunde. Während der Nutzung des Systems werden Daten herangezogen und können innerhalb des Systems durch den Menschen zu Informationen interpretiert werden. Zwischen System und Daten besteht ein enger Zusammenhang, da die Datenmodelle auf die Systeme abgestimmt sein müssen, um von diesen verstanden und verarbeitet werden zu können. Dies wird speziell dann wichtig, wenn statt einem einzelnen mehrere Systeme innerhalb einer Aktivität miteinander kooperieren müssen, da automatisch die Anforderungen an das Datenmanagement steigen.

Gleichzeitig beeinflusst die Sicht „Organisation“ und die darin eingebetteten Menschen die Sicht „System“, da bestimmte Organisationseinheiten ggf. bestimmte Systeme bedingen. Dies kann man beispielhaft an der Einführung eines neuen Teilprozesses erläutern, bei dem es um die Umstellung der Arbeitsweise auf die Anwendung eines 3D-Visualisierungswerkzeugs geht. Einen solchen Prozess kann man sicherlich eher in der Entwicklung als in der Produktionsplanung etablieren, da die Bauteilentwickler ohnehin über eine umfangreiche Erfahrung mit 3D-CAD-Systemen verfügen, während die Produktionsplanung hauptsächlich alphanumerisch arbeitet.

Der Faktor Mensch ist im Modell in Abbildung 2-6 in der Sicht „Organisation“ enthalten, da die Menschen innerhalb der Aktivitäten in organisatorische Strukturen eingebettet sind und nicht vollkommen autark agieren. Dies soll an einem einfachen Beispiel verdeutlicht werden: Die Information „Person A erledigt eine Aktivität XY“ allein nutzt für das Verständnis eines Prozesses noch nichts. Erst wenn ich weiß, dass Person A zur Abteilung Z gehört und ich den Auftrag und die Ziele von Abteilung Z kenne, kann ich den Prozessablauf verstehen. Dennoch soll das die Rolle des Faktors Mensch in keiner Weise herabsetzen. Gerade während der prototypischen Umsetzung von Teilen des in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Konzepts hat sich immer wieder gezeigt, wie wichtig die frühzeitige Einbeziehung der beteiligten Fachbereiche und ihrer Mitarbeiter ist. Vor allem wenn man die Größe bestimmter Unternehmen und damit die Anzahl der an einzelnen Prozessen beteiligten Personen in Betracht zieht, wird der Faktor „Anwenderakzeptanz“ ein wesentliches Erfolgskriterium bei der Umsetzung bzw. Verbesserung eines Konzepts, denn letzten Endes entscheiden die Anwender über Erfolg oder Misserfolg. An dieser Stelle sei auf [Zink07] oder [EiKF08] verwiesen, bei denen so genannte phasenspezifische Mitarbeiterbeteiligungskonzepte vorgestellt werden. Diese setzen auf die

Einbeziehung der Mitarbeiter aus den analysierten Fachbereichen in verschiedenen Phasen der Prozessgestaltung und Optimierung, um von Beginn an die Akzeptanz zu steigern.

Die Organisation selbst ist im klassischen Sinne wiederum unterteilt in Ablauf- und Aufbauorganisation. Die Aufbauorganisation bezieht sich auf die Einordnung bzw. Hierarchie einzelner Fachbereiche oder Gruppen innerhalb des gesamten Unternehmens. In diesem Kontext sind beispielsweise Fragestellungen nach Rechten und Rollen interessant, mit denen Datenzugriffe geregelt werden können, oder die für Freigaben, Änderungsaufträge oder Ähnliches relevant sind. Gleichzeitig bedingt die interne Struktur einzelner Organisationseinheiten auch die Anwendbarkeit bestimmter Methoden. Hat man eine Abteilung, die aus vielen gut ausgebildeten Spezialisten besteht, so kann man sicherlich komplexere Methoden einführen als in einer Abteilung mit angelernten Facharbeitern ohne entsprechendes Expertenwissen. Unabhängig vom Ausbildungsstand einer Organisationseinheit kann aber auch das in dieser Einheit vorhandene Durchschnittsalter eine wesentliche Rolle spielen, das sich sowohl auf die Methodensicht als auch auf die Systemsicht unmittelbar auswirkt. Bei einem älteren Mitarbeiter ist es sicherlich schwieriger, ihn von den Vorteilen einer neuen und möglicherweise rechnerbasierten Arbeitsweise zu überzeugen, wenn er seine Arbeit in den vergangenen Jahren mit Papier und Bleistift erledigt hat. Gerade vor dem Hintergrund des verstärkt einsetzenden Phänomens der alternden Belegschaften stellt dies eine immer größer werdende Herausforderung dar. Eine detaillierte Untersuchung findet sich hierzu in [GrMR06]. Die Ablauforganisation als zweite Beschreibungsweise der Organisation innerhalb eines Prozesses definiert die Abläufe zwischen einzelnen Organisationseinheiten während einer bestimmten Aktivität. Diese kann z.B. für die Beschreibung einzelner Datenflüsse interessant sein, wenn eine Prozesskette exemplarisch untersucht wird. Auch hier sei erwähnt, dass bei der Einführung bzw. Verbesserung von Konzepten die Organisationsstruktur einerseits eine ganz wichtige Stellschraube darstellt, andererseits aber auch sehr schnell zu einer Barriere werden kann. Vor dem Kontext der Größe eines Unternehmens kann es ein schier unüberwindbares Hindernis darstellen, bestehende Organisationsstrukturen zu verändern oder auch nur geringfügig anzupassen. Auch hier wird wieder der Zusammenhang zwischen dem Faktor Mensch und der Organisationssicht deutlich, denn die beteiligten Mitarbeiter verkörpern letzten Endes auch die Organisationseinheit, in die sie eingebettet sind, und sie vertreten somit deren Ziele und Interessen, unabhängig von einem möglicherweise übergeordneten Globalziel. Innerhalb der vorliegenden Arbeit ergaben sich Schwierigkeiten und Widerstände einzelner Abteilungen beispielsweise immer dann, wenn Verbesserungen der gesamten Prozesskette auf Grundlage von Mehrauf-

wänden in einzelnen Teilbereichen erkauft wurden. Hier stand der lokale Arbeitsaufwand oft im Vordergrund, während das übergeordnete, globale Ziel des Prozesses zu weit weg erschien bzw. ohnehin nicht in der Verantwortlichkeit und damit auch nicht im Zentrum des Interesses der betroffenen Bereiche lag.

Der Prozess stellt schließlich die Klammer um diese fünf Sichten dar. Unter „Prozess“ wird dabei „eine strukturierte und definierte Abfolge von Aktivitäten verstanden, mit dem Ziel, einen bestimmten Ertrag für einen bestimmten Kunden oder Markt zu erzielen.“ [Dave93]. Dafür sind wiederum bestimmte Eingangsgrößen als Vorraussetzung nötig, die im Rahmen des Prozesses in den Ausgangszustand transformiert werden. Der Markt oder Kunde kann dabei sowohl innerhalb als auch außerhalb des betrachteten Unternehmens liegen. Die durchlaufenen Aktivitäten können innerhalb einer bestimmten Domäne liegen, in der Regel folgen diese aber gemäß der Ablauforganisation verschiedenen Domänen, worunter eine sogenannten Prozesskette verstanden wird. Schnittstellen zu anderen Prozessen können dabei jeweils innerhalb der einzelnen Bausteine geschaffen werden, also beispielsweise über gemeinsame Systeme, über eine durchgängige Methodik oder eine nahtlose Informationsweitergabe.

Prozesse können kaskadierend aufgebaut sein. Bei ihrer Analyse kann es hilfreich sein, unterschiedliche Granularitätsebenen anzuwenden, d.h. zum Beispiel mit einer groben Beschreibung eines Gesamtprozesses zu beginnen und dann nach und nach einzelne Teilschritte eingehender zu analysieren. Die formale Beschreibung von Prozessen kann dabei mit standardisierten Hilfsmitteln erfolgen. Beispiele für solche Beschreibungsmethoden wären etwa die ARIS-Modelle (Architektur integrierter Informationssysteme) nach [Sche97], Prozessbeschreibungen in SADT (Structured Analysis and Design Technique) von [Ross77] oder IDEF0 (Integration Definition Function Modelling) nach [Nist93]. Die einzelnen Methoden unterscheiden sich in ihren Details und ihrem Aussehen durch die jeweils erzeugten Modelle, allen gleich ist aber die Zielsetzung, wie bei [Dave93] formuliert:

- **Schaffung eines gemeinsamen Verständnisses**
  Prozessmodelle stellen ein wesentliches Lernwerkzeug dar. Um einen verwertbaren Eindruck davon zu bekommen, wie ein bestehender Prozess verbessert werden kann, ist es wichtig, dass alle Beteiligten den existierenden Zustand des Prozesses genau kennen und verstehen.

- **Verständnis für die Zielsetzung**
  In vielen komplexen Prozessen ist es sehr schwierig, die Größenordung und den Aufwand für notwendige Änderungen an bestehenden Prozessen oder bei der Einführung neuer Prozesse abzuschätzen, wenn man den Ist-Zustand nicht genau kennt.

- **Vermeidung des Wiederholens von Fehlern**
  Das Erkennen von Fehlern und Schwierigkeiten in bestehenden Prozessen ist wichtig, um diese nicht bei der Einführung neuer Prozesse zu wiederholen.

- **Mehrwert einer Verbesserung**
  Das Verständnis des Ist-Prozesses erlaubt eine bessere Einschätzung des Mehrwerts der Prozessverbesserungen. Wenn es nicht gelingt, den Mehrwert einer Verbesserung zu beweisen, obwohl dieser für die Prozessgestalter offensichtlich erscheint, kann es sehr schwierig werden, diejenigen im Projekt zu motivieren, die kein so tiefes Verständnis des Ist-Prozesses aufweisen.

Auf die Vor- und Nachteile der einzelnen Beschreibungsmethoden sei an dieser Stelle nicht weiter eingegangen, da jede der Methoden Stärken und Schwächen aufweist. Die Verbreitungsgrade sind ähnlich hoch. Für die vorliegende Arbeit wurden die Methoden nach [Sche97] verwendet, da diese in den analysierten Geschäftsbereichen bereits teilweise bekannt waren und so ein gewisses Grundverständnis für die Modelle existierte, analog zu den bereits genannten Forderungen nach [Dave93]. Außerdem lässt sich das in ARIS enthaltene Sichtenkonzept zumindest teilweise sehr gut auf das zuvor beschriebene Rahmenwerk für die Prozessanalyse übertragen. Abbildung 2-8 zeigt exemplarisch, wie ein solches ARIS Modell aussieht. Eine Funktion wird von einer bestimmten Organisationseinheit unter Verwendung eines bestimmten Systems durchgeführt, wobei Informationen als Eingangsgröße vorhanden sein müssen und neue Informationen als Ausgangsgröße erzeugt werden.

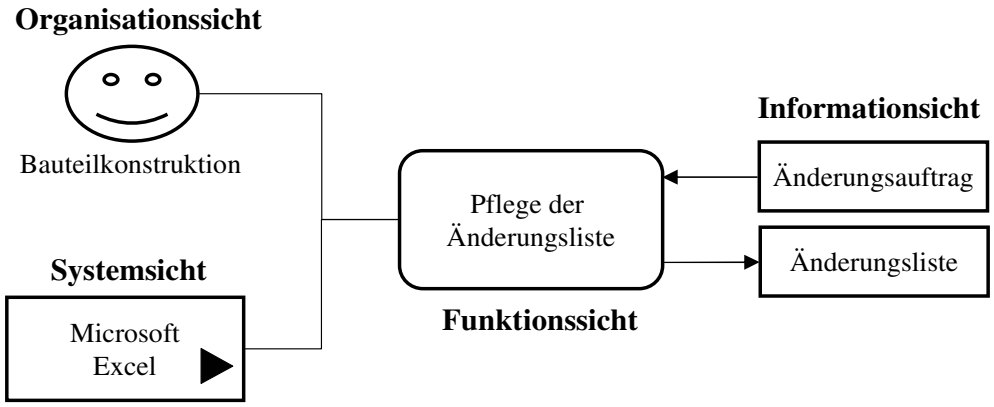


Abbildung 2-8: ARIS-Sichtenmodell nach [Sche97]

Diese Modelle bestehen aus vier unterschiedlichen Sichten: die Systemsicht, die Organisationssicht, die Funktionssicht sowie die Informationssicht. Die Beschreibung der angewandten Methoden kann im Rahmen der Prozessanalyse innerhalb der Funktionssicht erfolgen. Die Betrachtung der noch fehlenden Sicht „Daten“ aus dem Modell in Abbildung 2-6 erfolgt in ARIS in einer anderen Art von Modell, in so genannten „Entity-Relationship-Modellen“ (ERM), siehe dazu auch Abbildung 2-9. Diese Art der Modellbildung wurde erstmals von [Chen76] vorgestellt und gilt als eine der am weitesten verbreiteten Entwurfsmethode für Fachkonzepte innerhalb der Datensicht. Diese ERMs dienen als formalisierte Spezifikation, um Datenmodelle im Rechner zu implementieren. Sie bestehen aus Entitäten (engl. „entity“), die Objekte beschreiben, sowie den zwischen diesen Objekten bestehenden Beziehungen (engl. „relations“). Die einzelnen Objekte enthalten jeweils bestimmte Sätze an Attributen, die teilweise auch über Vater-Kind-Beziehungen vererbt werden können. Im gezeigten Beispiel sieht man ein Objekt vom Typ „Einzelteil“, das innerhalb eines Objekts vom Typ „Baugruppe“ verbaut wird. Das Objekt „Einzelteil“ kann dabei verschiedene Ausprägungen beinhalten, die jeweils auch eigene Attribute besitzen können. Dabei ist es möglich, dass ein Grundbestand an Attributen vom Vater-Objekt an die Ausprägungen vererbt wird.

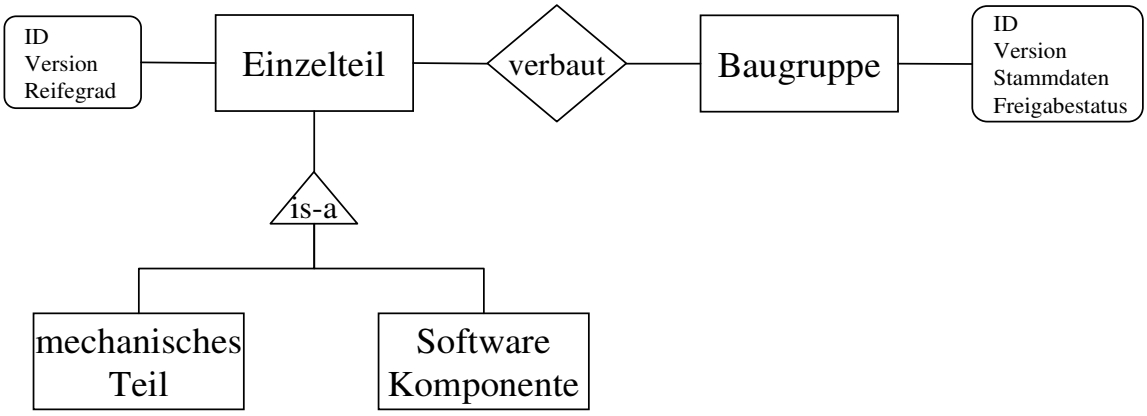


Abbildung 2-9: Entity-Relationship-Modell nach [Chen76]

Mit solchen Modellen können die innerhalb eines Prozesses verwendeten Informationsobjekte mit ihren Zusammenhängen beschrieben werden. Gemäß der bei [Sche97] beschriebenen Methodik wird dabei ein Fachkonzept in ein DV-Konzept übersetzt, um so die Implementierung eines Konzepts in einem bestimmten System zu ermöglichen.

Zum generellen Vorgehen innerhalb des Modells aus Abbildung 2-6 sei abschließend noch gesagt, dass hier prinzipiell verschiedene Vorgehensweisen denkbar sind, von denen die zwei wichtigsten in Abbildung 2-10 dargestellt sind.

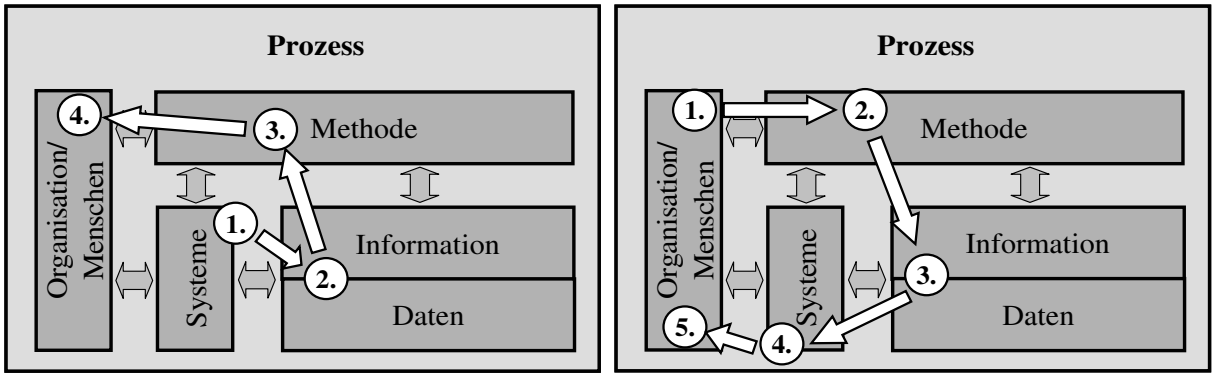


Abbildung 2-10: Alternative Vorgehensweisen bei der Konzeptentwicklung

Eine erste Möglichkeit wäre, auf der linken Bildseite in Abbildung 2-10 dargestellt, eine Systemfestlegung zu treffen, um einen bestimmten Prozess zu unterstützen. Dies bedingt dann wiederum die Einführung und Anwendung der dem ausgewählten System zu Grunde liegenden Daten- und Informationsmodelle. Erst wenn feststeht, welche Informationen und Daten vorhanden sind, kann eine entsprechende Methode entwickelt werden, mit der anschließend die Anwender konfrontiert werden. Gegebenenfalls. muss auch die Organisationsstruktur entsprechend der neuen oder veränderten Methodik angepasst werden. Schon auf den ersten

Blick wirkt dieses Vorgehen nicht optimal, da die Einbeziehung der Anwender erst ganz am Ende erfolgt, was wiederum fatale Konsequenzen für die Akzeptanz einer Methode und damit letzten Endes auch der Prozessqualität haben kann. Gleichzeitig kann ein existierendes System nie für alle möglichen Anwendungsfälle gleichzeitig optimiert sein. Ein CAD Werkzeug für die Karosserieentwicklung hat sicherlich seine Stärken in der Funktion „Freiformflächenerstellung“, was für den Bereich Antriebsstrang wiederum nebensächlich ist, da es hier mehr auf eine effizient funktionierende Feature-Modellierung ankommt. Doch trotz dieser Nachteile handelt es sich bei der beschriebenen Vorgehensweise um eine in der Industrie leider recht oft verbreitete Methode. Einerseits findet sie ihre Rechtfertigung in der Größe der Unternehmen, weil die Standardisierung der Systemwelt oft eine Vereinfachung der Kommunikationswege und zahlreiche Synergieeffekte (Support, Lizenzkosten, …) verspricht. Umgekehrt argumentiert, würde ein beliebig hoher Grad an Flexibilität zu einem unkontrollierten Wildwuchs der Systemlandschaft eines Unternehmens führen, was teilweise chaotische Prozesse nach sich ziehen würde. Dies ist heutzutage oft genug als Ergebnis einer jahrelangen Entwicklung auch vielerorts anzutreffen, vergleiche hierzu auch [BDVH03]. Andererseits wird aber in den letzten Jahren ein immer stärkerer Druck seitens der Systemanbieter spürbar, ihre Kunden an sich und ihre Produkte zu binden. Im Zuge dieser Entwicklung erlebt man bei einzelnen Systemherstellern daher automatisch eine gewisse Abschottung gegenüber Fremdsystemen, die nicht leicht zu umgehen ist. Gegebenenfalls führt dies dazu, dass die Anschaffung eines Systems in einem Teilbereich einer Prozesskette automatisch die Anwendung eines weiteren Systems des gleichen Herstellers in einem späteren Prozessschritt nach sich zieht, um überhaupt eine gewisse Durchgängigkeit bzw. Wiederverwendbarkeit von Informationen sicherzustellen. Die schon seit den frühen neunziger Jahren oft geforderte Standardisierung von Datenformaten unterschiedlicher Systeme konnte sich hier leider nicht durchsetzen.

Die weitaus bessere Vorgehensweise ist auf der rechten Seite von Abbildung 2-10 dargestellt. Hier wird durch Spezialisten zunächst eine für den Prozess geeignete Methode definiert, idealerweise bereits unter Einbeziehung der späteren Anwender und gegebenenfalls auch unter Berücksichtigung existierender Organisationsstrukturen. Dies hängt stark davon ab, wie flexibel das Unternehmen und seine Prozesse eingestellt sind, d.h. wie stark Veränderungen gewollt und umsetzbar sind, bzw. auch wie visionär und optimierungswillig die Prozessteilnehmer aus einzelnen Teilbereichen sind. Anschließend werden die für die Methode benötigten Informationen definiert, woran sich dann entsprechend die Systemauswahl anschließt. Bei diesem Schritt sollte anhand zuvor spezifizierter Referenzszenarien eine Evaluation verschie-

dener Systemanbieter stattfinden, um das für die beschriebene Methode am besten geeignete System zu finden. An dieser Stelle tritt natürlich das gleiche Problem wie zuvor im ersten Fall beschrieben auf, nämlich die mangelnde Offenheit verschiedener Anbieter und ihrer Systeme untereinander. Dies wird vor allem dann spürbar, wenn ein Teilprozess zu einem übergeordneten Gesamtprozess Daten liefern bzw. von diesem erhalten und dabei mit den dort existierenden Systemen kommunizieren soll. Zwar gibt es Bestrebungen zur Vereinheitlichung von Datenmodellen wie beispielsweise STEP [ISO10303-519] dabei müssen aber allzu oft Verluste beim Informationsgehalt der verwendeten Datenmodelle hingenommen werden. Bei diesem Schritt ist also eine sehr saubere Analyse der Datenflüsse notwendig, um genau zu wissen, welcher Teil der vorhandenen Informationen zwischen den beteiligten Systemen ausgetauscht bzw. vom jeweils anderen System verstanden werden muss. Es besteht dabei die Gefahr, Schnittstellen beliebig komplex und dabei zu schlecht performant auszulegen. Beispielsweise könnte es ausreichen, aus Sicht der Bauteilentwicklung die Produktdaten in einem tesselierten Visualisierungsformat an die nachgelagerte Produktionsplanung zu liefern, da diese die Geometrie des Bauteils ohnehin nicht verändern dürfen. Dasselbe gilt für Versionierungsalgorithmen. Es reicht möglicherweise, die freigegebenen Bauteilstände zu verschicken und diese im Partnersystem zu verarbeiten, ohne die komplette Versionierungslogik des Ausgangssystems nachzubilden. Im weiteren Verlauf der Vorgehensweise nach Abbildung 2-10 folgt dann als vierter Schritt die Etablierung der neuen oder veränderten Methode in den jeweiligen Anwendungsbereichen, ggf. mit einer Anpassung der Organisationsstruktur. Wurden die Anwender zuvor in der ersten Phase bereits mit einbezogen, sollte die Akzeptanz bei der Umsetzung des neuen Konzepts eher erreicht werden als bei der weiter oben beschriebenen, ersten Vorgehensweise.

Auch im Rahmen dieser Forschungsarbeit hat sich gezeigt, dass die Realität irgendwo zwischen diesen beiden Extremfällen liegt. Allerdings wurde darauf geachtet, sich durch existierende Randbedingungen und Systeme nicht zu stark einschränken zu lassen, bzw. die Konzepttauglichkeit auch auf derzeit nicht im untersuchten Unternehmen etablierten Systemen zu beweisen.

2.4 Abgrenzung der Arbeit

Obwohl diese Arbeit innerhalb einer Forschungsabteilung für Informationstechnologie eines Großkonzerns entstanden ist, so ist sie dennoch der Disziplin des allgemeinen Maschinenbaus

zuzuordnen. Produktentwicklung und Produktionsplanung sind zwei Kerndisziplinen innerhalb der Ingenieurwissenschaften, Kenntnisse und Wissen über solche Prozesse sind für das Anfertigen einer solchen Arbeit unerlässlich. Bei [DuAn95] wurde ein Vorgehensmodell für Forschungsarbeiten zur Verbesserung der Rechnerunterstützung in Konstruktionsprozessen beschrieben, dessen Grundverständnis sich auch mit dem der vorliegenden Arbeit deckt. Dieses Vorgehensmodell ist, von der beobachteten Realität ausgehend, in drei unterschiedliche Abstraktionsgrade unterteilt, wie in Abbildung 2-11 dargestellt.

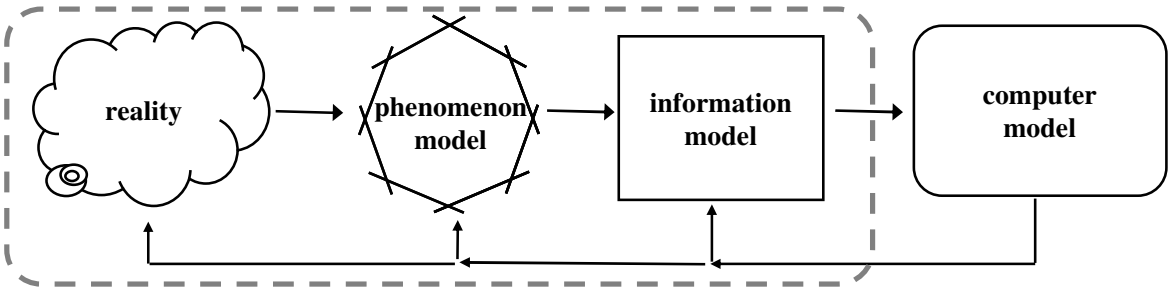


Abbildung 2-11: Einordnung der vorliegenden Arbeit in das Modell von Duffy/Andreasen [DuAn95]

Aus der Beobachtung und Interaktion mit der Realität kann das Modell eines bestimmten Phänomens abgeleitet werden, zunächst als einfache Beschreibung von Begriffen und deren Beziehungen untereinander. Daraus wird im nächsten Schritt ein Informationsmodell abgeleitet, das in formalisierter Art und Weise das Wesen des beobachteten Phänomens sowie seine inhärenten Zusammenhänge klarer offenlegt und beschreibt. Solche Informationsmodelle sind relativ einfach gehalten, da sie das Ziel und den Sinn haben, auch für Nicht-Spezialisten relativ leicht nachvollziehbar zu sein. Als Entwurfsmethode für diese Informationsmodelle bieten sich beispielsweise die zuvor beschriebenen Entity-Relationship-Modelle an. Aus diesen wird dann im letzten Schritt ein Computermodell entwickelt, das wesentlich komplexer und entsprechend schwerer zu verstehen ist. Dieses kann allerdings von einem Software-Entwickler direkt genutzt werden, um daraus ein Computerwerkzeug in einem System zu implementieren. Eine Bewertung von beschriebenen Modellen kann jeweils am vorangegangenen Modell oder anhand der Realität vollzogen werden.

Die eingezeichnete Markierung zeigt innerhalb dieses Vorgehensmodells die Abgrenzung dieser Forschungsarbeit. D.h. konkret reicht die Entwicklung und Beschreibung des vorgestellten Konzepts bis zur formalen Beschreibung der Informationsmodelle. Die Implementierung selbst wurde speziellen Fachbereichen überlassen, die über Kenntnisse in der Programmierung verfügen, die über das normale Ingenieurswissen weit hinausgehen. Im Rahmen der

prototypischen Umsetzung waren dies die hausinterne Entwicklungsabteilung für das verwendete PDM-System, in anderen Fällen teilweise auch Software-Spezialisten des Forschungszentrums. Zum Inhalt der Forschungsarbeit gehörten dabei allerdings wiederum die Überwachung der Implementierung sowie die anschließend notwendigen Praxistests, um die Einhaltung der zuvor spezifizierten Funktionalität zu gewährleisten.

3 Der Produktentstehungsprozess in der Automobilindustrie

Im folgenden Kapitel wird der Produktentstehungsprozess innerhalb der Automobilindustrie beschrieben, um ein besseres Verständnis für das aus der Analyse von Teilprozessen aus diesem Gesamtkontext entstandene Konzept zu schaffen. Dabei wird zunächst eine Definition sowie eine inhaltliche Abgrenzung für den Begriff „Produktentstehungsprozess“ formuliert, da sich im Laufe der Arbeit gezeigt hat, dass es hier in der wissenschaftlichen und industriellen Welt durchaus unterschiedliche und teilweise auch gegensätzliche Sichtweisen gibt. Anschließend werden die Teilgebiete des Produktentstehungsprozesses im Kontext der Automobilindustrie und hier speziell des Karosserierohbaus beschrieben. Danach erfolgt eine Beschreibung der sich gegenwärtig stark verändernden Randbedingungen des Produktentstehungsprozesses, da sich das in Kapitel 6 entwickelte Konzept auch an diesen messen lassen muss. Zum Abschluss erfolgt die eigentliche Prozessanalyse anhand einer exemplarischen Prozesskette aus dem Karosserierohbau, die auf die Anforderungen bzw. generellen und grundlegenden Probleme beim Informationsmanagement innerhalb der zuvor beschriebenen Prozesse eingeht und somit die konkrete Aufgabenstellung dieser Arbeit herleitet.

3.1 Begriffsverständnis Produktentstehung

Das Hauptziel eines produzierenden Unternehmens besteht darin, innerhalb eines Marktes Produkte erfolgreich, d.h. mit Gewinn, zu verkaufen. Das Produkt selbst durchläuft innerhalb des Unternehmens verschiedene Phasen, die, insgesamt betrachtet, als Produktlebenszyklus bezeichnet werden. Ein typischer Lebenszyklus für ein Produkt, wie er auch speziell in der Automobilindustrie Gültigkeit hat, ist in Abbildung 3-1 exemplarisch dargestellt.

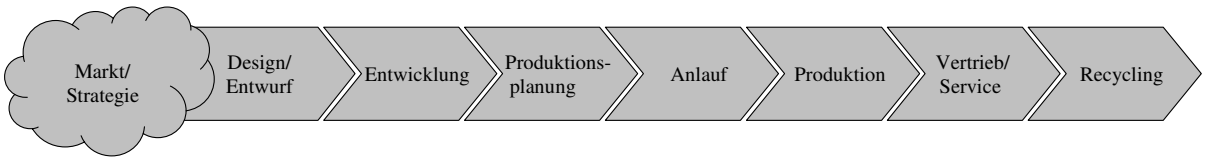


Abbildung 3-1: Der Lebenszyklus eines Produkts

Zu Beginn steht normalerweise eine Idee bzw. eine strategische Entscheidung des Unternehmens, ein Produkt in einem bestimmten Marktsegment zu platzieren. Anschließend werden

die klassischen Phasen des Designs bzw. des Produktentwurfs, der Entwicklung sowie der meist mit etwas zeitlichem Versatz zur Entwicklung startenden Produktionsplanung durchlaufen. Mit den späten Phasen der Produktionsplanung erfolgt die Anlaufphase, bei der das herzustellende Produkt innerhalb seiner Produktionsanlage sukzessive zur Serienreife gebracht wird, was in der Automobilindustrie im sogenannten „Job Nr.1“ mündet, d.h. dem ersten, im Rahmen der Serienproduktion gefertigten Produkt. Der eigentlichen Produktion schließt sich die Phase des Produktbetriebes an, die speziell in der Automobilindustrie durch den Verkauf von Serviceleistungen wie Pflege und Wartung oder durch das Ersatzteilgeschäft einen nicht zu unterschätzenden Beitrag der mit dem Produkt erwirtschafteten Gewinne darstellt. Letzen Endes spielt in den letzten Jahren auch die letzte Phase des Lebenszyklus eines Produktes eine immer stärkere Rolle, wobei hier hauptsächlich ökologische Belange wie das Recycling betrachtet werden. Bei einem Fahrzeug spricht man in diesem Zusammenhang auch vom so genannten „End-of-Life-Vehicle“ (ELV), das bereits während der Produktentwicklung berücksichtigt wird.

Im Folgenden soll nun verdeutlicht werden, welche grundlegenden Phasen dieses Produktlebenszyklus innerhalb der vorliegenden Arbeit von Bedeutung sind, und welches Verständnis diesen Phasen zu Grunde liegt. Der Fokus liegt dabei auf der ersten Hälfte des Produktlebenszyklus, der Produktentstehung. Innerhalb von Wissenschaft und Industrie existiert kein einheitliches Verständnis des Begriffs „Produktentstehungsprozess“. Dabei werden oft auch die Begriffe „Produktentwicklungsprozess“ und „Produktentstehungsprozess“ synonym benutzt, wobei die dem jeweiligen Verständnis zugrunde gelegte Abgrenzung innerhalb der Phasen des Produktlebenszyklus durchaus unterschiedlich sein kann.

Im Rahmen des BMBF Forschungsprojekts IVIP ist der Begriff „Produktentstehungsprozess“ beispielsweise definiert als Phase „von der initialen Produktplanung bis hin zum Fertigungsanlauf“ [KrTA02]. Bei [Abra01] wiederum wird zwischen der frühen Phase der Produktplanung und der sich daran anschließenden Produktentwicklung unterschieden, der sich die eigentliche Produktherstellung anschließt. Anderl spricht bei Produktentwicklung von der „ersten Idee bis hin zum fertigen Produkt“ [vgl. etwa AnPf03]. Bei Eigner taucht der Begriff der Produktdefinition oder des „Engineering-Prozesses“ auf, dessen Ergebnis das „intellektuelle Produkt mit allen dazugehörigen Dokumenten“ ist, inklusive der Beschreibung der „zugehörigen Betriebsmittel (Werkzeuge, Maschinen, Anlagen,…)“ [EiSt01]. Demgegenüber steht dabei der Begriff Produkterstellung, dessen Resultat logischerweise das physische Produkt ist.

Eine sehr detaillierte Definition findet sich auch bei [Scha01], wo Produktentwicklung die Klammer darstellt um die Prozesse „Produktplanung/Produktmarketing, Konstruktion zur vollständigen Produktbeschreibung und Produktionsvorbereitung zur Fertigung des Produkts“, wobei sich die Phasen Produktion und Produktbetreuung anschließen. Die Einbeziehung der kaufmännischen bzw. logistischen Aspekte wird bei [Sche97] vollzogen, wo die Kernprozesse eines produzierenden Unternehmens in Form des Y-CIM-Modells beschrieben sind, siehe Abbildung 3-2. Die Abkürzung CIM steht dabei für den Begriff „Computer Integrated Manufacturing“, also für einen rechnerbasierten Produktherstellungsprozess. Auf Seiten der Leistungsgestaltung werden in diesem Modell die beiden Hauptphasen der Produktplanung sowie der Produktrealisierung unterschieden. Diese stellt die Prozessphase dar, in der die beiden Kernprozesse aufeinander treffen und die reale Produktion beginnt.

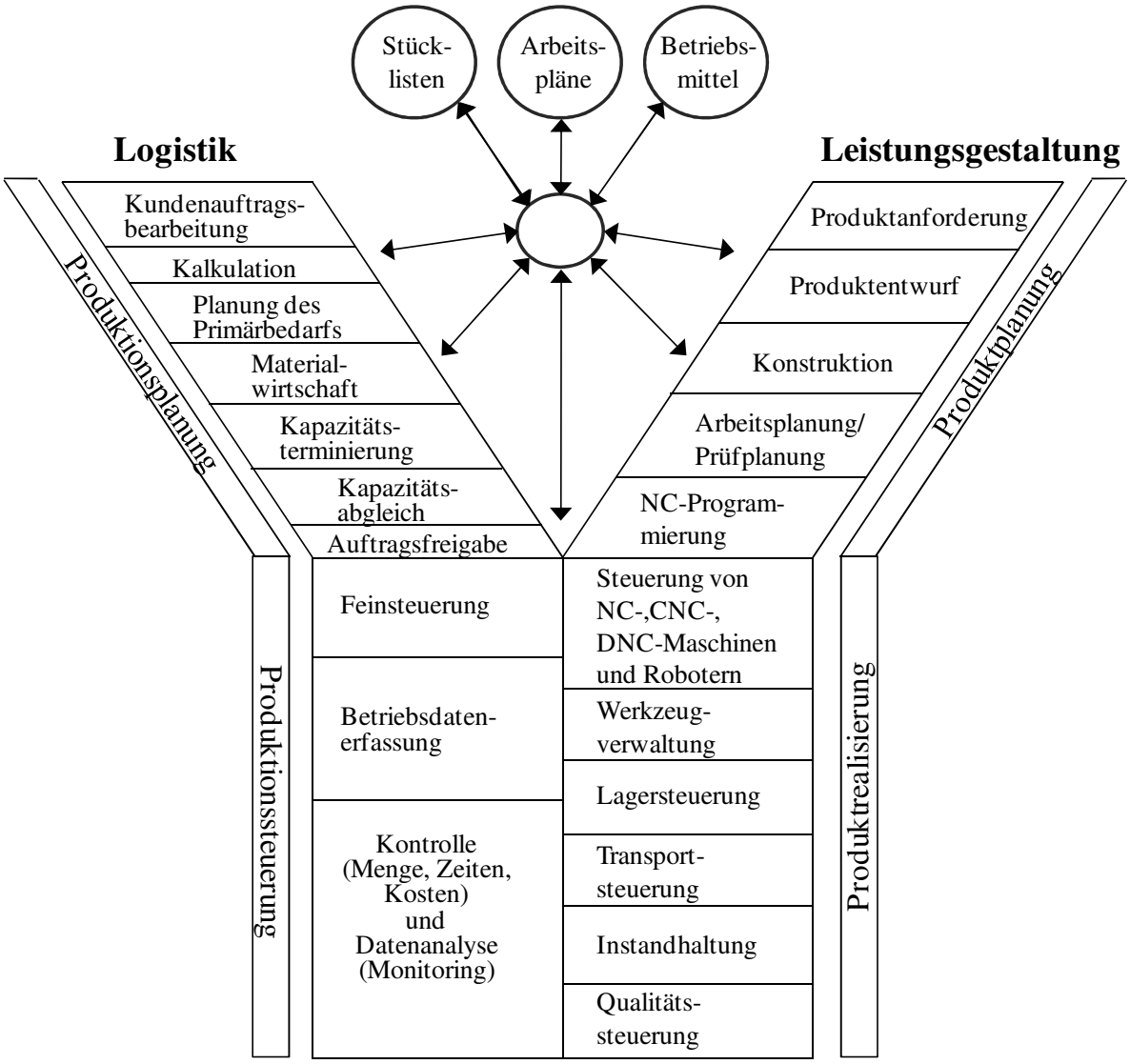


Abbildung 3-2: Das Y-Modell nach [Sche97]

Unter dem Begriff Produktionsplanung sind in beim Y-CIM-Modell die logistischen Planungsprozesse nach Eingang des Kundenauftrags zusammengefasst. Wieder andere Ansätze wie die [VDI2221] oder die Produktentwicklung nach Pahl/Beitz [PaBe97] beleuchten den Produktentstehungsprozess aus Sicht der Konstruktion, wobei die VDI2221 bis zur Produktion reicht, während sich Pahl/Beitz auf den eigentlichen Entwurf und die Ausgestaltung des Produktes beschränken. Das umfangreichste Verständnis des Produktentstehungsprozesses ist bei Spur und Krause [SpKr97] formuliert, die sowohl die ganz frühen Phasen der Produktforschung sowie den kompletten Produktlebenszyklus bis hin zum Recycling des Produkts in ihre Sichtweise mit einbeziehen.

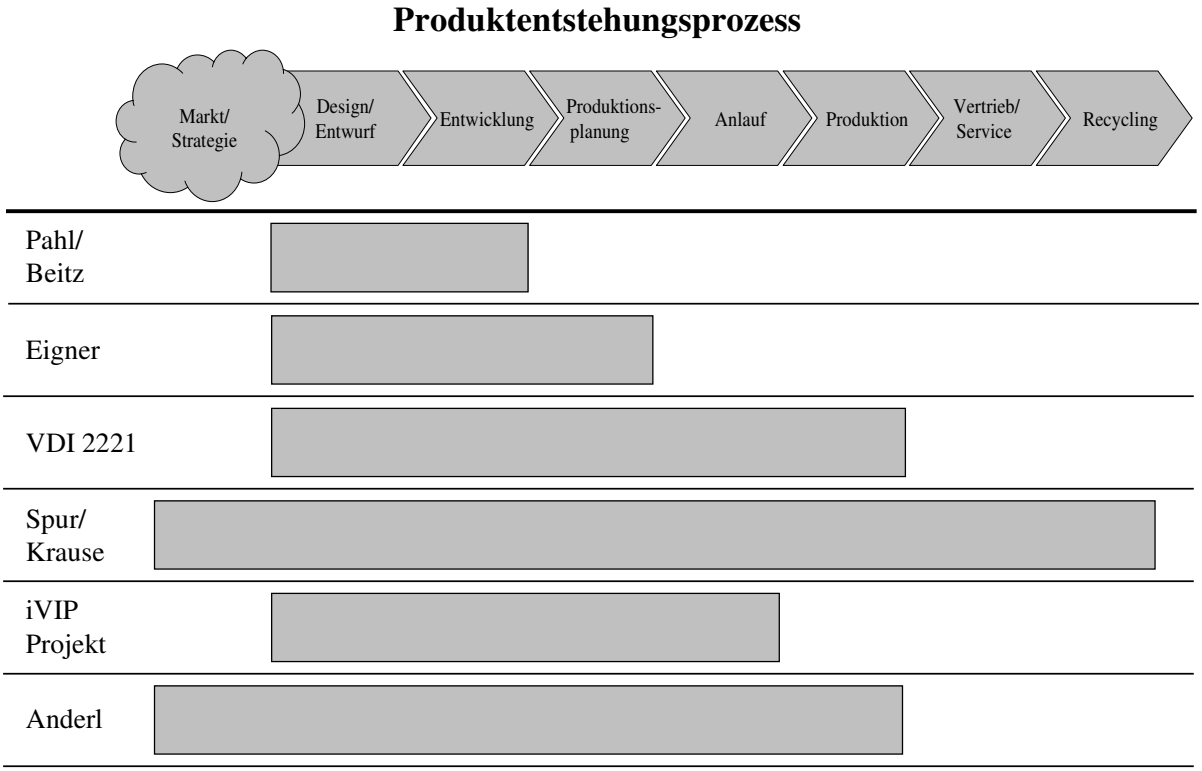


Abbildung 3-3: Gegenüberstellung verschiedener Definitionen des Begriffs "Produktentstehungsprozess“

Die Gegenüberstellung einiger Ansätze aus der Wissenschaft in Abbildung 3-3 verdeutlicht, dass in den einzelnen Forschungsarbeiten ein sehr unterschiedliches Verständnis vorherrscht, welche Phasen des Produktlebenszyklus durch den Begriff der Produktentstehung abgedeckt werden. Allen genannten Ansätzen ist jedoch gemein, dass sie von einem stark sequentiellen Charakter des Produktentstehungsprozesses ausgehen. Obwohl heute Begriffe wie „Simultaneous Engineering“ oder „Concurrent Engineering“ weit verbreitet sind, wird in vielen Prozessbeschreibungen immer noch davon ausgegangen, dass eine Prozessphase abgeschlossen ist und deren Ergebnisse vollständig vorliegen, bevor die nächste Phase auf der Grundlage

dieser Ergebnisse beginnt. Demgegenüber wird aber aus Gründen der Zeitersparnis bzw. der frühzeitigen Steigerung des Reifegrades des zu entwickelnden Produktes eine immer stärker werdende Parallelisierung der einzelnen Teilprozesse gefordert.

Außerdem steht bei den meisten der genannten Definitionen des Produktentstehungsprozesses jeweils das Produkt und seine Gestaltung am Anfang des Prozesses. Die Gestaltung der zu seiner Herstellung notwendigen Fertigungsprozesse und Betriebsmittel erfolgt mit mehr oder weniger großem Zeitversatz danach, wenn sie überhaupt in die Definition der Produktentstehung mit einbezogen wird. In diesem Fall kann auch von einer „Produktzentrierten Sicht“ auf die Entwicklungsprozesse gesprochen werden.

Im Kapitel 4 Abschnitt 2, der sich mit den aktuell stattfindenden Änderungen im Produktentstehungsprozess befasst, wird gezeigt werden, dass die Belange der Produktion in der letzten Zeit eine immer stärkere Rolle spielen und auch immer mehr Einfluss auf die Gestaltung des Produktes selbst nehmen. Es wird sogar ein Trend erkennbar, der den Produktentstehungsprozess in manchen Phasen umkehrt und die Produzierbarkeit als wichtige Eingangsgröße definiert, also quasi eine „Produktionszentrierte Sicht“. Um dieser Entwicklung, auf die später im Detail eingegangen wird, Rechnung zu tragen, wird im Kontext der vorliegenden Arbeit ein eigenes Verständnis des Produktentstehungsprozesses zugrunde gelegt. Dabei wird im Wesentlichen zwischen zwei Kernbausteinen unterschieden, nämlich der Produktentwicklung einerseits und der Produktionsentwicklung andererseits, die allerdings gleichberechtigt nebeneinander stehen, siehe Abbildung 3-4.

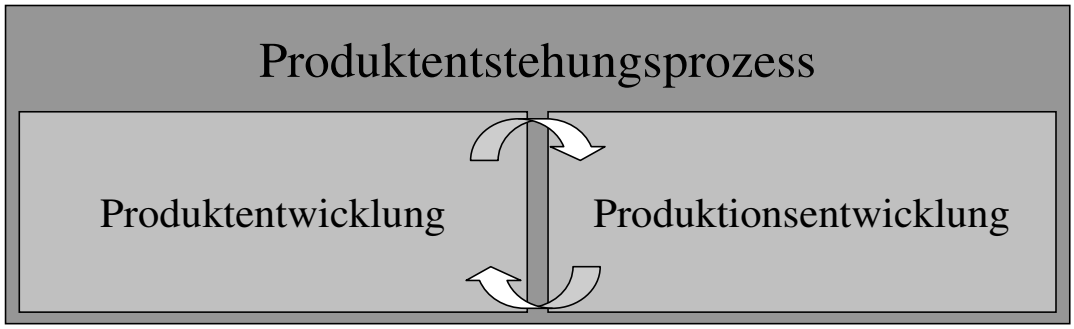


Abbildung 3-4: Begriffsverständnis des Produktentstehungsprozesses

Die Produktentwicklung beinhaltet dabei alle Tätigkeiten, die sich direkt auf die Gestaltung des Produkts als solches sowie seiner Eigenschaften beziehen, also beispielsweise die geometrische Konstruktion des Bauteils, seine Auslegung auf Festigkeit, die Simulation des Bauteilverhaltens usw. Demgegenüber gehören zur Produktionsentwicklung die Tätigkeiten, die sich

mit der späteren Herstellbarkeit, also der eigentlichen Produktion des Produktes, befassen. Der Begriff „Produktion“ selbst kann definiert werden als „jede Kombination und Transformation von materiellen oder immateriellen Einsatzgütern (den Produktionsfaktoren) zu Ausbringungsgütern (den Produkten)“ [DoSV97]. Zur Realisierung dieser Transformation wird ein Produktionssystem entwickelt, das sowohl physikalische Komponenten (Betriebsmittel) als auch immaterielle Komponenten umfasst (Fertigungsinformation).

Um die Herstellbarkeit eines Produkts gemäß seiner geforderten Eigenschaften zu gewährleisten, spielt das Zusammenspiel von Produkt und Produktionssystem eine entscheidende Rolle. Als Beispiel könnte man für den Karosserierohbau die Einhaltung der Spaltmaße und Fugenbreiten nennen, die zu den wichtigsten qualitativen Produkteigenschaften des Automobils zählen. Gleichzeitig werden sie aber in sehr starkem Ausmaß durch die Eigenschaften des Produktionssystems, z.B. dessen Genauigkeit und seiner Stabilität, beeinflusst. Um die Herstellbarkeit des Produkts von Beginn an im Produktentstehungsprozess zu berücksichtigen, wird eine Vielzahl von Tätigkeiten ausgeübt, die man unter dem Begriff „Produktionsabsicherung“ zusammenfassen kann. Diese sind in der Darstellung in Abbildung 3-4 im Übergangsbereich zwischen Produktentwicklung und Produktionsentwicklung angesiedelt, da sie logischerweise Informationen aus beiden Bereichen zusammenführen müssen.

Im Kontext der vorliegenden Arbeit versteht sich der Produktentstehungsprozess als Gesamtes, also als Summe der Aktivitäten, die zur Entwicklung des Produktes und der zu seiner Herstellung benötigten Produktionsmittel durchgeführt werden. Die Belange der beiden Teildisziplinen sind dabei als gleichberechtigt anzusehen.

3.2 Produktentwicklung

Die inhaltliche Beschreibung der Phase „Produktentwicklung“ erfolgt, ebenso wie die spätere Analyse der Prozesse, anhand des in Kapitel 2, Abbildung 2-6 vorgestellten Rahmenwerkes zur Prozessbeschreibung, d.h. es werden nacheinander die Bereiche Organisation, Methoden, Systeme, Informationen und Daten erläutert. Dabei sei darauf hingewiesen, dass die Beschreibung der hier dargestellten Prozesse aus Beobachtungen eines international tätigen Automobilherstellers stammen, womit sie zwar stellvertretend für zahlreiche Unternehmen eines der weltweit wichtigsten Wirtschaftszweige stehen, sicherlich aber keinen Anspruch auf Allgemeingültigkeit besitzen. Insgesamt ist die Produktentwicklung eines Fahrzeugs gegliedert

in die Bereiche Karosserie, Fahrwerk und Antriebsstrang. Karosserie und Fahrwerk werden dabei jeweils für eine bestimmte Baureihe entwickelt, d.h. diese Prozesse laufen weitgehend simultan ab. Die Entwicklung der Motoren und Getriebe im Bereich Antriebsstrang ist davon entkoppelt, da diese oft über mehrere Baureihen hinweg verbaut werden und deshalb einen baureihenunabhängigen Entwicklungsprozess durchlaufen. Im Folgenden wird allerdings nur die Entwicklung der Karosserie betrachtet, da diese im Fokus dieser Arbeit steht.

3.2.1 Organisation

Die Produktentwicklung in der Automobilindustrie ist in verschiedene Phasen gegliedert, d.h. es werden unterschiedliche Prozessketten abgearbeitet, wobei zu bestimmten Zeitpunkten Informationsflüsse zwischen den einzelnen Teilprozessen vollzogen werden. Teile dieser Prozessketten werden dabei sequentiell abgearbeitet. In den meisten Fällen wird aber versucht, die Aktivitäten immer stärker zu parallelisieren. Abbildung 3-5 zeigt den gesamten Produktentwicklungsprozess im analysierten Unternehmen als qualitativen Verlauf, wobei auf die Darstellung von exakten zeitlichen Angaben aus Gründen der Vertraulichkeit verzichtet wurde. Der Prozessablauf ist dabei organisiert als so genannter „Stage-Gate“ Prozess. Der Gesamtprozess ist also in verschiedene Phasen (engl. „stages“) sowie dazwischen liegende Meilensteine (engl. „quality gates“) unterteilt, in der Abbildung mit den Nummern von (9) bis (0) dargestellt, beginnend beim Konzeptheft, bis hin zum bereits weiter oben erwähnten „Job Nr. 1“ (Quality Gate (0)). Dieser stellt das erste Fahrzeug dar, das die Serienanlage verlässt. Zum Erfüllen eines Meilensteines müssen jeweils genau vorgegebene Informationen über das spätere Produkt vorhanden sein, oder, anders formuliert, der Entwicklungsprozess muss zum Zeitpunkt der Meilensteinprüfung einen bestimmten Reifegrad aufweisen. Am jeweiligen Meilenstein erfolgt eine Bewertung des Fortschrittes des Entwicklungsprozesses an Hand dieser zuvor definierten Kriterien, im Falle einer negativen Prüfung wird der Meilenstein als nicht erreicht angesehen und geeignete Gegenmaßnahmen bzw. Eskalationsschritte eingeleitet. Die Beschreibung der Inhalte der Teilprozesse und der jeweiligen Meilensteine ist dabei für das gesamte Unternehmen standardisiert und beschrieben. Diese Beschreibung ist für sämtliche am Entwicklungsprozess beteiligten Bereiche verbindlich. Allerdings wird das System aufgrund der jeweils in den abgeschlossenen Fahrzeugprojekten gemachten Erfahrungen kontinuierlich verbessert und optimiert, bzw. in manchen Fällen auch auf spezielle Randbedingungen hin angepasst. Dies ist zum Beispiel dann der Fall, wenn Fahrzeuge vom deutschen und amerikanischen Teil des Konzerns gemeinsam entwickelt werden. Dabei wird ver-

sucht, die jeweils standardisierten Entwicklungsprozesse der deutschen und amerikanischen Abteilungen an den wichtigen Schnittstellen zu synchronisieren, um eine harmonisierte Arbeitsweise sicherzustellen und eine Basis für einen problemlosen Informationsaustausch zu schaffen.

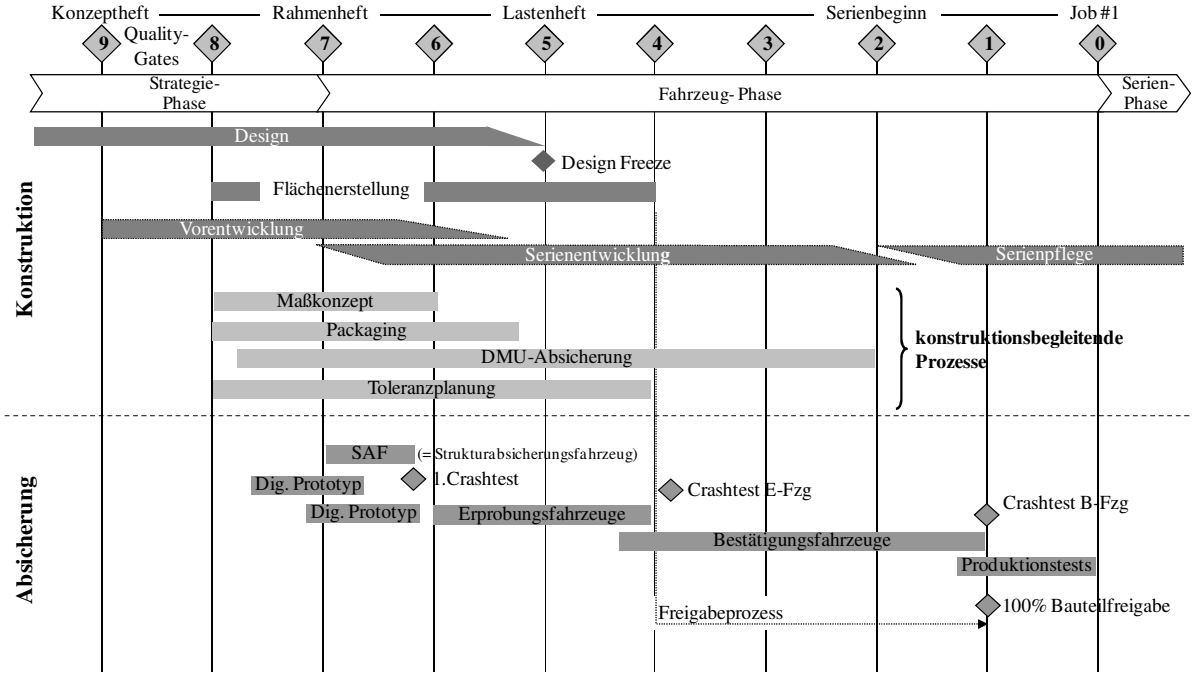


Abbildung 3-5: Der Produktentwicklungsprozess in der Automobilindustrie

Die Gesamtorganisation des Produktentwicklungsprozesses ist hierarchisch aufgebaut. An der Spitze steht der strategische Projektleiter, der das Fahrzeugprojekt gegenüber dem Vorstand verantwortet. Ihm unterstellt sind Projektleiter aus den verschiedenen, am Prozess beteiligten Unternehmensbereichen wie Marketing, Vertrieb, Einkauf, Entwicklung. Unterhalb dieser Ebene wird die Entwicklungsaufgabe „Gesamtfahrzeug“ aufgeteilt in verschiedene Funktionsgruppen, die jeweils durch einen Funktionsgruppensprecher vertreten werden. Beispiele für Funktionsgruppen wären Fahrzeug Exterieur oder Elektronik. Da es aber eine ganze Reihe von querschnittlichen Aufgabenstellungen innerhalb der Produktentwicklung gibt, die nicht einer einzigen Funktionsgruppe zuzuordnen sind, gibt es einen zusätzlichen Bereich Gesamtfahrzeugintegration. Dieser verantwortet auch die Querschnittsthemen wie Verbindungselemente, das Spann- und Fixierkonzept bzw. die Toleranzkonzepte, die alle drei im Rahmen der prototypischen Umsetzung des in der vorliegenden Arbeit entworfenen Konzepts eine wichtige Rolle spielen.

Die erste Phase innerhalb des Produktentwicklungsprozesses ist die Strategiephase. Hier wird aus den Anforderungen des Marktes bzw. aus Gründen der Strategie des Unternehmens die Idee zu einem Produkt abgeleitet. Dieses wird dann hinsichtlich seiner technologischen und wirtschaftlichen Machbarkeit geprüft. Gleichzeitig werden im Rahmen einer Segmentuntersuchung Varianten vorgeschlagen und hinsichtlich ihrer Marktchancen untersucht. Zum ersten Meilenstein (9) wird dazu ein Konzeptheft angelegt, in dem die Zielvorgaben für alle an der Produktentstehung beteiligten Bereiche festgelegt werden, wobei die dabei formulierten Teilziele auch auf mögliche Widersprüche hin geprüft werden. Bei positiver Entscheidung zugunsten eines Fahrzeugprojekts wird dann die Designabteilung damit beauftragt, verschiedene Entwürfe als Tonmodelle bzw. zunehmend auch mit Hilfe digitaler Designwerkzeuge zu liefern. In der Regel wird von der Unternehmensleitung schließlich eine Entscheidung getroffen, einige wenige dieser frühen Entwürfe weiter auszuarbeiten und damit die eigentliche Entwicklung zu starten. Ab diesem Zeitpunkt wird das Konzeptheft bis zum Meilenstein (7) in ein Rahmenheft überführt.

Die bereits in der Strategiephase begonnenen Teilprozesse des Designs bzw. der Vorentwicklung werden dabei fortgeführt, wobei nach und nach immer mehr Inhalte des Fahrzeugkonzeptes festgelegt werden. Wichtigste Inhalte des Rahmenheftes sind die Festlegung von bestimmten Funktionalitäten sowie Kosten- und Gewichtsziele. Gleichzeitig wird aber auch das Maßkonzept festgeschrieben, das die wichtigsten Außen- und Innenmaße des Fahrzeugs beschreibt. Mit Hilfe des Maßkonzepts wird die räumliche Vorgabe für die eigentliche Fahrzeugkonstruktion geschaffen, was bedeutet, dass Änderungen daran nur noch bedingt zulässig sind. Die Detaillierung des Fahrzeuges innerhalb der Konstruktion erfolgt dabei quasi von außen nach innen, da das äußere Erscheinungsbild mehr und mehr festgelegt ist. Bereits in einer frühen Designphase werden erste Designflächen von Tonmodellen übernommen und in die CAD-Systeme der Konstrukteure der Vorentwicklung überführt. Dies geschieht dann zu Beginn der Serienentwicklung erneut, bis schließlich an dem Meilenstein (5) der „Design Freeze“ erfolgt, womit das äußere und innere Erscheinungsbild des Fahrzeugs endgültig festgelegt ist. In dieser Phase werden auch schon erste Packaging-Untersuchungen durchgeführt, d.h. die zu diesem Zeitpunkt bereits existierenden Geometriestände werden im Sinne einer Bauraumabsicherung zu definierten Terminen überprüft, um Kollisionen oder potentiell kritische Bereiche bereits frühzeitig zu erkennen.

Gleichzeitig mit dem „Design Freeze“ erfolgt beim Meilenstein (5) die Überführung des Rahmenheftes in das Lastenheft. Dieses formuliert die konkreten Ziele und Vorgaben des Fahrzeugs für die Serienentwicklungsphase, d.h. zu diesem Zeitpunkt muss die Serientauglichkeit der festgelegten Konzepte und Komponenten widerspruchsfrei erwiesen sein.

Die Konstruktion der einzelnen Komponenten der Karosserie erfolgt während der Serienkonstruktion in unterschiedlichen Teams, die jeweils bestimmte Karosseriebereiche ausdetaillieren. Parallel dazu finden auch bereits erste Absicherungen des Produktes durch Berechnungsbereiche statt, die die Bauteile auf ihre Belastungen hin untersuchen bzw. auch die Herstellbarkeit der Teile sicherstellen. Die zuvor bereits begonnenen Packaging-Untersuchungen werden als Digital-Mock-Up (DMU) weiter durchgeführt, wobei statische (fest eingebaute) und dynamische (sich bewegende, kinematisch eindeutig bestimmte) Bauteile geprüft werden. Wichtig ist dabei, neben den bereits erwähnten Kollisionsbetrachtungen auch die Einhaltung der Mindestabstände gegenüber benachbarten Komponenten.

In diesem Zusammenhang gibt es einen weiteren, gerade in der Automobilindustrie wichtigen Prozess, die Toleranzvergabe. Hier wird für das Fahrzeug ein Spalt- und Fugenplan definiert, der die Sollwerte für Form- und Lagetoleranzen vorgibt, die später in der Produktion eingehalten werden müssen. Dieser Spalt- und Fugenplan wird für das Gesamtfahrzeug festgelegt, wichtig sind speziell die Übergänge zwischen den Türen und der Karosserie oder zwischen Karosserie und Einbauteilen wie beispielsweise den Scheinwerfern. Die Gesamttoleranzen bedingen wiederum die Toleranzvorgaben für die einzelnen Komponenten, die vom jeweiligen Konstrukteur eingebracht werden. Über mehrere Komponenten aufsummiert, müssen diese immer noch im Sollbereich liegen, was mit Hilfe statistischer Verfahren gewährleistet wird. Die Vergabe und Abstimmung der Toleranzen erfolgt in einem interdisziplinär zusammengesetzten Toleranzarbeitskreis, in dem neben den verantwortlichen Konstrukteuren auch Spezialisten aus der Toleranzplanung, aus der Produktion und dem Prototypenaufbau sitzen.

Ebenfalls konstruktionsbegleitend erfolgt die Definition der für die Karosserie vorgesehenen verfahrenstechnischen Randbedingungen im Hinblick auf die Bauteilverbindungen. Die größte Gruppe stellen dabei immer noch Punktschweißverbindungen dar, wobei in den vergangenen Jahren auch verstärkt der Verbindungsprozess Kleben oder das Laserschweißen zum Einsatz kommen. Die Schweißpunkte werden von Berechnungsspezialisten gemeinsam mit dem Konstrukteur eingebracht, wobei sie jeweils im Kontext eines Zusammenbaus definiert wer-

den. Dies setzt voraus, dass zu diesem Zeitpunkt die im Zusammenbau enthaltenen Komponenten bereits fertig auskonstruiert sind. Die Verbindungselemente stellen eine wichtige Grundlage für die Crash-Untersuchungen des Fahrzeugs dar. Ihre Freigabe erfolgt jeweils gemeinsam mit der Freigabe des Zusammenbaues.

Bereits in der Einleitung wurde erwähnt, dass die digitale Unterstützung der Entwicklungsprozesse immer weiter voranschreitet und immer bessere Ergebnisse liefert, dennoch reichen digitale Modelle alleine nicht aus, um den notwendigen Absicherungsgrad zu gewährleisten. Dies hat zum Teil auch juristische Gründe, weil die Gesetzgeber der jeweiligen Zielländer, in denen die Fahrzeuge abgesetzt werden sollen, bestimmte Testverfahren im Rahmen der Entwicklung vorschreiben. Darüber hinaus zeigt sich aber auch immer wieder, dass bestimmte Probleme tatsächlich erst am realen Produkt, am so genannten „Physical Mock-Up“ (PMU) auftauchen. Der Bau echter, materieller Prototypen ist also nach wie vor unabdingbar. Zwar verspricht gerade in diesem Bereich die Forschungsdisziplin der virtuellen Realität aussichtsreiche Ansätze, diese sind allerdings bislang nur punktuell im Einsatz und noch nicht in großem Stil angewendet, da sie oft mit sehr hohen Kosten verbunden sind.

Nach wie vor werden also parallel zum Entwicklungsprozess in verschiedenen Phasen Prototypfahrzeuge aufgebaut, die realen Tests unterzogen werden. Hier unterscheidet man drei Phasen: die Strukturabsicherungsfahrzeuge (SAF) in ganz frühen Phasen, die Erprobungsfahrzeuge (E-Fahrzeug) für die Absicherung der Folgeprozesse sowie die Bestätigungsfahrzeuge (B-Fahrzeug) zur Absicherung der Serienproduktion. Diese Prototypen werden jeweils in unterschiedlicher Stückzahl gefertigt, je nachdem, für welche Tests sie vorgesehen sind. Der SAF dient dabei den ersten Crashtests, bei denen die Struktursteifigkeit der Karosse unter Beweis gestellt werden soll, als Bestätigung für die zuvor durchgeführten virtuellen Berechnungen der Karosse. Demgegenüber dient das Erprobungsfahrzeug den Tests der einzeln entwickelten Komponenten untereinander, also beispielsweise dem Zusammenspiel von Karosse und Fahrwerk. Das Bestätigungsfahrzeug ist schließlich das erste, mit unter Serienbedingungen hergestellten Komponenten aufgebaute Fahrzeug. Es dient der Bestätigung der im Lastenheft formulierten Ziele und Funktionalitäten. Gleichzeitig wird es für Langzeiterprobungen und einen letzten, bestätigenden Crash-Test herangezogen. Die Unterteilung der einzelnen Prototypserien in verschiedene Baulose stellt dabei sicher, dass auch noch kurzfristige konstruktive Änderungen in die nachfolgenden Fahrzeuge eingebracht werden können, je nachdem, wie aufwendig diese Änderungen sind. Die Anzahl der während der Erprobungsphase

aufgebauten Prototypen schwankt dabei von Fahrzeugprojekt zu Fahrzeugprojekt. Generell versucht man diesen teuren und aufwendigen Prozess immer mehr zu verschlanken, denn schließlich stellt jede dieser Phasen im Grunde genommen so etwas wie eine kleine Vorabproduktion dar. Dabei verkörpern die beteiligten Prototypwerkstätten die herstellende Seite, während die beauftragenden Entwicklungsbereiche den Abnehmer und somit den Kunden darstellen. Die dafür notwendigen Prozesse werden auch innerbetrieblich verrechnet und aus kaufmännischer Sicht über die Logistik- und Controlling-Abteilungen des Unternehmens gesteuert. Immerhin ist es mittlerweile gelungen, für einzelne Baureihen die Strukturabsicherungsfahrzeuge durch digitale Prototypen zu ersetzen und auf diese Weise einen großen Teil der Entwicklungskosten zu reduzieren.

Ein weiterer die Organisation des Entwicklungsprozesses betreffender Aspekt ist die Tatsache, dass die innerhalb der einzelnen Teilprozesse angesiedelten Tätigkeiten heute zu einem großen Teil aus dem Unternehmen ausgelagert sind und an Entwicklungspartner aus der Zulieferindustrie übergeben werden. Wurde das früher noch mit einzelnen Baugruppen wie Frontmodulen oder Außenspiegeln und Ähnlichem gemacht, so werden heute teilweise komplette Fahrzeugumfänge bis hin zur kompletten Karosserie fremd vergeben. Dabei sind die beauftragten Unternehmen auch nicht zwangsläufig in der unmittelbaren Nähe des beauftragenden Konzerns angesiedelt, sondern ebenfalls über die ganze Welt verstreut. In [EiMa04] wird in diesem Zusammenhang auch vom „Cross-Enterprise-Engineering“ gesprochen. Dieses erzeugt auf Seiten der Entwicklungsbereiche sehr viel Aufwand in Bezug auf Koordination und Kommunikation, um die jeweils notwendigen Informationen zusammenzutragen und unternehmensintern fristgerecht in die Entwicklungsprozesse einzusteuern. Das wird vor allem immer dann sehr deutlich, wenn es darum geht, andere Teil- oder Folgeprozesse auf dem aktuellen Stand zu halten. Das Thema „Änderungsmanagement“ spielt dabei eine wesentliche Rolle, da viele der beschriebenen Teilprozesse natürlich stark iterativ organisiert sind, d.h. es gibt permanent Rückführungen von Informationen, die Änderungen in der Konstruktion oder dem Konzept des Fahrzeugs nach sich ziehen, was in kritischen Fällen einen sehr kosten- und zeitintensiven Prozess darstellt und daher so effizient wie möglich ablaufen sollte.

Bei der Herleitung des Rahmenwerks für die Prozessanalyse wurde bereits gesagt, dass auch der Mensch innerhalb der Organisation einen wichtigen Faktor darstellt. Vor dem Hintergrund der beschriebenen Entwicklungsprozesse wird sehr schnell klar, dass an die innerhalb dieser Organisation tätigen Ingenieure und Techniker ein hohes Maß an Kommunikationsfähigkeit

und koordinativen Fähigkeiten gestellt wird. Die Beherrschung von Fremdsprachen ist dabei eine selbstverständliche Grundvoraussetzung, da viele Arbeitstreffen in englischer Sprache abgehalten werden bzw. auch sehr viele Ergebnisse in Englisch dokumentiert sind. Gleichzeitig müssen sie, trotz des hohen Grades der Fremdvergabe von Konstruktionstätigkeiten, ein hohes Maß an fachlichen Kenntnissen über die jeweils zu erfüllende Aufgabe besitzen. Letzten Endes verantworten sie nämlich innerhalb des Unternehmens die Prozesse und deren konkrete Ergebnisse, unabhängig davon, ob diese von internen oder externen Zulieferern stammen. Dabei handelt es sich zudem um technische Bereiche, die einem stetigen Wandel und Fortschritt ausgesetzt sind, was wiederum zur Folge hat, dass man sich über neue Technologien, Systeme und Methoden permanent auf dem Laufenden halten muss. Aus organisatorischer Sicht werden dabei auch oft einzelne Ingenieure oder Techniker aus ihren jeweiligen Abteilungen und damit ihrer Hierarchielinie herausgelöst und teilweise interdisziplinären Projektteams zugeordnet, was jedes Mal aufs Neue eine sowohl menschliche als auch die Kenntnisse des Einzelnen betreffende Herausforderung darstellt.

3.2.2 Methode

In diesem Abschnitt erfolgt nun eine kurze Beschreibung von einigen wichtigen, bei der Produktentwicklung angewendeten Methoden. Diese Beschreibung erhebt aber keinen Anspruch auf Vollständigkeit, es wird sich lediglich auf die im Kontext der vorliegenden Arbeit wichtigen Methoden bei der Karosserieentwicklung beschränkt. Diese bilden die Grundlage für die anschließende Beschreibung der Informationen, die in diesen Methoden Anwendung finden bzw. von ihnen erzeugt werden.

Eine der wichtigsten, in der Produktentwicklung angewandten Methoden ist sicherlich das „Concurrent“ bzw. „Simultaneous Engineering“, das auch immer weitere Verbreitung findet und heute eines der wichtigsten angewandten Verfahren in der virtuellen Produktentwicklung ist (vergleiche hierzu auch [EvBL95] und [EvSc99]). Dabei wird ein komplexer Gesamtprozess in Teilprozesse zerlegt, deren Aktivitäten zeitlich weitestgehend parallel abgearbeitet werden. Gleichzeitig werden auch logisch nacheinander abzuarbeitende Prozesse zunehmend parallelisiert und zum frühest möglichen Zeitpunkt begonnen (sog. „Frontloading“ von Entwicklungsprozessen). Ohne diese Vorgehensweise wäre es in aktuellen Entwicklungsprozessen unmöglich, dem ständig wachsenden Zeitdruck zu begegnen. Gleichzeitig erlaubt Simultaneous Engineering aber auch einen regen Austausch von Informationen der an der Entwick-

lung beteiligten Fachbereiche untereinander, wodurch Probleme oder widersprüchliche Ziele frühzeitig erkannt werden können. Dies setzt allerdings effiziente und stabile Kommunikationsmöglichkeiten entlang des Gesamtprozesses voraus, denn es werden viel komplexere und häufigere Iterationsschleifen zwischen den Prozessteilnehmern aufgebaut und durchlaufen.

Der Anteil an rechnergestützten Aktivitäten in Entwicklungsprozessen ist heute bereits sehr hoch. Innerhalb der Produktentwicklung ist das Computer Aided Design (CAD) dabei sicherlich eine der Hauptmethoden. Innerhalb des betrachteten Unternehmens wird ausschließlich dreidimensional konstruiert, wobei für manche Teilprozesse von den 3D-Modellen auch zweidimensionale technische Zeichnungen abgeleitet werden. Die während der Konstruktion erzeugten Modelle werden auf Komponentenebene dabei oft auch als „digitale Master“ bezeichnet, d.h. sie sind die verbindliche Produktbeschreibung, von der alle weiterführenden Informationen abgeleitet werden können (vgl. auch [KrTA02]). Relativ neu auf dem Gebiet der Karosseriekonstruktion ist dabei die Methode des parametrisch-assoziativen Konstruierens, bei dem geometrische Umfänge oder Parameter der einzelnen Komponenten untereinander referenziert werden. Diese in der Entwicklung des Antriebsstrangs schon seit längerem erfolgreich eingesetzte Vorgehensweise, führt zu enormen Erleichterungen bezüglich des Änderungsmanagements bei komplexen Bauteilen. In der Anwendung verlangt sie aber eine sehr saubere Definition und ausführliche Dokumentation der Methodik.

In Abbildung 3-5 wurden eine ganze Reihe von Aktivitäten unter dem Stichwort „Konstruktionsbegleitende Prozesse“ zusammengefasst. Hierzu zählen alle Tätigkeiten, die während der Entwicklung unmittelbar auf die Bauteilgeometrie aufsetzen, wie beispielsweise Berechnungen oder Simulationen. Dabei kommt eine Vielzahl von so genannten CA-Werkzeugen zum Einsatz (CA = „Computer Aided“, rechnergestützt), auf deren grundlegende Methoden an dieser Stelle nicht einzeln eingegangen werden soll. Zu erwähnen ist allerdings, dass es für diese Art des bereits genannten Simultaneous Engineering immens wichtig ist, dass der verantwortliche Konstrukteur frühzeitig seine Daten bereitstellt, auch wenn diese unter Umständen noch gar nicht freigegeben sind. Diese Methode folgt der Idee eines virtuellen Marktplatzes in der Entwicklung, auf dem Informationen zentral zusammengeführt und ausgetauscht werden.

Innerhalb der organisatorischen Beschreibung des Produktentwicklungsprozesses wurden bereits einige weitere Methoden genannt, die an dieser Stelle erneut aufgegriffen werden. Eine der wichtigsten ist sicherlich der so genannte „Digital Mock-Up“ (DMU) [Katz05]. Mit

Hilfe dieser Methode erfolgt mit einem rechnergestützten Modell eine Analyse von Aufbau, Struktur sowie funktionaler und räumlicher Gestaltung des Produkts. Die dabei erzeugten Informationen dienen innerhalb des Entwicklungsprozesses als Diskussionsgrundlage für das weitere Vorgehen und das frühzeitige Erkennen möglicher Konflikte. In späteren Phasen kann im Rahmen von erweiterten DMU Untersuchungen bereits der Brückenschlag zur Produktionsentwicklung vollzogen werden, nämlich dann, wenn es darum geht, die Baubarkeit oder auch ergonomische Aspekte des Produktes zu gewährleisten.

Von zentraler Bedeutung ist auch die während der Karosserieentwicklung angewendete Methode der begleitenden Toleranzsimulation, siehe dazu auch Abbildung 3-6. Der abgebildete Regelkreis zeigt dabei bereits den iterativen Charakter dieses Verfahrens. In interdisziplinär zusammengesetzten Arbeitskreisen werden Toleranzkonzepte für die Fahrzeugkomponenten diskutiert und festgelegt, um anschließend rechnergestützt mit Hilfe statistischer Verfahren simuliert zu werden. Dabei wird ermittelt, wie groß die möglicherweise auftretenden Abweichungen im (statistisch angenommen) schlimmsten Fall sind. Die dabei angewendete Monte-Carlo Simulation liefert die Standardabweichung bzw. die Verteilung der Abweichungen der Qualitätsmerkmale einer Komponente oder einer Baugruppe, wobei in den Simulationsläufen eine Normalverteilung der auftretenden Toleranzen angenommen wird.

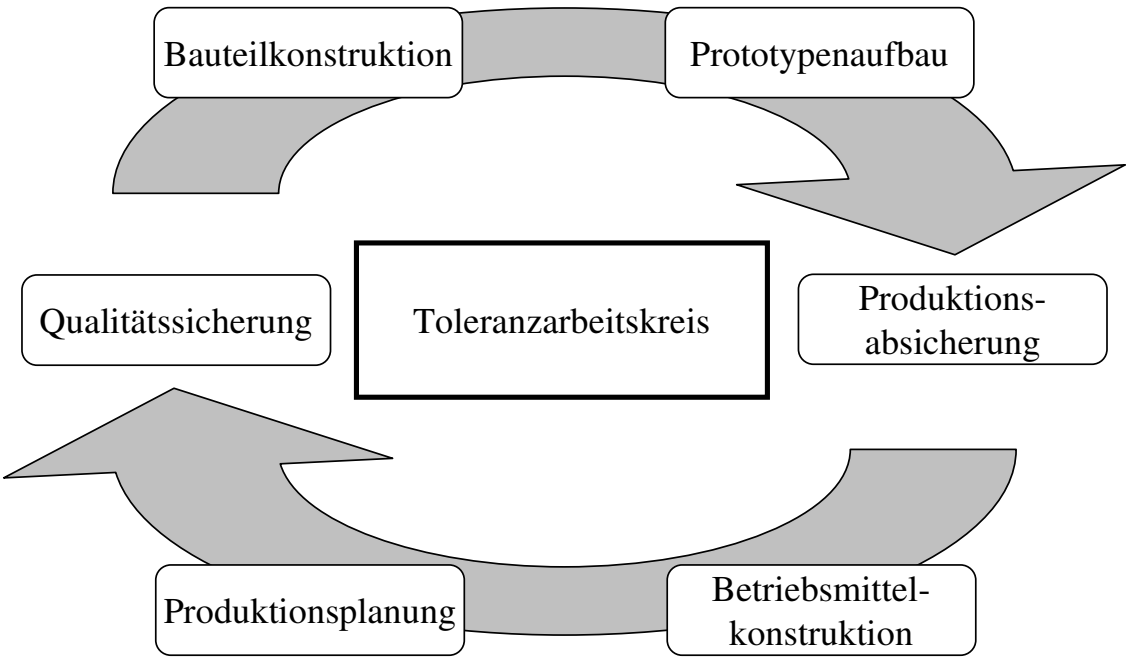


Abbildung 3-6: Zusammensetzung Toleranzarbeitskreis

Die Ergebnisse dieser Toleranzsimulationen werden dann wiederum an Hand realer Messdaten von prototypischen Komponenten auf ihre Plausibilität hin geprüft. Findet man bei der

Berechnung kritische Bereiche, werden Änderungsvorschläge oder konstruktive Optimierungen an den bauteilverantwortlichen Konstrukteur weitergegeben. Eine ausführliche Beschreibung der Toleranzsimulation in der Karosserieentwicklung findet man in [GlHW06] oder [Gloe03]. In diesen Veröffentlichungen wird auch deutlich, dass der Toleranzplanungsprozess derzeit einer starken Änderung unterliegt. Auf diese Art und Weise gewinnt die Produktionsentwicklung auch hier immer stärkeren Einfluss. Die Gestaltung der Produktionsanlagen sowie der damit zusammenhängenden Informationen spielt für die Einhaltung des Toleranzkonzepts logischerweise eine sehr wichtige Rolle. Dadurch wird aktuell versucht, immer mehr Belange aus der Prozessplanung bereits hier in frühen Phasen der Entwicklung zu berücksichtigen, was zur Umstrukturierung der Toleranzvergabe führt.

3.2.3 Systeme

Die Anforderungen und die zu bewältigenden Tätigkeiten in heutigen Entwicklungsprozessen sind so komplex geworden, dass eine effiziente Bearbeitung ohne Rechnerunterstützung heute nicht mehr denkbar ist. Die verschiedenen IT-Systeme sind damit zu einem der wichtigsten Wettbewerbsfaktoren geworden, wobei deren Beherrschung und sinnvolle Integration in die bestehenden Prozesse nach wie vor eine schwierige Aufgabe darstellt. In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Systeme innerhalb der Produktentwicklung des betrachteten Automobilkonzerns kurz beschrieben, wobei sich die Darstellung auf die Bedeutung der Systeme für den Bereich der Karosserieentwicklung beschränkt. Die heutige IT-Landschaft im betrachteten Unternehmen zeigt dabei eine typische Situation, wie sie in vielen Konzernen dieser Größenordnung auftritt, nämlich dass sehr viele der Systeme historisch gewachsen sind und nicht zwangsläufig zueinander passen. Man kann heute schon fast von einer Art Wildwuchs der verschiedenen IT-Systeme reden. Die dabei auftretenden Probleme werden zum Ende dieses Kapitels noch genauer beleuchtet. Erwähnt werden sollte auch noch, dass versucht wird, die Systeme ohne größere Anpassungen in ihrer jeweiligen Standardversion zu nutzen bzw. auf kostspielige Eigenentwicklungen zu verzichten, da der Pflegeaufwand für solche Applikationen oder spezielle Anpassungen extrem hoch ist. Stattdessen wird hier stärker auf die Standardfunktionalitäten der Software gesetzt. Sollte diese unzureichend sein, so kann durch eine geeignete Makroprogrammierung mit offiziellen, durch den Software-Hersteller unterstützten Programmierschnittstellen der Funktionsumfang erweitert werden.

Im Rahmen der Produktentwicklung ist eine der Hauptaktivitäten die Erzeugung von Daten zur geometrischen Repräsentation des Produktes. Insofern ist eines der wichtigsten, an diesem Entwicklungsprozess beteiligten Systeme das CAD-System. CAD-Systeme entstanden in den späten 60er bzw. frühen 70er Jahren aus den Bestrebungen, eine tragfähige Kopplung von Entwurfswerkzeugen und NC-Maschinen für die Zerspanung zu realisieren, um Bauteile mit hohen Wiederholgenauigkeiten für die Luftfahrtindustrie herstellen zu können. Durch den rasanten Fortschritt der Informationstechnik haben diese Systeme seit ihrem Erscheinen einen immensen Zuwachs hinsichtlich ihrer Funktionalität erlebt. Heute sind dabei fast ausschließlich dreidimensionale CAD-Systeme im Einsatz, auch mittelständische Betriebe stellen dabei keine Ausnahme mehr dar. Im Bereich der Karosserieentwicklung werden dabei hauptsächlich solche Systeme eingesetzt, die ihre Stärke in der mathematischen Beschreibung und Darstellung von Flächen haben. Wurden die Karosserieflächen früher noch als rein flächenhafte geometrische Gebilde im Raum erzeugt (nur Länge und Breite wurden modelliert, die Dicke des Blechs wurde als Attribut im Modell hinterlegt), so erfolgte im betrachteten Unternehmen vor zwei Jahren der Umstieg auf Volumenmodelle im Karosserierohbau. Das eingesetzte CAD-System ist dreidimensional und parametrisch aufgebaut, d.h. die Erstellung der Geometrien erfolgt mit Hilfe zu definierender Parameter, die auch noch nachträglich verändert werden können. Darüber hinaus erlaubt das System ein assoziatives Konstruieren, wobei dem Konstrukteur eine Vielzahl von wissensbasierten Methoden bzw. umfangreiche Formelwerke zur Verfügung stehen. Innerhalb der Oberfläche des CAD-Systems stehen auch eine Reihe von integrierten Applikationen für die verschiedensten konstruktionsbegleitenden Tätigkeiten zur Verfügung wie beispielsweise integrierte Simulations- und Berechnungswerkzeuge oder Systeme zur Produktvisualisierung. Die Nutzung dieser Zusatzapplikationen während der eigentlichen Bauteilkonstruktion ist aber sehr eingeschränkt, da speziell die genannten Arten von Tätigkeiten ein hohes Maß an Expertenwissen voraussetzen, das nicht bei jedem Konstrukteur vorhanden sein kann. Und selbst wenn dieses Expertenwissen vorhanden wäre, so wäre dennoch kaum die nötige Zeit innerhalb dieser Prozessphasen vorhanden.

Die Menge der während der Konstruktion erzeugten Daten hat in den vergangenen Jahren so stark zugenommen, dass der Ruf nach Verwaltungssystemen für die Produktdaten immer lauter wurde. Hieraus entstanden vor ca. 15 Jahren die so genannten EDM/PDM-Systeme, wobei die Begriffe „Engineering Data Management“ und „Product Data Management“ als synonym zu sehen sind (vgl. hierzu u.a. [EiSt04] oder [Musc02]). Im Folgenden wird daher nur der Begriff PDM-System verwendet. In diesen Systemen werden die anfallenden Produktdaten

sinnvoll strukturiert und verwaltet, wobei darunter einerseits die geometrischen Daten des Bauteils verstanden werden, andererseits aber auch die produktbeschreibenden Zusatzinformationen, die Metadaten, zu sehen sind. Die Kernfunktion eines PDM-Systems ist dabei, „eindeutige und reproduzierbare Produktkonfigurationen zu ermöglichen“ [EiSt04]. Zusätzlich zu den Versionierungsmechanismen erlaubt das PDM-System auch das Anbringen von Aussagen über den jeweiligen Status des Bauteils, je nachdem wie weit der Konstruktionsprozess fortgeschritten ist. Im betrachteten Unternehmen werden dabei für Produktdaten drei verschiedene Statusangaben unterschieden. Die ersten Entwürfe erhalten das Attribut „in Arbeit“, was lediglich den Beginn der Konstruktionstätigkeit verdeutlicht. Ist ein relativ hoher Reifegrad der Konstruktion erreicht, wird der Status auf „Engineering“ gesetzt. Dadurch wird signalisiert, dass ab jetzt nur noch kleinere Änderungen an der Geometrie des Bauteils auftreten werden, so dass die Abnehmer der Daten aus Folgerprozessen ihrerseits mit ihren Tätigkeiten auf Grundlage dieser Bauteilstände beginnen können. Der letzte Status heißt „Freigegeben“, wofür allerdings ein offizieller Freigabeprozess mit entsprechenden Prüfungsverfahren durchlaufen werden muss. Durch ein hinterlegtes Nutzer- und Rechtekonzept kann der Zugriff auf die Daten projektspezifisch gesteuert werden, ebenso werden die erlaubten Tätigkeiten für den jeweiligen Nutzer genau geregelt. Mit Hilfe des PDM-Systems versucht man, die Konstrukteure auch zu einem Arbeitsstil zu ermutigen, bei dem die erzeugte Geometrie des Bauteils nicht lokal gehalten wird, sondern auch in frühen Phasen bereits zentral über das System zur Verfügung steht. Letztendlich stellt das PDM-System die wichtigste Grundlage für die Anwendung des „Simultaneous Engineering“ dar.

Eng an das PDM-System angekoppelt ist das System zur Stücklistenverwaltung (BoM-System, „Bill-of-Materials“). Im betrachteten Unternehmen stellt dieses System im heutigen Prozess zugleich eine wichtige Grundlage für den Teilprozess der Bauteilkonstruktion dar, denn es liefert die Produktstruktur für die Konstruktion. Dabei orientiert man sich zu Beginn eines Fahrzeugprojektes immer am strukturellen Aufbau des Vorgängermodells oder ähnlicher Fahrzeugmodelle. Diese Methode folgt dem Gedanken, dass der Grundaufbau der einzelnen Fahrzeuge, von einer relativen Ebene aus betrachtet, immer gleich ist. Am Beispiel der Karosserie lässt sich dies gut veranschaulichen. Eine Fahrzeugkarosserie wird immer aus einer Bodengruppe, einem Vorbau- bzw. einem Heckwagen, aus zwei Seitenwänden und einem Dach bestehen. Einzelne Komponenten oder Baugruppen unterhalb dieser Ebene werden dann bei Bedarf aus der Struktur herausgelöscht oder ergänzt. Innerhalb des BoM-Systems wird auch über eine Code-Steuerung die Auflösung von Varianten realisiert. Zusätzlich wird durch

die Einbeziehung von Regeln dafür gesorgt, dass nur sinnvoll baubare Fahrzeuge konfiguriert werden können. Sinnvoll bedeutet in erster Linie technisch machbare Kombinationen, z.B. dass ein Fahrzeug nicht mit zwei Getriebearten gleichzeitig konfiguriert werden kann. Da das BoM-System aber auch als Grundlage für die kaufmännischen Prozesse dient, werden mit Hilfe solcher Regeln auch die wirtschaftlich sinnvollen Kombinationen berücksichtigt. Diese werden über die kaufmännischen Unternehmensprozesse eingesteuert und gewährleisten, dass bestimmte Austattungsvarianten sich gegenseitig bedingen oder ausschließen, je nachdem, ob dies aus Sicht der Vertriebsabteilung Sinn macht oder nicht.

Im Rahmen der methodischen Betrachtung wurde bereits auf die Digital-Mock-Up-Methode eingegangen. Dazu wird ein CAD-nahes Visualisierungssystem eingesetzt, wobei die Daten aus dem PDM-System abgezogen und in ein speziell eingerichtetes Verzeichnis exportiert werden. Die ursprünglichen CAD Daten werden dabei von ihrem nativen Format in sogenannte tessilierte, vereinfachte Daten konvertiert, um eine problemlose und performante Darstellung des gesamten Fahrzeuges zu ermöglichen. Die einzelnen Komponenten können innerhalb dieses Systems bewegt, positioniert und auch vermessen werden, eine aktive Veränderung der Geometrie wird allerdings nicht unterstützt und ist in diesem Prozessschritt auch nicht erwünscht.

Neben den Systemen zur Erstellung, Verwaltung und Visualisierung von Geometrien, Stammdaten und Strukturen spielt auch eine Vielzahl von Simulationswerkzeugen, die sogenannten CAE-Systeme (Computer Aided Engineering), eine wichtige Rolle innerhalb der Produktentwicklung. Die am längsten eingeführten sind dabei sicher die FEM-Systeme (Finite-Element-Methode), die bereits in den frühen 60er Jahren als kommerzielle Systeme verfügbar waren. Diese werden für konstruktionsbegleitende Berechnungsprozesse herangezogen, um Komponenten, Baugruppen oder komplette Fahrzeuge auf ihr Crashverhalten hin zu untersuchen. Weitere Analysen dienen zur Abschätzung des Schwingungsverhaltens, der Akustik und der Struktursteifigkeit, was unter dem Kürzel NVH für „Noise, Vibration and Harshness“ zusammengefasst wird. Ähnlich wie beim DMU-Prozess werden die Daten für diese Berechnungen unter anderem aus dem PDM-System extrahiert und in separaten Datenlaufwerken zur Verfügung gestellt. Da die Berechnungsläufe selbst sehr aufwendig sind, werden sie nicht permanent durchgeführt, sondern jeweils zu festgelegten Zeitpunkten, wenn ein definierter Reifegrad in den Produktdaten erreicht ist.

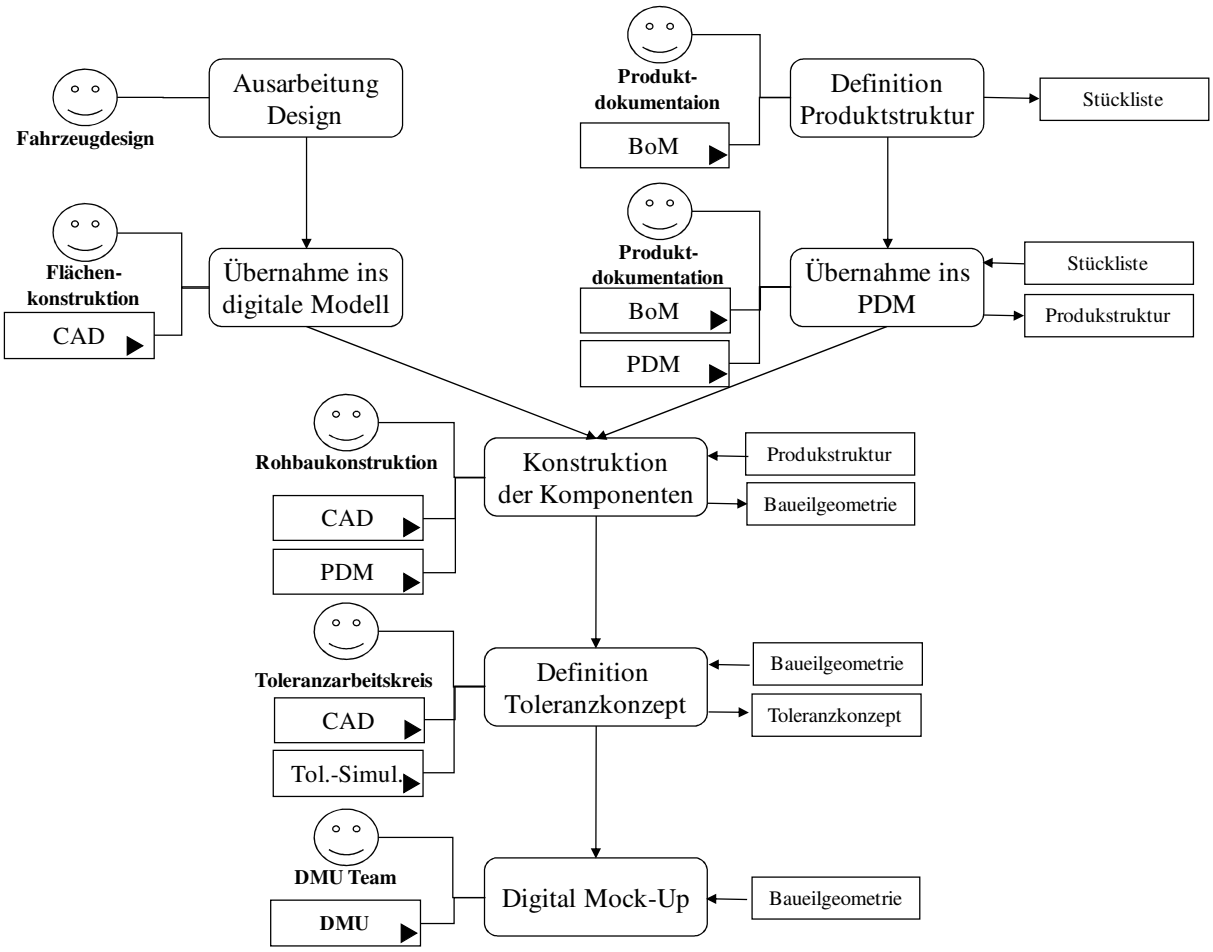


Abbildung 3-7: Funktionen und Systeme in der Produktentwicklung

Abbildung 3-7 zeigt noch einmal zusammenfassend die wichtigsten Funktionen in der Produktentwicklung und die daran jeweils beteiligten IT-Systeme, die verantwortlichen Organisationen und die relevanten Informationen.

3.2.4 Informationen und Daten

Die Betrachtung der abschließenden Blöcke des erweiterten Engineering Information Systems aus Abbildung 2-6, nämlich Informationen und Daten, erfolgt zusammengefasst in diesem Abschnitt. Dies trägt den Ideen aus dem zuvor beschriebenen Modell des semiotischen Dreiecks Rechnung, d.h. die Daten stellen lediglich die Repräsentation der relevanten Informationen auf Systemebene dar. Innerhalb des Teilprozesses der Produktentwicklung geht es dabei zunächst um Produktinformationen, d.h. alle Daten und Informationen, die das Produkt und seine Struktur als solches unmittelbar beschreiben. Innerhalb der Produktentwicklung werden aber auch eine ganze Reihe von Informationen festgelegt, die eine Art Schnittstellencharakter

besitzen, d.h. sie werden in der anschließend beschriebenen Produktionsentwicklung wieder aufgegriffen und dort gegebenenfalls weiter verwendet bzw. auch verändert.

Die Geometrie des Produkts stellt entlang des gesamten Produktentstehungsprozesses eine der wichtigsten Informationen dar. Diese wird repräsentiert durch das CAD-Dokument, das zunächst die geometrische Gestalt der Komponente, also des einzelnen Teiles, beinhaltet. Sie beschreibt in erster Linie, wie das fertige Bauteil aussehen soll, inklusive aller Attribute wie beispielsweise exakten Maßen, dem vorgesehenen Material oder den einzuhaltenden Toleranzwerten. Durch die in heutigen Systemen enthaltene Funktionalität ist es aber auch möglich, andere Repräsentationsformen des Bauteils als die Fertigteilgeometrie abzubilden. Dies wird dazu genutzt, unterschiedliche Zustände des Bauteils auf dem Weg zur endgültigen Geometrie darzustellen, also beispielsweise Abwicklungen von Umformteilen, Bauteilflächen vor dem Ausstanzen von Löchern oder Verprägungen oder mit noch nicht gefalzten Anschlussflanschen. Innerhalb des CAD-Dokumentes können diese Repräsentationen durch Umschalten eingeblendet werden und liefern so für die Fertigungsprozesse, die zur Herstellung der jeweiligen Komponente führen, wichtige Informationen. Für solche Produktdatenmodelle wird in diesem Zusammenhang der Begriff des dreidimensionalen oder digitalen Masters verwendet, da von ihm alle für etwaige Folgeprozesse notwendigen Daten abgeleitet werden können.

Die nächste Kategorie von Informationen kann unter dem Oberbegriff der bauteilübergreifenden Informationen zusammengefasst werden. Innerhalb der Karosserieentwicklung stehen dabei zunächst zwei verschiedene Arten von Informationen im Fokus, nämlich die Zusammenbautoleranzen, die unter anderem für die Einhaltung der Spaltmaße der Karosse sorgen müssen, sowie die Verbindungselemente, die die Steifigkeit der Karosserie gewährleisten. Die Zusammenbautoleranzen werden im Rahmen der bereits erwähnten interdisziplinären Toleranzarbeitskreise definiert, wobei ausgehend von dem Spalt- und Fugenplan – gewissermaßen rückwärts - die Toleranzen auf die einzelnen Baugruppen und Komponenten heruntergebrochen werden. Bei den Verbindungselementen wird im heutigen Prozess bereits in der Produktentwicklung eine Verfahrensfestlegung getroffen, d.h. es wird entschieden, ob eine Baugruppe aus mehreren Komponenten durch Schweißverfahren, Durchsetzfügen oder Kleben hergestellt werden soll. Die damit verbundenen Informationen stellen hauptsächlich für die entwicklungsbegleitenden Berechnungen eine wichtige Eingangsgröße dar, denn die Steifigkeit der Karosse wird durch die Art der Verbindung entscheidend beeinflusst.

Im Abschnitt „Organisation“ wurde bereits erwähnt, dass die Verbindungselemente innerhalb der Produktstruktur auf der Zusammenbauebene dokumentiert werden, wobei die Verbindungsparameter in einem Attributsatz hinterlegt sind. Jedes Verbindungselement erhält dabei im Moment seiner Anlage eine eindeutige Identität in Form einer Nummer. Innerhalb des Karosserierohbaus stellen Schweißpunkte dabei nach wie vor die wichtigste und zugleich größte Gruppe an Verbindungselementen dar. Geometrisch werden sie lediglich durch einen Punkt symbolisiert, dem nur eine Raumkoordinate zugeordnet ist, d.h. eine Beschreibung seiner Lage in X-, Y- und Z-Richtung im Fahrzeugkoordinatensystem. Zusätzlich werden Prozessparameter wie die Art des Schweißverfahrens, der Durchmesser des Schweißpunkts oder der notwendige Schweißstrom hinterlegt. Die eigentlichen Verbindungsdaten, d.h. die Sachnummern der Einzelteile, die verbunden werden, sind ebenfalls als Attribute im Verbindungselement vorhanden. Speziell bei Punktschweißverbindungen wird zwischen so genannten Geo- und Ausschweißpunkten unterschieden. Geopunkte bestimmen die Karosserie in ihrer räumlichen Lage und nehmen den an der Verbindung beteiligten Bauteilen sämtliche Freiheitsgrade, gewährleisten gleichzeitig aber auch, dass sich die Bauteile bei weiteren Fertigungsschritten nicht mehr verziehen können. Demgegenüber dienen die Ausschweißpunkte lediglich dem Erreichen der geforderten Festigkeit und Steifigkeit. Im Rahmen des Entwicklungsprozesses werden diese Informationen auch von unterschiedlichen Personen festgelegt und organisatorisch verantwortet, da sie teilweise erst im Rahmen von Crash-Berechnungen oder Produktionssimulationen bestimmt werden. Auf die Anwendung von assoziativen Relationen zwischen Zusammenbauinformation wie diesen unterschiedlichen Ausprägungen von Schweißpunkten und den Modellen der Einzelteile muss verzichtet werden, damit diese sich nicht gegenseitig unkontrolliert, d.h. über organisatorische Grenzen hinweg, beeinflussen können. Das heißt: auch wenn bei der Konstruktion der Bezugsstellen oder Schweißpunkte die Bauteilflächen als geometrische Grundlage genutzt und entsprechend referenziert werden, muss im Nachhinein die dabei erzeugte Relation wieder aufgetrennt werden.

Zusätzlich zu den bauteilbeschreibenden Informationen wird noch eine ganze Reihe organisatorischer Daten, die sogenannten Metadaten, erzeugt. Dies ist beispielsweise die Sachnummer der Komponente, die innerhalb des Unternehmens eindeutig ist und auch als Grundlage für die logistischen und kaufmännischen Prozesse dient. Sachnummern werden sowohl für Einzelteile als auch für Baugruppen angelegt. Da die Konstruktionsprozesse im betrachteten Unternehmen stücklistengetrieben ablaufen, werden diese Sachnummern zunächst im BoM-System erzeugt und dann anschließend ins PDM-System übertragen, wo sie der jeweilige

Konstrukteur ausbucht und dann entsprechend seiner Aufgabe mit Geometrie befüllt. Im Moment der ersten Bearbeitung werden auch weitere Attribute wie Eigentümer, Änderungsdatum oder Status der Komponente erzeugt und gespeichert. Die Sachnummer durchläuft anschließend im Entwicklungsprozess verschiedene Änderungsstände, je nach Konstruktionsfortschritt, wobei der Status sich entsprechend verändert. Jedes Mal, wenn eine Sachnummer ins PDM-System eingebucht und anschließend wieder ausgebucht wird, wird eine neue Version erzeugt. Dieser Mechanismus erlaubt ein späteres Nachvollziehen des Konstruktionsprozesses, genauso kann der Konstrukteur verschiedene Alternativen im Rahmen seiner Konstruktionsaufgabe erzeugen, um anschließend die am besten geeignete zu übernehmen. In Bezug auf ihr Datenmodell besteht die Sachnummer dabei aus einem Master-Objekt, das einen Teil der Stammdaten beinhaltet, sowie den einzelnen Instanzen, die jeweils eine Version des Master-Objektes darstellen. Dabei werden die Attribute des Master-Objektes auf die Instanz vererbt. Auf dem instanziierten Objekt können aber noch zusätzliche Attribute wie beispielsweise die Versionsnummer oder der Status dokumentiert werden. Zwischen Master-Objekt und Instanz wird dabei eine Relation vom Typ „ist Instanz von“ erzeugt. Dabei handelt es sich um eine 1:n Relation, beim Expandieren einer Struktur im PDM-System wird an Hand der Konfiguration entschieden, welcher Ast verfolgt wird, d.h. welche Instanzen angezeigt werden. Ein vereinfachtes Datenmodell für eine Sachnummer mit exemplarischen Attributen ist in Abbildung 3-8 dargestellt. Innerhalb einer Version befinden sich schließlich verschiedene Datencontainer, deren Zweck es ist, die zu der Sachnummer gehörenden Dokumente zu bündeln. In erster Linie ist dies natürlich die CAD Datei, die die geometrische Repräsentation des Bauteils darstellt, die in einer sogenannten prozessrelevanten oder primären Mappe abgelegt ist. Zusätzlich können aber weitere dieser Mappen angelegt werden, in denen Zusatzinformationen wie Testberichte oder Prüfprotokolle enthalten sein können. Typischerweise handelt es sich hier oft um Office-Dokumente. Die Funktionalität dieser sekundären Mappen ist analog zu der der primären Mappe, die darin enthaltenen Informationen haben beim Durchlaufen eines Freigabeprozesses allerdings keinerlei Relevanz.

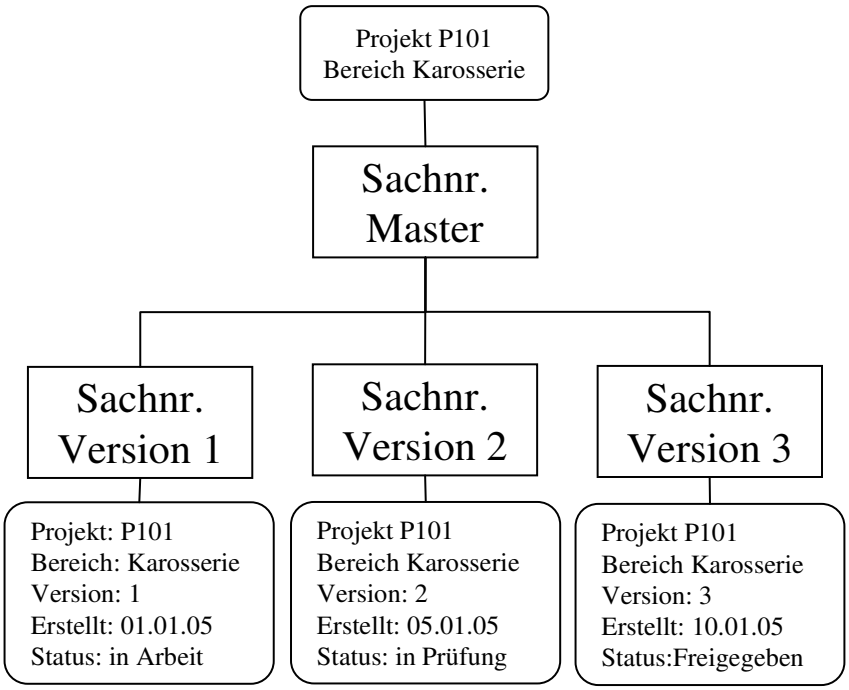


Abbildung 3-8: Aufbau der Sachnummer als Master-Objekt mit mehreren Instanzen

Zwischen den einzelnen Sachnummern wird mit Hilfe des PDM-System auch die eigentliche Struktur des Bauteils angelegt, d.h. die einzelnen Komponenten und Zusammenbauten werden hierarchisch in eine Baumstruktur gebracht, wobei Relationen vom Typ „besteht aus“ erzeugt werden. Diese Zusammenbau-Relationen werden dabei immer vom instanziierten Objekt, also der Version, ausgehend auf das nächst tiefer gelegene Master-Objekt einer Sachnummer angebracht. Nur dadurch kann im PDM-System ein dynamisches Verhalten der Produktstruktur erreicht werden, bei dem durch Einstellen einer bestimmten Konfiguration entschieden wird, welche Instanzen vom Master-Objekt kommend angezeigt werden. Ein Zusammenbau kann also nicht nur geometrisch unterschiedliche Stände beinhalten, sondern sich auch hinsichtlich seiner Struktur verändern, je nachdem zu welchem Zeitpunkt eine Zusammenbaurelation an einer versionierten Sachnummer erzeugt wurde.

Bei der nach Abschluss der Einzelteilkonstruktion erfolgenden Positionierung der Komponenten zueinander wird eine weitere, bauteilübergreifende Information, nämlich die Transformationsmatrix, erzeugt. Diese beschreibt die Lage einer Komponente innerhalb des gesamten Fahrzeuges in Bezug auf das Fahrzeugkoordinatensystem, das per Definition in der Mitte der Vorderachse liegt. Die Transformationsmatrix liegt als Attribut an der Zusammenbaurelation und kann im PDM-System angezeigt und verändert werden. Besteht die Notwendigkeit, mehrere Komponenten gebündelt zu positionieren, beispielsweise Schrauben oder Ähnliches, so können diese unter einer Anordnungssachnummer zusammengefasst und gemeinsam über

eine Transformationsmatrix positioniert werden. Die Namensgebung der Anordnungssachnummer weist den Nutzer dabei darauf hin, dass diese keinerlei logistische Bedeutung hat.

In Abbildung 3-9 ist das Entity-Relationship-Modell für eine einzelne Sachnummer inklusive einiger wichtiger Attribute dargestellt. Die untere Relation stellt die Instanziierung einer Version der Sachnummer aus dem Master-Objekt dar, während die obere Relation eine Verbauungsbeziehung zeigt. Diese beiden Relationen enthalten keine Richtungspfeile, da die Expandierfunktion des PDM-Systems bidirektional durchlaufen werden kann.

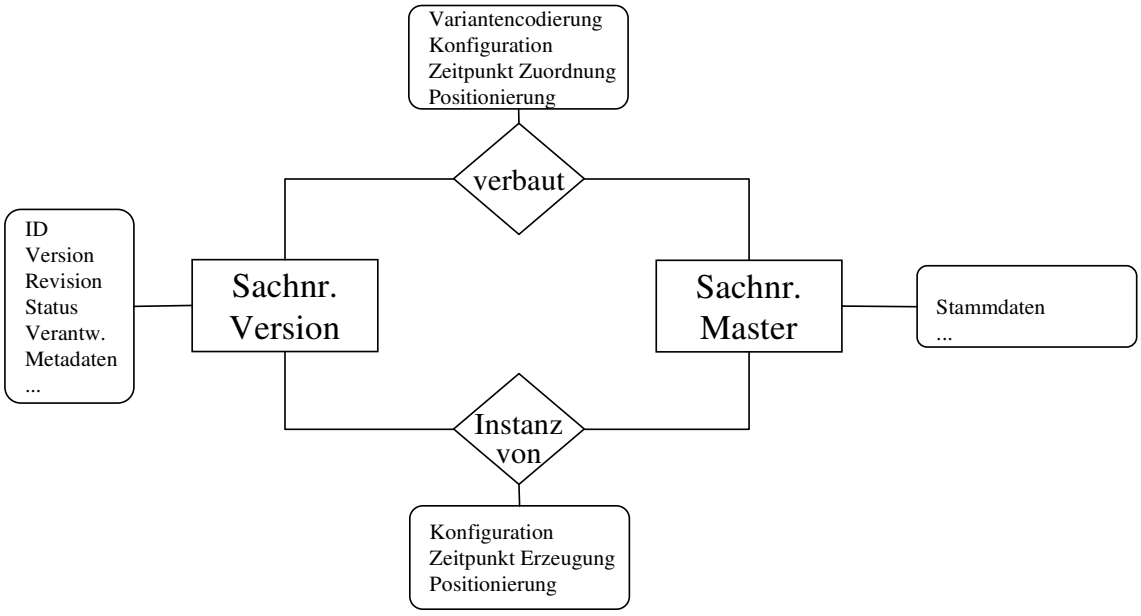


Abbildung 3-9: Entity-Relationship-Modell einer Sachnummer im PDM-System

Die Auflösung von Varianten erfolgt schließlich im Stücklistenverwaltungssystem. Hier wird das komplette Fahrzeug in Hauptmodule, Module und Submodule gegliedert, darunter sind die Stücklistenpositionen aufgeführt. Unterhalb der Stücklistenposition erfolgt dann die Aufgliederung in einzelne Positionsvarianten. Die Position „Dach“ ist z.B. unterteilt in die Varianten „Volldach“, „Schiebehebedach“ oder „Glasdach“. Auf der Relation zwischen Position und Positionsvariante wird ein dreistelliger Code für jede Variante hinterlegt, der innerhalb des Konfigurationsmenüs des PDM-Systems aufgelöst werden kann. Erst darunter beginnt die Sachnummernebene in Form von Zusammenbauknoten, die dadurch automatisch varianzfrei sind, d.h. die unterschiedlichen geometrischen Varianten haben jeweils unterschiedliche Sachnummern. Sobald also in einer Zusammenbaustufe ein variantes Teil auftaucht, wird auch für den Zusammenbau selbst eine neue Sachnummer vergeben, unabhängig davon, dass alle anderen verwendeten Komponenten varianzneutral sein können.

3.3 Produktionsentwicklung

In diesem Abschnitt wird nun die zweite wichtige Säule in der Produktentstehung beschrieben, die Produktionsentwicklung. Kernbestandteil der Produktionsentwicklung ist die Produktionsplanung. Nach [Wöhe05] versteht man unter Planung „die gedankliche Vorwegnahme zukünftigen Handelns durch Abwägen verschiedener Handlungsalternativen und Entscheidungen für den günstigsten Weg." Planung bedeutet also das Treffen von Entscheidungen, „die in die Zukunft gerichtet sind und durch die der betriebliche Prozessablauf als Ganzes und in seinen Teilen festgelegt wird." Ziel dieses Prozesses ist es, die zur Produktherstellung notwendigen Fertigungsprozesse zu definieren und die dafür notwendigen Ressourcen abzuleiten und gegebenenfalls zu entwickeln. Durch den bereits in der Definition genannten Begriff „Handlungsalternativen" wird der stark iterative Charakter der planerischen Aktivitäten deutlich, wobei es immer darum geht, für ein gegebenes Problem verschiedene Lösungswege zu finden und aus diesen den möglichst besten auszuwählen. Dabei besteht die Kunst des Planers darin, aus den verschiedensten Anforderungen einen für alle Seiten tragbaren Kompromiss zu finden.

Auch bei der Beschreibung des Produktionsentwicklungsprozesses erfolgt im Rahmen dieser Arbeit eine Beschränkung auf die Prozesskette Karosserierohbau. Lediglich dort, wo relevante Querbeziehungen zu anderen Teilprozessen bestehen, werden diese näher erläutert. Entlang des gesamten Produktentstehungsprozesses ist, neben der Gewährleistung der technischen Herstellbarkeit des Produkts, auch das Sicherstellen der Einhaltung des von der betriebswirtschaftlichen Unternehmensseite vorgegebenen Kostenrahmens eines der wichtigsten Hauptziele. Daher wird von den Planungsabteilungen zu definierten Zeitpunkten jeweils an die kaufmännische Seite des Unternehmens berichtet, d.h. aus Sicht des Controllings stellt die Produktionsplanung einen der Hauptansprechpartner und somit einen zentralen Informationslieferanten dar.

Abbildung 3-10 zeigt dass bereits während der Beschreibung der Produktentwicklung eingeführte Bild, ergänzt um die Phase der Produktionsentwicklung. Die Einordnung der Phasen der unterschiedlichen Teilprozesse wurde aufgrund der Erfahrung in verschiedenen Fahrzeugprojekten vollzogen und erhebt keinen Anspruch auf absolute Gültigkeit. Aufgrund der Beobachtung lässt sich sagen, dass sich sowohl Dauer als auch Beginn der Phase von Projekt zu Projekt um wenige Wochen oder Monate unterscheiden können, was neben besonderen

Randbedingungen bei einzelnen Fahrzeugen auch an der ständigen Optimierung des organisatorischen Rahmenswerkes der Entwicklungsprozesse liegt. Die jeweiligen Zeitpunkte variieren je nach Fahrzeugprojekt oder Hersteller.

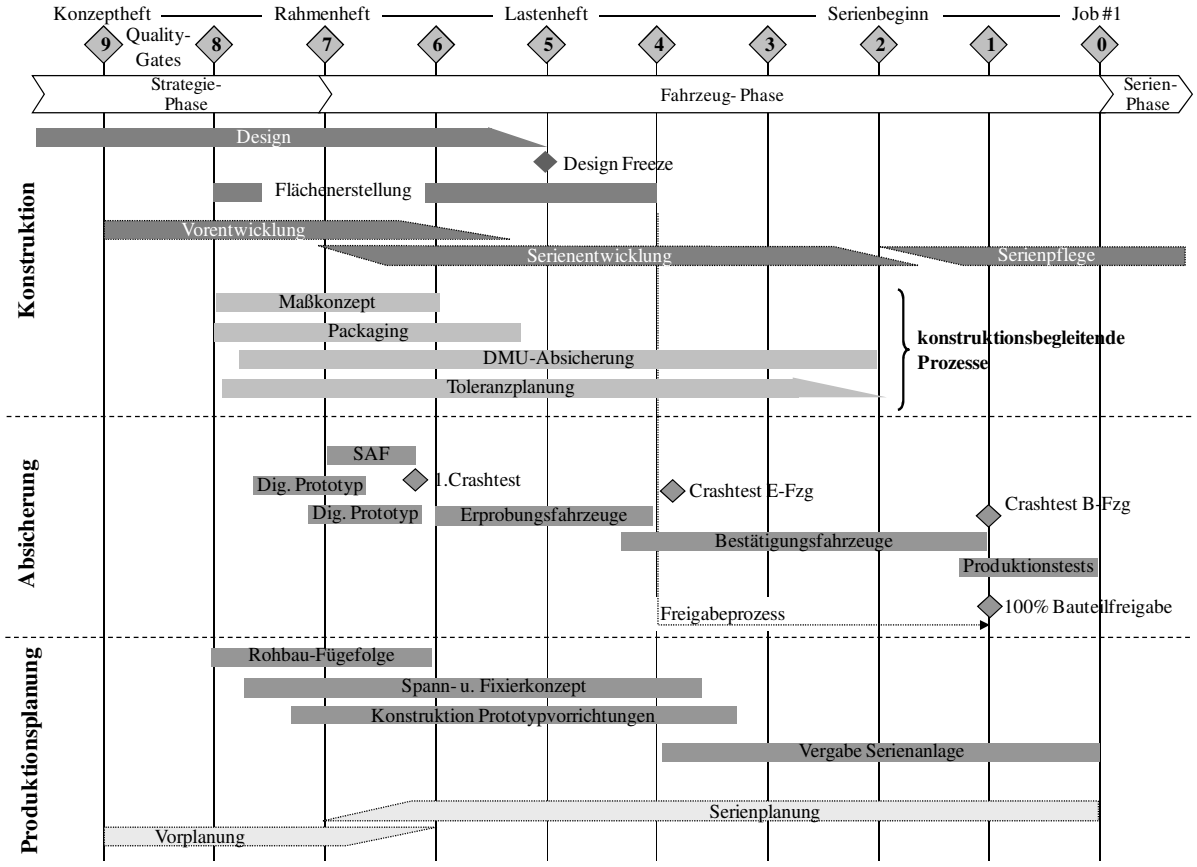


Abbildung 3-10: Der Produktentstehungsprozess mit der Produktionsentwicklung

3.3.1 Organisation

Ähnlich wie der Produktentwicklungsprozess ist auch die Entwicklung der Produktionsanlagen in verschiedene Phasen gegliedert. Traditionell wird unterschieden zwischen der Neutpypplanung und der späteren Serienplanung. Ziel der Neuttypplanung ist die Überprüfung und Gewährleistung der im Konzeptheft vorgeschlagenen Fertigungsprozesse. Zur Unterstützung der Komponentenentwicklung werden hier auch bereits erste Iterationen hinsichtlich der Herstellbarkeit der Bauteile durchgeführt. Demgegenüber dient die Serienplanung der Herstellbarkeit des Produkts unter Serienbedingungen, d.h. zusätzlich zu Überlegungen bzgl. der technischen Machbarkeit kommen als weitere Randbedingungen Fertigungszeiten, Fertigungskosten, aber auch Aspekte wie Ergonomie und Wartungsfreundlichkeit der Fertigungsanlagen hinzu. Aufgabe der Serienplanung ist es außerdem, die von der Neutypplanung ent-

worfenen Fertigungskonzepte auf den jeweiligen Werksstandort und die dortigen Gegebenheiten anzupassen.

Die gesamte Planungsphase selbst gliedert sich wiederum in verschiedene Teilprozesse, die von der Erstellung erster Prozesskonzepte über die Grob- und Feinplanung bis hin zur Inbetriebnahme der Serienanlage reichen. Betrachtet man die Darstellung dieser Planungsphasen in Abbildung 3-11, kann man erkennen, dass die Inhalte der Phase dem Reifegrad des Entwicklungsprozesses folgen. Reichen in frühen Phasen noch grobe Fertigungskonzepte und relativ ungenaue Schätzungen der Wirtschaftlichkeit aus, so werden die Tätigkeiten in den späten Phasen immer genauer, bis schließlich ein komplett ausdetailliertes und abgesichertes Konzept für die Produktionsanlage geschaffen ist. Diese Vorgehensweise ist für die Gestaltungsprozesse der Produktionsanlagen typisch und in sich logisch, was sich z.B. in der Fachliteratur wie [Aggt87] zeigt, die bis heute Gültigkeit hat. Dort ist von der sogenannten Planungspyramide die Rede, auf deren vier Seiten die wichtigsten Aufgaben der Produktionsentwicklung angeordnet sind. Diese umfassen die verfahrenstechnische, die funktionelle, die betriebswirtschaftliche und die arbeitsorganisatorische Gestaltung des jeweiligen Produktionssystems. Abbildung 3-12 zeigt die arbeitsorganisatorische Seite der Planungspyramide.

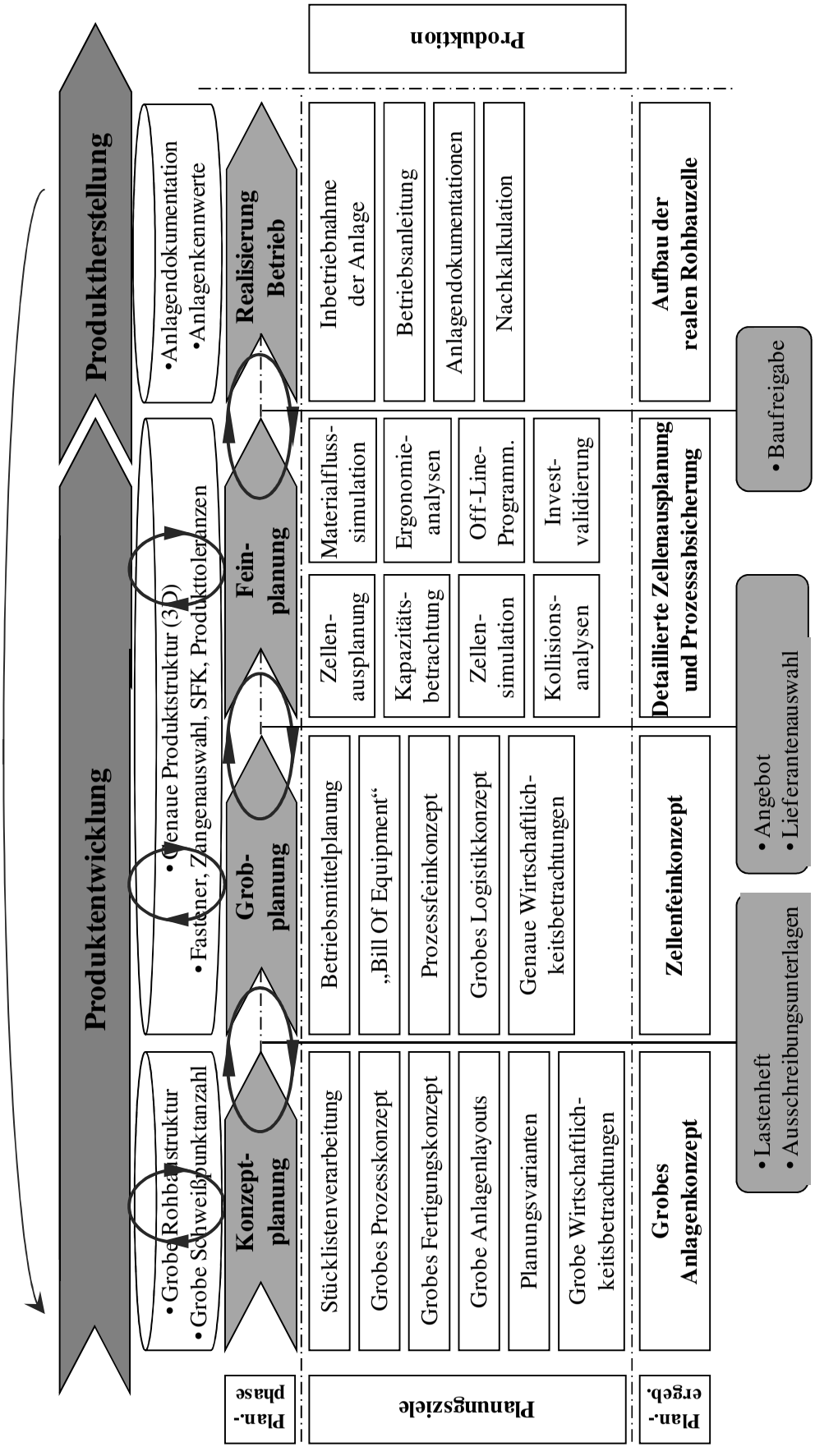


Abbildung 3-11: Verschiedene Planungsphasen und deren Inhalte

Entsprechend der nach unten immer breiter werdenden Pyramidenform nimmt im Planungsprozess auch der entsprechende Arbeitsaufwand und die damit verbundene Informationsdichte zu, gleichzeitig werden die Planungsinhalte immer detaillierter.

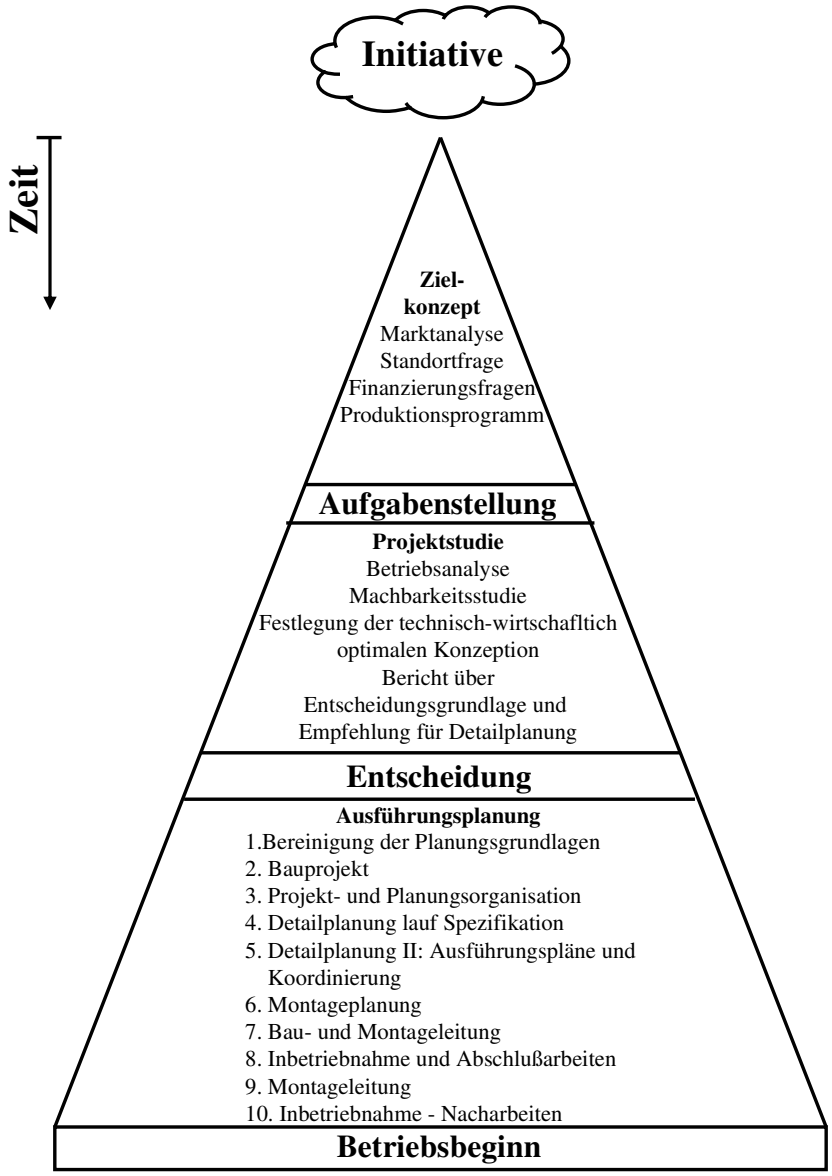


Abbildung 3-12: Die Planungspyramide nach Aggteleky [Aggt87]

Für die Prozesskette Karosserie beginnt die Planungsphase meistens anhand der Produktstruktur des Vorgängerfahrzeuges, falls ein solches vorhanden ist. Dieses wird als erster Richtwert für die Anzahl der Karosseriekomponenten als auch deren Struktur genommen. Diese Abschätzung ist in frühen Phasen vollkommen ausreichend, zudem sich die Fahrzeugkarossen vom aktuellen Modell zum Nachfolger in der Anzahl der verwendeten Komponenten nicht

übermäßig stark verändern. Da innerhalb der frühen Phasen im Rahmen des Konzepthefts die zu verwendenden Fertigungsverfahren vorgeschlagen werden, können auch hier erste, noch grobe Abschätzungen für die Gestaltung der Fertigungsprozesse erfolgen.

So kann beispielsweise an Hand der Gesamtanzahl der zu setzenden Schweißpunkte, die als Schätzwert vom Vorgängerfahrzeug übernommen werden, eine Überschlagsrechnung zur Ermittlung der Taktzeit durchgeführt werden, in deren Ermittlung zusätzlich die vom Vertrieb vorhergesagten Stückzahlen einfließen, womit wiederum Sollzahlen für die Dimensionierung der Produktionsanlage abgeleitet werden können. Hat man z.B. eine erste Idee, wie viele Roboter in der Rohbauanlage zum Einsatz kommen sollen, können daraus unmittelbar die Anlagenkosten abgeleitet werden. Gleichzeitig fließen aber auch eine ganze Reihe strategischer Entscheidungen in die Planungsphase mit ein, etwa die Anzahl der geplanten Produktionsstandorte, die Festlegung, ob ein neues Werk gebaut oder ein vorhandenes Werk umgebaut wird, oder die strategische Positionierung des Fahrzeuges in den Absatzmärkten des Unternehmens. Dies führt dazu, dass eine der Haupttätigkeiten der Produktionsplaner darin besteht, verschiedene Planungsalternativen auszuarbeiten, gegeneinander zu vergleichen und auf der Grundlage der noch relativ ungenauen Planungsvorgaben die richtigen Festlegungen für das Fertigungskonzept zu treffen.

Reichen für viele der beschriebenen Planungsaktivitäten zunächst noch Strukturinformationen und einfache Zahlenangaben aus, so wird in der Prozesskette Karosserierohbau bereits relativ früh angefangen, auf geometrischer Grundlage Planungsinformationen zu erstellen. Der Hauptgrund dafür besteht in der Notwendigkeit, schon lange vor Serienbeginn, also vor dem „Job-Nr. 1", reale Fahrzeuge in Vorrichtungen aufzubauen, um die Fahrzeugerprobung starten zu können. Entsprechend wird die Prozesskette Karosserierohbau dreimal durchlaufen. Der erste Durchlauf gilt den Erprobungsfahrzeugen, der zweite gilt den Bestätigungsfahrzeugen und schließlich der dritte den Serienfahrzeugen. Hierzu muss allerdings angemerkt werden, dass sich die äußere geometrische Gestalt der Prototypen gerade beim Übergang von E-Fahrzeug zu B-Fahrzeug nur noch geringfügig ändert, da zu diesem Zeitpunkt bereits die endgültige Festlegung des Designs („Design Freeze“) erfolgt ist. Die meisten Änderungen, die zu diesem Zeitpunkt ausgelöst werden, sind durch die Produktion getrieben und beziehen sich eher auf die Anordnung der unter der Oberfläche liegenden Komponenten bzw. auf die Lage einzelner geometrischer Elemente wie Löcher oder Sicken.

Während der Konzeptphase wird die Produktstruktur des Karosserierohbaus aus der Produktentwicklung in die Planung übernommen. Aufgrund seiner Erfahrungen bzw. unter Berücksichtigung der bereits existierenden Vorüberlegungen für das Fertigungskonzept, leitet der Produktionsplaner daraus eine Fügefolge für den Rohbau ab. Diese beschreibt, losgelöst von der funktional gegliederten Struktur des Konstrukteurs, den Aufbau innerhalb der Fertigungsanlage. Da diese „fertigungsgerechte“ Struktur einen großen Einfluss auf das Toleranzkonzept hat, muss sie in dem bereits weiter oben beschriebenen Toleranzarbeitskreis vorgestellt und abgestimmt werden. Dieser Teilprozess umfasst entsprechend sehr viele Iterationen, da für jede Veränderung zahlreiche Abstimmungsrunden unter allen betroffenen Abteilungen geführt werden müssen. Auf Grundlage der Fügefolge wird dann in einer weiteren Phase das Spann- und Fixierkonzept festgelegt. Dieses beschreibt die Aufnahme der Karosserieteile innerhalb der Fertigungsvorrichtungen mit dem Zweck, die Karosseriebaugruppen innerhalb der vorgesehenen Toleranzwerte und mit hohen Wiederholgenauigkeiten zu fertigen. Das Spann- und Fixierkonzept dient gleichzeitig als Grundlage für die sich unmittelbar anschließende Prozessphase der Vorrichtungskonstruktion und stellt damit eine der wichtigsten Informationen an der Schnittstelle von der Produkt- zur Produktionsentwicklung dar.

Im Karosserierohbau wird an dieser Stelle stark unterschieden zwischen den Vorrichtungen zur Herstellung der Prototypfahrzeuge und der Serienanlage. Während die Erstellung der Serienanlage fast komplett an externe Anlagenlieferanten vergeben wird, werden die Vorrichtungen für die Prototypphase teilweise noch in internen Abteilungen konstruiert und aufgebaut. Der Trend zur Fremdvergabe setzt zwar auch hier immer stärker ein, dennoch wird versucht, einen großen Teil des erforderlichen Fachwissens innerhalb des Unternehmens zu halten. Vom Strukturabsicherungsfahrzeug angefangen über die E-Fahrzeug-Phase bis hin zum Bestätigungsfahrzeug versucht man dabei, die Vorrichtungen sukzessive weiterzuentwickeln und an die jeweils geänderten Bauteile anzupassen, was eine modulare und adaptierbare Auslegung der Vorrichtungen voraussetzt. Dabei kann es im Falle der externen Vergabe der Vorrichtungskonstruktion auch vorkommen, dass die damit verbundene Anpassungskonstruktion für die nachfolgende Prototypphase nicht zwangsläufig vom gleichen Entwicklungspartner wie bei der Erstentwicklung gemacht wird, was eine saubere und nachvollziehbare Dokumentation der jeweiligen Phasen unabdingbar macht.

Für die Vergabe der Serienanlage wird zunächst eine Ausschreibung gemacht. Die Firmen, die sich an dieser Ausschreibung beteiligen, werden dabei mit Produktdaten sowie den Rand-

bedingungen wie Stückzahlen oder vorgeschriebenen Verfahren für das zu realisierende Fertigungskonzept versorgt. Nachdem die verschiedenen Angebote vorliegen, wird der Auftrag für den Bau der Anlage vergeben, wobei die Gesamtanlage auf verschiedene Anlagenbauer verteilt wird, Dadurch hält sich die zeitliche sowie finanzielle Bindung der einzelnen Firmen in überschaubaren Grenzen, und sie werden nicht in die Abhängigkeit eines einzelnen Unternehmens getrieben. Während der Herstellungsphase werden die ausgewählten Lieferanten zu festen Zeitpunkten mit aktuellen Produktdaten und dem entsprechend aktualisierten Spann- und Fixierkonzept versorgt. Kommt es zu unvorhergesehenen Änderungen innerhalb einer Prototypphase, so werden diese ebenfalls an die betroffenen Lieferanten kommuniziert und es wird eine Abschätzung der durch die Änderung verursachten Kosten eingefordert. Auf dieser Grundlage wird dann eine Entscheidung getroffen, ob die Änderung durch Anpassung der Produktionsanlage abgefangen wird oder die Konstruktionsseite doch eher andere Alternativen prüft. Für die externen Lieferanten bietet sich während dieser Änderungsschleifen die beste Chance, Profite für ihre Unternehmen einzufahren, da während der ersten Angebotsphase durch den Konkurrenzdruck oft sehr hart kalkuliert wird. Unabhängig davon, ob eine Prototypvorrichtung oder die Serienanlage zu bauen ist, werden die Vorrichtungen vor dem endgültigen Aufbau bereits beim Lieferanten getestet und einer Vor-Abnahme unterzogen.

Ähnlich wie bei der Produktentwicklung sind heute viele der Tätigkeiten in der Planungsphase in externe Firmen verlagert. Dadurch bleibt auch dem Produktionsplaner nicht erspart, einen Großteil seiner Arbeitszeit mit der Kommunikation von Anforderungen und Änderungsvorschlägen oder dem Beschaffen von Informationen aus den verschiedensten Bereichen zu verbringen. Wie das von der organisatorischen Seite her in einem konkreten Planungsprojekt aussehen kann, ist in Abbildung 3-13 dargestellt. Das Bild zeigt die Situation während der Planungsphase für die Serienanlage eines Geländewagens. Die Entwicklung des Fahrzeugs findet, mit externer Unterstützung durch einen Entwicklungspartner, in Sindelfingen statt. Für die Planung des Zielwerkes, das wegen der Kundennähe in den Südstaaten der USA aufgebaut wird, empfiehlt es sich, mit einem lokalen Anlagenlieferanten zusammenzuarbeiten. Dies trägt der Tatsache Rechnung, dass es sowohl in der Art der Anlagengestaltung als auch im Grad der Automatisierung essentielle Unterschiede zwischen Nordamerika und Europa gibt. Der Anlagenlieferant selbst ist aber auch kein unabhängiges Unternehmen mehr, sondern gehört seit einigen Jahren zu einem italienischen Mutterkonzern, was wiederum zur Folge hat, dass einige Entscheidungen während der Entwicklungsprozesse nur von dort aus getroffen

werden können bzw. interne Abstimmungsrunden zwischen italienischer Mutter und amerikanischer Tochter durchgeführt werden müssen.

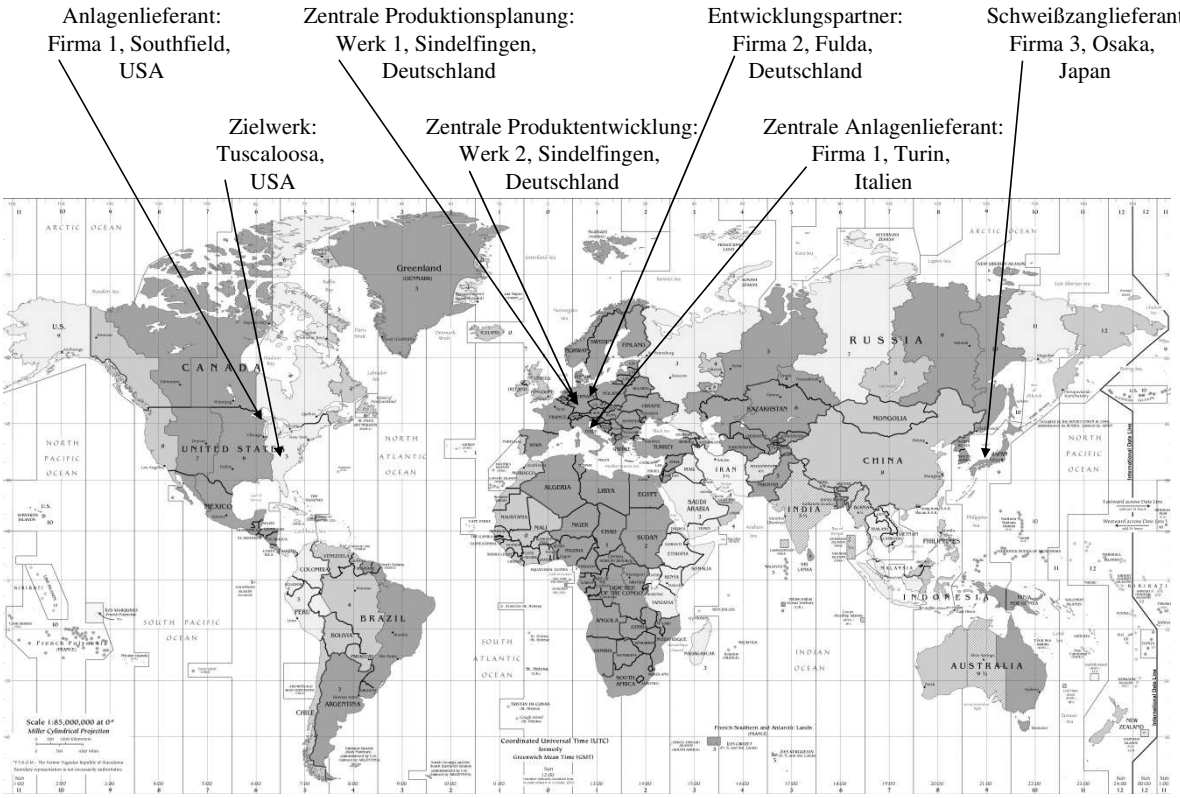


Abbildung 3-13: Global verteilte Entwicklungsprozesse

Schließlich werden die in der Anlage verwendeten Schweißzangen von einem Hersteller aus Japan bezogen, der in den späteren Phasen der Anlagenplanung ebenfalls mit einbezogen wird. Man kann sich sehr leicht vorstellen, dass sich die Koordination einer solchen Planungsaufgabe sehr komplex gestaltet. Allein schon eine Telefonkonferenz mit gleichzeitiger Teilnahme aller Beteiligten zu organisieren, ist in Anbetracht der unterschiedlichen Zeitzonen fast unmöglich.

3.3.2 Methoden

In [Schm95], einem weiteren Standardwerk zur Produktionsgestaltung, wird die Planung einer Fabrik als ein „komplizierter Prozess der Informationsgewinnung und –verarbeitung mit systematischen, heuristischen und intuitiven Anteilen“ beschrieben. [Schm95] bezeichnet diesen Prozess weiterhin als stark vernetzt und arbeitsteilig, als „kommunikativen Problemlösungs- und Entscheidungsprozess“, dessen Ziel darin besteht, eine „Auflösung eines Geflechts von Differenzen“ zu erreichen, bis ein „ausreichender Grad an Übereinstimmung erreicht ist“.

Übertragen auf die bereits erwähnte Planungspyramide von Aggteleky [Aggt87] kann diese Tätigkeit als stark vernetzte Koordinierungsaufgabe innerhalb einer Ebene der Pyramide beschrieben werden, bei der es zwischen den einzelnen Teilproblemen Beziehungen sowohl innerhalb einer Gestaltungsfläche, als auch in den vier Gestaltungsflächen untereinander gibt, siehe Abbildung 3-14. Die Beziehungen innerhalb einer Pyramidenseite werden dabei als homogene Relationen bezeichnet. Sie verbinden z.B. ein technisches Teilproblem mit einem weiteren technischen Teilproblem. Die seitenübergreifenden Beziehungen stellen entsprechend die heterogenen Relationen dar, die etwa ein technisches Teilproblem mit einem betriebswirtschaftlichen Teilproblem verbinden. Die entstehenden Regelkreise sollten dabei im Idealfall immer innerhalb einer Ebene liegen, ebenenübergreifende Relationen sind zu vermeiden, da diese automatisch einen zeitlichen Versatz beinhalten.

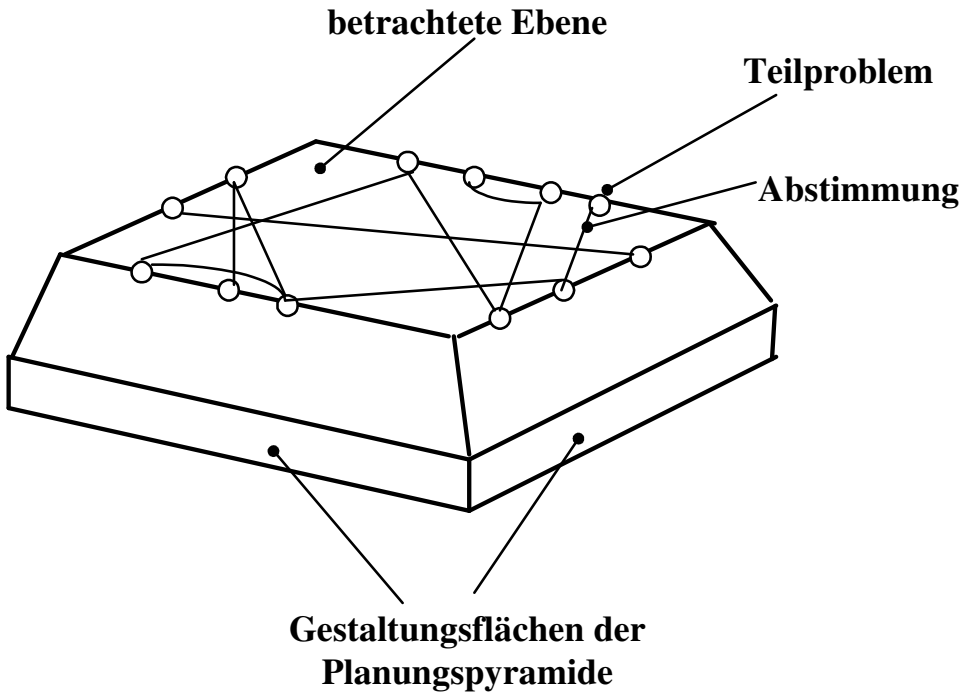


Abbildung 3-14: Koordinierungsebene innerhalb der Planungspyramide [Aggt87]

Aus diesen theoretischen Vorüberlegungen lassen sich eine ganze Reihe von Grundsätzen und damit verbundenen Methoden für die Produktionsentwicklung ableiten, die innerhalb dieser Phase zur Anwendung kommen:

- **„Top-Down“-Methode:** Hierunter versteht man im Kontext der Produktionsplanung das Vorgehen vom Allgemeinen hin zum Speziellen, oder, anders formuliert, vom Groben zum Feinen. Während diese Methode auch in der Produktentwicklung, bei-

spielsweise bei der geometrischen Ausgestaltung der Karosserie zum Einsatz kommt, wird bei der Gestaltung der Produktionsanlage aber in einigen Prozessen auch die entgegengesetzte **„Bottom-Up"-Methode** angewendet. Ein Beispiel dafür wäre etwa die Aufsummierung der Kosten einzelner Produktionsanlagen, um Abschätzungen für die Gesamtanlage abzuleiten.

- **„von außen nach innen":** Hiervon spricht man, wenn die Prognose des Absatzmarkts das Produktionsprogramm definiert und dieses wiederum die Fertigungsprozesse hinsichtlich ihrer Dimension und ihrer Struktur determiniert.
- **„vom Zentralen zum Peripheren":** Dies bedeutet, dass man sich zunächst auf die wesentlichen Prozesse konzentriert, bis schließlich der Rest festgelegt wird. Es wird z.B. zunächst der Fertigungsprozess definiert, dann erst kümmert sich der Planer um den Ver- oder Entsorgungsprozess oder um die für den Fertigungsprozess notwendige Steuerung.
- **„vom Idealen zum Realen":** Dieser Grundsatz heißt, dass zunächst relativ weit abstrahiert wird und von einer idealisierten Umgebung ausgegangen wird (sogenannte „Planung auf der grünen Wiese"), bis schließlich in späteren Phasen die real existierenden Randbedingungen immer stärker berücksichtigt werden.
- **„Optimieren und Variieren":** Dieser Grundsatz wurde bereits mehrfach angesprochen. Er bezieht sich auf das Erarbeiten von baumartigen Variantenstrukturen für die Problemlösung, bei denen die einzelnen Alternativen aufgrund von objektiven Kriterien gegeneinander verglichen werden können, um so die optimalste Variante zu finden.

Neben diesen eher klassischen Methoden der Produktionsentwicklung ist vor einigen Jahren der Begriff der „digitalen Fabrik" aufgetaucht, den man durchaus als Methodik verstehen und interpretieren kann. In der [VDI4499] ist die digitale Fabrik definiert als ein „umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen … die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden.". Ihr Ziel ist die „ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt." Die damit zum Ausdruck gebrachte Planungsphilosophie bezieht sich auf den gesamten Produktlebenszyklus, von der ersten Idee bis hin zum Lebensende des Produktes. Vergleicht man die mit der digitalen Fabrik verbundenen Zielsetzungen im Detail, lässt sich sagen, dass sie als die konsequente Fortsetzung des CIM Gedankens, der 1985 im Rahmen der Hannover Messe erstmals auftauchte, gesehen werden

kann. Neben frühen Arbeitskreisen wie K-CIM oder Q-CIM wurde der Gedanke der integrierten Datenbasis beispielsweise bereits bei [VDI90] oder bei [Haas93] als eines der Hauptziele bei CIM beschrieben, die beide auch auf die notwendige Formulierung durchgängiger Produktdatenmodelle für die verschiedenen Phasen des Lebenszyklus hinweisen. Die Wichtigkeit, die verschiedenen, am Produktlebenszyklus beteiligten CA-Techniken miteinander zu vernetzen, ist bei [Grei91] detailliert erwähnt, wobei hier auch schon ein Hinweis auf den problematischen Umgang mit „Datenmodellen an den Nahtstellen zwischen Bereichen“ eingegangen wird. Ein genaueres Studium der Literatur aus dieser Zeit zeigt, dass die damals formulierten Ziele nach wie vor ihre Gültigkeit haben. Ebenso wenig haben die damals beschriebenen Randbedingungen und Herausforderungen, die zum Entstehen des CIM Gedankens geführt haben, an ihrer Relevanz verloren. Lediglich drei wesentliche Unterschiede lassen sich aufzeigen. Erstens wurden die meisten der damaligen Betrachtungen auf die CAD/CAM Prozesskette zur NC Bearbeitung fokussiert, da dies die ersten planerischen und fertigungstechnischen Bereiche waren, die von den CA-Applikationen durchdrungen wurden. Die CAP-Systeme dienten damals hauptsächlich der Ableitung der Steuerungsprogramme für die Zerspanungsprozesse und stellten somit eine Schnittstelle zu den PPS-Systemen des Unternehmens dar. Zweitens betrachtete man die CAD- und CAP-Applikationen als ausgereift, von Systemen zur rechnergestützten und datenbankbasierten Verwaltung der relevanten Informationen war nur am Rande die Rede, da die zu behandelnde Datenmenge noch nicht als kritischer Faktor betrachtet wurde. Für die damals zu Grunde gelegten Beispielprozesse war ein verzeichnisorientierter Informationsaustausch absolut ausreichend. Als dritter Unterschied kann festgehalten werden, dass CIM insgesamt mehr auf einen optimierten Ablauf der sequentiellen Teilprozesse untereinander abzielte, d.h. auf eine problemlose Weiterverwendung bereits erstellter Informationen ohne gravierende Verluste oder Aufbereitungsschritte. Demgegenüber zielt die Digitale Fabrik verstärkt auf die Parallelisierung dieser Prozesse, um eine zusätzliche Verkürzung der Durchlaufzeiten und die frühere Rückführung von Informationen zwischen Prozessen zu erlauben. Damit lässt sich auch die große Relevanz der integrierten Datenverwaltung innerhalb der digitalen Fabrik erklären, die in der eingangs erwähnten Definition zum Ausdruck kommt.

Eine häufig angewandte Methode, die gerade auch im Kontext der digitalen Fabrik oft genannt wird, kann unter dem Stichwort „Produktionsabsicherung“ verstanden werden. Dabei empfiehlt sich eine Unterteilung in digitale Absicherungsmethoden, die rein rechnerbasiert vollzogen werden, sowie in „physische“ Absicherungsmethoden, d.h. Tests an real existieren-

den Komponenten oder Anlagen oder an Teilen davon. Diese Klassifizierung wird bei [MüBW05] vorgestellt und ausführlich beschrieben. Das Ziel dieser Absicherungsaktivitäten ist es, eine qualitativ möglichst gute Aussage bezüglich der Produzierbarkeit der jeweils untersuchten Komponenten machen zu können. Im Fall der Karosserieentwicklung ist die Absicherung der Schweißzangenzugänglichkeit ein Beispiel für eine solche digitale Methode, die relativ früh im Produktentstehungsprozess gemacht werden kann. Dabei wird auf standardisierte Schweißzangenmodelle zugegriffen, mit denen man den kollisionsfreien Zugang zum Schweißpunkt abprüft und gegebenenfalls die Verschiebung der Schweißpunktlage initiiert. Das Prüfen der Umformbarkeit der einzelnen Komponenten der Karosserie wäre ein weiteres Beispiel für die Anwendung der Methode der digitalen Absicherung, bei der man prüft, ob die geometrische Ausgestaltung der Komponenten durch ein Tiefziehwerkzeug problemlos und möglichst kostengünstig erreicht werden kann, unter Einhaltung der vorgegebenen Toleranzen. Die erwähnten Beispiele können bereits unmittelbar nach Konstruktionsbeginn erfolgen, wenn die ersten Modelle des Konstrukteurs mit hinreichendem Reifegrad vorliegen. Nur so kann man gewährleisten, dass von Seiten der Produktion frühzeitig Einfluss auf die Bauteilgestaltung genommen werden kann. Schreitet die Produktionsentwicklung weiter voran, so können nach und nach auch die neu entstehenden Betriebsmittel in die Absicherungsschleifen mit einbezogen werden. So wird zu einem späteren Zeitpunkt etwa eine weitere Zugänglichkeitsanalyse mit Schweißzangen durchgeführt, dieses Mal jedoch unter Berücksichtigung der Vorrichtungsgeometrie, um auch hier einen kollisionsfreien Zugang zu gewährleisten. Das problemlose Einlegen und Herausnehmen der Bauteile und der bei der Fertigung entstehenden Baugruppen wird in weiteren Absicherungsprozessen untersucht, sobald reife Geometriestände der Prototyp- oder Serienanlagen vorliegen. Auch die Bewegbarkeit der in den Vorrichtungen enthaltenen Spanner wird geprüft. Die Schwierigkeit besteht in den genannten Prozessen hauptsächlich in der Wahl des Zeitpunkts, zu dem die Absicherung durchgeführt wird.

Generell gilt im Kontext der Produktionsabsicherung der Grundsatz „so früh wie möglich“. Andererseits muss aber auch gewartet werden, bis der für die zu untersuchende Komponente oder Vorrichtung verantwortliche Konstrukteur einen geometrischen Reifegrad erzeugt hat, der eine gute Aussage erlaubt, ohne dass die anschließend nach wie vor durchgeführten, konstruktiven Änderungen zu gravierend sind. Abbildung 3-15 zeigt ein Beispiel für die Absicherung der Schweißzangenzugänglichkeit an einem CAD-Modell des Hauptbodens einer Fahrzeugkarosserie. Bei diesem Test werden die Schweißpunkte auf den Blechteilen nacheinander

mit mehreren Schweißzangenmodellen angefahren, wobei Kollisionen zwischen Bauteil und Zange optisch angezeigt und in einer Tabelle dokumentiert werden.

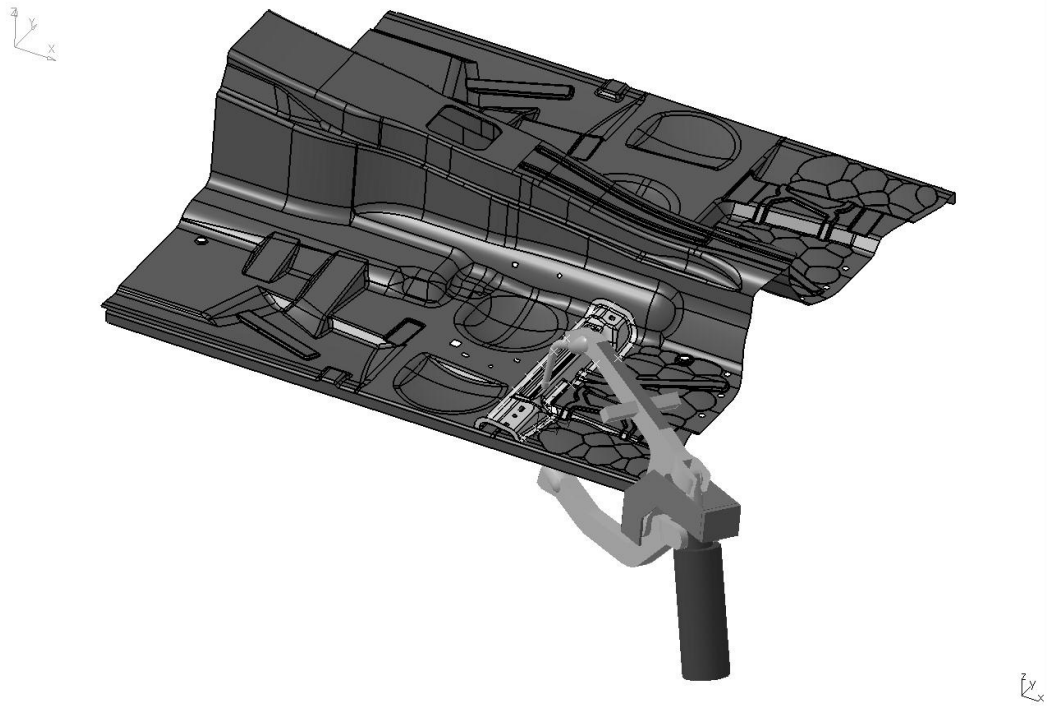


Abbildung 3-15: Absicherung der Schweißzangenzugänglichkeit

Die physischen Absicherungsmethoden werden jeweils innerhalb der einzelnen Prototypphasen durchgeführt, parallel zu Entstehung der realen Produktkomponenten. Dies beginnt bei den Einlegeversuchen, schließt die Rückführung von Erkenntnissen, die beim realen Verschweißen der Bauteile mit Handschweißzangen gemacht werden mit ein und bezieht sich schließlich auch auf gezielte Untersuchungen bei der Montage der Prototypfahrzeuge. Für Bauteilumfänge, die als besonders kritisch eingestuft werden, werden bereits vor der eigentlichen Prototypphase Teilumfänge als real existierende Bauteile gefertigt, teilweise in Rapid-Prototyping-Verfahren, um erste Untersuchungen mit diesen durchzuführen (vlg. hierzu ebenfalls [MüBW05]).

Werden während dieser Absicherungsläufe Fehler erkannt oder Probleme vorhergesehen, wird das Änderungsmanagement angestoßen. Je nach Phase der Produktentstehung geschieht dies entweder im direkten Gespräch mit den betroffenen Fachabteilungen oder über einen offiziellen Workflow mit integriertem Berichtssystem. In diesem werden die Fehler erfasst,

die zu ergreifenden Maßnahmen dokumentiert, sowie die zu deren Erledigung nötigen Verantwortlichen benannt. Speziell für die Produktionsabsicherungsmethoden lässt sich sagen, dass diese in frühen Phasen genau an der Schnittstelle zwischen Produkt- und Produktionsentwicklung angesiedelt sind und entsprechend einen sehr stark domänenübergreifenden Charakter haben. D.h. hier müssen Informationen bzw. Daten aus den verschiedensten Disziplinen des Produktentstehungsprozesses zusammengetragen werden, und das oft unter sehr zeitkritischen Begleitumständen.

Als letzte Methode sei an dieser Stelle noch die der wissensbasierten Vorrichtungskonstruktion genannt. Damit trägt man dem stark modularen Aufbau der Rohbauvorrichtungen Rechnung, die zum Großteil aus sich wiederholenden, geometrisch relativ einfachen Grundbausteinen bestehen. Diese sind in Feature-Katalogen hinterlegt und mit Steuerparametern versehen, mit deren Hilfe man sie problemlos auf das jeweilige Bauteil anpassen kann. Die verwendeten Spannelemente, die auf Grundplatten stabil befestigt werden, sind in Konstruktionskatalogen hinterlegt, da sie ohnehin als Zukaufteile beschafft werden. Den Übergang zur Kontur des in der Vorrichtung eingespannten Bauteils realisiert man mit Hilfe von Konturstеinen, deren exakte geometrische Gestalt mit Hilfe von ausgeschnittenen Teilflächen aus der Bauteilgeometrie definiert wird. Durch die Anwendung dieser Konstruktionsmethodik kann sehr viel Zeit während der Konstruktion der Vorrichtung und den anschließend auftretenden Änderungen eingespart werden. Idealerweise wird dadurch die Gestaltung der Vorrichtungen für die nächste Prototypserie lediglich zu einer Anpassungskonstruktion, die sich mit dem Verändern einiger Parameter sowie dem Anpassen der Konturstеine relativ leicht bewältigen lässt.

3.3.3 Systeme

Die nahtlose Unterstützung der Produktionsentwicklung durch Computersysteme ist im Vergleich zur Produktentwicklungsseite noch nicht so weit ausgeprägt. In vielen Planungsprozessen werden hauptsächlich Systeme zur Tabellenkalkulation, zur Präsentation oder zur Textverarbeitung eingesetzt, die sich unter dem Begriff Bürokommunikationssysteme zusammenfassen lassen. Speziell in frühen Phasen war dies bisher ausreichend, da die Entwicklung der Produktionsanlagen mit der sogenannten alphanumerischen Planung beginnt. Eine eigene Datenhaltung im Sinne einer speziellen Datenbank ist für die erwähnten Systeme dabei nicht eingesetzt worden. Dies ist in Abbildung 3-16, die im Rahmen benachbarter Forschungsarbei-

ten entstand [BHZB02], in qualitativer Art und Weise dargestellt. Ähnlich wie die Produktentwicklung ist auch die spätere Produktion durch zahlreiche IT-Systeme unterstützt, während die Produktionsplanung erst am Beginn dieser Entwicklung steht. Dies liegt unter anderem an der bisher vorherrschenden, sehr stark produktzentrierten Sichtweise auf den Produktenstehungsprozess. Ein weiterer Grund dafür ist sicherlich in der engen Kopplung von CAD- und CAM-Systemen aus den Zeiten von CIM zu sehen, wo versucht wurde, die Bauteilentwicklung sehr eng an die Fertigung anzukoppeln. Dabei blieben die Planungsphase und die darin verborgenen Nutzenpotentiale weitgehend unberücksichtigt. An dieser Stelle will auch die digitale Fabrik durch die Einführung neuer Systeme einen wesentlichen Beitrag zum Erreichen der hier angedeuteten Vision leisten, um die gesamte Prozesskette von der Erstellung der Produktdaten über die Gestaltung der Prozesse bis hin zur Produktion nahtlos digital zu unterstützen.

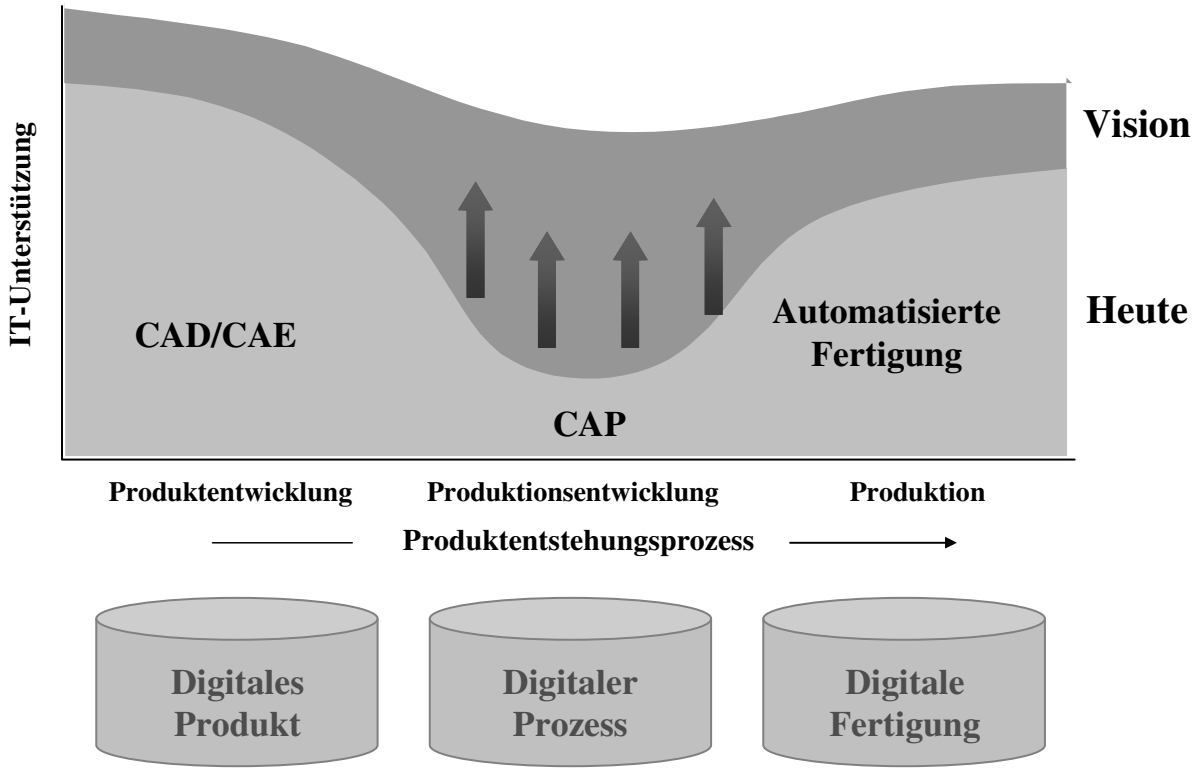


Abbildung 3-16: Digitale Unterstützung verschiedener Phasen des Produktentstehungsprozesses [BHZB02]

Unabhängig von der dargestellten Lücke gab es auch vor dem Auftauchen des Begriffs digitale Fabrik zusätzlich zu den eingangs bereits erwähnten eher textorientierten Datenverarbeitungswerkzeugen auch Applikationen, die in einzelnen Disziplinen dieses Prozesses angewendet wurden und immer noch werden. Dazu gehören beispielsweise Simulationssysteme

für die Robotersteuerung, die über die reine Validierung von Prozessen bis hin zur Off-Line-Programmierung reichen. Eine weitere häufig angewandte Systemklasse sind Werkzeuge zur Materialfluss- und Ablaufsimulation, die während der Gestaltung und Optimierung der Fertigungskonzepte inklusive der logistischen Auslegung der Produktionsanlagen dienen. Die Erstellung der Fertigungskonzepte wurde dabei bisher in zweidimensionalen Zeichenprogrammen durchgeführt, die speziell auf diese Belange hin ausgelegt sind. Auch für ergonomische Analysen existieren digitale Werkzeuge, die im Rahmen der Arbeitsplatzgestaltung angewendet werden um mit vereinfachten Menschmodellen Aussagen über die späteren Belastungen der eingesetzten Werker machen zu können. All diese bereits existierenden Werkzeuge wurden jedoch meist unabhängig voneinander und ohne den Einsatz von Datenbanken betrieben, d.h. die Informationswege der einzelnen Disziplinen untereinander waren nur sehr aufwändig zu gewährleisten, das Änderungsmanagement war stark beeinträchtigt.

Um diese Probleme zu lösen, kamen mit dem Aufkommen der Methode der digitalen Fabrik auch neue, integrierte Systeme innerhalb der Produktionsentwicklung zum Einsatz, die heute unter dem Begriff CAP-Systeme zusammengefasst werden. Ihre Anwendung und Verbreitung wurde in den vergangenen Jahren von Seiten der großen Systemhersteller durch strategische Zukäufe und Allianzen entsprechend gefördert. Heute sind sie, speziell in der Automobilindustrie, bei jedem großen Hersteller im Einsatz, und selbst im Zulieferbereich steigt die Zahl der Anwender immer weiter. Betrachtet man diese CAP-Systeme im Detail, so empfiehlt sich eine Unterteilung in zwei verschiedene, sich gegenseitig ergänzende Kategorien.

Die eine Kategorie sind Systeme zur Unterstützung der alphanumerischen Produktionsgestaltung, durch die die bisher verwendeten Bürokommunikationssysteme abgelöst werden. In ihnen werden sämtliche Informationen zusammengetragen, miteinander verknüpft und in einer Datenbank verwaltet. Vereinfacht gesagt wird hier eine integrierte Betrachtung von Produkt-, Prozess- und Ressource-Daten hergestellt, die in einem digitalen Fertigungskonzept gebündelt werden. Das Ziel dieser Anwendungen liegt darin, den Planer in die Lage zu versetzen, möglichst viele alternative Fertigungskonzepte abzuleiten und gegeneinander vergleichen zu können, wozu verschiedene Funktionen zur Auswertung und Validierung bereitgestellt werden. Es gibt auch bestehende Kopplungen zu Folgesystemen wie beispielsweise für die Materialflusssimulation, wobei bei der Datenversorgung an dieser Schnittstelle teilweise erhebliche Informationsverluste in Kauf genommen werden müssen (siehe hierzu u.a. [Zenn02]). Die Hauptabnehmer der innerhalb dieser Systeme erzeugten Daten sind in der Se-

rienproduktion bzw. den Logistikabteilungen zu finden. Dies erklärt auch den geringen Grad der Nutzung von dreidimensionalen Geometrien: Geometrien werden lediglich als vereinfachte Modelle in Bibliotheken hinterlegt und nur zu Präsentationszwecken herangezogen. Sie bieten aber durch den geringen Informationsgehalt aktuell noch kaum einen Mehrwert.

Die Rolle von dreidimensionalen Daten in der zweiten Kategorie von CAP-Systemen ist demgegenüber wesentlich wichtiger. Die 3D-Daten bauen zwar teilweise auch auf Prozessbeschreibungen und den darin enthaltenen Informationen wie beispielsweise einer Fügefolge oder eines Einbaupfades auf, dienen aber speziell in frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses zur Produktionsabsicherung mit Hilfe von Simulationen der Fertigungsprozesse oder ihrer Teilschritte. Typische Beispiele für Untersuchungen, die mit solchen Systemen gemacht werden, wären etwa die bereits im Methodik-Abschnitt erwähnte Schweißzangenzugänglichkeitsanalyse oder die Platzierung der Roboter innerhalb einer Rohbaustation. Während der Prototypphasen werden auch die für die Herstellung der Prototypfahrzeuge entwickelten Vorrichtungen in diesen Systemen untersucht, um das problemlose Einlegen und Verschweißen der Karosserieteile sicherzustellen. Mit wachsendem Reifegrad der Produktentstehung verschiebt sich der Fokus auch hier immer stärker in Richtung Serienproduktion, d.h. auch die spätere Serienanlage wird schließlich mit diesen Systemen dreidimensional modelliert und optimiert.

Im betrachteten Unternehmen werden beide Kategorien von CAP-Systemen mittlerweile in den ersten Baureihen flankierend innerhalb der bestehenden Systemwelt eingesetzt. Dabei greifen beide Systeme auf eine einzige Datenbank zu, die über einen Downloadprozess mit Produktdaten aus der Entwicklung versorgt wird. Dabei sind allerdings verschiedene Aufbereitungsschritte notwendig, bei denen Daten konvertiert bzw. einzelne Attribute innerhalb der Metadaten übersetzt werden müssen. Zu den existierenden Systemen gibt es teilweise aufwändige Schnittstellen, um die erzeugten Daten weiterzuleiten und speziell für die Serienproduktion nutzbar zu machen.

Neben den rein planerischen Aufgaben finden innerhalb der Produktionsentwicklung aber auch konstruktive Tätigkeiten statt. Die Produktionsmittel selber müssen entwickelt und geometrisch beschrieben werden, was im Grunde genommen ein in sich abgeschlossener Prozess ist, der der reinen Produktentwicklung sehr stark ähnelt. Speziell im Karosserierohbau handelt es sich bei den eingesetzten Produktionsmitteln um Sonderanfertigungen, die sich hinsichtlich ihrer Gestaltung sehr stark an der Geometrie der Bauteile orientieren und in der Regel auf

deren Grundlage konstruiert werden. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Spannvorrichtungen, in denen die Bauteile für die Verbindungsprozesse aufgenommen werden, oder um Handhabungsvorrichtungen, mit denen die Bauteile zwischen den Stationen weitergegeben werden oder neben der Produktionslinie gelagert werden. Zur Unterstützung dieser Prozessschritte werden konventionelle CAD-Systeme eingesetzt, wobei man aufgrund der relativ einfachen Geometrieelemente, aus denen sich die einzelnen Vorrichtungen zusammensetzen, sehr stark auf parametrische und wissensbasierte Konstruktionsmethoden setzt. Die Parametrik bietet dabei trotz des relativ hohen Modellierungsaufwands speziell beim Nachziehen der durch Bauteiländerungen ausgelösten Modifikationen sehr viel Zeitersparnis, das Anpassen der Vorrichtungen kann relativ leicht vollzogen werden. Die Verwaltung der dabei erzeugten Ressourcedaten erfolgt ebenfalls im PDM-System, wobei der stark assoziative Aufbau der CAD-Modelle es nötig macht, die Vorrichtungen in abgeschlossenen Containern zu bündeln, im Sinne einer so genannten „Black-Box-Archivierung“. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass bei Modifikationen einzelner Submodule eines Vorrichtungsmodells immer das gesamte Modell ins CAD-System geladen wird. Würde man dies umgehen, so könnten einzelne Änderungen zu Inkonsistenzen, und schlimmstenfalls zu einem korrupten Vorrichtungsmodell führen. Abhilfe könnte hier die Einführung eines PDM-Systems zur Anlagendatenverwaltung bieten, das die bei der Konstruktion zwischen den CAD-Modellen erzeugten Relationen verwalten kann, was im betrachteten Unternehmen allerdings nicht der Fall ist.

Abbildung 3-17 zeigt als Übersicht die wichtigsten, innerhalb der Produktionsentwicklung für den Karosserierohbau eingesetzten Systeme entlang der Hauptfunktionen der betrachteten Prozesskette, inklusive der für den jeweiligen Prozessschritt relevanten Informationen bzw. Daten.

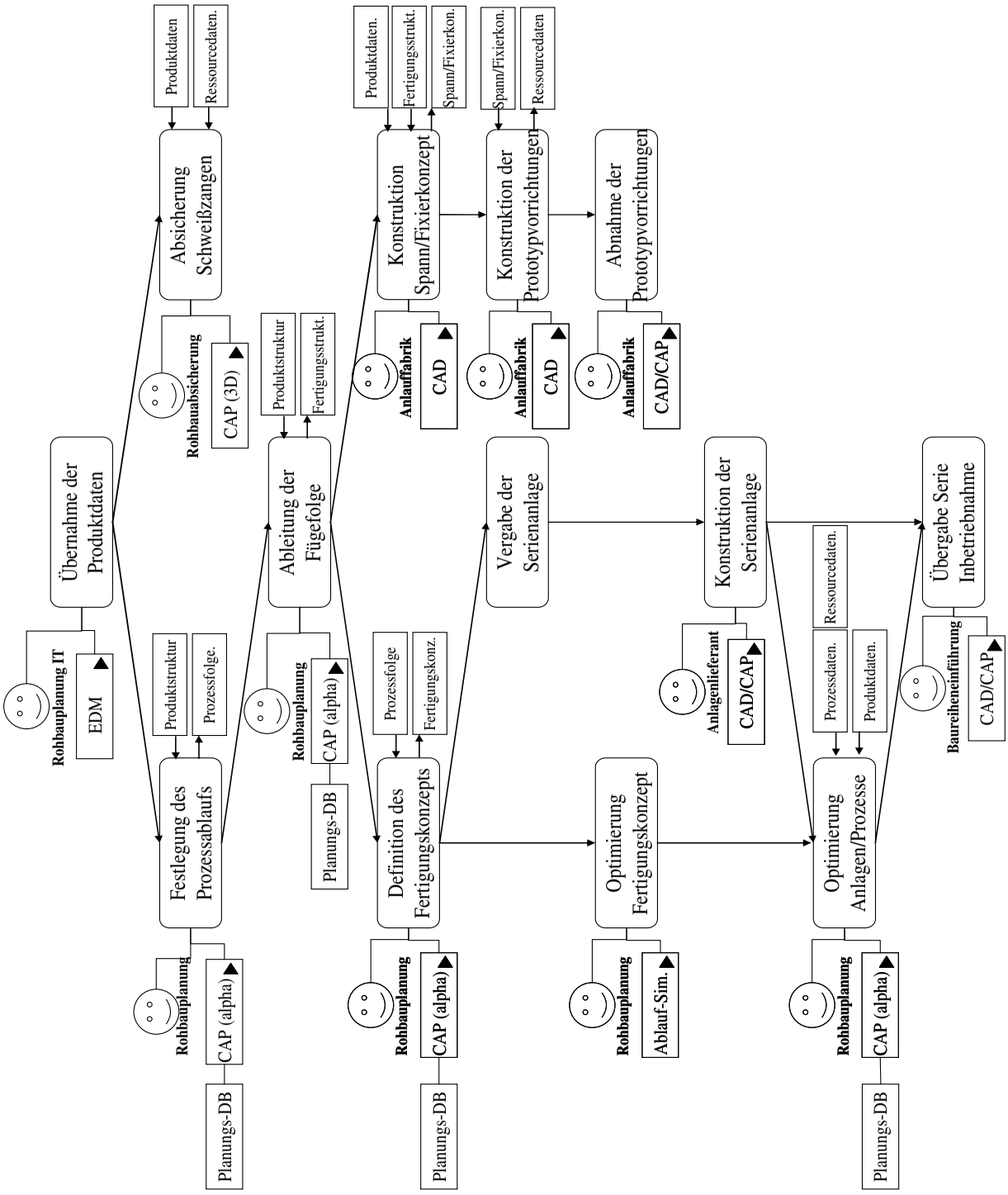


Abbildung 3-17: Funktionen und Systeme in der Produktionsentwicklung

3.3.4 Information/Daten

Analog zur Beschreibung der Produktentwicklung erfolgt in diesem Abschnitt nun die Beschreibung der im Teilprozess der Produktionsentwicklung relevanten Daten sowie der daraus generierten Informationen.

Bildet die Produktstruktur in Form der Stückliste für die Ausgestaltung des Produkts eine der wichtigsten Grundlagen, so wird dies für die Gestaltung der Produktionsanlagen mit Hilfe der Fertigungsstückliste realisiert. Synonym wird dafür auch oft der Begriff der Fügefolge verwendet. Diese wird erzeugt, in dem die aus den Konstruktionsprozessen erzeugte Stückliste übernommen und unter Fertigungsgesichtspunkten umstrukturiert wird. Dies ist nötig, da der Konstrukteur eine eher funktionale Sicht auf das Produkt hat und entsprechend dokumentiert, was aber nicht zwangsläufig den Anforderungen einer realen Fertigung entspricht. Recherchen im Rahmen dieser Arbeit haben beispielsweise gezeigt, dass innerhalb der Prozesskette Karosserierohbau die vom Konstrukteur vorgeschlagenen Zusammenbaustufen in über 60 Prozent der Fälle weiter untergliedert werden müssen, wobei sogenannte fertigungsbedingte Zusammenbaustufen entstehen. In einigen Fällen wird dabei ein einzelner Zusammenbau durchaus in bis zu 10 Unterstufen unterteilt. Bei dieser Aufteilung orientiert sich der Produktionsplaner an der Ausgestaltung der Produktionslinie, wo neben den funktionalen Aspekten verstärkt logistische Aspekte, die Abtaktung der Vorrichtungen oder Belange der Qualitätssicherung berücksichtigt werden. Vereinfachend kann man sagen, dass durch die Aufteilung der Produktstückliste auf die einzelnen Anlagen der Rohbaulinie die Fertigungsstückliste quasi als Ergebnis entsteht. Dies lässt sich auch in Abbildung 3-17 erkennen, wo oben links mit der Produktstruktur als Eingangsinformation durch Definition einer Prozessfolge die Fertigungsstruktur abgeleitet und weiteren Teilprozessen zur Verfügung gestellt wird. Dokumentiert wird diese Fertigungsstruktur in Excel-Listen, die jeweils die Sachnummern der Bauteile enthalten, sowie auch implizit Informationen bzgl. der Reihenfolge, in der die Teile in die Vorrichtung eingelegt werden. Hier gilt die Vereinbarung, dass man die Excel-Listen von unten nach oben und von links nach rechts liest. Der Übergang von der Produktstruktur zur Fertigungsstruktur und damit zur Fügefolge ist in Abbildung 3-18 schematisch am Beispiel eines Hauptbodens dargestellt. Die grau eingefärbten Zwischenstufen innerhalb der Fertigungsstruktur stellen dabei die fertigungsbedingten Zusammenbaustufen dar.

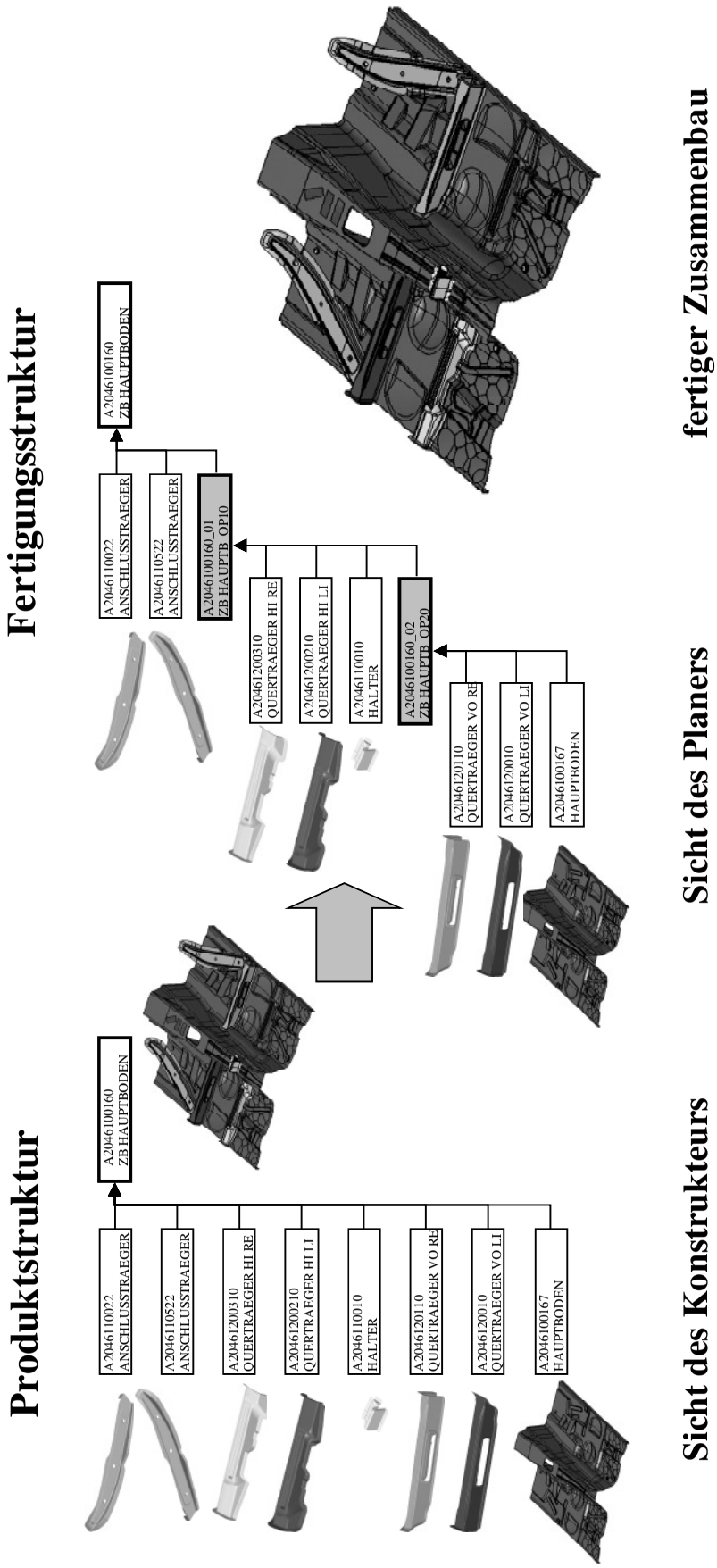


Abbildung 3-18: Von der Produktstruktur zur Fertigungsstruktur (Fügefolge)

Während in der Produktstruktur die Bauteile auf unterschiedliche Prozessschritte aufgeteilt werden, erfolgt auch eine Umverteilung der in der Struktur enthaltenen Verbindungselemente. Innerhalb des Karosserierohbaus versteht man unter Verbindungselementen die folgenden Gruppen:

- Schweißpunkte: ein Punkt mit einer Raumkoordinate und zusätzlichen Attributen, die das Verfahren näher beschreiben (Elektrodendurchmesser, Stromstärke, Haltezeit).
- Kleberaupen: linienförmige Verbindungselemente, die ebenfalls über spezielle Verfahrenskennzahlen verfügen (Klebstoffart, Nahtlänge)
- Bolzen: Geometrisch auskonstruierte Verbindungselemente, die im Rohbau durch Verfahren wie Reibschweißen in die Karosserie eingebracht werden und ebenfalls durch eine Raumkoordinate und Verfahrenskennzahlen beschrieben sind.
- Lasernähte: Klammerförmige Schweißnähte, die aus zwei Punkten im Raum und den relevanten Verfahrensparametern bestehen.

Diese werden über einen separaten Downloadprozess zur Produktionsentwicklung übertragen und über eine Schnittstelle in das digitale Planungswerkzeug eingelesen. Waren die Verbindungselemente auf der Produktseite noch eingebettet in eine Liste innerhalb einer Baugruppe, so werden sie nun als jeweils eigenständige Objekte im Planungssystem angelegt, allerdings mit Übernahme der bereits während ihrer Konstruktion festgelegten Attribute. Auf diese Weise hat der Produktionsplaner die Freiheit, die einzelnen Verbindungselemente auf mehrere Prozessschritte aufzuteilen, auch wenn sie zur gleichen Bauteilpaarung gehören. Dabei spielt die bereits in der Beschreibung des Produktentwicklungsprozesses erwähnte Unterscheidung zwischen Geo- und Ausschweißpunkten eine wesentliche Rolle. Die Geopunkte müssen innerhalb der ersten Vorrichtung, in der die zu verbindenden Bauteile aufeinandertreffen, gefertigt werden, während die Ausschweißpunkte auch in nachgelagerten Stationen noch gesetzt werden können. Als zusätzliche Information werden innerhalb des Planungs- und Absicherungsprozesses die Eulerschen Winkel der Schweißpunkte festgelegt. Während die X-, Y- und Z-Koordinaten die räumliche Lage des Schweißpunkts beschreiben, definieren diese Euler-Winkel die Anfahrpose der Schweißzange beim eigentlichen Verbindungsprozess. Diese stellt im Hinblick auf Austaktung und Optimierung des kinematischen Ablaufs des Schweißprozesses innerhalb der einzelnen Zelle eine wichtige Information dar.

Die resultierende Fertigungsstruktur spielt im weiteren Verlauf der Prozesskette Rohbau für die Gestaltung der Vorrichtungen sowie für die verschiedenen Absicherungsprozesse eine

zentrale Rolle. Speziell im Karosserierohbau orientieren sich diese Tätigkeiten sehr stark an der Geometrie des Produktes, während die restlichen Planungsprozesse sich gerade in den frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses eher an Strukturen und alphanumerischen Daten orientieren. Für die Konstruktion der Vorrichtungen wird die Fertigungsstruktur über einen Downloadprozess aus dem PDM-System exportiert, wobei die einzelnen Vorrichtungen dann durch die jeweiligen Zusammenbaustufen repräsentiert werden. Dies ist unabhängig davon, ob es „offiziell“ existierende Zusammenbaustufen sind, d.h. solche mit einer Sachnummer, die bereits produktseitig angelegt wurden, oder solche, die vom Planer als fertigungsbedingte Stufen hinzugefügt wurden. Innerhalb dieser Objekte wird dann eine weitere, wichtige Information angelegt, nämlich das Spann- und Fixierkonzept. Dieses beschreibt, an welchen Positionen die miteinander zu verbindenden Bauteile später in der dafür notwendigen Vorrichtung aufgenommen und eingespannt werden müssen. Zur Definition des Spann- und Fixierkonzepts wird dabei das so genannte 3-2-1-Prinzip verwendet, d.h. die eindeutige Beschreibung des Bauteils im Raum durch 3 Punkte innerhalb einer Ebene, zwei weiteren Punkten entlang einer Linie und eines letzten Punkts entlang einer weiteren Seite, um dem Bauteil sämtliche Freiheitsgrade zu nehmen, ohne es statisch überbestimmt zu lagern. Um die Qualität der späteren Fertigung zu gewährleisten, müssen dabei das Spann- und Fixierkonzept der Vorrichtung sowie die Toleranz- und Bezugsstellen der in der Vorrichtung vorhandenen Bauteile deckungsgleich sein. Denn nur dort, wo das Bauteil räumlich eindeutig fixiert ist, kann eine sinnvolle Bezugsstelle für die Einhaltung des Maßkonzepts angebracht werden. Geometrisch wird das Spann- und Fixierkonzept dabei mittels spezieller Features innerhalb des CAD-Systems modelliert, die die Spannstelle auf der Oberfläche des Karosserieteils symbolisieren. Neben den räumlichen Koordinaten der Spannstelle enthalten die Features weitere Daten wie beispielsweise die Art des Spanners (Auflagespanner, Fixierbolzen, Schwertbolzen) sowie gegebenenfalls die Bewegungsrichtung der klappbaren Seite des Spanners. Zusätzlich wird bei diesem Prozess ein kleiner Ausschnitt der Karosserieoberfläche als Information in den Datensatz der Spannstelle übernommen, um damit die im Spanner verwendeten Kontursteine geometrisch zu beschneiden. Diese müssen nämlich sehr exakt gefertigt werden, um in der späteren Vorrichtung für eine spielfreie Aufnahme der Bauteile zu sorgen.

Auf der Grundlage des bei der Konstruktion des Spann- und Fixierkonzeptes erzeugten Datensatzes wird dann wiederum die eigentliche Konstruktion der Vorrichtung begonnen. Mit Hilfe wissensbasierter Konstruktionsmethoden werden im CAD-System parametrisierte Spanner auf den Spannstellen eingefügt, die jeweils aus Konstruktionskatalogen entnommen

werden. Die Parameter der Spanner und ihrer Konsolen werden für die jeweilige Vorrichtung angepasst, genauso wie die Kontursteine. Die einzelnen Spannergruppen werden dabei auf einer Grundplatte aufgebaut, die im Koordinatensystem des Fahrzeugs liegt. Dies setzt natürlich voraus, dass die in der Produktstruktur enthaltenen Transformationsmatrizen auch innerhalb der Fertigungsstruktur vorhanden sind, gleichzeitig müssen sie auch bei der bereits erwähnten Unterteilung der einzelnen Zusammenbaustufen entsprechend berücksichtigt werden. Zum Ende dieses Teilprozesses ist mit der geometrischen Beschreibung der einzelnen Produktionsanlagen in Form eines CAD-Modells schließlich ein weiterer Datensatz entstanden, der eine weitere wichtige Information innerhalb der Produktionsentwicklung repräsentiert. Da die CAD-Modelle der Vorrichtungen unter sehr starker Nutzung von Methoden wie Parametrik oder Assoziativität konstruiert werden, sind sie im PDM-System mit Hilfe der „Black-Box“-Methode archiviert. Das bedeutet, dass jeweils eine einzelne, auskonstruierte Vorrichtung innerhalb eines Knotens im PDM-System abgelegt wird und auch nur als kompletter Datensatz ins CAD-System übertragen werden kann. Innerhalb des PDM-Systems stehen dafür, ähnlich wie bei den Produktdaten, spezielle Betriebsmittelsachnummern zur Verfügung. Diese sind hinsichtlich ihres Datenmodells analog zu den Produktsachnummern aufgebaut, lediglich die darin enthaltenen Attribute wie beispielsweise die Namensgebung bzw. die Relationslogik der Sachnummern sind speziell angepasst.

Die hier beschriebene Prozesskette, die von der Erzeugung der Fertigungsstruktur über die Definition des Spann- und Fixierkonzeptes bis hin zur Konstruktion der Prototypvorrichtungen reicht, basiert zum großen Teil auf Datenversorgungsprozessen, die in vielen Schritten mit Downloads arbeiten. Für die Unterstützung der einzelnen Teilschritte der Prozesskette ist also gar keine oder keine durchgängige Datenbank, etwa im Sinne eines einheitlichen und durchgängigen PDM-Systems, vorhanden. Dies wird speziell immer dann kritisch, wenn es zu konstruktiven Änderungen am Produkt bzw. zu strukturellen Änderung innerhalb der Fertigungs- oder Produktstruktur kommt. Die darauf aufbauenden Daten bzw. Informationen müssen dann entlang der gesamten Prozesskette aktualisiert werden, was oft einen neuen Download und den anschließend unumgänglichen Delta-Abgleich nach sich zieht. Zusätzlich wird diese Situation durch die Notwendigkeit der Abbildung verschiedener Ecktypen verkompliziert. Diese Ecktypen beschreiben dabei jeweils eine baubare Variante der jeweiligen Baureihe, die über eine Konfiguration im PDM-System aufgelöst wird. Bislang werden verschiedene Ecktypen dabei in parallelen Strukturen abgebildet, wobei zwar ein Teil der Informationen, beispielsweise die Spann- und Fixierkonzepte der identischen Bauteile, mehrfach verwendet

werden kann, allerdings ist sehr viel manueller Aufwand für das Kopieren und ständige Aktualisieren der Daten nötig.

In einem weiteren Hauptbereich der Produktionsentwicklung wird die alphanumerische Planung umgesetzt, deren Ziel die Beschreibung der Serienproduktionsanlage ist. Auch dieser Prozess startet mit der Produktstruktur. Auf dieser Grundlage erzeugt der Planer eine Prozessfolge, die quasi einen ersten Vorschlag für die Herstellung des kompletten Karosserierohbaus darstellt. Dabei ordnet er einzelne Bauteilumfänge jeweils bestimmten Prozessschritten zu, woraus, wie bereits eingangs dieses Abschnitts erwähnt, die Fertigungsstruktur oder Fügefolge entsteht. Zusätzlich werden in dieser Prozesssicht weitere Informationen hinterlegt wie beispielsweise Taktzeiten, benötigte Hilfsmittel oder gar Schichtmodelle. Die Prozessfolge wird schließlich in ein Fertigungskonzept übersetzt, wobei aus den einzelnen beschriebenen Prozessschritten Stationen des Karosserierohbaus entstehen. Diesen Stationen werden dann Ressourcen zugeordnet wie Roboter, Handhabungsgeräte, Schweißzangen und letztlich auch Werker, die zur Überwachung und Instandhaltung der Anlagen nötig sind. Zwischen den einzelnen Rohbaustationen werden Handling-Stationen eingefügt, die später in der Produktion dafür sorgen, dass die Bauteile von einer Vorrichtung in die nächste transportiert werden. Zusätzlich werden Pufferbereiche vorgesehen. Die Strukturen, die dabei entstehen, sind stark modular aufgebaut. Die einzelnen Bestandteile einer Rohbauanlage sind weitgehend standardisiert und aus Katalogen des digitalen Planungswerkzeugs abrufbar. Sie werden dann im Kontext des jeweiligen Planungsumfangs instanziiert, wobei die einzelnen Bestandteile der Standardmodule angepasst werden können, beispielsweise die Anzahl der Roboter oder die zugeordneten Werker. Ist ein solches Fertigungskonzept angelegt, so können damit verschiedene Auswertungen vollzogen werden, wobei etwa die Einhaltung der Produktionskosten oder die erreichbaren Taktzeiten untersucht werden. Letztlich dient es auch als Eingangsdatensatz für Materialfluss- oder Ablaufsimulationen.

Das Fertigungskonzept wird nach eingehender Prüfung und Optimierung dann an den Lieferanten der Serienanlage übergeben, der darauf aufbauend die Rohbaulinie entwirft und baulich umsetzt. Zwischenstände oder Änderungszyklen werden während der Entwurfsphase zurückgespielt und stetig weiter optimiert. Das in der Prozesskette Prototypvorrichtung entstandene Spann- und Fixierkonzept wird dabei als Datensatz ebenfalls dem Anlagenlieferanten zur Verfügung gestellt, damit auch die Serienvorrichtungen auf dieser Grundlage konstruiert werden können.

4 Analyse der Verbesserungspotentiale innerhalb der Prozesskette Karosserierohbau

Nachdem in dem vorangegangenen Kapitel 3 der Produktentstehungsprozess als Ganzes im Kontext seiner beiden Komponenten Produkt- und Produktionsentwicklung beschrieben wurde, erfolgt in diesem Kapitel die daraus resultierende Ableitung der Defizite innerhalb der existierenden Prozesse. Im Fokus stehen dabei die Verbesserungspotentiale, die explizit bei der Analyse der Prozesskette Karosserierohbau ausfindig gemacht wurden. Die aufgezeigten Nutzenpotentiale basieren dabei auf der Erfahrung aus verschiedenen Projekten, in deren Rahmen die vorliegende Forschungsarbeit entstanden ist und in denen aktiv und unter operativen Bedingungen mitgearbeitet wurde. Der Beobachtungszeitraum erstreckte sich über drei Jahre, die meisten Erfahrungen wurden innerhalb der Produktentstehung von zwei neuen Fahrzeugen der Kompaktklasse sowie eines Fahrzeuges des Luxussegmentes gemacht. Diese Baureihen stellen innerhalb des betrachteten Unternehmens sowohl von der Stückzahl als auch vom erwirtschafteten Gewinn her die wichtigsten Fahrzeugklassen dar. Darüber hinaus können die Charakteristiken dieser Baureihen, beispielsweise die Anzahl an unterschiedlichen Varianten oder der Prozentsatz von Übernahmebauteilen, durchaus als repräsentativ für eine ganze Reihe von weiteren Projekten angesehen werden. Den Aussagen dieses Kapitels liegen teilweise eigene Beobachtungen im Verlauf der Projektarbeit zu Grunde, es wurden aber auch zahlreiche Befragungen von Prozessteilnehmern aus den Bereichen Konstruktion, Toleranzvergabe, Prototypenaufbau, Vorrichtungskonstruktion und Produktionsplanung durchgeführt und verwendet.

Zusätzlich zu den Verbesserungspotentialen aus der bestehenden Prozesskette Karosserierohbau wird anschließend noch auf die veränderten Randbedingungen im Produktentstehungsprozess eingegangen, da sich das im Kontext dieser Arbeit entwickelte Konzept auch diesen stellen muss. Bei diesen Randbedingungen handelt es sich teilweise um generelle Trends in der Automobilindustrie bzw. um Anforderungen, die in unmittelbarer Zukunft im betrachteten Prozess entstehen werden.

Innerhalb der Beschreibung der Verbesserungspotentiale im aktuellen Prozess werden sowohl die jeweiligen Ursachen als auch die Auswirkungen diskutiert. Dabei zeigt sich auch, wie die jeweiligen Defizite sich in den verschiedenen Sichten des in Kapitel 2 eingeführten Rahmenwerkes widerspiegeln, bzw. wie sie im Kontext dieser Sichten untereinander zusammenhän-

gen und sich gegenseitig beeinflussen. Speziell dafür wurde wieder die in Kapitel 2 Abschnitt 3 vorgestellte Methode nach [Bles02] verwendet, um die allgemeingültigen Erfolgskriterien Kosten, Zeit und Qualität auf konkrete und messbare Kriterien herunterzubrechen. Auch die dabei aufgezeigten Querbeziehungen der einzelnen Aspekte untereinander unterstreichen erneut die bereits postulierte Forderung, das Engineering Information System im Rahmen einer Prozessverbesserung als Ganzes zu adressieren.

4.1 Verbesserungspotentiale aus der Prozesskette Karosserierohbau

Wird die gesamte Prozesskette Karosserierohbau einer eingehenden Betrachtung unterzogen, so stößt man auf eine Reihe von Verbesserungspotentialen. Diese lassen sich nicht immer einer einzigen Dimension des im Rahmen der wissenschaftlichen Vorgehensweise eingeführten Informationssystems zuordnen, sondern sie haben verschiedene Auswirkungen und Konsequenzen in allen Kategorien. Während der Analyse hat sich aber gezeigt, dass entlang der einzelnen Teilschritte der betrachteten Prozesskette immer wieder die gleichen Probleme auftauchen. Dies wiederum bedeutet, dass viele der aufgezeigten Defizite auf die gleiche Ursache zurückgehen, wobei sie unter einem Schlagwort zusammengefasst werden können. Nachfolgend sind die im Rahmen der Analyse gefundenen Verbesserungspotentiale beschrieben, wobei versucht wurde, sie in eine Art chronologische Reihenfolge zu bringen, je nachdem an welcher Stelle der Prozesskette Karosserierohbau sie auftauchen. Abbildung 4-1 zeigt die einzelnen Teilschritte des Gesamtprozesses, die den bereits beschriebenen Sichtenmodellen aus Kapitel 3 entnommen sind. Darin sind die in den einzelnen Teilschritten aufgefundenen Verbesserungspotentiale eingezeichnet, wobei jeweils auf den Abschnitt verwiesen wird, in dem diese beschrieben sind. Dabei sei noch erwähnt, dass die Auswirkungen eines solchen Problems, dass einer bestimmten Funktion zugeordnet werden kann, durchaus in allen nachfolgenden Schritten spürbar sein können. Die seitlich bzw. unterhalb der Funktionsdarstellung mit Klammern eingezeichneten Defizite sind solche, die sich über mehrere Teilfunktionen der Prozesskette Karosserierohbau erstrecken und vor allem beim Durchlaufen eines Teilprozesses aus mehreren Teilschritten für Probleme sorgen.

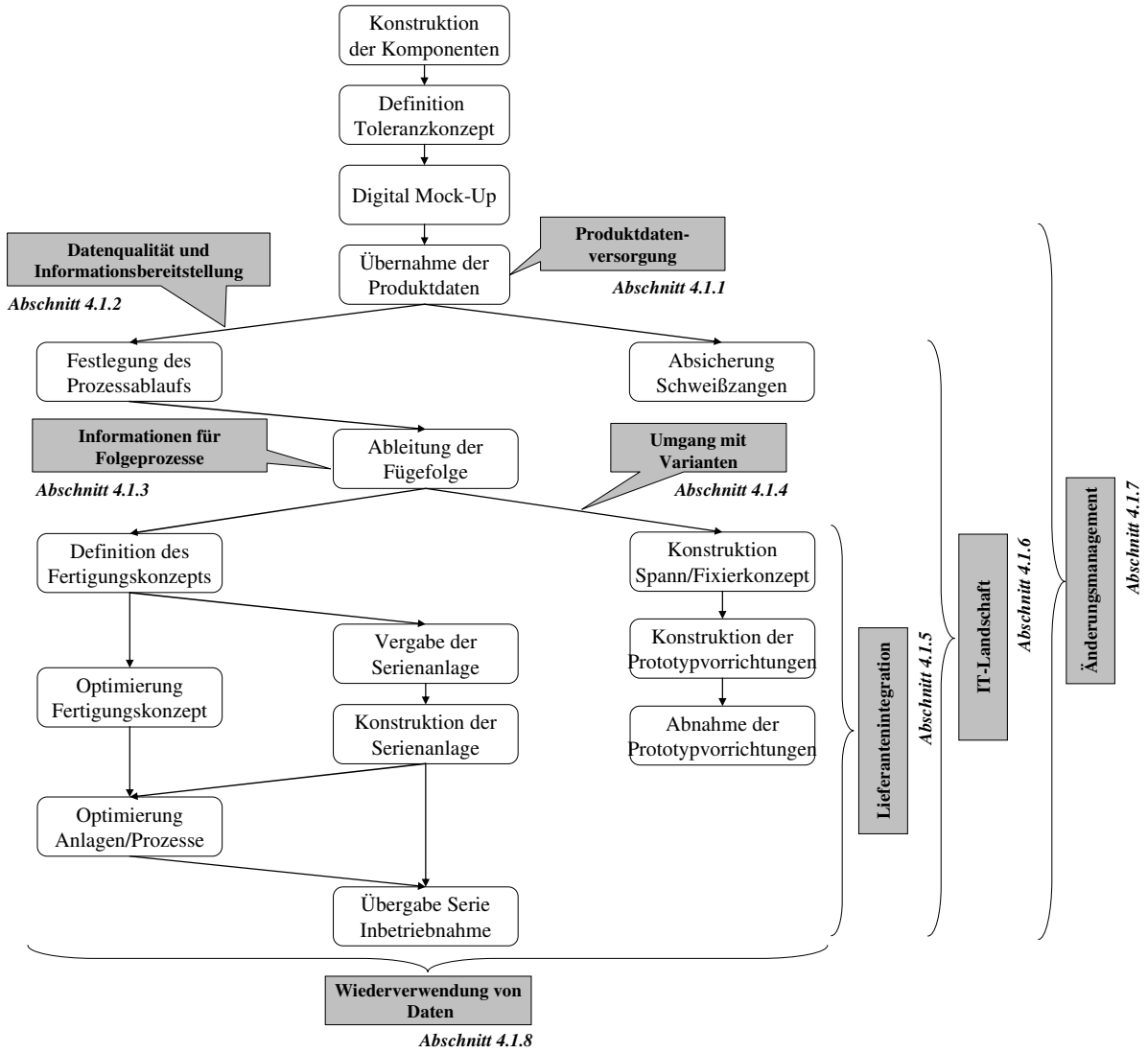


Abbildung 4-1: Verbesserungspotentiale innerhalb der Prozesskette Karosserierohbaub

In den folgenden Abschnitten werden die gefundenen Defizite detailliert beschrieben. Ihre Zusammenhänge untereinander werden erst zum Ende dieses Kapitels analysiert.

4.1.1 Produktdatenversorgung

In der Methodensicht der Prozessbeschreibung wurde bereits erwähnt, dass viele der Prozesse, die der Bauteilentwicklung nachfolgen, über einen Datendownload aus dem PDM-System mit der Produktstruktur und den darin enthaltenen Daten versorgt werden. Dabei wird im PDM-System eine Konfiguration eingestellt, d.h. es wird ein definierter Fahrzeugumfang und damit eine baubare Variante festgelegt, anschließend werden die Daten in ein Verzeichnis auf einem Server exportiert. Auf diese Weise wird automatisch ein statischer Datenstand geschaffen, d.h. Funktionen wie die Konfiguration verschiedener Bauteilstände oder die über Codes

gesteuerte Auflösung einzelner Varianten können nicht mehr auf diese exportierten Datenstände angewendet werden. Zum Einsatz kommen diese Datenexporte bei der Bereitstellung der Produktdaten für die Toleranzsimulation, bei der Versorgung der Produktstruktur zur Produktionsplanung, bei der Erstellung des Spann- und Fixierkonzepts sowie bei der sich daran anschließenden Konstruktion von Prototyp- bzw. Serienvorrichtungen. Auch in den zahlreichen Absicherungsaktivitäten entlang der Prozesskette Karosserierohbau werden Downloads verwendet. Das Einleiten eines solchen Produktdatenexports ist in der Regel eine anspruchsvolle Aufgabe, die sehr viel Spezialwissen über das eingesetzte PDM-System voraussetzt. Aus Sicherheitsgründen wird in vielen Unternehmen ohnehin die Nutzung dieser Export-Funktionalität soweit wie möglich eingeschränkt und reglementiert, um nicht in einen Zustand der unkontrollierten Datenverbreitung zu gelangen.

Diese Art der Datenversorgung über Downloads hat in der Vergangenheit dazu geführt, dass es gerade vor dem Hintergrund des stetig wachsenden Zeitdrucks in allen Bereichen des Produktentstehungsprozesses kaum noch möglich war, alle möglichen Varianten auf Seiten der Produktionsentwicklung abzubilden. Bei den Exporten aus dem PDM-System beschränkt man sich notgedrungen darauf, so genannte Ecktypen zu versorgen, die die Fahrzeuge mit der höchsten statistischen Häufigkeit in der Produktion darstellen. Aus Sicht der alphanumerischen Planung ist dies auch durchaus ein tragbarer Ansatz, was allerdings für andere Teilprozesse nicht der Fall ist. Das Spann- und Fixierkonzept muss beispielsweise ausnahmslos für alle Varianten dokumentiert werden. Bislang wurden dabei die Spannkonzepte der einzelnen Karosserievarianten jeweils in parallelen Strukturen konstruiert und gepflegt. Vor dem Hintergrund der bereits beschriebenen, steigenden Anzahl an Varianten hat sich dies aber als immer schwieriger herausgestellt, zudem selbst kleine konstruktive Änderungen dazu geführt haben, dass sich die Anzahl der abzubildenden Strukturen verdoppelte. Beobachtet wurde ein solches Phänomen an Hand einer Änderung im Bereich Heckwagen, wo im Rahmen einer zusätzlichen Ausstattungslinie eine neue Heckklappe während der laufenden Entwicklung berücksichtigt werden sollte. Diese Heckklappe sollte über eine Fernsteuerung zu öffnen sein, was sowohl an der Klappe selbst als auch an den daran angrenzenden Karosserieteilen einige Modifikationen notwendig machte. Dadurch entstand eine neue, variantenbehaftete Baugruppe in der Karosserie des Heckwagens, was dazu führte, dass sämtliche bestehenden Strukturen für das Spann- und Fixierkonzept um diese eine Variante ergänzt werden mussten. Dabei kann man zwar einen Großteil der bereits existierenden Daten kopieren, d.h. auch die Umfän-

ge, die sich nicht gegenüber den anderen Varianten verändern, der Pflegeaufwand bleibt dennoch sehr hoch.

Ähnlich problematisch wie der Umgang mit Varianten stellt sich auch das Berücksichtigen von Änderungen innerhalb dieser Download-Verzeichnisse dar. Modifizierte Bauteile müssen neu aus dem PDM-System extrahiert und anschließend in den betroffenen Verzeichnissen ausgetauscht werden. Dieser Aktualisierungsschritt muss teilweise unter Einbeziehung des CAD-Systems erfolgen, wobei sämtliche Verwendungen des modifizierten Bauteils entsprechend angepasst werden müssen. Die Verbindlichkeit zu einer festen Konfiguration geht dabei sukzessive verloren, gleichzeitig wird es immer schwieriger, die Konsistenz der einzelnen Downloadverzeichnisse untereinander zu gewährleisten. Zusätzlich dazu ist es durch die Arbeitsweise auf der Grundlage von Downloadverzeichnissen auch technisch sehr schwierig, Alt-/Neu-Vergleiche von Bauteilen im CAD-System durchzuführen. Mit Hilfe des PDM-Systems können verschiedene Bauteilversionen in eine Struktur konfiguriert werden, die anschließend im CAD-System einander gegenüber gestellt werden. Um die gleiche Tätigkeit im aktuellen Prozess durchzuführen, muss zunächst genau festgelegt werden, welche Bauteile verglichen werden sollen, diese müssen anschließend exportiert und in einem speziellen Verzeichnis bereitgestellt werden. Anschließend muss man sie im CAD-System manuell laden, wobei teilweise auch ein Editieren der Namen der Bauteile notwendig sein kann.

4.1.2 Datenqualität und Informationsbereitstellung

Eng mit dem Problem der Datenversorgung nach dem Download-Prinzip verknüpft sind die unzureichende Datenqualität sowie die Probleme hinsichtlich der Bereitstellung der für Folgeprozesse relevanten Informationen in vielen Teilschritten der Prozesskette Karosserierohbau. Die Datenqualität bezieht sich hauptsächlich auf das Stichwort Modellierungsgüte der Daten sowie Datenkonsistenz, unter Informationsbereitstellung kann das Ausmaß der digitalen Erfassung und Verteilung der relevanten Informationen in einem Prozess verstanden werden.

Am besten lassen sich diese Probleme am wichtigen Teilprozess Vorrichtungskonstruktion beschreiben, wo das Arbeiten auf der Grundlage von Produktdatendownloads eine immense Schwachstelle darstellt. Innerhalb der einzelnen Vorrichtungen der Rohbaulinie sollen später verschiedene Karosserievarianten gefertigt werden. Das bedeutet wiederum, dass im Prozess der Vorrichtungskonstruktion auch verschiedene Ausprägungen von variantenbehafteten Bau-

teilen berücksichtigt werden müssen. Der davon betroffene Konstrukteur hat aber keine Struktur, die diese verschiedenen Varianten in sich vereint, da sie ja bislang, wie im vorangegangenen Abschnitt beschrieben, in parallelen und jeweils in sich varianzfreien Strukturen gehalten werden. Er muss sich die für seine Konstruktionstätigkeit notwendigen Eingangsdaten aus Teilen von verschiedenen Datentöpfen zusammensuchen, hat aber oft keine Gewähr, dass diese auch untereinander konsistent sind. Betrachtet man beispielsweise das Spann- und Fixierkonzept, so kann man aus einer existierenden Struktur nicht ohne weiteres auf den Bauteilstand Rückschlüsse ziehen, der dem Datenexport aus dem PDM-System zu Grunde gelegt wurde. Es kann also passieren, dass die Konstruktion einer Prototypvorrichtung auf einem veralteten Datensatz oder an Hand eines nicht mehr gültigen Spann- und Fixiekonzeptes erfolgt, was später im Prozess zu aufwendigen und teuren Nachbesserungen führt.

Für den sich anschließenden Absicherungsprozess der konstruierten Vorrichtungen wäre es außerdem wichtig, einen gemeinsamen Datenstand zu haben, der sowohl die Bauteilgeometrie, das Spann- und Fixierkonzept als auch die Vorrichtungsdaten in sich vereint, und dies idealerweise zusätzlich ausgestattet mit einer Konfiguration zum Ein- und Ausblenden verschiedener Versionen der vorhandenen Daten oder mit einer Codesteuerung zur Berücksichtigung von Varianten. Der Aufbau einer solchen Struktur ist aber mit den heute vorhandenen Datenmodellen und Strukturierungsansätzen nicht durchführbar. Gleichzeitig sind manche der dafür notwendigen Informationen im aktuellen Prozess auch noch gar nicht datentechnisch erfasst. Dazu zählt etwa die Fügefolge, die nur in Form eines einfachen Dokumentes abgebildet und weitergereicht wird. Auch die Einlegereihenfolge, die beispielsweise im Rahmen der Toleranzsimulation verwendet und optimiert wird, existiert nur als Randnotiz auf den Dokumenten der Fügefolge. Andere wichtige Informationen, beispielsweise Verbindungselemente, sind zwar in den Produktdatenmodellen digital erfasst, die Art der Modellierung lässt aber eine problemlose Weiterverwendung dieser Informationen in den Folgeprozessen nicht zu. So müssen etwa die Schweißpunkte der Karosseriebauteile in Form von Listen exportiert und über ein spezielles Makro aufbereitet werden, bevor sie im Prozess der Produktionsabsicherung auf Erreichbarkeit überprüft werden können. Speziell auf das Problem bei der Modellierung von Verbindungselementen und die damit verbundenen Konsequenzen wird aber im folgenden Abschnitt noch ausführlicher eingegangen.

4.1.3 Informationen für Folgeprozesse

Der heutige Produktentstehungsprozess ist gekennzeichnet durch eine starke Tendenz, relativ viele Informationen aus nachgelagerten Prozessschritten schon in den frühen Phasen der Konstruktion zu berücksichtigen. Hier spricht man auch vom sogenannten „Front-loaded Development“, das ausführlicher in [BDVH03], [Viel05] oder [OvWS05] diskutiert wird. Der damit verbundene Paradigmenwechsel trägt der bekannten Tatsache Rechnung, dass ein Großteil der später in der Produktion anfallenden Kosten bereits in der Konstruktion festgelegt wird. Es wird also versucht, bereits in frühen Phasen Abschätzungen für diese Kosten zu machen bzw. durch geeignete Absicherungsmaßnahmen steuernd einzugreifen, um die Anzahl an nachträglich auftretenden, kostenintensiven Änderungen zu minimieren. Um diese frühen Abschätzungen zu erlauben werden daher viele, die Gestaltung der Produktion betreffende Informationen bereits innerhalb der Bauteilkonstruktion in die Produktbeschreibung mit eingebracht und angewendet. Ein Beispiel wäre etwa das Abwicklungsmodell eines Blechteils, das das Bauteil im Rohzustand, also vor dem Tiefziehen oder Beschneiden zeigt, so, wie es als Platine an die Umformmaschine angeliefert wird. Ein weiteres Beispiel sind die verschiedenen geometrischen Zwischenstände, die das Bauteil während seiner Herstellung auf dem Weg durch die Pressenstraße einnimmt. Die Dokumentation solcher Informationen macht es erst möglich, dass im Rahmen der Produktentstehung überhaupt Methoden wie „Concurrent-“ bzw. „Simultaneous Engineering“ anwendet werden können, um quasi konstruktionsbegleitend die spätere Herstellbarkeit der Bauteile zu gewährleisten. Problematisch ist aber der informationstechnische Umgang mit diesen Daten. Bislang werden sie als Zusatzinformation innerhalb der geometrischen Beschreibung des Bauteils hinterlegt, was automatisch bedeutet, dass sie unter der Verantwortung des für das jeweilige Bauteil zuständigen Konstrukteurs liegen. Dieser muss die Informationen einbringen und pflegen, und letzten Endes gibt er sie zusammen mit der Geometrie des fertigen Bauteils frei. Nun kann ein Bauteilkonstrukteur aber nicht Spezialist für alle Ingenieursdisziplinen sein, die innerhalb der Produktentstehung eines Karosserieteils eine Rolle spielen, denn hier ist oft sehr spezifisches Fachwissen notwendig. Dadurch kann es passieren, dass im Rahmen der Konstruktion Informationen für Folgeprozesse erzeugt werden, die nicht vollständig oder technisch nicht sinnvoll sind, oder schlimmstenfalls von den Folgeprozessen überhaupt nicht verwendet werden können. Oder aber der Konstrukteur sieht sich gezwungen, Spezialisten aus den anderen Fachbereichen hinzuzuziehen, um die Richtigkeit der von ihm verantworteten Daten zu gewährleisten. Dies

macht aber wiederum aufwendige Abstimmungsprozesse zwischen Konstrukteur und Spezialist notwendig, die den Gesamtprozess zusätzlich verkomplizieren und verlängern.

Um diese Problematik zu verdeutlichen, kann man erneut die Schweißpunkte als Beispiel heranziehen. In der Informationssicht der Prozessbeschreibung wurde erwähnt, dass diese neben ihrer räumlichen Lage auch noch eine ganze Reihe von zusätzlichen Informationen beinhalten, die den Konstrukteur selbst eigentlich nicht betreffen. Für ihn sind lediglich die Lage des Schweißpunktes im Kontext der Bauteilpaarung sowie die mit dem Schweißpunkt erreichte Festigkeit der Verbindung von Interesse. Heute ist er aber dennoch gezwungen, Parameter wie Schweißstrom, Haltezeit oder die Verfahrenskennzahl des Schweißprozesses zu dokumentieren, von denen er nicht zwingend Ahnung hat. Ergibt sich nun in nachfolgenden Prozessen aus Sicht der dort tätigen Spezialisten die Notwendigkeit, diese Parameter zu verändern, so müssen diese Veränderungen jedes Mal über den Konstrukteur eingesteuert werden. Wiederum andere Informationen können von ihrer Semantik her nur innerhalb der Nachfolgeprozesse festgelegt werden. Am Beispiel Schweißpunkt wären das etwa die Euler'schen Winkel, die die Verkippung des Schweißpunkt-Koordinatensystems gegenüber dem Fahrzeugkoordinatensystem im Raum beschreiben. Diese werden im Rahmen der Untersuchung der Schweißzangenzugänglichkeit des Schweißpunkts benötigt, da sie die Anfahrpose der Roboterhand an den Punkt festlegen. Die Definition dieser Winkel kann aber sinnvollerweise erst im Rahmen der ersten Absicherungsdurchläufe geschehen, bzw. kann auch später im Prozess während der Zellenoptimierung in der Serienplanung eine nachträgliche Anpassung dieser Winkel erfolgen. Dennoch werden sie bereits vom Konstrukteur in den Produktdatensatz eingebracht, wobei beliebige Standardwerte eingetragen werden. Da die meisten Nachfolgeprozesse ohnehin auf Downloads der Produktstruktur aufbauen, können die Schweißpunkte des Konstrukteurs außerhalb des PDM-Systems und dessen Rechtekonzepts problemlos verändert werden. Allerdings fällt es mit dieser Arbeitsweise sehr schwer, den Zusammenhang zwischen den vom Konstrukteur ursprünglich definierten und den durch die Produktionsgestaltung nachträglich hinzugefügten oder veränderten Verbindungselementen aufrecht zu erhalten. Bei den zwangsläufig auftretenden Bauteiländerungen, die im vorangegangenen Abschnitt bereits beschrieben wurden, wird dies zu einem kaum noch zu kontrollierenden Prozess.

Neben dem Zeitpunkt des Anlegens dieser Informationsobjekte spielt zusätzlich auch die dazu herangezogene Methodik eine Rolle. Der Konstrukteur beschreibt die Verbindungselemente

in einer Liste, die er für einen bestimmten Bauteilumfang jeweils auf der übergeordneten Zusammenbauebene ablegt. Diese Zusammenbauebenen stellen aber die Konstruktionssicht auf die Produktstruktur dar. In ihr sind zu diesem Zeitpunkt noch keinerlei Aspekte aus der Produktionsplanung berücksichtigt. Für den Planer heißt das also zunächst, dass er die vom Konstrukteur beim Download bereitgestellte Liste über aufwendige Aufbereitungsschritte konvertieren muss, um sie in seiner Systemwelt nutzbar zu machen. Hier zeigt sich auch, dass die Prozesskette Karosserierohbau in Bezug auf die darin verwendeten Datenmodelle keineswegs durchgängig ist, denn die Sichtweise auf die Schweißpunkte und die ihnen zugeordneten Informationen sind sehr stark vom jeweiligen Teilprozess abhängig. Bei dem Transfer von Konstruktions- zu Planungsbereichen werden aus den innerhalb der Liste gebündelten Schweißpunktgruppen jeweils eigene Datenobjekte erzeugt, denn aus Sicht der nachfolgenden Prozesse macht die Aggregation der Verbindungselemente auf der Ebene der Baugruppen des Konstrukteurs keinen Sinn. Gleichzeitig wird die vom Konstrukteur vorgeschlagene Struktur auf Grund von Fertigungsaspekten weiter untergliedert. Ab diesem Zeitpunkt stellt die somit entstandene Fügefolge oder Fertigungsstruktur die wesentliche Arbeitsgrundlage für alle nachfolgenden Bereiche der Prozesskette Karosserierohbau dar. Obwohl sie damit eine der wichtigsten Informationen innerhalb der Prozesskette Karosserie ist, wird sie datentechnisch nur in Form eines Ausdrucks auf Papier erfasst und auch in diesem Format weitergereicht. Als wirkliche Struktur, z.B. innerhalb des PDM-Systems, existiert sie nicht. Auch an dieser Stelle sei wieder darauf hingewiesen, dass eine solche Struktur von vielen Anwendergruppen gewünscht wird, da sie alle relevanten Informationen für die sich an die Konstruktion anschließenden Prozesse in sich vereinen würde.

4.1.4 Anzahl der abzubildenden Varianten

Die Anzahl der unterschiedlichen Varianten oder Derivate, die von einer Fahrzeugkategorie abgeleitet werden, wächst kontinuierlich. Innerhalb einer der betrachteten Baureihen aus der Kompaktklasse stieg die Anzahl der Karosserievarianten von 1 im Jahr 1983 über 3 im Jahre 1993 bis auf 5 verschiedene Karosserien im Jahr 2000. Innerhalb des aktuellen Entwicklungsprozesses für die neu entstehende Baureihe, die 2007 auf den Markt gekommen ist, wird die Anzahl an Karosserievarianten noch höher liegen. Abbildung 4-2 zeigt für den betrachteten Automobilkonzern die ständig wachsende Zahl an Fahrzeugderivaten in den einzelnen Fahrzeugsegmenten, beginnend im Jahr 1950 bis heute.

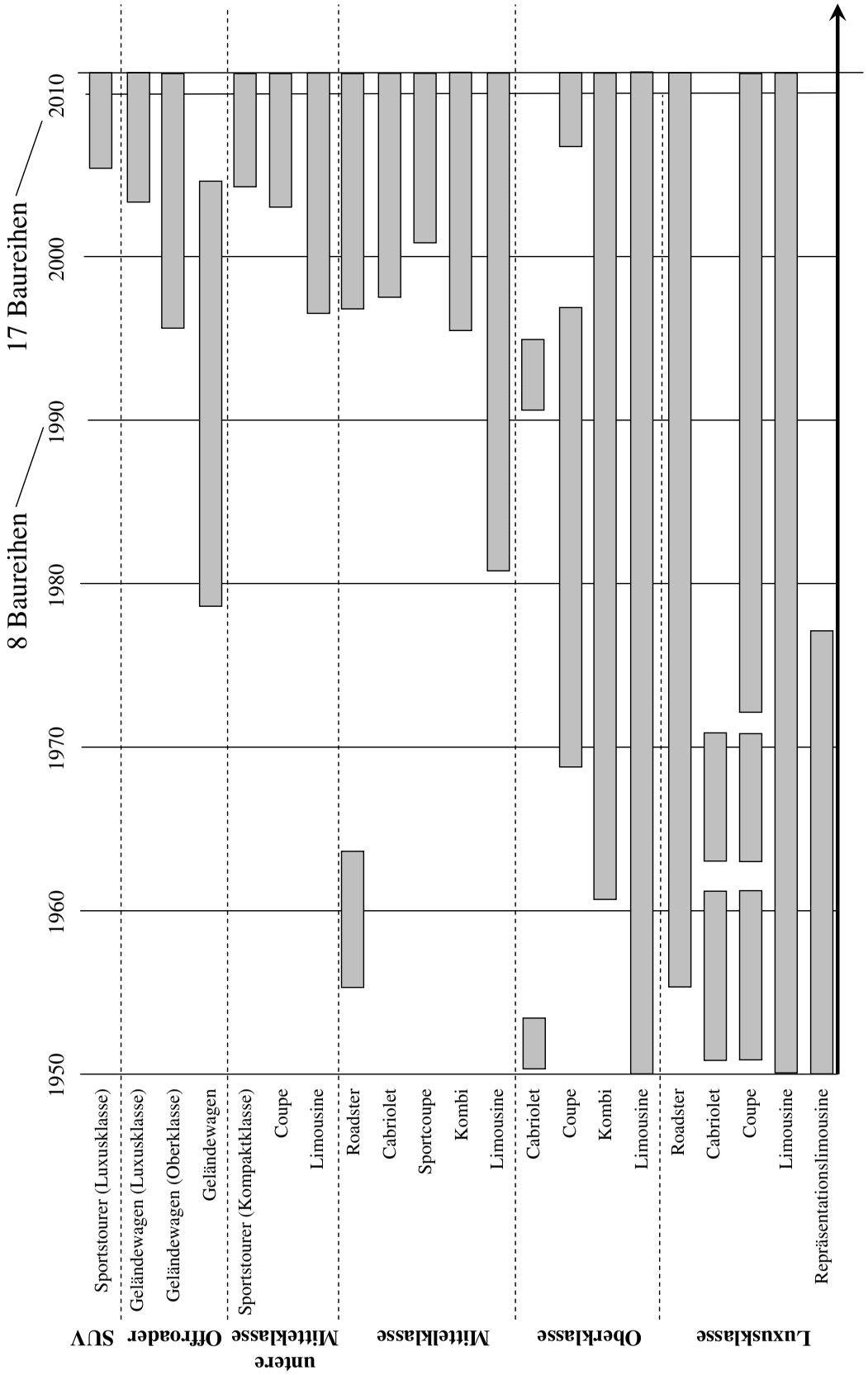


Abbildung 4-2: Zunehmende Anzahl an Baureihen und darin enthaltenen Varianten

Speziell in den vergangenen 15 bis 20 Jahren wird deutlich, wie viele neue Bauformen in den einzelnen Baureihen eingeführt wurden, um immer mehr Kundensegmente zu erschließen.

Das Zustandekommen der hohen Anzahl an Karosserievarianten innerhalb eines einzelnen Fahrzeugprojektes ist exemplarisch für eine Baureihe in Abbildung 4-3 dargestellt, beginnend beim Vorbau über die Seitenwände bis hin zum Dach. Allein für den Vorbau des Fahrzeugs gibt es 8 verschiedene Varianten, wobei zunächst unterschieden wird zwischen der normalen Version, dem Allrad bzw. Biturbo, bei dem aufgrund eines größeren Motors und eines anderen Getriebes der Vorbau modifiziert werden muss. Zusätzlich ist für die betrachtete Baureihe noch der Aufbau eines Coupes vorgesehen, das eine wesentlich schlankere Karosserieform hat und deshalb nur einen Teil der existierenden Karosserieteile der anderen Aufbauvarianten mitverwenden kann. Die einzelnen Vorbauten selbst werden dann jeweils wieder aufgeteilt in die Versionen für Rechts- und für Linkslenker, da diese sich in ihrer Stirnwand unterscheiden. Hauptböden gibt es insgesamt nur in drei Ausprägungen, nämlich eine kurze Version, einen für die verlängerte Limousine und einen für das Coupe. Diese Struktur überträgt sich dann auf sämtliche Hauptanbauteile am Hauptboden, nämlich den Heckwagen und die Seitenwände, die jeweils in drei Varianten vorkommen. Bei der Dachbaugruppe wird schließlich unterschieden zwischen dem Volldach, dem Schiebedach und dem Glasdach, wobei Volldach und Schiebedach wiederum für die lange und kurze Version unterschiedlich sind, während das Glasdach nur für die lange Version vorgesehen ist. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Karosserieform hat auch das Coupe jeweils wieder eigene Varianten für Voll- bzw. Schiebedach, ein Glasdach ist hier nicht vorgesehen. Aus diesem Beispiel kann man ableiten, dass für die betrachtete Baureihe insgesamt 28 verschiedene Karosseriebauformen entwickelt, beplant, abgesichert und schließlich auch in einer Produktionsanlage hergestellt werden müssen.

Dabei besteht durchaus die Forderung, dass unterschiedliche Varianten innerhalb der gleichen Produktionslinie gefertigt werden, also vom selben Band rollen. Auf Seiten der Produktentwicklung hat man den Umgang mit variantenbehafteten Produktdaten relativ gut im Griff, da die umfangreichen Konfigurations- und Auflösungsmechanismen des PDM-Systems es erlauben, im Zusammenspiel mit dem CAD-System beliebige Fahrzeugstände zusammenzustellen und zu konstruieren. Speziell auf der Seite der Produktionsentwicklung führt aber genau diese Anforderung zu großen Problemen. Hier sind bislang weder geeignete Strukturierungsansätze noch die entsprechenden Datenmodelle vorhanden, die eine integrierte Darstellung der Daten

der Prozesskette Rohbau inklusive aller Varianten erlaubt, was speziell für die Auslegung der Produktionseinrichtungen einen sehr großen Nachteil darstellt [WaKe04].

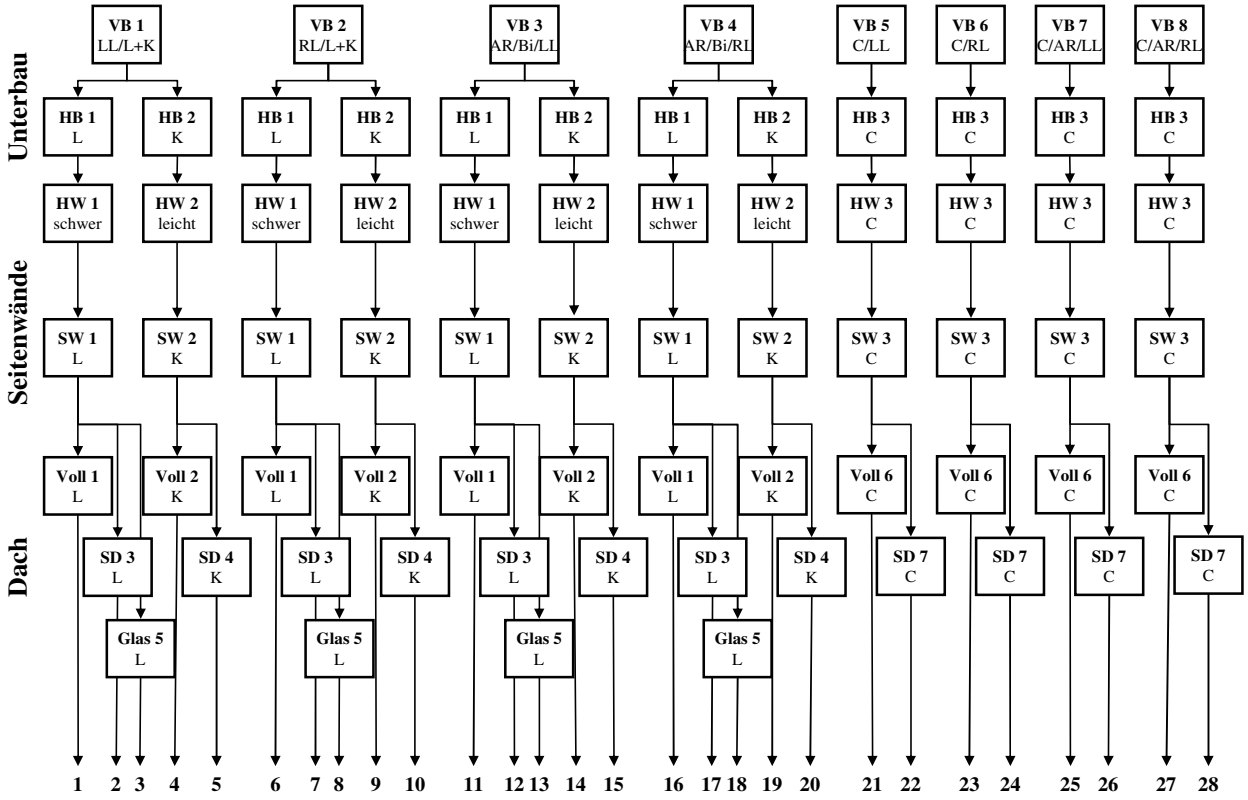


Abbildung 4-3: Entstehung von Karosserievarianten innerhalb einer Baureihe

Im Rahmen der bisherigen Arbeitsweise werden die Daten für die Folgeprozesse aus dem PDM-System extrahiert und dort in Behelfsstrukturen abgelegt, wobei die einzelnen Varianten als parallele Strukturen aufgebaut werden, Eine Abbildung aller Varianten ist aus Zeitgründen nicht möglich. Die dieser Arbeitsweise zu Grunde gelegte Datenversorgung stellt dabei eine weitere, wesentliche Schwachstelle dar.

4.1.5 Lieferantenintegration

Im Rahmen der Beschreibung der einzelnen Aktivitäten in der Prozesskette Karosserierohbau wurde an verschiedenen Stellen darauf hingewiesen, dass ein Großteil der Tätigkeiten von externen Dienstleistern unterstützt bzw. ganz in deren Hände ausgelagert wird. Obwohl dabei ein großer Teil des Fachwissens über die Jahre hinweg zwangsläufig über die Unternehmensgrenzen hinaus nach außen verschoben wurde, versucht man dennoch, die Hoheit über die Prozesse zu behalten. Dies bedeutet konkret, dass die vom externen Partner erzeugten Informationen und Daten von den internen Bereichen zu definierten Zeitpunkten eingefordert und

an die nachfolgenden Prozesse weitergeleitet werden. Diese verteilen die Daten dann wiederum an ihre Dienstleister, die zum Großteil ebenfalls außerhalb des Unternehmens angesiedelt sind. Die Vielzahl verschiedener Disziplinen, die an der untersuchten Prozesskette Karosserie beteiligt sind, bringt es mit sich, dass die ausgetauschten Daten und Informationen einen sehr heterogenen Charakter besitzen. Im Einzelnen sind es Produktdaten, das konstruierte Spann- und Fixierkonzept, Vorrichtungsdaten oder planerische Informationen wie die Fügefolge und die Fertigungskonzepte, die hin- und hergeschickt werden. Alle diese verschiedenen Daten stammen aber jeweils aus unterschiedlichen Quellen und müssen zunächst zusammengestellt werden. Dazu wird aus dem PDM-System ein Produktdatenexport eingeleitet, wobei die gleiche Konfiguration benutzt werden sollte wie beim initialen Download zum Anstoßen der Folgeprozesse. Parallel dazu müssen die in einem Verzeichnis abgelegten Daten des Spann- und Fixierkonzepts auf einen Datenträger übertragen werden, was aus Sicherheitsgründen nur über eine zentrale EDV Abteilung geschehen darf. Die Fügefolge, oder die zu diesem Zeitpunkt bereits existierenden Fertigungskonzepte, werden üblicherweise in den Formaten der gängigen Bürokommunikationssysteme zugesteuert, also hauptsächlich als Excel oder Powerpoint Dokumente.

Ein Grundproblem bei dieser Datenzusammenstellung und dem anschließenden Versand ist dabei das Sicherstellen der Konsistenz der verschiedenen Datensätze zum Zeitpunkt der jeweiligen Übergabe. Diese müssen von ihrem Datenstand her zueinanderpassen, d.h. zunächst einmal zum gleichen Freigabestatus gehören. Dieser wird aber wiederum nur für Produktdaten verbindlich festgelegt, analoge Versionssteuerungsobjekte existieren für das Spann- und Fixierkonzept oder die Vorrichtungsdaten nicht. Deswegen gestaltet sich die Suche nach den zu einer bestimmten, freigegebenen Produktkonfiguration zugehörigen Datensätzen oft als sehr schwierig. Schließlich kommen auch noch die zwangsläufig auftretenden Änderungen hinzu, die sich von der Produktgeometrie beginnend durch die ganze Prozesskette hindurch ziehen. Diese Änderungen müssen vom betroffenen Bereich dann jeweils wieder neu an die Zulieferer versendet werden, um zu verhindern, dass diese auf alten Datenständen arbeiten. Unabhängig von der technischen Gewährleistung der Datenqualität entstehen durch diese Zusammenarbeitsmodelle zwangsläufig auch juristische Konsequenzen (vgl. etwa [Wolf04]), da die beteiligten Partner für die Konsistenz der jeweils übertragenen Daten entsprechend verantwortlich sind bzw. schuldhaftes Verhalten nachgewiesen werden muss.

Diese Schnittstelle zwischen internen Unternehmensbereichen und externen Entwicklungspartnern ist insgesamt durch einen sehr hohen Koordinations- und Kommunikationsaufwand gekennzeichnet, denn die Abstimmungs- und Entscheidungswege sind sehr lang. Speziell im Umgang mit den relevanten Daten und Informationen sind hier noch große Optimierungspotentiale verborgen.

4.1.6 IT-Landschaft

Eine Betrachtung der Systemlandschaft offenbart die Ursache für die Versorgung der einzelnen Teilprozesse über Datenexporte nach dem Download-Prinzip aus dem PDM-System. Hier wird der noch relativ niedrige Grad der digitalen Unterstützung der Produktionsentwicklung deutlich, wie bereits in Abschnitt 3.3.3 beschrieben. Während auf Seiten der Produktentwicklung die Prozesskette fast nahtlos im engen Zusammenspiel zwischen CAD als Autorensystem und PDM als Verwaltungssystem durchlaufen werden kann, sind die in der Produktionsentwicklung eingesetzten Systeme noch recht neu und oft erst in einzelnen Baureihen pilothaft im Einsatz. Dies hat nun verschiedene Konsequenzen. Zum einen sind die so genannten CAP-Systeme im großen Stil erst in den vergangenen Jahren mit dem Aufkommen des Schlagworts „digitale Fabrik“ entstanden. Dadurch sind die Systeme selbst teilweise noch nicht ausgereift, d.h. von einer Systemversion zur nächsten muss mit sehr vielen Änderungen hinsichtlich Umfang und Aufbau der angebotenen Funktionalitäten - und Daten - gerechnet werden. Gleichzeitig haben die verschiedenen, großen Systemhersteller versucht, gerade auf dem Gebiet der digitalen Produktionsplanung ihr Portfolio durch strategische Zukäufe kleinerer Softwarehäuser zu erweitern. Die dabei erworbenen Teilsysteme sollen das Funktionsangebot der großen Häuser gezielt erweitern, um möglichst ganzheitliche Systemlösungen aus einer Hand anbieten zu können. Dabei hat allerdings oft die technische Integration nicht mit der kaufmännischen Integration Schritt gehalten, d.h. die Systeme sind im Hinblick auf ihre grundlegenden Datenmodelle noch keineswegs durchgängig integriert. Desweiteren steigt durch die zur Zeit stark anwachsende digitale Durchdringung der Produktionsplanungsprozesse auch die dabei anfallende Datenmenge. Speziell die alphanumerischen Planungswerkzeuge setzen daher auf die Verwendung spezieller Datenmanagementsysteme, um die Vielzahl an heterogenen Datensätzen aus den Bereichen Produkt, Prozess und Ressourcen, die aus jeweils eigenen Teilsystemen stammen, miteinander kombinieren und verwalten zu können. Sowohl die Datenbanken als auch die darauf aufbauenden Autorensysteme aus dem Bereich CAP müssen aber sinnvoll in die bestehende und gewachsene Systemlandschaft hinein integriert

werden. Dazu sind einerseits offene Schnittstellen in allen beteiligten Systemen notwendig, die idealerweise sogar den Austausch assoziativ miteinander verknüpfter Strukturen erlauben. Andererseits müssen aber teilweise auch die Datenmodelle innerhalb der Systeme angepasst werden. Als Beispiel dafür kann wieder ein Verbindungselement genannt werden. Schweißpunkte wurden bisher, vor dem Aufkommen der digitalen Fabrik, in CAD-Systemen modelliert. Nun müssen sie aber vom CAP-System und dessen Datenbank verstanden werden, was eine Anpassung der Datenmodelle bedingt. Das wird allerdings von Seiten der Systemhersteller oft nicht ausreichend unterstützt, da diese natürlich lieber ihre eigenen Systeme etabliert sähen, als Fremdsysteme von Konkurrenzherstellern an ihre Datenwelt anzubinden. D.h. in diesem Fall müssen entweder alle an der Prozesskette beteiligten Systeme aus der Hand eines Herstellers bezogen werden, oder aber es müssen Verluste am Informationsgehalt bzw. aufwändige und schlecht performante Schnittstellen in Kauf genommen werden.

4.1.7 Änderungsmanagement

Ähnlich wie bei der Abbildung der Varianten in den parallelen Strukturen kommt es auch beim Änderungsmanagement zu Problemen. Die beschriebene Prozesskette Karosserierohbau erstreckt sich von den frühen Phasen des Produktenstehungsprozesses bis hin zur Inbetriebnahme der Serienanlage. Als besonders kritisch in Bezug auf das Änderungsmanagement stellen sich dabei die frühen Phasen der Prozesskette dar, wenn Spann- und Fixierkonzepte und davon abgeleitete Vorrichtungen für den Aufbau der Prototypfahrzeuge konstruiert werden. Grundlage für diese Teilprozesse sind, wie bereits erwähnt, die Produktdaten und deren Struktur. Die Konstruktionsphase der Vorrichtungen für E-Fahrzeuge und Nullserienfahrzeuge liegt aber noch vor der Designfestlegung der Bauteilkonstruktion, d.h. die endgültige geometrische Ausgestaltung des Fahrzeugs ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht erfolgt. Infolgedessen kommt es während dieser Folgeprozesse immer noch zu Bauteiländerungen, die konstruktionsseitig durch neue, freigegebene Versionen von Sachnummern abgebildet werden. Zusätzlich zu den Änderungen in der geometrischen Ausgestaltung der Komponenten kann es zu strukturellen Veränderungen im Aufbau der Karosserie kommen, d.h. es können einzelne Bauteile hinzukommen, entfallen oder in über- bzw. untergeordnete Zusammenbaustufen wandern. Dies hat dann entsprechend eine neue Version der betroffenen Zusammenbaustufen zur Folge. Im vorangegangenen Abschnitt wurde bereits darauf eingegangen, dass die Produktstruktur über Downloads für die Folgeprozesse bereitgestellt wird. Die Grundlage für diesen Datenexport ist der zu einem definierten Zeitpunkt gültige Datenstand der Produktbeschreibung, der durch

die Logistikabteilungen der jeweiligen Baureihe festgelegt wird. Diese steuern nämlich die Beschaffung der Fahrzeuge, d.h. die Prototypen werden bei konzerninternen Bereichen quasi bestellt und abgerechnet. Um aus der dynamischen Produktstruktur des PDM-Systems einen statischen Fahrzeugstand herauszufiltern, bedient sich die Logistik einer Funktion innerhalb der Konfigurationslogik des PDM-Systems. Dabei werden den einzelnen Sachnummern der Produktstruktur sogenannte Versionssteuerungsobjekte zugeordnet, die ausweisen, dass eine Sachnummer und die in ihr enthaltene Bauteilgeometrie zu einem bestimmten Prototyp-Baulos gehören. Folgeprozesse können nun beim Download diese Konfigurationseinstellung benutzen, um sich genau die eine, von der Logistik festgelegte Produktstruktur zu einem bestimmten Zeitpunkt exportieren zu lassen. Nun stehen die Bauteilentwickler in ihren Konstruktionsprozessen aber so stark unter Zeitdruck, dass sie die bereits freigegebenen Bauteilstände oft nachträglich wieder anpassen und nachversionieren und erneut freigeben müssen. In dem Fall werden die Versionssteuerungsobjekte den neu versionierten Sachnummern zugeordnet, so dass sie beim nächsten Aufrufen der Produktstruktur mit der vereinbarten Konfiguration automatisch innerhalb der Struktur erscheinen. Diese ist dadurch aber nicht mehr so statisch, wie sie aus Sicht der Folgeprozesse sein müsste. Diese Folgeprozesse haben nun keinen verbindlichen Datenstand mehr, sondern müssen die Änderungen der Bauteilkonstruktion rechtzeitig erkennen und permanent in ihren eigenen Datensätzen nachpflegen, was automatisch das Einleiten eines erneuten Datenabzugs aus dem PDM-System bedeutet. Kommuniziert werden diese Änderungen über eine Liste, in die tagesaktuell die veränderten, gelöschten oder hinzugefügten Sachnummern eingetragen werden. Die Abteilung, die das Spann- und Fixierkonzept verantwortet, muss z.B. zum Ende des Teilprozesses „Erstellung Spann- und Fixierkonzept“ gewährleisten, dass die von ihnen erzeugten Daten mit dem dann gerade gültigen Datenstand konsistent sind. Erst wenige Tage vor der Weitergabe des fertiggestellten Spann- und Fixierkonzepts an den Bereich Vorrichtungskonstruktion wird die Produktstruktur nicht mehr verändert. Die nun noch folgenden Änderungen werden dann entsprechend erst im nachfolgenden Prototyp-Baulos berücksichtigt.

Vor dem Hintergrund der Datenversorgung und Weitergabe auf Downloadbasis sowie der innerhalb dieser Prototypphasen vorherrschenden, zeitlichen Randbedingungen wird sehr schnell klar, dass dieses Änderungsmanagement einen der kritischsten Faktoren in der Prozesskette Rohbau darstellt. Die auftretenden Änderungen müssen nämlich jedes Mal über einen neuen Datenexport aus dem PDM-System extrahiert und in die bestehenden Downloadstrukturen eingebaut werden, und das gegebenenfalls für sämtliche Varianten. Beim Spann-

und Fixierkonzept kommt noch erschwerend hinzu, dass die einzelnen Spannelemente einer Zusammenbaustufe oft auch in den übergeordneten Zusammenbauten weiterverwendet werden. D.h. im Falle einer strukturellen Änderung, die sich in der Zusammenbauebene auswirkt, kann es passieren, dass alle oberhalb der Änderungen liegenden Ebenen des Spann- und Fixierkonzepts überarbeitet und nachgeprüft werden müssen. Hier wirkt sich das Arbeiten auf Downloadbasis aber ein weiteres Mal sehr nachteilig aus, denn die betroffenen Bereiche haben keine Möglichkeit in den von ihnen verwendeten Strukturen einen Alt/Neu-Vergleich verschiedener Versionen zu machen, um die Auswirkungen von Änderungen abschätzen zu können. Dies wäre von vielen Anwendern zur Vereinfachung des Änderungsmanagements aber sehr erwünscht, da sie durch diese Vergleiche viel eher abschätzen könnten, wie viel Aufwand im Einpflegen der Änderung steckt und ab wann es sich lohnt, damit anzufangen.

4.1.8 Wiederverwendung von Daten

Eine weitere Konsequenz der Datenhaltung der Nachfolgeprozesse außerhalb des PDM-Systems ist in der schlechten Wiederverwendbarkeit bereits erstellter Informationen zu sehen. Es wäre wünschenswert, verschiedene Datensätze von einer Fahrzeugphase in die nächste zu übernehmen, also beispielsweise das Spannkonzept vom E-Fahrzeug für das B-Fahrzeug weiterzuverwenden. Dies ist im aktuellen Prozess aber nur möglich, indem die jeweiligen Strukturen oder Teile davon manuell hin und her kopiert werden. Da dies ein Prozess auf Verzeichnisebene ist, kann man später allerdings nicht mehr nachvollziehen, woher genau die Daten stammen bzw. wie sie zusammengestellt wurden. Auch der Bezug zum verwendeten Produktdatenstand lässt sich nur noch sehr schwer wieder herstellen.

Parallel dazu würden die Produktionsplaner gerne die bereits in den Prototypphasen konstruierten Vorrichtungsgeometrien während der Ausschreibungsphase an die externen Anlagenlieferanten mit versenden, um denen bereits existierende Lösungskonzepte mit auf den Weg zu geben und insgesamt Zeiten und Kosten der Anlagenkonstruktion zu senken. Hierin spiegelt sich auch der Wunsch wider, speziell in den Prototypphasen nicht mehr jedes Mal neue Vorrichtungen zu entwerfen, sondern die bereits in der E-Fahrzeug-Phase eingesetzten Prototypvorrichtungen für die B-Fahrzeugphase anzupassen und nach und nach zu automatisieren, damit sie sich immer mehr der Produktion unter Serienbedingungen nähern.

Insgesamt gilt für die Vorrichtungsdaten, dass auch hier eine gezielte Archivierung und der damit ermöglichte Zugriff durch andere Bereiche sehr stark erwünscht sind. Im Rahmen der

Einführung der digitalen Produktionsplanung werden vermehrt Standardbibliotheken aufgebaut, um schneller Planungsstände und darin enthaltene Planungsalternativen ableiten zu können. Dies setzt aber eine vollständige Erfassung der gängigen Bestandteile einer Rohbauanlage voraus, die heute noch nicht gegeben ist. Das gleiche gilt für die mögliche Wiederverwendbarkeit der Daten einer bestehenden Anlage, um sich für die Nachfolgebaureihe schon frühzeitig einen ersten Entwurf auf Grundlage dieser alten Daten ableiten zu können. Dies trägt wieder dem Gedanken Rechnung, dass die grundlegende Struktur einer Rohbaustraße sich von Baureihe zu Baureihe nicht allzu gravierend verändert, was eine Verwendung der Altdaten für den ersten Entwurf akzeptabel macht.

4.2 Veränderung der Randbedingungen des Produktentstehungsprozesses

Nach der Beschreibung des aktuellen Produktentstehungsprozesses und den daraus abgeleiteten Defiziten wird in diesem Abschnitt noch kurz auf Veränderungen und aktuelle Trends eingegangen. Dies erscheint wichtig, da das im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelte Konzept einerseits Verbesserungspotentiale im bestehenden Prozess erschließen soll, gleichzeitig aber auch den sich heute schon abzeichnenden Änderungen im Prozess Rechnung tragen muss, um auch in naher Zukunft noch praxistauglich zu sein.

4.2.1 Produktionsgetriebene Gestaltung des Produkts

Innerhalb der Automobilindustrie setzt in der letzten Zeit immer häufiger der Trend ein, die Rolle der Produktionsentwicklung innerhalb des Produktentstehungsprozesses zu stärken. Historisch gesehen begann und beginnt die Produktentstehung immer noch mit der Ausgestaltung der Produktdaten, bevor flankierend dazu die Tätigkeiten zur Gewährleistung der Produzierbarkeit einsetzen. Heute ist der Zeitdruck in der Entwicklung aber so groß, dass teilweise auf bestehende Teillösungen zurückgegriffen wird, d.h. ein Neufahrzeug besteht zu einem gewissen Prozentsatz aus Übernahmebauteilen, für die es bereits Produktionsanlagen gibt. Gleichzeitig wünscht man sich die Möglichkeit, auch innerhalb einer laufenden Produktion neue Derivate einer bereits auskonstruierten Baureihe mit einpflegen zu können. Dies führt automatisch zu Überlegungen, die Produktionsanlagen selbst immer flexibler werden zu lassen. Der Idealzustand wäre eine vollkommene Abkehr von den heute noch zum Großteil verwendeten Solitäranlagen, d.h. Produktionsanlagen, die für eine einzige Baureihe verwendet

werden, hin zu einer vollkommen flexiblen Fertigungsanlage, die viele verschiedene Fahrzeugvarianten, Derivate oder gar Baureihen produzieren könnte.

In Abbildung 4-4 ist der Produktenstehungsprozess nach Andreasen dargestellt, bei dem verschiedene Aktivitäten aus den drei Strängen Markt, Produkt und Produktion simultan ablaufen. Die ursprünglich angedachte Lesart des Bildes ist von oben nach unten bzw. von links nach rechts, d.h. der Prozess beginnt bei der Ableitung der Bedarfe aus der Marktsituation und endet in der realen Produktion. Bezieht man in diese Darstellung die Überlegungen zur produktionsgetriebenen Gestaltung des Produktes mit ein, so bedeutet das, dass die Festlegungen aus dem Bereich Produktion schon getroffen sind, bevor die Ausgestaltung des Produkts überhaupt erst beginnt. Sowohl vom oberen Strang („Markt“) als auch vom unteren („Produktion“) wird auf die Gestaltung des Produktes Einfluss genommen. Dadurch werden die Freiheitsgrade, die der Konstrukteur in seinem Entwicklungsprozess hat, sehr stark eingeschränkt.

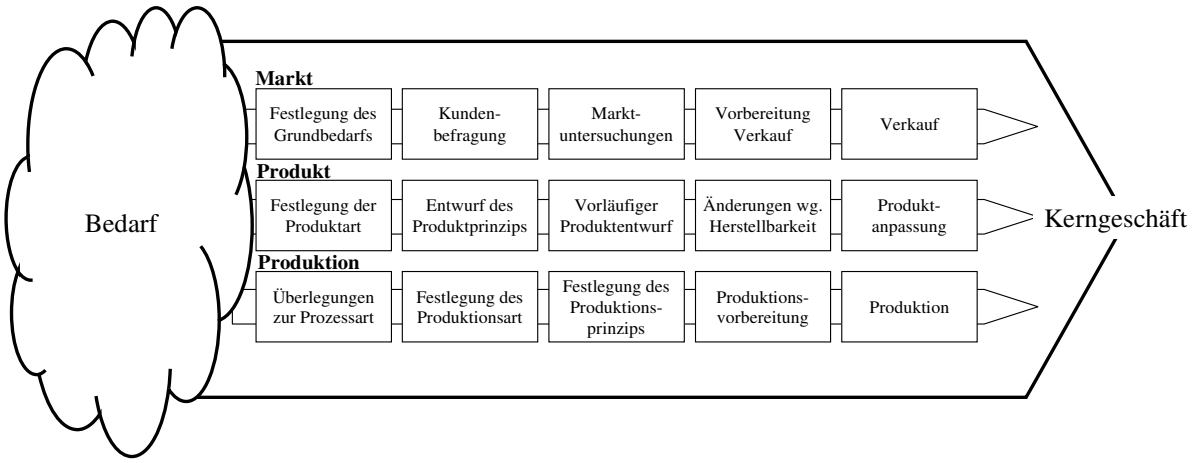


Abbildung 4-4: Ablauf des Produktentstehungsprozesses nach Andreasen

Übertragen auf das Beispiel des Karosserierohbaus bedeutet dies, dass der Bauteilkonstrukteur beispielsweise eine Seitenwand im Kontext einer bereits spezifizierten Produktionsanlage entwirft. Die bereits konzipierte Vorrichtung und die daraus resultierenden Prozessfestlegungen stellen die Randbedingungen dar, innerhalb derer der Konstrukteur sein Bauteil entwerfen muss.

Aus Sicht der beschriebenen und analysierten Prozesskette bedeutet das allerdings, dass die für diese Umkehrung des Produktentstehungsprozesses notwendigen Daten zunächst einmal erfasst und bereitgestellt werden müssen. Im aktuellen Prozess wäre es für den Bauteilkonstrukteur gar nicht möglich, sich das zu seinem Bauteil gehörende Spann- und Fixierkonzept

anzuladen, genauso wie er nur unter größter Mühe auch die passende Vorrichtung für sein Bauteil finden würde. Das heißt konkret, dass zur Unterstützung dieses Entwicklungsprozesses zunächst integrierende Datenmodelle geschaffen und in die vorherrschende Systemlandschaft sinnvoll eingebettet werden müssen, um den geforderten Arbeitsstil in den beteiligten Bereichen überhaupt erst zu ermöglichen.

4.2.2 Design for Re-Tooling

Ein neues Schlagwort, das in der letzten Zeit immer häufiger im Kontext des Karosserierohbaues auftaucht, ist das so genannte „Design for Re-Tooling“, d.h. die Entwicklung von neuen Fahrzeugen im Kontext bestehender Produktionsanlagen. Es stellt eine neue Repräsentation des DfX-Gedankens („Design for X“) dar, der sowohl auf Seiten der Zulieferindustrie, siehe hierzu etwa [Schä06] oder [Rusi06], als auch bei den OEMs selbst bekannt ist, vgl. [Marc06] und [Unsw06]. Die Idee dahinter bezieht sich auf die Überlegung, bestehende Rohbauanlagen nach dem Produktionsende einer Baureihe nicht mehr abzureißen und für die Folgebaureihe eine komplett neue Anlage zu entwerfen, sondern einzelne Vorrichtungen oder auch ganze Bandbereiche für andere Baureihen wiederzuverwenden. Das setzt natürlich voraus, dass die Bauteile des neuen Fahrzeuges zum Großteil in die bestehenden Vorrichtungen passen, bzw. nur geringe Modifikationen an den Vorrichtungen verursachen. Die Vorrichtungen selbst müssen flexibler gestaltet werden, d.h. sie werden sich nicht mehr so stark wie bisher an der Bauteilgeometrie orientieren und eher einen modularen Charakter besitzen. Auf der methodischen Seite wird innerhalb der Bauteilkonstruktion eine Standardisierung des Spann- und Fixierkonzepts angestrebt, damit zum Beispiel verschiedene Seitenwände in der gleichen Vorrichtung verschweißt werden können. Dies lässt sich sicherlich nicht übergreifend für alle Baureihen realisieren, aber selbst wenn dies beispielsweise nur für die Fahrzeuge der Kompaktklasse gelänge, so wäre dennoch ein großes Optimierungspotential erschlossen, da man damit jeden beliebigen Modellmix innerhalb der Produktion fahren könnte, und sehr flexibel auf Stückzahlschwankungen reagieren könnte. Voraussetzung wäre allerdings auch hier eine ganzheitliche Erfassung der Entwicklungsdaten der relevanten Vorrichtungen und Anlagen. Diese muss initial, quasi im Auslieferungszustand, dokumentiert und archiviert werden, die Datenbestände müssen aber auch in der Folgezeit kontinuierlich gepflegt und aktualisiert werden. Jedwede Modifikation der Anlage im laufenden Betrieb muss mitverfolgt werden, um zu gewährleisten, dass die Konstruktionsabteilungen, die im Falle des Design-for-Re-

Tooling auf diese Daten zugreifen, auch den tatsächlichen Anlagenzustand zur Verfügung haben und nicht von einem idealisierten Zustand ausgehen.

Eng mit diesem Trend verwandt ist auch die so genannte Regalentwicklung, die gerade in der japanischen Autoindustrie schon seit Längerem erfolgreich eingesetzt wird. Hierbei werden einzelne Komponenten oder ganze Funktionsgruppen außerhalb konkreter Fahrzeugprojekte entwickelt, wobei standardisierte Konstruktionsmethoden zu Grunde gelegt werden, beispielsweise mit Hilfe der Template-Technologie. Innerhalb des Fahrzeugprojekts wird dann die entworfene Komponente auf das reale Fahrzeug angepasst, wobei nur noch genau definierte Veränderungen zulässig sind (beispielsweise solche, die das standardisierte Spann- und Fixierkonzept nicht betreffen). Ausgenommen sind sogenannte konzeptbestimmende Bauteile, d.h. die wichtigen Komponenten, die eine zentrale Rolle bei der Entwicklung des Neufahrzeugs spielen. Ein Beispiel für ein solches, konzeptbestimmendes Bauteil ist der Vorbau eines Fahrzeugs, während der Hauptboden als nicht sichtbares Teil durchaus innerhalb mehrerer Baureihen verwendet werden kann. Dies bringt dann automatisch auch eine Mehrfachverwendung der betroffenen Vorrichtungen der Karosserierohbauanlage mit sich, was im Einzelfall wiederum in einer voll flexiblen Produktionsanlage münden kann.

4.2.3 Überdeckende Systemfunktionalität

Eine wichtige Randbedingung, die eher auf der Systemseite angesiedelt ist, besteht im heute vorherrschenden Problem der sich überdeckenden Systemfunktionalitäten. Diese ist ein Resultat der gewachsenen IT-Struktur in Entwicklungsprozessen in den letzten Jahren. In Abbildung 4-5 ist diese historische Entwicklung beispielhaft dargestellt.

Die Unterstützung der Produktentstehungsprozesse begann mit dem Aufkommen der zweidimensionalen CAD-Systeme, die zum Erstellen präziser Fertigungsunterlagen herangezogen wurden. Daraus wurden später die dreidimensionalen Systeme und schließlich heute die wissensbasierten und voll parametrischen Entwurfswerkzeuge. Auf Seiten der Dokumentation entstanden zunächst Systeme zur Unterstützung der Stücklistenverwaltung. Während die geometrische Struktur der Bauteile ausschließlich im CAD-System angesiedelt war, wurde die Struktur des Produkts einzig und allein im Stücklistensystem abgebildet. Vor zehn bis fünfzehn Jahren kamen nach und nach die Systeme zur Produktdatenverwaltung auf den Markt, um den stetig wachsenden Datenmengen innerhalb der Konstruktion gerecht zu werden. Auch diese entwickelten sich in den folgenden Jahren weiter, wobei sie, von der ursprünglichen

Verwaltung der Bauteildaten ausgehend, immer mehr Funktionen bis hin zur Prozesssteuerung und Logistik in sich vereint haben.

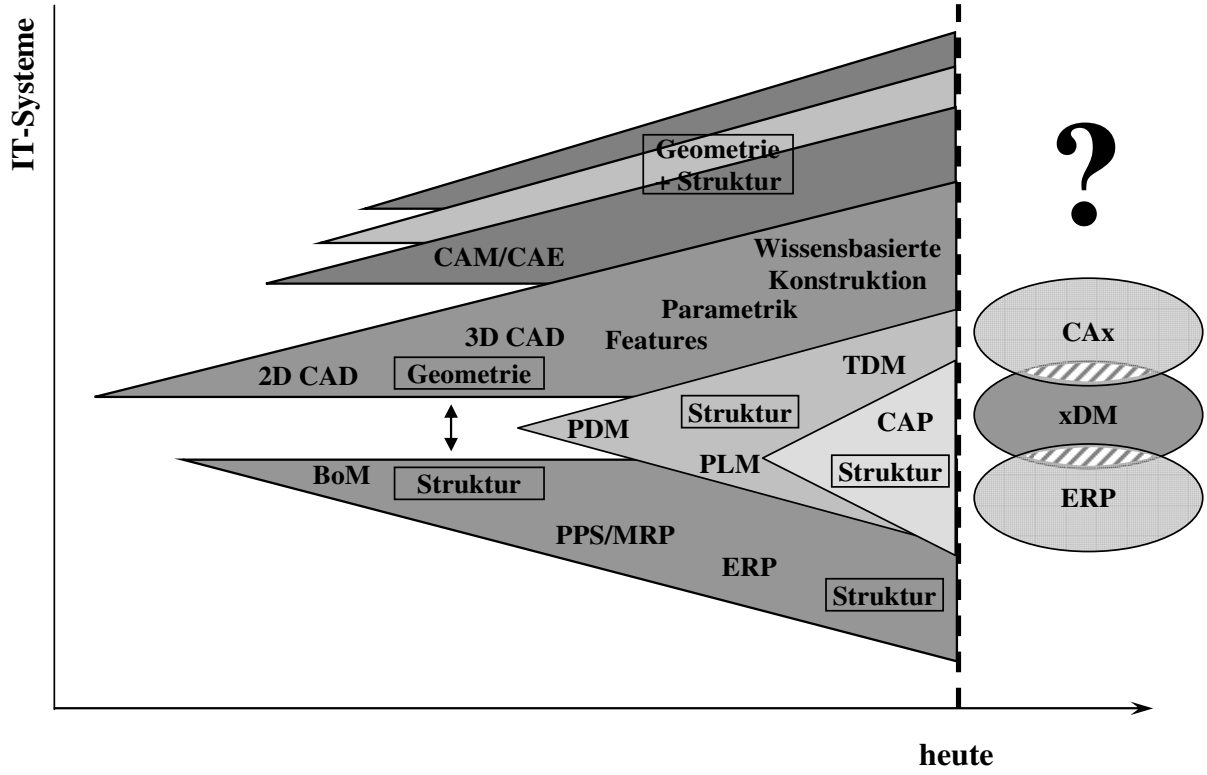


Abbildung 4-5: Historisch gewachsene IT-Landschaft [BVDW04]

Dies mündet in den heute propagierten PLM-Systemen, die zur Abdeckung des Informationsmanagements des gesamten Produktlebenszyklus dienen sollen. Im oberen Bereich von Abbildung 4-5 erkennt man die CAE-Systeme, die zur Unterstützung der konstruktionsbegleitenden Entwicklungsprozesse eingeführt wurden. Hierzu zählen etwa FEM-Systeme oder andere Simulationswerkzeuge. Diese erlauben neben der reinen Berechnung auch die geometrische Ausgestaltung von Bauteilen. Relativ neu sind die an der Schnittstelle zwischen CAD- und Stücklistensystemen eingezeichneten digitalen Planungswerkzeuge. Diese bündeln sowohl die geometrischen Aspekte aus dem Bereich der Bauteilgestaltung als auch die logistischen Informationen aus den kaufmännischen Unternehmensprozessen. Betrachtet man nun die heutige Situation, so stößt man sehr schnell auf das Dilemma, dass gleiche Funktionalitäten in unterschiedlichen Systemen abgebildet werden können. Die Struktur eines Produktes könnte in einem aktuellen Entwicklungsprozess beispielsweise innerhalb des CAD-Systems, im zugeordneten PDM-System oder etwa im Stücklistenverwaltungssystem abgelegt werden. Zusätzlich bringen die vielen verschiedenen Systeme oft eigene Datenverwaltungssysteme mit sich, deren Rollenverteilung innerhalb des Produktentstehungsprozesses ebenfalls klar

geregelt werden muss. Auch die Beantwortung der Frage, an welcher Stelle eine Schnittstelle eingerichtet wird und welche Informationen mit Hilfe dieser Schnittstelle übergeben werden sollen, ist von entscheidender Bedeutung für die Gestaltung moderner Prozesse.

Die Analyse der IT-Werkzeuge in einem einzigen, an der Entwicklung eines Produktes oder einer Produktionsanlage beteiligten Bereich alleine liefert dabei oft schon ein wesentlich komplexeres Bild ab, als es die stark vereinfachte Darstellung in Abbildung 4-5 erahnen lässt. Gleichzeitig ist es aber eine Herausforderung, der sich die Unternehmen bei der kontinuierlichen Verbesserung ihrer Prozesse heute stellen müssen.

4.2.4 Änderung der Lieferantenrolle

Die Zusammenarbeitsmodelle mit Lieferanten, unabhängig davon ob es sich um Dienstleister für Produktentwicklungsumfänge oder solche für Produktionsanlagen handelt, haben sich innerhalb der Automobilindustrie in den letzten Jahrzehnten stark verändert. Abbildung 4-6 (Quelle: [Beck02]) zeigt diese Entwicklung, beginnend bei den 80er Jahren bis heute und gibt gleichzeitig einen Ausblick, wie das zukünftige Zusammenarbeitsmodell aussehen wird (vgl. auch [PfSc05]).

In den 80er Jahren erfolgte die Kommunikation zwischen OEM und den verschiedenen Lieferanten noch direkt, wobei die einzelnen Entwicklungspartner jeweils komplette Umfänge für den OEM hergestellt haben. Die Entwicklungsarbeit selbst lag dabei meist noch komplett in den Händen des OEM. Mit den 90er Jahren kam das Konzept der gestuften Lieferanteneinbindung auf, bei dem es sogenannte „tier-1-supplier“ gab (von engl. „tier“ = die Stufe), die direkt mit dem OEM in Kontakt standen und beauftragt wurden, sowie nachgeschaltete „tier 2“ bis „tier X suppliers“, die von der jeweils vorgeschalteten Ebene aus beauftragt und koordiniert wurden. Mit dieser Form der Unterbeauftragung reagierten die Hauptzulieferer der OEM’s auf den wachsenden Preisdruck und den sich verschärfenden Konkurrenzkampf im Lieferantengeschäft, denn die Ausschreibungspolitik europäischer OEMs verfolgte in dieser Zeit nicht unbedingt die langfristige Bindung von Lieferanten wie es etwa in Japan der Fall war („family of suppliers“,vgl. etwa [Like04]). Daraus entstand wiederum die aktuelle Situation, in der einzelne der ehemaligen „tier 1 supplier“ eine Sonderrolle eingenommen haben, innerhalb derer sie komplette Entwicklungsumfänge des OEM’s übernehmen und eigenverantwortlich an andere Lieferanten beauftragen.

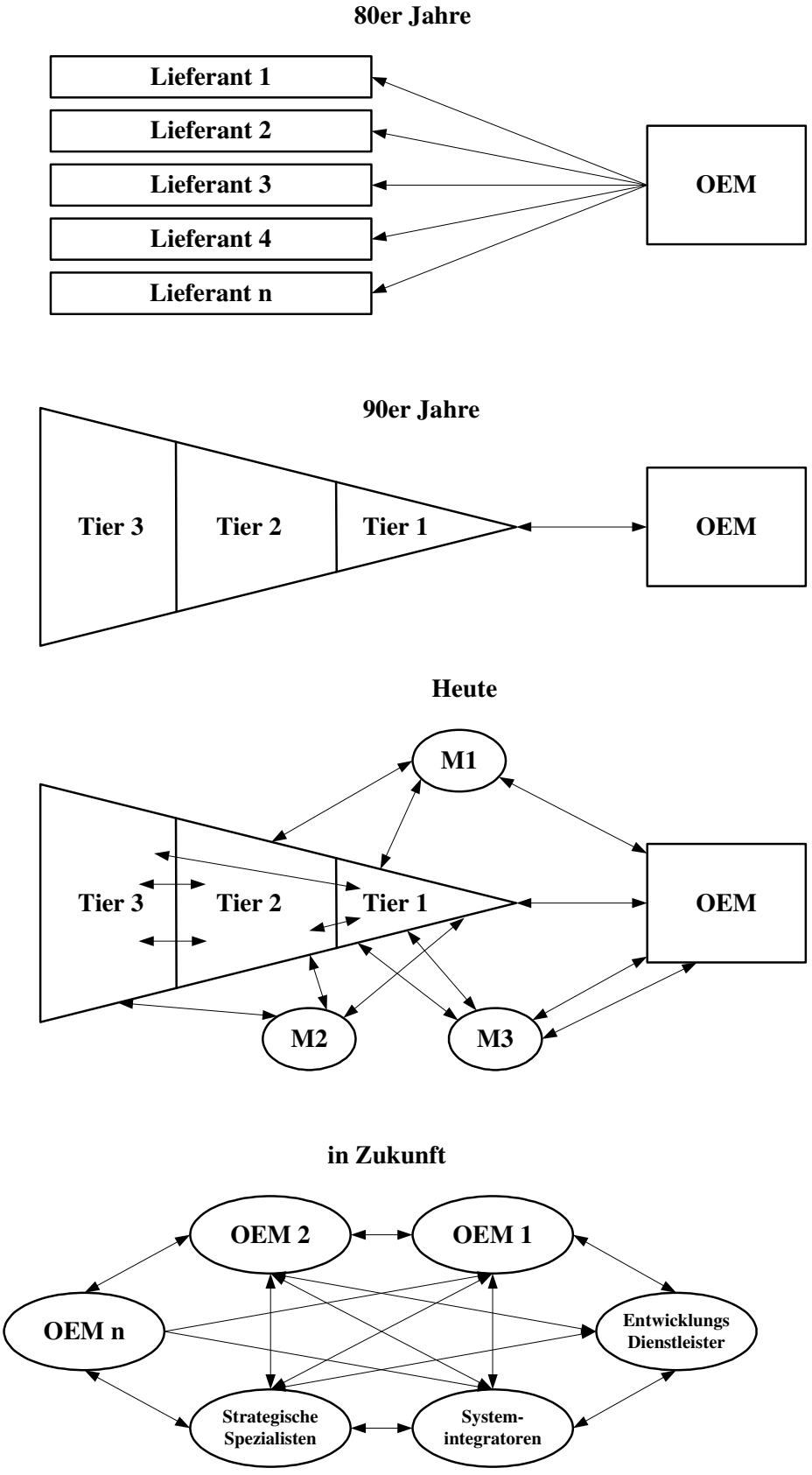


Abbildung 4-6: Änderung der Lieferantenrolle [Beck02]

Dabei liegt auch in machen Fällen die komplette Entwicklungsverantwortung in den Händen dieser Lieferanten, mit der Produktion und Koordination der Lieferantenkette hat der OEM nichts mehr zu tun. Für die Zukunft wird davon ausgegangen, dass ganz neue Modelle der Zusammenarbeit entstehen, wobei durch die sich zusehends verschärfende Wettbewerbssituation auch neue Formen der Kooperation zwischen den einzelnen OEM's ergeben werden. Erste gemeinsame Entwicklungsprojekte, etwa aus dem Nutzfahrzeug- oder Sportwagenbereich, können heute schon in der deutschen Automobilindustrie beobachtet werden. Gleichzeitig werden in diesem Netzwerk auch die bisherigen Entwicklungsdienstleister sowie auf bestimmte Aufgaben spezialisierte Firmen ihren Platz finden.

Mit der Veränderung der Rolle der Lieferanten hat sich entsprechend auch die Form der Zusammenarbeit verändert. Die Kommunikationswege haben sich verlängert und der Abstimmungsaufwand innerhalb der Prozesse hat sich ebenfalls stark erhöht, da es in den einzelnen Teilprozessen immer mehr Beteiligte gibt, die zudem noch global verteilt sind. Speziell in der aktuellen Situation gestaltet sich die Verteilung der für die vergebenen Entwicklungsaufgaben notwendigen Informationen aus Sicht eines OEM schon sehr komplex, da aus einer Vielzahl von internen Quellen eine Vielzahl von externen Empfängern versorgt werden muss. Werden nun noch die vorhergesagten Netzwerke in Betracht gezogen, so ergeben sich zusätzliche Herausforderungen, speziell auf dem Gebiet der Datensicherheit. So wird es nicht mehr ausreichend sein zu gewährleisten, dass ein Datenpaket den Lieferant X erreicht, sondern es muss auch genau steuerbar sein, welchen Inhalt das Datenpaket hat. Auch die im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Prozesse und Methoden an der Schnittstelle zwischen Produkt- und Produktionsentwicklung müssen sich dieser Herausforderung stellen, denn, wie im Rahmen des Analyseteils bereits beschrieben wurde, sind eine Vielzahl der dort zu leistenden Aktivitäten bereits heute außerhalb der Unternehmensgrenzen angesiedelt.

Zusätzliche Komplexität entsteht im Bereich der Lieferantenintegration durch die zunehmende Flexibilität im entstehenden Lieferantennetzwerk. In allen Teilprozessen, die im Rahmen der Prozessanalyse betrachtet wurden, konnte beobachtet werden, dass ein Großteil des notwendigen Fachwissens bereits an externe Firmen vergeben ist. Hier entsteht aber speziell in der deutschen Automobilindustrie das Problem, dass die Kontakte zu den Lieferanten oft eher von kurzfristiger Dauer sind, und die Auswahl des Lieferanten meist aus monetären Gründen erfolgt, während die japanischen Autohersteller eher auf eine langfristige Lieferantenbindung zielen (vgl. etwa die „family of suppliers" bei Toyota). Dies hat zur Folge, dass der angespro-

chene Transfer von Fachwissen, den die starke Lieferanteneinbindung automatisch mit sich bringt, in Deutschland nicht sehr stabil ist. Jeder neu hinzukommende Entwicklungspartner muss entsprechend qualifiziert werden, um überhaupt effektiv in die Prozesse eingebunden zu werden, was wiederum auf Seiten des OEMs eine entsprechende Dokumentation der eigenen Prozesse sowie klare Spezifikationen der eingeforderten Daten nötig macht. Ebenso wurde in der Prozessanalyse beobachtet, dass zu unterschiedlichen Zeitpunkten auch unterschiedliche Lieferanten für die gleichen Umfänge eingebunden wurden. So wurden Vorrichtungen für die Herstellung von Fahrzeugen der ersten Prototypphase von einem Lieferanten konstruiert und geliefert, während in der sich anschließenden zweiten Prototypphase ein anderer Lieferant die Anpassungskonstruktion und Serienpflege der Vorrichtung übernahm. Dies führt zum Dilemma, dass die Lieferanten einerseits natürlich ihre Konstruktionsdaten aus Gründen der Geheimhaltung so gut wie möglich schützen wollen, der OEM aber andererseits darauf achten muss, dass er alle notwendigen Daten und Informationen erhält, um damit andere Lieferanten beauftragen zu können und um einen weitestgehend nahtlosen Übergang zwischen den einzelnen Prozessphasen realisieren zu können. Daran zeigt sich, dass die Veränderung der Lieferantenrolle einerseits die Fragestellung aufwirft, wie und wann mit dem jeweiligen Partner kommuniziert wird, andererseits aber auch die Frage geklärt werden muss, was kommuniziert werden soll!

4.2.5 Zeitliche Randbedingungen

In [Harv04] sind Verkürzungen in der Produktentstehung, ohne Einbeziehung der Strategiephase, von bis zu 40% beschrieben, von 50 Monaten zu Beginn der 80er Jahre bis hin zu einer Dauer von 30 Monaten in 2003. In der Darstellung in Abbildung 4-7 wird deutlich, dass sich die Verkürzung des gesamten Entwicklungsprozesses in einer entsprechenden Verkürzung aller Projektphasen niederschlägt. Sowohl für die Produkt- als auch für die Produktionsentwicklung steht somit immer weniger Zeit zur Verfügung. Dieser Trend ist sicher nicht neu, allerdings wird sich die Situation hier speziell durch die Kombination mit den bereits zuvor genannten Faktoren wie die zunehmende Anzahl an Varianten, die kurzfristige Aufnahme von Derivaten in die laufende Produktion bzw. auch die veränderte Zusammenarbeit mit Lieferanten zusätzlich verschärfen. Auch in den dieser Arbeit zugrunde liegenden Prozessanalysen konnte beobachtet werden, unter welch hohem Zeitdruck die einzelnen Teilprozesse ablaufen müssen, und wie wichtig effiziente Kommunikationswege in diesem Zusammenhang sind. Innerhalb einer der im Rahmen dieser Forschungsarbeit betrachteten Baureihe war die Ent-

wicklungszeit von 60 Monaten beim Vorgängerfahrzeug auf 44 Monate im aktuellen Projekt verkürzt worden, was einer Straffung des Prozesses um über 25 Prozent entspricht. Zwar kann davon ausgegangen werden, dass die beobachtbare Verkürzung der Entwicklungszeiten früher oder später an eine Art gesunde Untergrenze stößt, d.h., dass eine Entwicklungsdauer erreicht wird, unterhalb derer einfach kein ausreichender Produktreifegrad erzielt werden kann. Dennoch wird in den kommenden Jahren der Zeitdruck in allen Phasen der beteiligten Teilprozesse ansteigen, was einen ganz neuen Umgang mit den relevanten Informationen bedingt.

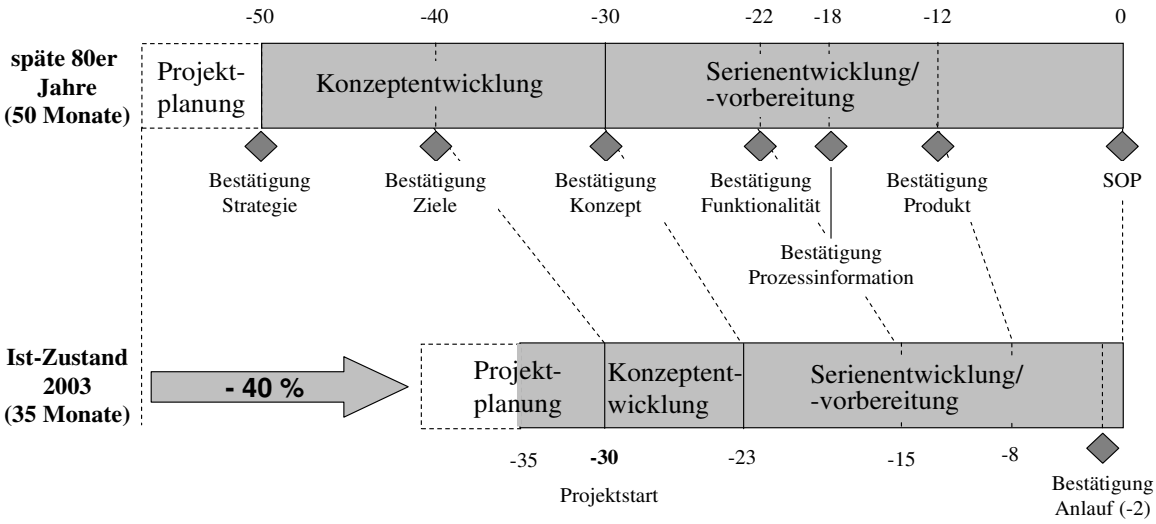


Abbildung 4-7: Verkürzung der Prozesszdauer in der Automobilentwicklung [Harv04]

Betrachtet man vor diesem Hintergrund die einzelnen Phasen der Produkt- und Produktionsentwicklung, so wie sie in den Übersichten in Abbildung 3-5 und Abbildung 3-10 zu Beginn des Kapitels 3 dargestellt sind, so kann daraus auf eine immer stärkere Parallelisierung der einzelnen Teilprozesse geschlossen werden. Die Informationen aus den einzelnen Phasen müssen den jeweils anderen, beteiligten Bereichen so früh wie möglich zur Verfügung gestellt werden, um überhaupt arbeitsfähig zu bleiben. Dabei muss allerdings beachtet werden, dass der Austausch von Informationen und damit verknüpften Daten alleine nicht ausreicht, sondern auch eine entsprechende Aussage zu deren Reifegrad bzw. eine Möglichkeit zur Konfiguration unabdingbar ist. Es würde keinen Sinn machen, einzelne Teilprozesse untereinander so starr miteinander zu verkoppeln, so dass auf jede Datenaktualisierung des einen Prozesses im nachfolgenden Prozess direkt auf sämtliche Änderungen reagiert werden muss. Stattdessen ist es wichtiger, durch einen organisatorischen und informationstechnischen Unterbau dafür zu sorgen, dass die Folgeprozesse immer dann auf Änderungen reagieren und diese bei sich einpflegen können, wenn es aus ihrer Sicht sinnvoll ist. Nur so kann verhindert werden, dass

es innerhalb der beteiligten Bereiche zum klassischen „Hinterherlaufen bei Änderungen“ kommt, ohne das ein Prozess jemals richtig abgeschlossen werden kann. Innerhalb der Prozessanalyse der Prozesskette Karosserie, die im Rahmen dieser Arbeit gemacht wurde, hat sich etwa herausgestellt, dass sich die Beteiligten in den meisten Teilprozessen für die tägliche Arbeit mit Produkt- oder Prozessdaten eine statische Struktur wünschen. Diese muss zwar bei Bedarf ohne Probleme aktualisierbar sein, um beispielsweise einen neuen Produktdatenstand in bestehende Produktionsplanungsumfänge einzubinden. Es muss aber auch möglich sein, einen frei definierbaren Umfang in einer festen Konfiguration abzuarbeiten, bevor man sich um die Aktualität der Daten kümmert und die zwischenzeitlich aufgekommenen Änderungen in seinem Planungsumfang berücksichtigt.

Was die zeitliche Situation generell angeht, so kann man sie für alle relevanten Teilprozesse zusammenfassen in der Devise: So spät wie möglich, aber so früh wie nötig!

4.3 Zusammenfassung der Verbesserungspotentiale

Der Übersichtlichkeit halber werden in diesem Abschnitt noch einmal kurz die wichtigsten Verbesserungspotentiale aufgelistet, die sich sowohl im Rahmen der Analyse der Ist-Prozesse als auch vor dem Hintergrund der sich bereits abzeichnenden Änderungen des Produktentstehungsprozesses ergeben haben. Diese sind dabei jeweils als Stichworte den einzelnen Dimensionen des in Kapitel 2 eingeführten Rahmenwerkes der Prozessanalyse zugeordnet. Manche der Verbesserungspotentiale betreffen sicherlich mehrere der Dimensionen dieses Rahmenwerkes, wobei sie dann der Dimension zugewiesen werden, in der ihre Ursache am ehesten zu sehen ist bzw. in der ihre Auswirkungen am stärksten spürbar sind.

4.3.1 Methoden

Im Hinblick auf die in den existierenden Entwicklungsprozessen der Produktgestaltung und der Produktionsplanung angewandten Methoden wurden folgende Verbesserungspotentiale ausfindig gemacht:

- Sowohl die Dokumentation als auch die Archivierung der Produktdaten erfolgt hauptsächlich nach konstruktiven Gesichtspunkten, die Bauteilentwicklung ist oft als alleiniger Treiber des Gesamtprozesses verankert.

- Die Konstruktionsmethodik in der Produktentwicklung ist als „bottom-up“-Methodik verankert, wodurch speziell die wichtigen bauteilübergreifenden Informationen schwer zu dokumentieren sind bzw. oft ganz verloren gehen.

- Verschiedene Varianten oder Derivate (abgeleitete Fahrzeuge) werden speziell in den der eigentlichen Konstruktion nachfolgenden Prozessen parallel dokumentiert.

- Viele Informationen, die im Rahmen von Teilprozessen entstehen die der Bauteilgestaltung folgen, werden in Strukturen auf Basis des Download-Prinzips eingefügt. Dadurch werden Alt-/Neu-Vergleiche von Datenständen sehr erschwert bzw. wird das Änderungsmanagement extrem verkompliziert.

- Die Verminderung bzw. Einschränkung von Freiheitsgraden aus späteren Teilprozessen erfolgt zu früh, wodurch kreative Spielräume eingeschränkt werden und sehr wertvolle Flexibilität verloren geht.

- Das so genannte „Frontloading“ in Bezug auf den Konstrukteur sorgt zur teilweise sinnfreien Definition von Informationen bzw. zur fachlichen Überforderung der frühen Prozessbereiche.

Als Fazit kann hier festgehalten werden, dass die einzelnen Methoden für die jeweiligen Teilprozesse optimiert sind und bei einer isolierten Betrachtung der dort durchgeführten Tätigkeiten auch eine ausreichende Unterstützung bieten. Die Belange der nachgelagerten Tätigkeiten werden aber wenig bis gar nicht berücksichtigt, was sich auch in einer mangelhaften Dokumentationsmethodik widerspiegelt.

4.3.2 Informationen/Daten

In Bezug auf die innerhalb der betrachteten Prozessschnittstelle ausgetauschten und verwendeten Informationen bzw. die diesen zu Grunde liegenden Daten sind als Verbesserungspotentiale zu nennen:

- Durch die Verwendung der vielen Downloadprozesse gibt es oft Probleme hinsichtlich der Aktualität der Daten, da es nach dem Download keinerlei Konfigurations- bzw. Versionierungsmechanismen gibt.

- Die einzelnen Prozessschnittstellen führen zu Medienbrüchen, wobei oft ein Teil der notwendigen Informationen verloren geht.

- Speziell die bauteilübergreifenden Informationen wie Schweißpunkte, Toleranzen, Bezugsstellen, oder das Spann- und Fixierkonzept, sind auf Grund von unzureichenden Datenmodellen nur sehr schwer zu kontrollieren.

- Die Fügefolge als eine der wichtigsten und entscheidungsrelevantesten Informationen in der Prozesskette Karosserie ist für andere Teilprozesse außerhalb der Rohbauplanung datentechnisch nicht oder nur papierbasiert vorhanden.

- Reale Verbauzustände, die im Rahmen der tatsächlichen Produktion der Karosserie entstehen, sind informationstechnisch nur sehr schwer oder gar nicht darstellbar.

- Einzelne Datensätze, die Informationen aus verschiedenen Domänen in sich vereinen, sind nicht voneinander entkoppelt dokumentiert, und können somit nur schwer kontrolliert und verwaltet werden.

- Die innerhalb der einzelnen Teilprozesse verwendeten Datenmodelle sind nicht ausreichend aufeinander abgestimmt, was an den Schnittstellen zwangsläufig zu Informationsverlusten führt.

- Für bestimmte Daten existieren heute in einigen Teilprozessen noch gar keine Datenmodelle bzw. sind die existierenden Datenmodelle als unzureichend anzusehen.

- Die Wieder- bzw. Weiterverwendung von Informationen innerhalb der einzelnen Teilprozesse ist nur eingeschränkt bzw. gar nicht möglich.

Es zeigt sich, dass speziell die bauteilübergreifenden Informationen den Hauptansatzpunkt darstellen, da deren Dokumentation unzureichend erfolgt oder in manchen Fällen die Informationen gar nicht erfasst werden. Der bereits unter dem Kriterium „Methoden“ erwähnte Aspekt der Fokussierung auf Einzeldisziplinen kommt auch bei der Analyse der Informationen bzw. der Daten wieder zum Vorschein. Die domänenübergreifende Verwaltung der Informationen ist dadurch gar nicht oder nur unter Inkaufnahme von Einbußen hinsichtlich Inhalt und Konsistenz möglich.

4.3.3 Systeme

Bei der Betrachtung der zur Erzeugung und Verwaltung der Informationen eingesetzten IT-Systeme können folgende Ansatzpunkte für eine Prozessverbesserung formuliert werden:

- Innerhalb der Prozesskette Karosserie existiert eine gewachsene IT-Landschaft, die die Anwendung von neuen Funktionalitäten in Autorensystemen einschränkt.

- Die heute eingesetzten Autorensysteme verlangen immer stärker nach eigenen Datenverwaltungssystemen, die allerdings noch nicht ausgereift bzw. durchgängig integriert zur Verfügung stehen.

- Die Interaktion der einzelnen Systeme untereinander, speziell wenn sie nicht vom gleichen Hersteller stammen, ist stark eingeschränkt. Die notwendigen Schnittstellen sind oft sehr aufwendig und kostenintensiv.

- Manche Prozesse sind noch nicht vollständig digital durchdrungen bzw. sind die Applikationen so neu, dass noch keine endgültige bzw. zielführende Strategie innerhalb der am Prozess beteiligten Bereiche vorhanden ist und dadurch die Datenstrukturen in den Systemen noch nicht konsolidiert sind.

- Die Funktionalitäten der einzelnen Autorensysteme überlappen sich auf Grund der historischen Entwicklung sehr stark, wobei die jeweilige Rolle oft unklar ist, d.h. die Festlegung, welches System das führende System ist.

- Die Produktionsentwicklung muss in frühen Phasen eher produktnah sein, während sich ihre Rolle und die darin zu Grunde gelegten Verantwortlichkeiten im laufenden Prozess ändern, da dann die Belange und der Einfluss der Serienproduktion immer stärker werden.

Hier zeigt sich sehr stark, dass die Systemwelt an der betrachteten Prozessschnittstelle noch nicht ausgereift ist. Einerseits ist die vollständige digitale Durchdringung der Teilprozesse noch nicht abgeschlossen, andererseits sorgt die Vielzahl der dabei angewandten IT-Systeme zwangsläufig zu Schnittstellenproblemen. Der zweite Hauptaspekt ist im Fehlen einer durchgängigen Informationsverwaltung zu sehen, die sich auch systemseitig nicht ohne weiteres darstellen lässt.

4.3.4 Organisation

Vom organisatorischen Aspekt der Prozessanalyse ausgehend wurden innerhalb der betrachteten Prozesskette die folgenden Aspekte als Verbesserungspotential identifiziert:

- Die Organisation des Gesamtprozesses ist sehr stark an einzelnen Baureihen orientiert, wobei es von Baureihe zu Baureihe oft sehr unterschiedliche Teilprozesse und Standards gibt.

- Innerhalb des Gesamtprozesses steht das Produkt immer als Treiber im Fokus, obwohl sich die „Motivation“ (d.h. der Schwerpunkt) während des Prozesses ändert.

- Die Transparenz zwischen den wichtigsten Prozessteilnehmern ist nicht gegeben, wodurch sehr wenig Verständnis für die Belange des jeweils anderen Bereichs vorhanden ist. Dies macht wiederum zahlreiche Abstimmungen und Prozessiterationen notwendig.

- Der stetig wachsende Zeitdruck in sämtlichen Teilprozessen, bei gleichzeitig wachsender Komplexität der zu entwickelnden Produkte und der dafür notwendigen Vorrichtungen, kollidiert oft mit den bestehenden Organisationsformen und den damit verbundenen Verantwortlichkeiten.

- Die organisatorische Gestaltung des Gesamtprozesses wird durch die globale Verteilung der Tätigkeiten stark erschwert, da es sowohl für Erzeuger als auch für Nutzer der relevanten Informationen immer schwieriger wird, ihre Tätigkeiten auf konsistente Informationsstände hin auszurichten.

- Die Verlagerung von Arbeitsinhalten über die Unternehmensgrenzen hinweg führt ebenso zu vielen Problemen im Umgang mit den relevanten Informationen, da die daraus resultierende Vielzahl an Schnittstellen automatisch die Komplexität der ausgetauschten Informationen begrenzt und aufwendige Prüfprozesse der Datenqualität notwendig macht.

- Die sukzessive Verlagerung des Fachwissens führt zur Frustration und Überforderung bei vielen Prozessbeteiligten, da speziell die internen Fachkräfte sich nur noch in der Rolle eines Informationsmanagers sehen.

- Das gesellschaftlich bedingte Phänomen der alternden Belegschaft („Aging Workforce“) stellt speziell bei der Einführung neuer und innovativer Methoden und den damit verbundenen IT-Werkzeugen eine Herausforderung dar.

Hier zeigt sich einerseits, dass die stark ausgeprägte Fokussierung auf den jeweils eigenen Tätigkeitsbereich ohne ein genaueres Verständnis der umgebenden Teilprozesse zu Problemen führt. Andererseits wird aber auch deutlich, wie stark die äußeren Randbedingungen in der Industrie und die immer schneller auftretenden Veränderungen der Märkte auf die Organisation der Entwicklungsprozesse einwirken und Handlungsbedarfe verursachen.

4.4 Ableitung der forschungsrelevanten Fragestellungen

In Kapitel 2 Abschnitt 2 wurden die dieser Arbeit zu Grunde gelegten forschungsrelevanten Fragestellungen gemäß der methodischen Vorgehensweise nach [Bles02] vorgestellt. Ihre Herleitung erfolgt nun hier an Hand der zuvor beschriebenen Ableitungen der Verbesserungspotentiale innerhalb der analysierten Prozesskette. Die Formulierung der einzelnen Fragen erfolgt dabei gemäß der ebenfalls in Kapitel 2 Abschnitt 3 vorgeschlagenen Vorgehensweise im Kontext des dort vorgestellten Rahmenwerkes. So erfolgt nach einer eingehenden Analyse der bestehenden Prozesse und ihrer Organisationseinheiten sowie aufgrund von Befragungen der Prozessteilnehmer, der Entwurf eines methodischen Konzepts für die Optimierung der Prozesskette. Dieses methodische Konzept führt zu Überlegungen bzgl. der für die Optimierung notwendigen Informationen. Diese bedingen wiederum die Fragestellung bzgl. der innerhalb des Gesamtprozesses verwendeten Datenmodelle, die schließlich in einem weiteren Schritt auf die Systemumgebung übertragen werden.

Die betrachtete Prozesskette Karosserierohbau besteht aus zwei der wichtigsten Geschäftsprozesse eines Unternehmens, nämlich den Schnittstellenprozessen der Produktentwicklung und der Produktionsentwicklung. Die Grenze zwischen diesen Bereichen wird im Rahmen der Tätigkeiten innerhalb der Teilprozesse mehrfach und in unterschiedlicher Richtung überschritten. Der Umgang mit den relevanten Informationen innerhalb dieser Teilprozesse stellt dabei einen wesentlichen Erfolgsfaktor des Gesamtprozesses dar, der Auswirkungen bis hin zur Qualität in der späteren Produktion hat. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich, dass die heute abgebildeten Daten und die darauf aufbauenden Informationen den aktuellen und künftigen Anforderungen an den Gesamtprozess nicht standhalten. Die Fügefolge als zentrale In-

formation in der Prozesskette Karosserie ist beispielsweise überhaupt nicht erfasst, die Dokumentation und der Umgang mit bauteilübergreifenden Informationen wie Schweißpunkten, Toleranzen oder dem Spann- und Fixierkonzept ist unzureichend, und die Weiterverwendung dieser Informationen in Folgeprozessen ist kaum kontrollierbar. Die innerhalb der Verwaltungssysteme verwendeten Datenmodelle sind oft unzureichend.

Dies führt zur ersten Forschungsfrage, die sich auf die Art der abzubildenden Informationen sowie den methodischen Umgang mit diesen bezieht:

- ***Fragestellung 1:*** Welche Informationen müssen zu welchen Zeitpunkten an der betrachteten Schnittstelle zwischen Produkt- und Produktionsentwicklung miteinander ausgetauscht werden, und welche Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten müssen diesen Informationen innerhalb des Gesamtprozesses zu Grunde gelegt werden?

Ist die Fragestellung beantwortet, welche Informationen abgebildet werden müssen und wann dies zu geschehen hat, so leitet dies automatisch zur nächsten Forschungsfrage weiter, die sich auf die Art und Weise des Informationsaustauschs unter Berücksichtigung der in den Prozessen vorherrschenden Randbedingungen bezieht.

- ***Fragestellung 2:*** Wie können Informationen zwischen Teilprozessen der Produktentwicklung und der Produktionsentwicklung so miteinander ausgetauscht werden, dass einerseits eine effiziente Integration zu verwirklichen ist, diese Tätigkeiten aber andererseits so weit wie möglich voneinander entkoppelt sind, um innerhalb der Teilprozesse arbeitsfähig zu bleiben?

Hat man diese methodischen bzw. organisatorischen Fragen beantwortet, so folgt als nächster logischer Schritt die Umsetzung des Konzeptes. Dem Rahmenwerk aus Kapitel 2 Abschnitt 3 folgend führt das zur Betrachtung der Sichten Daten bzw. System. Abgeleitet aus der Festlegung der relevanten Informationen für den Gesamtprozess ergibt sich entsprechend die folgende Frage für die Spezifikation der Datenmodelle:

- ***Fragestellung 3:*** Wie müssen Datenmodelle aussehen, die bei einem Austausch von Informationen an den Schnittstellen innerhalb der Prozesskette Rohbau den jeweiligen Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten gerecht werden, im Sinne des Gesamtprozesses aber dennoch eine Basis für eine durchgängige Integration liefern?

Da diese Forschungsarbeit in laufenden Projekten eines Automobilkonzerns angesiedelt ist, was als typische Situation für Prozessthemen im Umfeld der digitalen Fabrik angesehen werden kann, stellt sich aber auch die Frage nach der Umsetzbarkeit des definierten Konzepts in den existierenden Grenzen der realen Fabrik:

- ***Fragestellung 4:*** Wie kann man diese Datenmodelle so in die existierende Systemlandschaft einbetten, dass die heute gesetzten Systeme und ihre Funktionen möglichst weiterhin verwendet werden können, ohne beliebig viele neue Schnittstellen zu schaffen, gleichzeitig aber die durchgängige Dokumentation und Verwendbarkeit der Informationen in allen Teilprozessen sichergestellt ist?

Die Beantwortung dieser vier Kernfragen steht folglich im Fokus des Konzeptteils der vorliegenden Arbeit. Diese erheben sicher keinen Anspruch auf Allgemeingültigkeit, dennoch haben sie für die betrachtete Prozesskette sicherlich auch ihre Berechtigung über die Grenzen des Unternehmens, in dem diese Arbeit entstanden ist, hinaus. Die verwendeten Literaturquellen, sowie der häufige Austausch und die Diskussionen mit Vertretern von anderen Unternehmen oder Forschungseinrichtungen auf zahlreichen Konferenzen haben dieses Bild bestätigt.

4.5 Einflussgrößen und Messgrößen

Zum Ende des deskriptiven Teils, also der Prozessanalyse und der damit verbundenen Ableitung der heute vorhandenen Verbesserungspotentiale, soll nun noch versucht werden, die so genannten Erfolgskriterien für die vorliegende Forschungsarbeit sowie deren Zusammenhänge untereinander zu formulieren. Dies folgt dem Konzept von [Bles02], in dem versucht wird, die Beiträge von Forschungsarbeiten messbar zu machen, um den Erfolg eines neuen Konzeptes oder einer neuen Methode besser belegen zu können. Dabei werden aus übergeordneten, globalen Erfolgskriterien, die darunter verborgenen und leichter messbaren Erfolgskriterien abgeleitet. In Abbildung 4-8 ist das resultierende Modell der Einflussgrößen („Impact Model“) dargestellt, wobei die dargestellten Kriterien und deren Zusammenhänge im Kontext der vorliegenden Arbeit zu sehen sind, und keinen Anspruch auf Vollständigkeit haben. Sie sollen lediglich einen Ausschnitt über die wichtigsten Kriterien im Zusammenhang mit dem in dieser Arbeit vorgestellten Konzept liefern, ohne zu tief in Details zu gehen.

Gewöhnlich können auf der obersten Ebene drei globale Erfolgskriterien formuliert werden, die speziell im industriellen Alltag fast schon als allgemeingültig bezeichnet werden können, nämlich Kosten, Zeit und Qualität, auch bezeichnet als das „magische Dreieck“. Diese spielen auch im Rahmen von Prozessoptimierungen eine zentrale Rolle, beispielsweise wenn gefordert wird, bestimmte Tätigkeiten innerhalb bestehender Entwicklungsprozesse immer billiger und schneller abzuleisten, ohne dass die Qualität des herzustellenden Produktes darunter leidet. Dass Zeit- und Kostendruck tatsächlich sehr oft auf die am Prozess beteiligten Unternehmensbereiche ausgeübt wird, hat sich bei sämtlichen Beobachtungen, die im Rahmen dieser Arbeit gemacht wurden, bestätigt.

Diese ersten drei Erfolgskriterien sind aber für sich genommen nur sehr schwer messbar. Speziell der Faktor Kosten ist sehr vielschichtig. Innerhalb von Prozessen ist es sehr schwierig, alle möglichen Arten von anfallenden Kosten zu erkennen und zu kontrollieren. Auch Qualität kann nicht einfach beschrieben werden, denn der Begriff Qualität im Kontext eines Prozesses ist nur schwer definierbar. So ist es im Rahmen von Forschungsarbeiten hilfreich, sich in einem ersten Schritt Gedanken darüber zu machen, aus welchen Teilaspekten sich die Kriterien Kosten, Zeit und Qualität zusammensetzen. Kosten entstehen z.B. innerhalb eines Unternehmensprozesses durch die Anwendung von Ressourcen, die für diesen Prozess bereitstehen, also Personen, die notwendige Bürofläche, Computer und zughörige Software sowie Lizenz- und Wartungskosten. Eine weitere wichtige Art von Kosten entsteht aber auch durch das Auftreten von Änderungen an einem Inhalt des Geschäftsprozesses, etwa dem zu erstellenden Produkt, wenn also der Prozess als Gesamtes oder in bestimmten Teilen erneut durchlaufen werden muss.

Ähnlich ist es bei dem Faktor Zeit. Die Dauer, die zum Ableisten sämtlicher Tätigkeiten eines Prozesses nötig ist, liefert den einen, sozusagen regulären, Teil der für die Erfüllung einer Tätigkeit notwendigen Zeit. Genauso spielen aber auch die Zeiten, die für das Einbringen von Änderungen notwendig sind, eine wichtige Rolle. Als Beispiel dafür könnte man etwa die Einführung eines digitalen Planungswerkzeugs zum Erstellen eines Fabriklayouts heranziehen. Dadurch, dass der von dieser neuen Methode betroffene Planer nun in einem neuen System arbeiten muss, das ggf. sehr komplex ist und viele Fachkenntnisse verlangt, wird sich die Prozessdauer für die Ersterstellung des Layouts im Computer gegenüber dem bisherigen Anfertigen einer Zeichnung auf Papier möglicherweise verlängern.

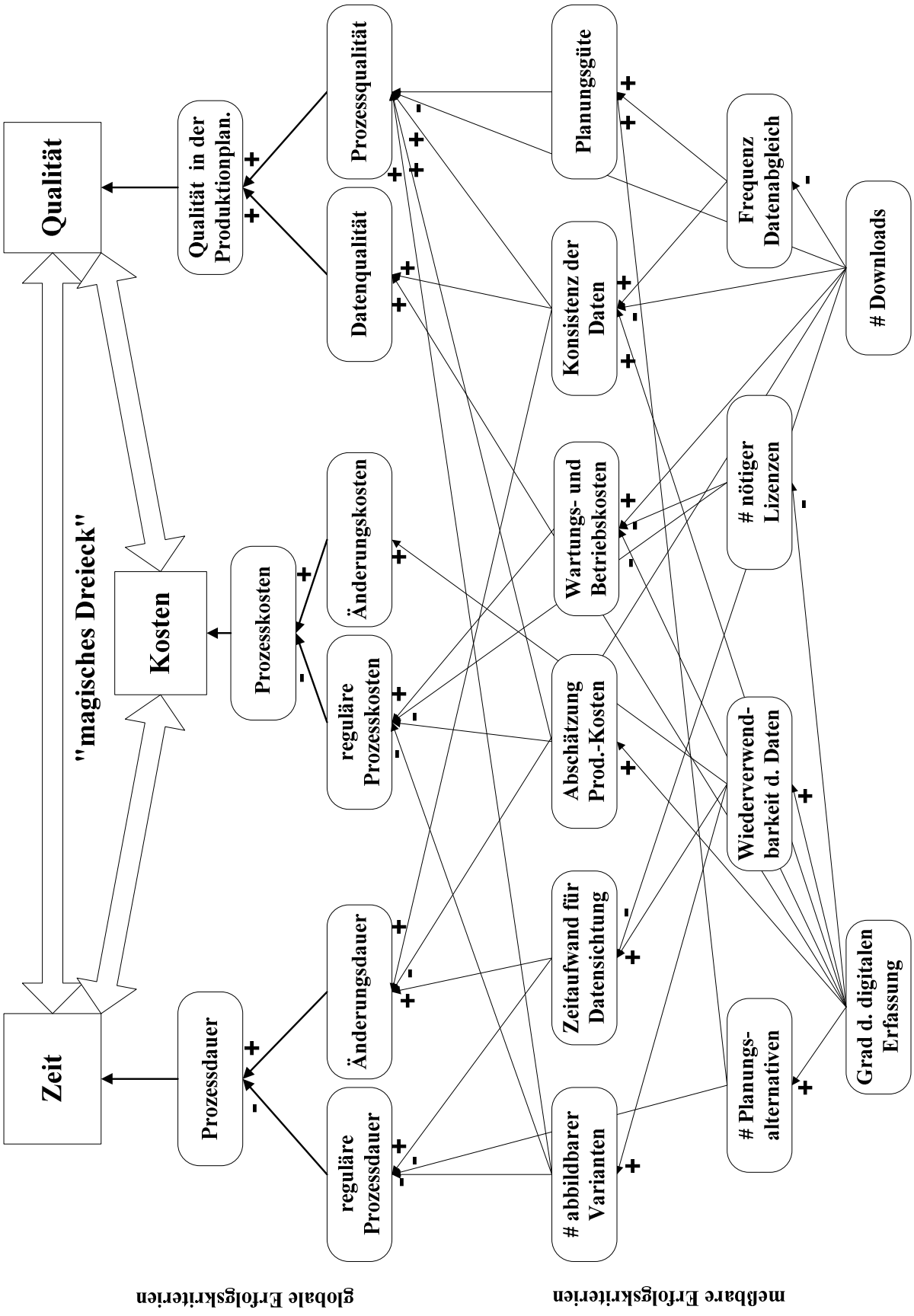


Abbildung 4-8: Impact Model als Ergebnis der Potentialanalyse

Das heißt: Die Prozesszeit wird zunächst signifikant erhöht. Demgegenüber wird sich die neue Arbeitsweise beim Abwickeln von Änderungsaufträgen aber sehr positiv auf die dafür notwendige Zeit auswirken, da sich ein einmal im Computer vorhandenes Layout leicht verändern und anpassen lässt, während zuvor jedes Mal eine komplett neue Zeichnung erstellt werden musste. Dieses einfache Beispiel zeigt, dass die einzelnen Erfolgskriterien durchaus gegensätzlich zueinander stehen, was eine genaue Kenntnis ihrer Zusammenhänge untereinander notwendig macht, um den besten Kompromiss zu finden. Im gerade erwähnten Beispiel der Layout-Erstellung kann eine Entscheidung gegen die/oder zugunsten der Einführung eines rechnergestützten Prozesses etwa nur auf Grundlage der genauen Kenntnis von Anzahl und Häufigkeit der auftretenden Änderungen getroffen werden. Weiterhin zeigt sich aber auch, dass die Einflüsse auf weitere Kriterien geprüft werden müssen, um mögliche Zusammenhänge zu entdecken. So könnte ein mit dem Rechner erstelltes Layout durchaus in einem nachgelagerten Prozessschritt von Vorteil sein, um die dort anfallenden Tätigkeiten leichter zu erfüllen, was sich wiederum in einer verbesserten Durchlaufzeit des Gesamtprozesses niederschlägt.

Auch das dritte Kriterium, Qualität, kann weiter unterteilt werden. Da im hier beschriebenen Fall ein Prozess optimiert wird, kann nicht von der sonst so oft betonten Produktqualität gesprochen werden. Vielmehr wird hier die Idee verfolgt, dass für die Herstellung eines qualitativ hochwertigen Produktes auch Prozesse mit entsprechend guter Qualität notwendig sind, vgl. etwa auch [HeRS01]. In der klassischen Qualitätssicherung zielt dieser Gedanke hauptsächlich auf die fertigungstechnischen Produktionsprozesse ab, er hat aber durchaus auch Gültigkeit für die grundlegenden Entwicklungsprozesse von Produkt und Produktion. Dabei wird die Qualität im Prozess Produktionsplanung weiter unterteilt in die Qualität des Prozesses allgemein, die ihre Ursprung hauptsächlich in den angewandten Methoden und der Organisation hat, sowie der eher technischen Seite, hier dargestellt durch die Datenqualität innerhalb des Prozesses.

Geht man im Rahmen einer Prozessanalyse weiter in die Details, so stößt man schließlich auf die messbaren Erfolgskriterien, in Abbildung 4-8 in der unteren Bildhälfte dargestellt und lediglich aus Gründen der Übersichtlichkeit in zwei Ebenen angeordnet. Diese Kriterien sind leichter quantifizierbar, d.h. man kann mit ihrer Hilfe leichter Aussagen treffen, um die Bewertbarkeit eines neuen Prozesskonzepts zu erlauben. Die Verbindungslinien zwischen den gezeigten Kriterien legen dabei Relationen untereinander offen, d.h. sie zeigen an, dass sich

die Kriterien gegenseitig beeinflussen bzw. wie sie sich auf die übergeordneten, globalen Erfolgskriterien auswirken. Durch das Anbringen von Plus- bzw. Minuszeichen an den Relationen kann auch verdeutlicht werden, ob es sich um eine positive oder negative Beeinflussung handelt. Darauf wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit aber in der Darstellung in Abbildung 4-8 verzichtet.

In dem dargestellten Modell kann man erkennen, dass die Datenqualität in der Produktionsplanung maßgeblich beeinflusst wird durch den Grad der digitalen Erfassung notwendiger Informationen, durch deren Konsistenz, sowie durch die Häufigkeit, mit der diese Daten mit ihrer Quelle abgeglichen und damit aktuell gehalten werden. Die Konsistenz der Daten wird aber wiederum durch die Anzahl der im Prozess verwendeten Downloads beeinflusst, denn je mehr Daten aus Downloadverzeichnissen stammen, desto schwieriger sind diese konsistent zu halten. Gleichzeitig spielt hier auch eine Rolle, ob und in welchem Umfang die relevanten Informationen/Daten digital erfasst sind. Existieren sie als verfügbare Informationen beispielsweise in Form einer von außen abrufbaren Datenbank, so stellt dies sicherlich einen höheren Grad der Verfügbarkeit dar, als wenn es sich um eine Papierzeichnung auf dem Schreibtisch eines Sachbearbeiters handelt. Betrachtet man die Relationen, die von den beiden genannten Kriterien ausgehen, so kann man erkennen, dass es sich dabei um zwei der wichtigsten Stellschrauben innerhalb der betrachteten Prozesskette handelt. Der Grad der digitalen Erfassung hat z.B. auch einen hohen Einfluss auf die Wiederverwendbarkeit der Daten, was sich wiederum positiv auf die Zeitaufwände bei der Datensichtung sowie die Anzahl der abbildbaren Planungsvarianten auswirkt. Letztere erhöhen zwar natürlicherweise die Prozessdauer, haben aber einen positiven Einfluss auf die Prozessqualität, da die Einbeziehung mehrerer verschiedener Planungsstände die optimalere Ausgestaltung einer Produktionsanlage gestattet. Auch die Abschätzung der Produktionskosten wird durch das Vorhandensein digitaler Modelle vereinfacht, da durch hinterlegte Kostenattribute innerhalb der einzelnen Elemente der Planungsmodelle viel leichter die aktuellen Kosten abgeschätzt werden können, was einen wesentlichen Treiber des Produktionsentstehungsprozesses darstellt. Durch die digitale Erfassung und Ausgestaltung der behandelten Informationen entstehen aber zwangsläufig Lizenzkosten durch die Anschaffung der notwendigen Software, während des Betriebs oder bei Software-Anpassungen oder Aktualisierungen (sog. Release-Wechsel) entstehen Wartungs- und Betriebskosten. Hier muss eine Abwägung stattfinden gegenüber den sinkenden Änderungskosten, da durch den digitalen Unterbau die Änderungsschleifen während des Prozesses leichter und schneller durchlaufen werden können.

Die Anzahl der Downloads innerhalb des Prozesses stellt einen negativen Beitragsleister dar, denn sie wirkt sich nachteilig auf die genannten Kriterien wie Zeitaufwand für Datensichtung oder Generierung von Planungsvarianten aus, da die notwendigen Informationen hier jedes Mal aus vielen verschiedenen Verzeichnissen zusammengesucht werden müssen. Da hierbei viele verschiedene Strukturen parallel verwaltet werden müssen, wird auch die Änderungsdauer im Gesamtprozess erhöht. Dies hat auch negative Konesequenzen für die Häufigkeit des Datenabgleichs, der durch die vielen parallelen Verzeichnisse und Strukturen sehr aufwändig und komplex ist, worunter dann in nächster Instanz die Planungsgüte und die Datenkonsistenz leiden. Lediglich auf die Wartungs- und Betriebskosten könnte ein positiver Einfluss verzeichnet werden, da die Download-Verzeichnisse keine teuren und wartungsbedürftigen Datenbanken notwendig machen. Dies steht aber in keinem Verhältnis zu den zahlreichen negativen Aspekten.

Diese exemplarische Analyse zeigt, wie komplex sich die Optimierung eines bestehenden Prozesses gestaltet, und wie stark die unter der Oberfläche verborgenen Kriterien untereinander vernetzt sind und sich gegenseitig beeinflussen. In Abbildung 4-8 sind sicherlich nicht alle Kriterien genannt, die im Kontext der betrachteten Prozesse eine Rolle spielen. Dennoch reicht diese Betrachtung aus, um für die Ableitung des eigenen Konzepts für eine verbesserte Gestaltung der Prozesskette Karosserierohbau wichtige Erkenntnisse zu liefern. Über die beiden Kriterien „Grad der digitalen Erfassung“ und „Anzahl der Downloads“ sind die zentralen Ansatzpunkte gefunden, mit deren Hilfe die restlichen Kriterien positiv beeinflusst werden können.

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird auf Grundlage dieser Kriterien die dieser Forschungsarbeit zu Grunde gelegte Hypothese formuliert, die Kapitel 6 einleitet. Diese beschreibt, wie ein optimierter Umgang mit Informationen an der betrachteten Schnittstelle zwischen Produkt- und Produktionsentwicklung aussehen sollte, wobei die aus der Analyse des heutigen Prozesses abgeleiteten Forschungsfragen beantwortet werden.

5 Stand der Technik

Im folgenden Abschnitt soll eine kurze Übersicht gegeben werden, wo es bereits bestehende Ansätze gibt, die sich der in der vorliegenden Arbeit behandelten Problematik annehmen. Im ersten Abschnitt sind die Konzepte und Werkzeuge der kommerziellen Softwarelieferanten dargestellt, während der zweite Abschnitt auf Ansätze aus der wissenschaftlichen Welt eingeht.

5.1 Kommerzielle Anbieter

Im Rahmen der Prozessanalyse wurde bereits erwähnt, dass die kommerziellen Anbieter von Softwarelösungen heutzutage das Bestreben haben, ihre Kunden mit ganzheitlichen, den kompletten Produktlebenszyklus abdeckenden Lösungen, zu versorgen. Für die betrachtete Prozesskette Karosserierohbau an der Schnittstelle zwischen Produkt- und Produktionsentwicklung sind dabei speziell miteinander verzahnte CAD und CAP Werkzeuge interessant, die sämtliche in der Analyse beschriebenen Tätigkeiten der Prozesse unterstützen. Außerdem setzen Unternehmen von der Größe des in dieser Arbeit betrachteten Automobilkonzerns verstärkt auf die Anwendung von Standardsoftware, wobei aus Kostengründen aufwändige und speziell zurechtgeschnittene IT-Werkzeuge nach Möglichkeit vermieden werden. Dadurch lässt sich der Markt auf drei kommerzielle Anbieter reduzieren, deren grundlegende Konzepte hier kurz vorgestellt und diskutiert werden sollen. Dabei erfolgt jeweils zunächst eine Skizzierung der Systemarchitektur sowie der von Seiten des Lieferanten vorgeschlagenen Methodik.

5.1.1 Parametric Technology Corporation (PTC)

Die Firma Parametric Technologies vertreibt das CAD-System ProEngineer „Wildfire“, bei dem es sich um ein dreidimensionales und voll parametrisches Entwicklungswerkzeug handelt. Die Methode der parametrisch assoziativen Konstruktion von Bauteilen mit der Möglichkeit, möglichst viel Konstruktionswissen in Form von Tabellen oder Formeln zu hinterlegen, ist dabei eine bereits seit langem bestehende Kernfunktionalität von ProEngineer. Als PDM-System unterhalb von Wildfire vertreibt die Firma die Datenbank „Windchill“, eine Oracle Datenbank mit einem objektorientierten Datenmodell, wobei dieses durch eine leicht anwendbare Konfiguration durch den Anwender mit geringem Aufwand angepasst werden

kann, ohne das wirklich programmiert werden muss. Das PDM-System vereint dabei in seiner Oberfläche die verschiedenen, am Produktentstehungsprozess beteiligten Disziplinen aus mechanischer, elektronischer und softwaretechnischer Konstruktion, die als unterschiedliche Sichten in einer generischen Produktstruktur enthalten sind. Als Gegenstück zu „Wildfire“ zur Unterstützung der Produktionsgestaltung steht das System „Polyplan“ für die Produktionsplaner zur Verfügung. Dabei handelt es sich um eine recht einfach zu handhabende Software zum Anlegen von Prozessplänen auf der Grundlage einer Fertigungsstückliste, wobei standardisierte Ressourcenmodelle aus einer Bibliothek in diese Prozesspläne mit aufgenommen werden können. Die Erzeugung der Fertigungsstruktur erfolgt dabei als assoziative Ableitung aus der Produktstruktur. Weiterhin erlaubt das System auf Grundlage dieser Prozesspläne eine statische Abtaktung der beschriebenen Anlagen. Die Firma PTC verfolgt zur Datenverwaltung eine sogenannte „Single-Source-Strategie“, d.h. alle relevanten Daten sollen aus Sicht des Anwenders aus einem System stammen. Die Planungssoftware verfügt über keine eigene Datenbank, sondern greift als weiteres Autorensystem auf das PDM-System „Windchill“ zu. In Abbildung 5-1 ist das Zusammenspiel der genannten Systeme vereinfacht dargestellt.

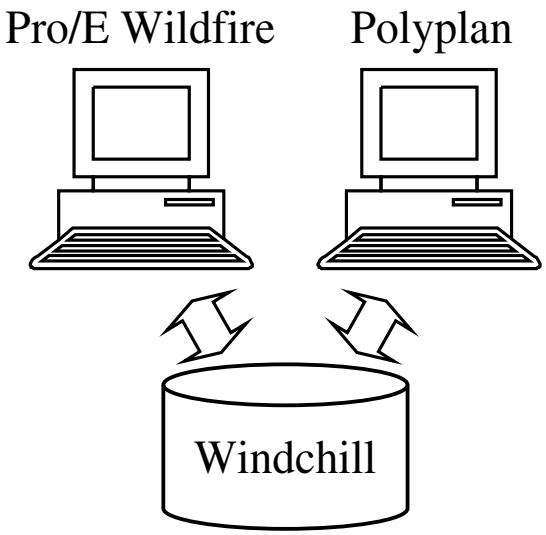


Abbildung 5-1: Systemarchitektur der Firma Parametric Technologies (PTC)

Die Repräsentation der Fertigungsstruktur erfolgt dabei durch die Verwendung von zusätzlichen Versionen eines Bauteils, die unterhalb einer konkreten Bauteilversion als separate Sicht („as manufactured“) angelegt werden. Grundsätzliche gelten für sie die gleichen Regeln für Konfiguration und Variantensteuerung wie für die normalen Bauteilversionen.

In Abbildung 5-2 ist der Zusammenhang zwischen der Produktdatenstruktur und der Prozessstruktur im PDM-System Windchill dargestellt. Da beide Strukturen im gleichen Datenver-

waltungssystem liegen, sind die Produktgeometrien in der Version der Planungssicht in die Prozessstruktur verlinkt.

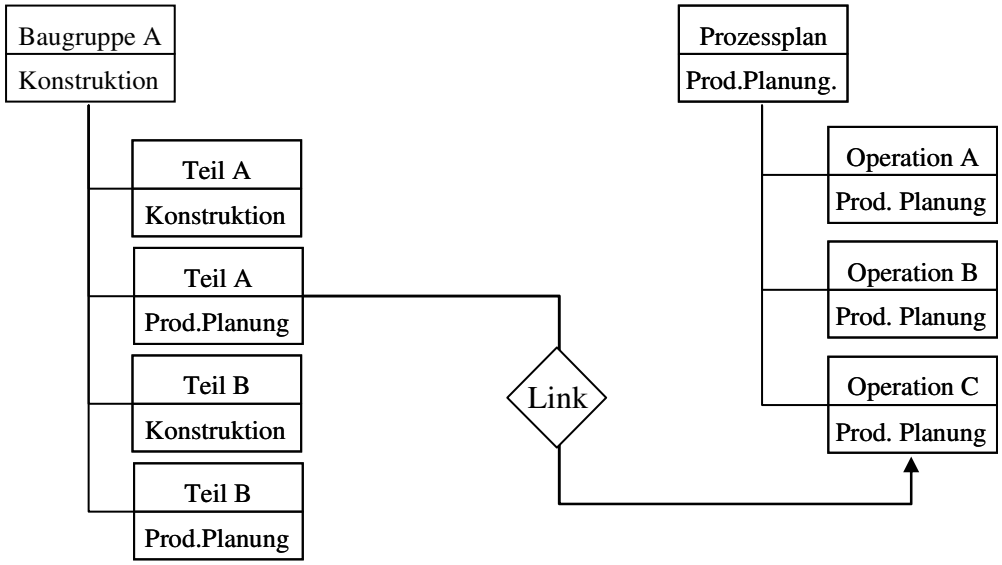


Abbildung 5-2: Zusammenhang zwischen Produktdaten und Prozessstruktur in Windchill (PTC)

Die von PTC vertriebene Systemarchitektur zeichnet sich insgesamt durch ein hohes Maß an Flexibilität aus, die es erlaubt, unterschiedliche Strukturen sowie die darauf angewandten Mechanismen relativ flexibel anzupassen. Gegenüber Fremdsystemen zeigt man sich relativ aufgeschlossen. So ist eine Anbindung von Polyplan an andere CAD-Systeme als „Wildfire“ möglich, ebenso existiert von dem Planungssystem aus eine Anbindung an den em-Server der Firma Technomatix (UGS), womit sich ein weiteres, umfangreiches Spektrum an Planungsaktivitäten erschließen lässt. Ein Ausbau dieser Schnittstelle zu Systemen des Herstellers Delmia von Dassault Systémes ist bereits angedacht.

5.1.2 Siemens PLM

Siemens PLM vertreibt derzeit das dreidimensionale CAD-System NX, das die Nachfolge der speziell in der Karosserieentwicklung verbreitet eingesetzten UG-Reihe darstellt. NX ist ebenfalls ein voll parametrisches, assoziatives Entwicklungswerkzeug, das eine ganze Reihe von Funktionalitäten anbietet, um viele der parallel zur eigentlichen Bauteilgestaltung stattfindenden Arbeitsschritte zu unterstützen. Auf der Seite der Datenverwaltung bietet die Firma Siemens PLM als konstruktionsnahes Team Data Management-System (TDM) die Software

Teamcenter Engineering an. Für die Unterstützung des gesamten Produktlebenszyklus wird das PDM-System Teamcenter Enterprise vorgeschlagen. Diese zweistufige Strategie resultiert aus der Übernahme der Firma Metaphase, die früher das System Teamcenter Enterprise vertrieben hat. Die Strategie von Siemens PLM zielt allerdings auf eine Verschmelzung beider Systeme zu einer einzigen Datenbank in absehbarer Zeit, um für die Produktdokumentation den Anwender nur mit einem einzigen System zu konfrontieren. Zum Abdecken der Planungsunterstützung hat die Firma Siemens PLM den Systemhersteller Tecnomatix übernommen, der die Systeme der em-Reihe vertreibt. Den Hauptbaustein unter diesen Systemen stellt das System „em-Planner“ dar, das zusammen mit dem zugehörigen „em-Server“ als Datenbank eine umfangreiche Unterstützung der Produktionsplanungsprozesse erlaubt. Speziell die Anbindung von Planungsprojekten an die Materialflusssimulation ist eine der wesentlichen Stärken dieser Software. Die Kommunikation erfolgt dabei über eine bidirektionale Schnittstelle („collaboration context“), die zwischen den beiden Verwaltungssystemen Teamcenter Engineering und em-Server liegt.

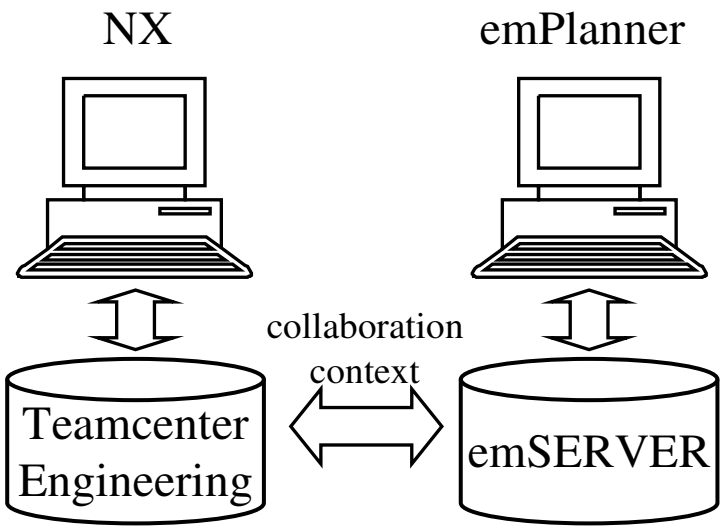


Abbildung 5-3: Systemarchitektur der Firma Unigraphics Solutions (UGS)

Innerhalb von Teamcenter Engineering können in einem zusätzlichen, speziell für die digitale Planung geschaffenen Modul auch Prozess- und Ressource-Strukturen erzeugt werden, die dann entsprechend mit Produktdaten verlinkt werden können. Die Bündelung erfolgt dabei innerhalb der Prozessstruktur („Operations BoM), wobei durch die assoziative Verknüpfung der Strukturen eventuell auftretende Änderungen automatisch durchgereicht werden. Da es sich um ein Modul innerhalb von Teamcenter Engineering handelt, stehen sämtliche Versionierungs- und Konfigurationsmöglichkeiten des PDM-Systems zur Verfügung. Über den „col-

laboration context“ können innerhalb von Teamcenter Engineering relevante Informationen gebündelt und an den em-Server übertragen werden, wo sie dann innerhalb der Applikation em-Planner als neues Projekt zur Verfügung stehen. Über den gleichen Weg können auch Schweißpunkte mitversorgt werden, die von ihrem Datenmodell her so ausgelegt sind, dass sie nach der Erzeugung im Rahmen der Konstruktion in em-Planner nahtlos weiterverwendet werden können. Dabei werden sie zuvor auf NX-Seite so angelegt, dass bestimmte Freiheitsgrade für den Planer erhalten bleiben.

In Abbildung 5-3 sind die verschiedenen Datenstrukturen innerhalb der heutigen Architektur bei Unigraphics Solutions dargestellt. Innerhalb der beiden Produktstrukturen (Konstruktions- und Planungssicht) werden Links benutzt, um das bereits angesprochene, durchgängige Änderungsmanagement zu erlauben. Die Produktdaten selbst sind dann wiederum auf die Prozessstruktur referenziert. Der „collaboration context“ bündelt die verschiedenen Strukturen und stellt gleichzeitig die Schnittstelle zwischen Teamcenter Engineering und dem em-Server dar. Nach der Übertragung der Daten über die XML Schnittstelle stehen sie als Kopie auf der Planungsseite zur Verfügung. Das Rückschreiben der beplanten Objekte nach Teamcenter Engineering ist über den „collaboration context“ ebenfalls möglich, wird allerdings nur zur Langfrist-Archivierung empfohlen. Eine dynamische Arbeitsweise, bei der häufiger zwischen beiden Systemen gewechselt wird, ist nur bedingt realisierbar.

Trotz des funktionalen Ausbaus der „collaboration-context“-Schnittstelle, zielt die längerfristige Strategie der Firma Siemens PLM ab auf eine sukzessive Übernahme von Funktionalitäten von em-Server nach Teamcenter Engineering, womit der em-Server als eigenständige Planungsdatenbank letzten Endes überflüssig wäre. Damit versucht der Anbieter, Schritt für Schritt von der relativ aufwendigen und komplexen Arbeitsweise mit zwei Datenbanken zu einer „single-source“-Architektur zu kommen. Durch die Vielzahl von gut etablierten Planungsfunktionalitäten in em-Planner kann allerdings davon ausgegangen werden, dass dieser Prozess noch einige Jahre in Anspruch nimmt.

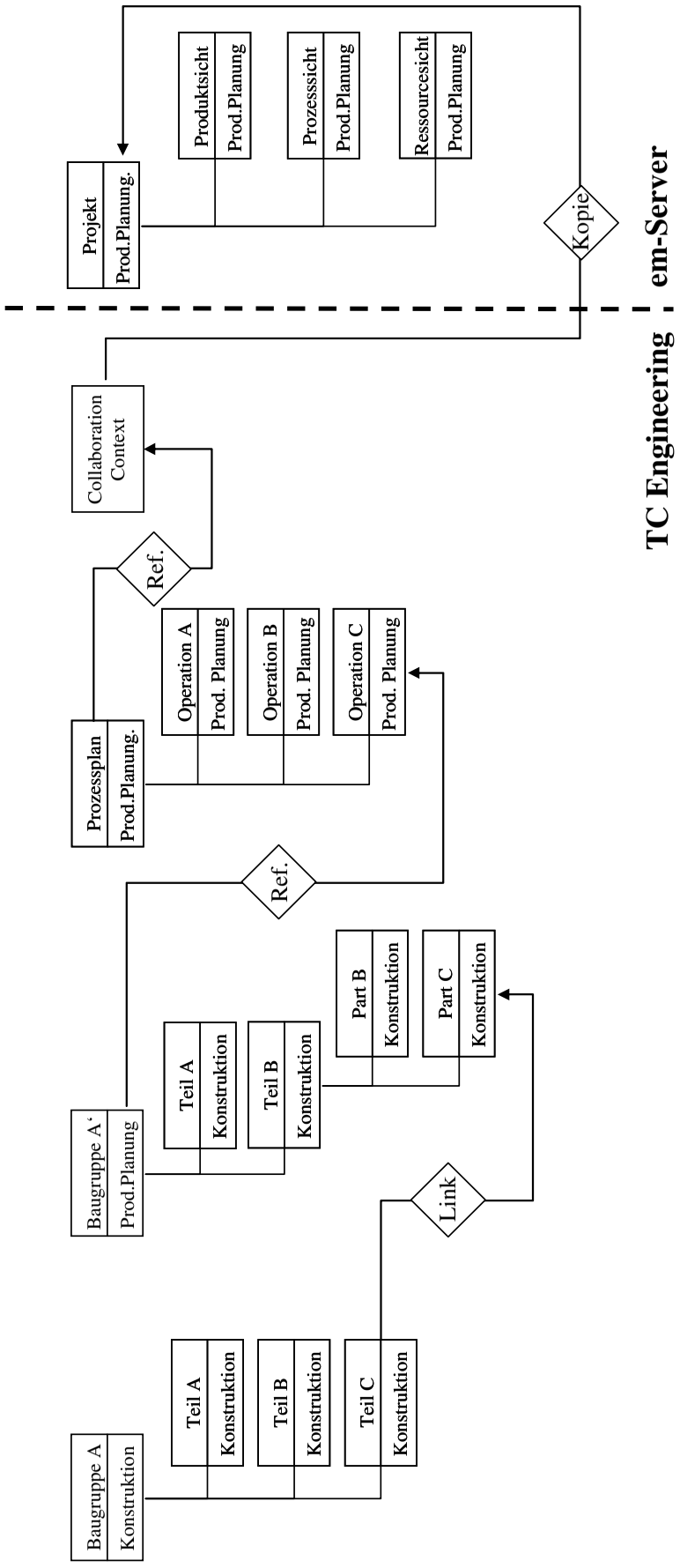


Abbildung 5-4: Zusammenhang der verschiedenen Strukturen bei Unigraphics Solutions (UGS)

5.1.3 Dassault Systèmes

Vom Hersteller Dassault Systèmes wird das dreidimensionale CAD-System CATIA V5 vertrieben, das zur Zeit eines der wichtigsten Entwicklungssysteme in der Automobilindustrie darstellt. CATIA V5 wurde beim Wechsel von der Vorgängerversion V4 in Bezug auf seine Datenmodelle grundlegend überarbeitet und bietet heute umfangreiche Möglichkeiten zum parametrisch-assoziativen Konstruieren. Zusätzlich können über entsprechende Funktionen auch wissensbasierte Konstruktionsmethoden angewendet werden, wodurch relativ komplexe, dafür aber sehr stark mit Fachwissen angereicherte, Produktstrukturen entstehen. Durch die Einbeziehung zahlreicher weiterer Funktionen können auch große Teile der entwicklungsbegleitenden Tätigkeiten mit CATIA V5 durchgeführt werden, wofür verschiedene Module innerhalb der Nutzeroberfläche zur Verfügung stehen. Ein wesentlicher Unterschied gegenüber den zuvor genannten CAD-Systemen besteht in der Darstellung der Produktstruktur, da in CATIA V5 zwischen Baugruppen (CATProducts) und Einzelteilen (CATParts) unterschieden wird. Dies hat wiederum Auswirkungen auf die jeweils anwendbaren Funktionen, wie beispielsweise Geometrieerzeugung oder Anbringung von Zusatzinformationen (Toleranzen) innerhalb der jeweiligen Strukturebene. Zur Verwaltung der anfallenden Daten bietet Dassault Systèmes das System Enovia LCA an, das allerdings nur für Produktdaten geeignet ist. Im Zusammenspiel mit Enovia LCA werden die Informationen aus der Baugruppenebene bei der Übertragung ins PDM-System aufgelöst und explizit, d.h. für den Anwender sichtbar, in der Datenbank verwaltet. Lediglich die geometrischen Beschreibungen der Einzelteile werden als physikalische Dateien in der Datenbank abgelegt. Zur Unterstützung der Produktionsentwicklung wird das System Delmia V5/E5 angeboten, wobei dieses wiederum unterteilt ist in einen eher grafisch orientierten Teil (V5), der komplett in die Oberfläche von CATIA V5 integriert ist, sowie einen alphanumerischen Teil (E5), der als, historisch gesehen, eigenständiges Werkzeug auch eine eigene Nutzeroberfläche besitzt. Unterhalb dieser Planungswerkzeuge ist der PPR-Hub als eigenständige Datenbank installiert. Er dient zur Verwaltung der anfallenden Objekte in Form von einzelnen Planungsprojekten, die die Informationen aus den Bereichen Produkt, Prozess und Ressource zusammenführen und integriert verwalten. Speziell zur Einbeziehung von Ressourcedaten stehen hierzu umfangreiche Bibliotheksfunktionen innerhalb des Systems zur Verfügung. Dennoch konnte in den letzten Jahren beobachtet werden, dass immer mehr Funktionen vom alphanumerischen Teil in die Oberfläche des 3D-orientierten

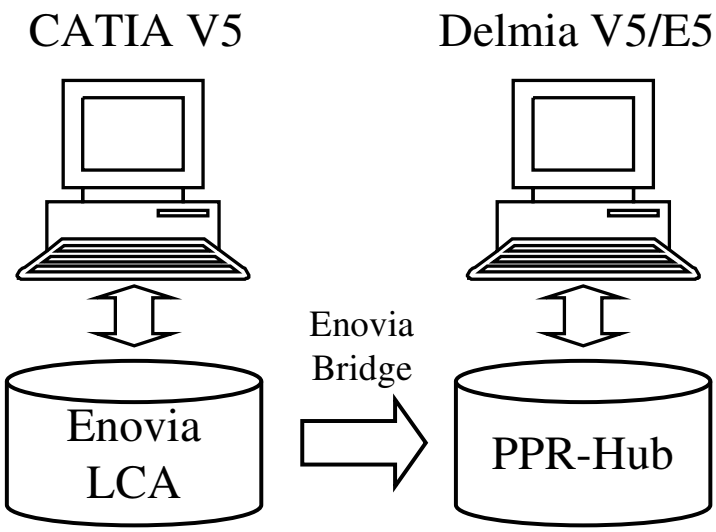


Abbildung 5-5: Systemarchitektur der Firma Dassault Systèmes (DS)

Planungswerkzeugs V5 integriert wurden, was auf lange Sicht den E5-Teil überflüssig machen wird. Zusätzlich gibt es auch Bemühungen, die Datenmodelle der beiden Datenbank-Systeme immer mehr anzugleichen, um den Anwender irgendwann auch mit einer „single-source“-Architektur auszustatten. Die aktuelle Systemlandschaft des Herstellers Dassault Systèmes ist in Abbildung 5-5 dargestellt.

Die Versorgung der Produktdaten in die Planungsumgebung erfolgt von Enovia LCA aus über eine Schnittstelle, die so genannte Enovia Bridge. Dabei handelt es sich allerdings um eine unidirektionale Schnittstelle, d.h. eine Rückführung von Daten aus dem Planungssystem ist nicht möglich. Außerdem können über diese Schnittstelle nur Produktdaten übertragen werden, wobei selbst hier ein Teil der Informationen verloren geht. In CATIA V5 definierte Verbindungselemente werden über die Schnittstelle nicht an die Planungsdatenbank übertragen, für sie muss ein gesonderter Report aus dem CAD-System erfolgen, um sie anschließend, nach einem Aufbereitungsschritt, wieder in die Planungsdatenbank einzulesen. Davon unabhängig sind die Möglichkeiten zu Definition und Umgang mit Verbindungselementen innerhalb der jeweiligen Systeme aber relativ umfangreich. Der PPR-Hub (=“Product Process Ressource – Hub“) selbst verfügt über standardisierte XML-Schnittstellen, mit denen Daten und Strukturen von Fremdsystemen eingelesen werden können, wobei sie dann über eine Konfigurationsdatei in ein für die Datenbank verständliches Format gebracht werden müssen.

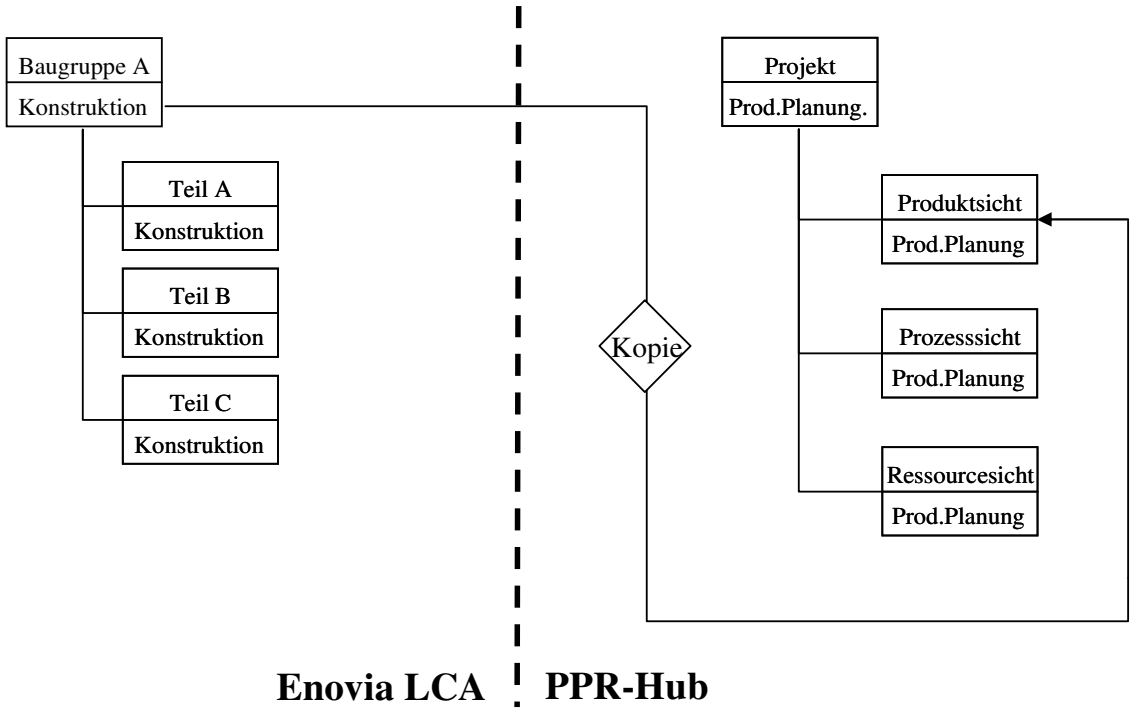


Abbildung 5-6: Produktstruktur und Planungsprojekt bei Dassault Systèmes (DS)

Abbildung 5-6 zeigt die Produktstruktur und ihre Verwendung in einem Planungsprojekt, eingebettet in die Systemarchitektur von Dassault Systèmes. Die Grenze zwischen den beiden Datenverwaltungssystemen verläuft hier unmittelbar hinter der Produktstruktur, wodurch die Produktdaten lediglich als Kopie auf der Planungsseite auftauchen. Dadurch gestaltet sich speziell das Änderungsmanagement zwischen den Systemen als relativ aufwendig.

5.2 Wissenschaftliche Ansätze

Im folgenden Abschnitt sollen kurz einige bestehende Ansätze aus dem wissenschaftlichen Umfeld skizziert werden, die inhaltlich im Zusammenhang mit der vorliegenden Forschungsarbeit stehen. Während es sich beim Sonderforschungsbereich 336 sowie den Projekten IViP, und IDASTEP um Forschungsarbeiten aus dem deutschen Umfeld handelt, wird im Abschnitt 5.2.4 zusätzlich noch auf einige Arbeiten aus dem europäischen Umfeld eingegangen.

5.2.1 SFB 336 [LRIL99], [ReDü00]

Der Sonderforschungsbereich 336 „Montageautomatisierung durch die Integration von Konstruktion und Planung“ war ein durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördertes, interdisziplinäres Gemeinschaftsprojekt verschiedener Lehrstühle der Technischen Universität

München. Das Projekt erstreckte sich mit einer Gesamtlaufzeit von 12 Jahren von 1988 bis ins Jahr 2000 und hatte eine jährliche Kapazität von 20 wissenschaftlichen Mitarbeitern. Zielsetzung war es, ein integriertes Vorgehen bei der Gestaltung von Produkten und der Planung der zugehörigen Produktionsanlagen zu unterstützen. Hierbei wurde insbesondere auf die Dokumentation und Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen innerhalb der Abstimmungsprozesse während der simultanen Entwicklung von Produkt- und Produktionsmittel gesetzt, wofür man die Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen diesen transparent gemacht hat. Gleichzeitig sollte das Konzept einer integrierten Produkt- und Produktionsmittelkonstruktion rechnergestützt und auf der Basis eines integrierten Datenmodells durchgeführt werden.

Das Forschungsprojekt war unterteilt in vier Phasen, die nacheinander durchlaufen wurden. In der ersten Phase wurden die Tätigkeiten und Abläufe innerhalb der Entwicklungsprozesse für Produkte und Produktionsanlagen definiert. Im Rahmen dieser Untersuchungen entstanden rechnergestützte Arbeitsplätze für die jeweilige Disziplin, die aber noch nicht miteinander gekoppelt waren. Diese Aufgabe wurde in der zweiten Phase adressiert, wobei ein gemeinsames, objektorientiertes Datenmodell als Integrationsgrundlage für die beiden Arbeitsplätze geschaffen wurde. Dieses erlaubt die Verwaltung der geometrischen Informationen von Produkt- und Produktionsmittel sowie die Abbildung der zusätzlichen Informationen wie Montageprozesse oder Projektabläufe. In der dritten Phase wurde auf Basis dieses Datenmodells eine Integration der an den jeweiligen Entwicklungsprozessen beteiligten Rechnersysteme herbeigeführt. Die normalerweise übliche Trennung zwischen Arbeitsplätzen für Montageplaner und Konstrukteure wurde aufgrund der Überschneidung der Tätigkeiten aufgelöst. Stattdessen wurden zentrale Arbeitsplätze mit allen relevanten Softwarewerkzeugen geschaffen. Auf die Integration der Daten und der verwendeten Werkzeuge folgte in der vierten Phase die Prozessintegration, worunter die schrittweise Auflösung der bereichsspezifischen Vorgehensweisen zugunsten einer vereinheitlichten Methodik zwischen Konstruktion und Montageplanung verstanden wurde. Das Ergebnis dieser Phase waren kleine, logisch in sich abgeschlossene Module, so genannte Prozessbausteine, die Arbeitsinhalte aus beiden Disziplinen in sich vereinen. Die Prozessbausteine beschreiben jeweils die zu erfüllenden Tätigkeiten, die dafür nötigen Ein- und Ausgangsgrößen, sowie die benötigten Ressourcen wie Mitarbeiter mit entsprechendem Fachwissen oder spezielle Software-Werkzeuge.

Unterschieden werden vier Kategorien von Prozessbausteinen:

- Synthese: Generierung von Produkt-, Vorgangs- oder Anlageattributen.
- Analyse: Absicherung von Produkt-, Vorgangs- oder Anlageattributen
- Bewertung: Überprüfung der aktuellen Produkt-, Vorgangs- oder Anlageattributen hinsichtlich ihrer Zielerfüllung
- Auswahl: Selektion von generierten Varianten zur Einengung des Lösungsraumes

Neben ihren Ein- und Ausgangsinformationen enthalten die einzelnen Bausteine auch Regeln in Bezug auf ihre Vernetzbarkeit, d.h., dass über „Buchsen“ und „Stecker“ festgelegt wird, welche Bausteine mit welchen anderen kombiniert werden können, um nicht sinnvolle Gestaltungsmöglichkeiten der Entwicklungsprozesse zu unterbinden.

Ein weiterer Schwerpunkt innerhalb des Forschungsprojektes war die Schaffung eines Konzeptes zur Nachvollziehbarkeit von konstruktiven Entscheidungen in Entwicklungsprozessen durch die Dokumentation von Hintergrundwissen. Basis dieses Konzeptes ist ein Werkzeug auf CAD Basis, in das mit Hilfe der Feature-Technologie zusätzlich zur geometrischen Ausgestaltung des Produktes auch Informationen zur Nachvollziehbarkeit der zugrunde gelegten Entscheidungen mit eingebracht werden können. Für die dabei in die Produktdatensätze eingebrachten „Wissensfeatures“ wurde eine Klassifikation entwickelt, die beispielsweise die Ursprungsform des Produktes, die im Rahmen seiner Ausgestaltung verwendeten Informationsquellen oder die verworfenen Alternativen beinhalten. Zusätzlich zu den textuellen Beschreibungen können auch multimediale Zusatzinformationen in die Modelle mit eingebracht werden. Die zugehörigen Dateien werden außerhalb des CAD-Systems in einer objektorientierten Datenbank verwaltet.

Für die Gestaltung der Produktionsmittel wurden spezielle Montagebausteine entwickelt, die hinsichtlich ihrer charakteristischen Eigenschaften wie Antriebsart oder Steuerung klassifiziert wurden. Zusätzlich zur dreidimensionalen Beschreibung der Montagebausteine und ihrer technischen Daten wurden auch Konfigurationsregeln und Auslegungsprogramme mit hinterlegt. Durch die Verknüpfung dieser Montagebausteine mit dem Produktmodell konnte mit Hilfe der Parametrik ein automatisches Anpassen der Produktionsmittel an konstruktive Änderungen des Produkts realisiert werden.

Durch die Forschungsarbeiten des SFB 336 hat man sich erhofft, etwas mehr Transparenz zwischen den unterschiedlichen Entwicklungsprozessen der Produkt- sowie der Produktionsmittelgestaltung zu schaffen. Statt der bis dahin vorherrschenden, sequentiellen und stark iterativen Arbeitsweise sollte ein einziger, integrierter Entwicklungsprozess etabliert werden, der die Zusammenhänge zwischen den gestalterischen Merkmalen des Produkts und den entsprechenden Funktionsmerkmalen des Produktionsmittels abbildet und damit Entscheidungswege und die Ableitung und Auswahl von Lösungsvarianten vereinfachen sollte. Die grundsätzlichen Überlegungen, die dem Projekt zu Grunde gelegt wurden, haben dabei nach wie vor nichts von ihrer Gültigkeit verloren. Und obwohl das verwendete Szenario aus dem Bereich der Montageplanung stammt, so lassen sich die Konzepte und Ideen, die im Rahmen des Projekts entwickelt wurden, ohne weiteres auch auf die Prozesskette Rohbau anwenden. Verändert haben sich aber sicherlich die Randbedingungen auf der Systemseite, da zu der Laufzeit des Projekts die Etablierung von PDM-Systemen noch am Anfang stand, während digitale Planungswerkzeuge lediglich im Rahmen der Konstruktion und der Layouterstellung vorhanden waren. Zahlreiche Prototypen und Methoden aus dem Projekt wurden bis zur industriellen Reife gebracht und dort auch eingesetzt. Die Forschungsarbeiten wurden im sich anschließenden Transferbereich 2 der Technischen Universität München weitergeführt, mit dem Ziel, die Flexibilität der Entwicklungsprozesse im Umfeld der Montage weiter zu steigern.

5.2.2 iViP [KrTA02]

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung getragene Leitprojekt iViP (für integrierte virtuelle Produktentstehung) ist eine 1998 entstandene Gemeinschaftsinitiative von Anwendern, Softwareentwicklern und Forschungseinrichtungen aus den Bereichen Automobilbau, Schienenfahrzeuge, Luft- und Raumfahrttechnik und Maschinenbau. iViP hatte eine Gesamtlaufzeit von vier Jahren und verfügte über ein Budget von 50 Millionen Euro, wobei die Hälfte über das BMBF und die andere Hälfte über die Industriepartner getragen wurde. Ziel des Projektes war die Schaffung einer IT-Systemwelt für die integrierte virtuelle Produktentstehung, die einerseits den bereits existierenden, heterogenen Systemumgebungen gerecht wird, es andererseits aber auch ermöglicht, innovative Integrationskonzepte zu realisieren. Hierzu sollten, auch über die Unternehmensgrenzen hinweg, dynamische und nahtlose Prozessketten unterstützt werden. Ein Grundgedanke dabei war, die von Unternehmen eingesetzten Altsysteme möglichst in die neue IT-Struktur einzubinden, um diesen einen Investitionsschutz zu ermöglichen, wobei gleichzeitig auf die Anwendung von Standardsoftware ge-

setzt wurde. Durch die Zusammensetzung der Projektgemeinschaft sollte zudem dafür gesorgt werden, dass die Anforderungen der Anwender aus dem industriellen Umfeld zusammengeführt wurden mit innovativen Ansätzen von Forschungsinstituten.

Neben den organisatorischen Einheiten für das Projektmanagement und den ihnen zugeordneten Stabsstellen, war das Gesamtprojekt untergliedert in sechs verschiedene Teilprojekte:

- TP1 Infrastruktur Prozessmanagement: Unterstützung des Produktenstehungsprozesses, um diesen anpassungsfähig zu machen und die Kommunikationswege innerhalb des Gesamtprozesses zu optimieren.

- TP2 Infrastruktur Datenmanagement: Erarbeitung eines Konzeptes für anwendungsnahe Basisdienste in die iViP-Werkzeuge zur Informationsaufbereitung für den Anwender, unter Berücksichtigung von PDM Funktionalitäten.

- TP3 innovative Gestaltungswerkzeuge: Unterstützung der frühen Phasen der Produktgestaltung durch die Berücksichtigung von Erfahrungswissen, dem funktionsorientierten Entwerfen, sowie einer integrierten Gestalt- und Topologieoptimierung.

- TP4 Aufbau und Validierung virtueller Produkte: Werkzeuge für die Durchführung dynamischer und realitätsnaher Ein- und Ausbauuntersuchungen, Simulation mechatronischer Systeme, sowie virtuelle Konfiguration und Planung von Versuchen und Testabläufen.

- TP5 Werkzeuge zur virtuellen Fertigungserprobung: Unterstützung der frühzeitigen Berücksichtigung von fertigungstechnischen Gesichtspunkten im Produktentstehungsprozess durch die Simulation und Optimierung von Fertigungsabläufen.

- TP6 Referenzmodelle und Marktvorbereitung: Vermarktung der inhaltlichen Ergebnisse des Projekts und Schaffung von Referenzmodellen für die Umsetzung der iViP Architektur im industriellen Umfeld.

Die Teilprojekte 1 und 2 waren eher als Infrastrukturthemen ausgelegt, während bei den Teilprojekten 3 und 4 Entwurf und Bewertung virtueller Produkte im Zentrum standen. Das einzige Teilprojekt mit Bezug zur Fertigungstechnik war TP 5, woran sich das sehr stark produktzentrische Grundverständnis des iViP-Projekts erkennen lässt.

Auf grober Granularitätsebene betrachtet, war der Kern des iViP-Konzepts die Schaffung einer Schnittstelle, die über zentral definierte und verwaltete Dienste sowohl auf Fremdsysteme wie CAx-Applikationen als auch auf eigens im Rahmen des Projekts entwickelte Werkzeuge, beispielsweise zur Prozessgestaltung oder zur innovativen Gestaltung von Produkten, zugreifen kann. Für den Anwender wird mit dem iViP-Client eine einheitliche, plattformübergreifende Benutzeroberfläche geschaffen, mit deren Hilfe man sowohl auf die internen wie auch auf die externen Werkzeuge zugreifen kann. Die Zugriffe auf die unterschiedlichen Datenquellen werden über zentrale Dienste gesteuert, die systemneutral und domänenübergreifend definiert sind. Ein Überblick über die Sytemarchitektur, die im Rahmen des Projekts iViP entwickelt wurde, ist in Abbildung 5-7 dargestellt.

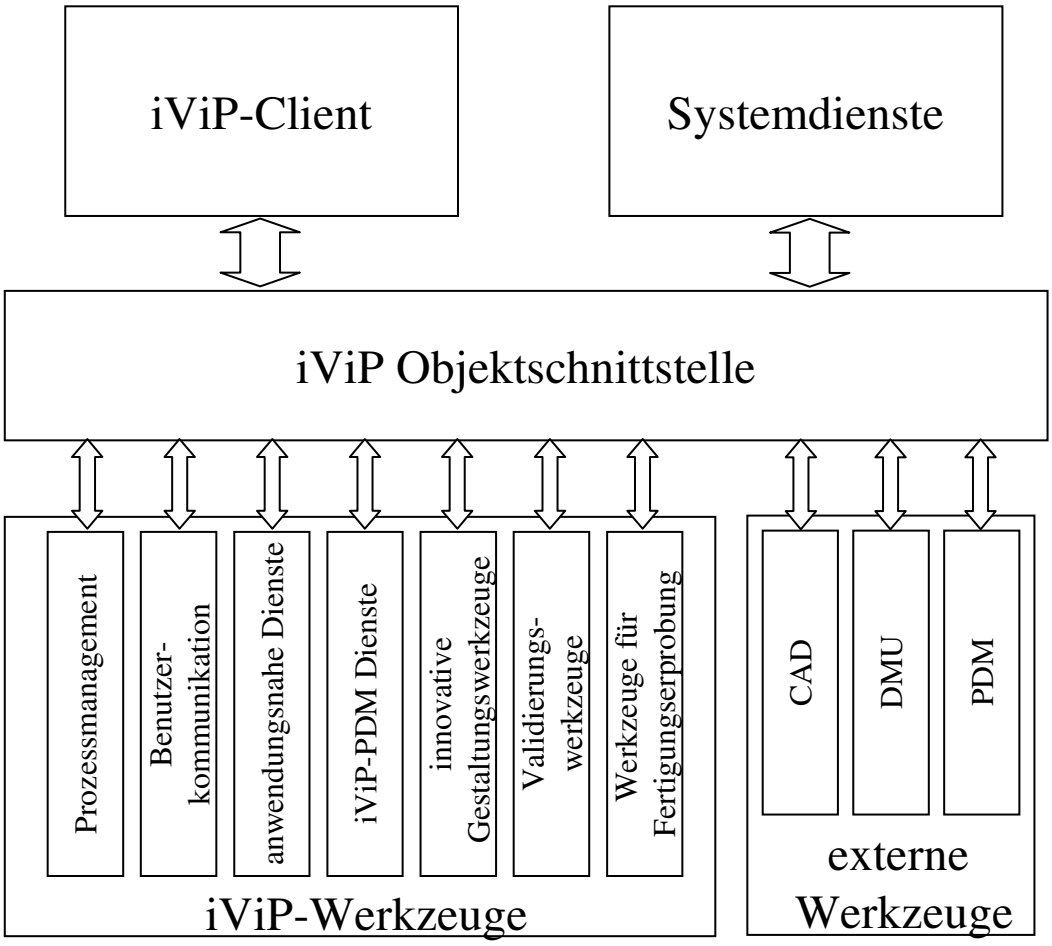


Abbildung 5-7: Systemarchitektur im iViP-Projekt

Aus Gründen der Relevanz für das im Rahmen dieser Arbeit behandelte Forschungsthema wird an dieser Stelle nur auf das Teilprojekt 5 von iViP eingegangen, da dieses die Aspekte der Zusammenarbeit zwischen Produkt- und Produktionsentwicklung adressiert. Ziel dieses Teilprojekts war es, für eine verbesserte Abstimmung zwischen Produkt und Produktionspro-

zess zu sorgen, und zwar auf Grundlage einer methoden- und datentechnischen Integration. Dabei wurde die ganze Bandbreite der Produktionsentwicklung abgedeckt, von der frühzeitigen Simulation und Optimierung der Produktionsanlagen bis hin zur Rückführung dieser Daten in die Steuerungen der real existierenden Anlagen während der Inbetriebnahme oder bei Umstellungen in der laufenden Produktion. Unter dem Stichwort „fertigungsorientierte Produktverifikation“ wurden anhand von drei Szenarien aus dem industriellen Umfeld Lösungen für die angesprochene Integration erarbeit. Das erste Szenario zielte auf die Integration der Prozesskette „Umformen“. Hier wurden zwei Applikationen an den iViP-Clienten angebunden, eine für die Auslegung und Simulation von Umformverfahren sowie eine zweite für die Simulation des Produktverhaltens in der Umformpresse. Zu diesem Zweck wurden zentrale Dienste definiert, die es erlauben, Geometriedaten aus dem entsprechenden Simulationswerkzeug zu übernehmen und auf dem iViP-Fileserver abzulegen bzw. Geometriedaten von diesem Fileserver an die Simulationssoftware zu senden. Über einen weiteren Dienst kann über den iViP-Client ein Simulationslauf automatisch gestartet werden, wobei anschließend ein Report zurückgesendet wird. Gleichzeitig wurde eine Möglichkeit geschaffen, von der Simulationssoftware aus über den iViP-Client andere Fremdsysteme wie etwa CAD-Werkzeuge oder VR-Applikationen mit Geometrien zu versorgen. Je nachdem, welches Simulationssystem dabei angesprochen wird, werden noch spezielle Dienste zur Konvertierung der Geometriedaten aufgerufen. Die beiden anderen Szenarien untersuchten Anwendungsfälle aus dem Bereich Montageplanung, wobei sowohl die Auslegung von manuellen Montagearbeitsplätzen als auch die Unterstützung der Programmierung von automatisierten Montagestationen berücksichtigt wurden. Hier wurde hauptsächlich auf die Nutzung von VR-Technologien im Planungs- und Auslegungsprozess gesetzt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass iViP ein sehr stark durch die IT getriebenes Projekt war. Die Integrationsbemühungen zielten hauptsächlich auf eine durchgängige Anwendung von digitalen Werkzeugen entlang einzelner Prozessketten ab, wobei hauptsächlich Geometriedaten von Produkten weitergereicht wurden, um verschiedene Simulationen und Optimierungen durchführen zu können. Die Verwaltung der Informationen selbst bzw. die Integration verschiedener Datenbasen spielte eine eher untergeordnete Rolle. Infolgedessen wurden über die zentrale Schnittstelle auch eher einzelne Datenpakete ausgetauscht, während Strukturumfänge sowie die darin enthaltenen Informationen kaum eine Rolle spielten. Die innerhalb von iViP entwickelten Konzepte und Werkzeuge wurden nach Abschluss des Projektes dennoch

teilweise zu kommerziellen Produkten weiterentwickelt und werden heute vom ProSTEP Verein betreut.

5.2.3 IDASTEP [IDAS04], [KlRe02]

Das Akronym IDASTEP steht für „Integrating Distributed Applications on the basis of STEP data models". Es handelt sich dabei um ein von der Europäischen Union gefördertes Forschungsprojekt mit einer Laufzeit von 32 Monaten, das im August 2001 begonnen wurde und bis März 2004 lief. Das Konsortium des Projekts IDASTEP umfasste verschiedene klein- und mittelständische Firmen aus den Bereichen Entwicklungsdienstleistungen (EDAG Engineering & Design AG, Deutschland), Anlagenkonstruktion und –bau (FFT Espana Technologies de Automocion, Spanien) und Softwareentwicklung (UAB LKSoft Baltic, Litauen). Das Ziel des Forschungsprojektes war es, die Daten- und Informationsflüsse für die Planung und Inbetriebnahme von Produktionsanlagen im Karosserierohbau zu integrieren und zu organisieren. Dazu sollten die für diesen Prozess relevanten Daten aus verschiedenen Datentöpfen gesammelt und auf Grundlage des STEP-Datenmodells zentral und miteinander verknüpft zur Verfügung gestellt werden, unter anderem zur Verwendung während der Inbetriebnahme der Produktionsanlagen. Gleichzeitig sollte im Rahmen des Projekts das STEP Datenmodell selbst grundlegend überarbeitet und hinsichtlich seiner Komplexität vereinfacht werden, um damit die eher dürftige Anwendung dieses systemneutralen Formats seitens der Industrie voranzutreiben.

Als Ausgangslage wurden dabei für das Projekt drei wesentliche Grundannahmen getroffen. Erstens war man sich der Tatsache bewusst, dass die Entwicklungsprozesse heute global über eine Vielzahl von Dienstleistern verteilt sind, weshalb man auf eine Datenbank mit einem systemneutralen Datenformat setzte. Diese sollte zudem einen Zugriff über die gängigen Internetapplikationen erlauben, um die Informationen weltweit zugänglich zu machen. Zweitens wurde der Tatsache Rechnung getragen, dass speziell das Anlagen-Engineering eine mechatronische Disziplin ist, deren Komplexität vor allem in der Integration von Daten aus den Domänen mechanische und elektrische Konstruktion resultiert. Daher spielte die Berücksichtigung einer so genannten E-CAD Applikation sowie der damit erzeugten Daten im Rahmen der Forschungen, eine wesentliche Rolle. Und drittens tauchte im Jahr 2001 bereits vermehrt das Schlagwort „digitale Fabrik" in der Automobilindustrie auf, d.h. die ersten Systeme zur digitalen Produktionsplanung wurden in der Industrie im Rahmen von Pilotprojekten ange-

wendet. Dadurch war ein weiterer, wichtiger Bestandteil bei IDASTEP die Zusammenführung von Daten aus der Produkt- und der Prozessentwicklung.

Die Umsetzung der Projektziele war entlang verschiedener Meilensteine geplant. Zunächst sollten die Daten aus dem Umfeld der digitalen Fabrik mit Hilfe des Datenmodells STEP AP212 und AP214 abgebildet und in einer entsprechend kompatiblen Datenbasis abgelegt werden. Dabei sollten die Prozessschritte Konzeption, Entwurf und Erprobung der Produktionsanlagen des Karosserierohbaus berücksichtigt werden. Im nächsten Schritt sollte diese Datenbasis mit einem kommerziellen PDM-System verknüpft werden. Der dritte Meilenstein zielte auf die Verwendbarkeit der Nutzung der Daten aus der STEP Datenbasis in tragbaren Handgeräten ab, wozu ein reduziertes Datenformat entwickelt werden musste. Im letzten Meilenstein sollte die STEP Datenbasis schließlich für die Nutzung durch Internetapplikationen erweitert werden.

Abbildung 5-8 zeigt die im Rahmen des Projekts IDASTEP entwickelte IT-Architektur. Die Hauptbausteine sind die STEP Datenbasis sowie die vorgelagerte Schnittstelle, über die zahlreiche Autorensysteme sowie das PDM-System angebunden sind. Während die Produktdaten selbst aus verschiedenen CAD-Applikationen versorgt werden können, wird die Produktstruktur und werden die zugeordneten Metadaten über die STEP-Schnittstelle des PDM-Systems versorgt. Auch die Geometrie sowie die Struktur der Produktionsanlagen werden auf diesem Weg ausgetauscht. Bei der Anbindung des PDM-Systems wird eine bidirektionale Schnittstelle verwendet. Während des Datenexports wird über die Konfiguration eine bestimmte Variante eingestellt und extrahiert. Beim Import werden die zu importierenden Daten mit den bereits im PDM-System vorhandenen abgeglichen, wobei auch automatisch die Versionssteuerung angesprochen werden kann.

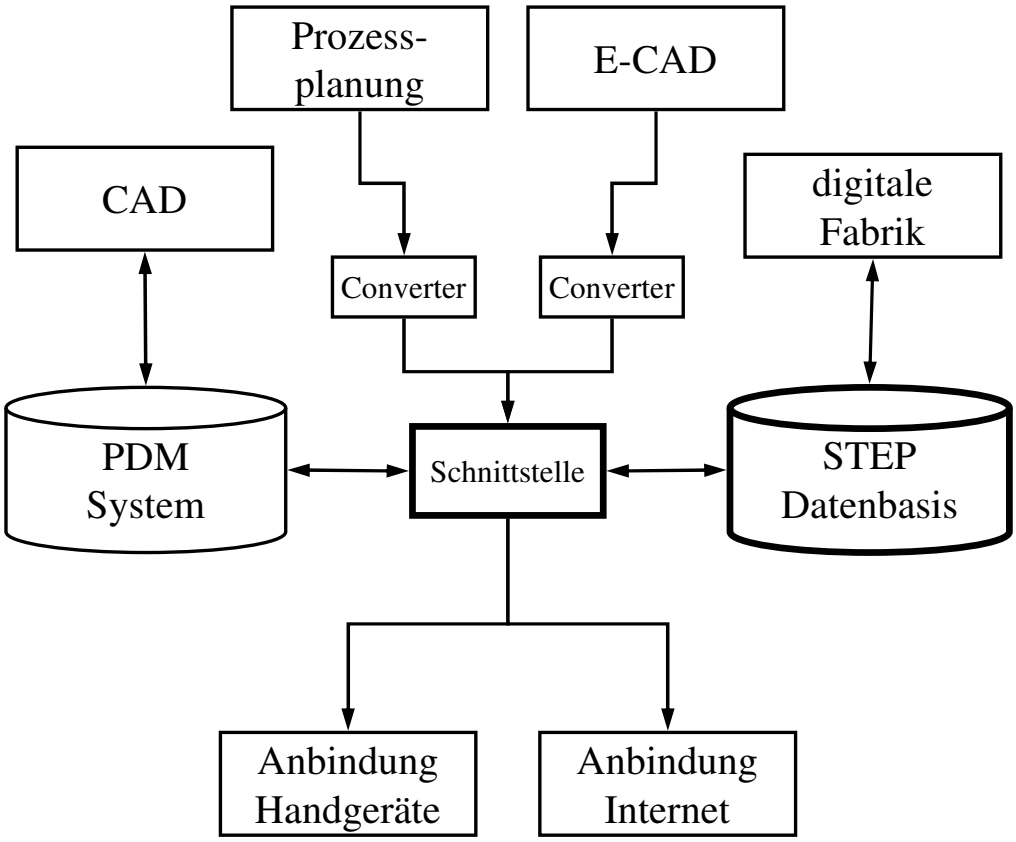


Abbildung 5-8: IT-Architektur im Projekt IDASTEP

Die Daten aus der Prozessplanung sowie dem elektrischen Anlagenentwurf werden über spezielle Konverter in ein für die Schnittstelle verständliches Format übersetzt. Für die Anbindung der Prozessplanung gelang es, eine ganze Reihe von Daten aus der Planungsapplikation über den Konverter zur STEP-Datenbasis zu übertragen und dort zu visualisieren. Dazu zählen Prozesspläne, die verwendeten Ressourcen, Taktzeitangaben sowie die innerhalb der Planung oft verwendeten Bibliotheken mit Standardelementen. Aus dem E-CAD-System werden Verkabelungspläne und die zugehörigen Produktstrukturen in ein STEP-Format übersetzt, wobei durch den unzureichenden Reifegrad des dafür verwendeten Datenmodells Verluste hingenommen werden mussten.

Die auf die STEP Datenbasis aufbauende digitale Fabrik bündelt somit Daten aus den Bereichen Produktentwicklung, Prozessplanung und Elektroinstallation und verwaltet sie integriert. Für den Anwender stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung, um auf die STEP Datenbasis zuzugreifen. Zunächst können über das IDASTEP Center die Metadaten aus dem PDM verwaltet und editiert werden. Dazu gehören beispielsweise organisatorische Daten, Versionsangaben, Eigenschaften, Statusangaben oder Workflow-Aussagen. Mit dem IDASTEP Viewer wird dem Anwender als zweite Zugriffsmöglichkeit ein Visualisierungswerkzeug an die Hand

gegeben, mit dem 2D- und 3D-Geometrien aus STEP Dateien angezeigt werden können, sowie zusätzlich abgeleitete Geometrien im Format VRML.

Als Ergebnis des Projekts IDASTEP kann festgehalten werden, dass es dem Projektkonsortium gelungen ist, die relevanten Daten aus verschiedenen Quellen innerhalb der Entwicklung von Produktionseinrichtungen im Karosserierohbau zu sammeln und in einer zentralen Datenbasis und in einem neutralen Format zur Verfügung zu stellen. Das zweite Teilziel, nämlich die Nutzbarmachung dieser Daten für Endanwender während der Phase der Inbetriebnahme wurde zwar teilweise umgesetzt, konnte aber aus Zeitgründen und unvorhersehbaren Komplikationen während des Projektverlaufs nicht in der gewünschten Tiefe adressiert werden. Die im Rahmen von IDASTEP entwickelten Software-Prototypen wurden zwar als kommerzielle Werkzeuge weiterentwickelt, allerdings finden sie bis heute kaum Verbreitung in der Industrie. Eine mögliche Ursache ist sicherlich, dass die Hersteller der Autorensysteme nur ein begrenztes Interesse daran haben, systemneutrale Datenformate zu unterstützen. Speziell für die Datenverwaltung und -integration wollen diese sicherlich lieber ihre eigenen Werkzeuge etablieren, als eine Universallösung mit aufzubauen. Parallel dazu setzt in den vergangenen Jahren die Automobilindustrie generell eher auf die Anwendung von Standardsoftware, was sich dann in nächster Instanz auch unmittelbar auf die Entwicklungsdienstleister und Anlagenlieferanten überträgt. Darüber hinaus haben, sowohl auf Seiten der Bauteilkonstruktion als auch bei der Produktionsplanung die Informationsdichte sowie die Komplexität der verwendeten Datenmodelle und Strukturen sehr stark zugenommen, was bei der Anwendung der in IDASTEP entworfenen Architektur eine häufige Anpassung der Konverter und der STEP Datenmodelle nach sich ziehen würde.

5.2.4 weitere Ansätze

Im Rahmen dieses Abschnitts soll noch kurz auf weitere Forschungsansätze eingegangen werden, die nicht in so großem Stil wie die im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Forschungsprojekte angelegt sind, aber dennoch sehr hilfreiche Konzepte für die im Kontext dieser Arbeit behandelten Problematik liefern. Die einzelnen Beiträge wurden während der Literaturrecherche nach wissenschaftlichen Beiträgen zum Thema „Umgang mit heterogenen Strukturen in der Produktentwicklung“ bzw. „Datenintegration in Entwicklungsprozessen“ gefunden.

Eine ganze Reihe von Publikationen adressiert das Thema der Produktstrukturierung in heterogenen und verteilten Systemumgebungen. Dabei steht allerdings häufig der Produktentwicklungsprozess selbst im Fokus, auf die Belange der Produktionsentwicklung wird selten oder gar nicht näher eingegangen. Bei [Sven03] wird der Umgang mit verschiedenen Ausprägungen von Produktstrukturen in einer verteilten Entwicklungsumgebung untersucht, wobei es systemseitig um eine Integration von PDM-System und SCM-System („Software Configuration Management“) geht. Als industriell ausgerichtete Forschungsarbeit besteht eine weitere Zielsetzung in der Anwendung und Validierung der Modelle und Methoden der modernen Konstruktionsmethodikforschung in Fallbeispielen aus der industriellen Praxis. [Sven03] untersucht verschiedene Szenarien aus Entwicklungsprozessen und kommt zu dem Schluss, das verschiedenen Produktstrukturen durchaus ihre Berechtigung in den einzelnen Disziplinen haben. Aus den Beobachtungen werden mögliche Strategien für eine Integration der Datenverwaltungssysteme der betrachteten Disziplinen innerhalb der Produktentwicklung abgeleitet, die von einer monolithischen Systemlandschaft bis hin zu einer Koexistenz verschiedener Systeme mit den entsprechenden Schnittstellen reicht. Für den Anwendungsfall der gemeinsamen Soft- und Hardwareentwicklung wird ein Informationsmodell beschrieben, mit dem eine Systemintegration prototypisch umgesetzt wird. Bei [SvHZ03] werden die Forschungsansätze für die mechatronische Produktentwicklung weiter untersucht.

Speziell für die Informationsmodellierung in frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses werden bei [EiZW05] bzw. [FaDa07] interessante Ansätze diskutiert. In diesen Arbeiten wird ein Konzept für eine formale Zusammenstellung von Informationen und Eigenschaften eines Produktes beschrieben, was als „Engineering Object“ definiert wird. Dieses repräsentiert die produktbezogenen Informationen entlang verschiedener Phasen des Produktlebenszyklus, wobei der Detaillierungsgrad dieser Informationen mit voranschreiten des Entwicklungsprozesses immer mehr zunimmt. Die Ausprägung des „Engineering Objects“ ist dabei abhängig vom jeweiligen Zeitpunkt des Entwicklungsprozesses, von den Anwendern, die auf die Informationen zugreifen, und vom Kontext des jeweiligen Prozessschritts. Die Ausprägung der Informationen im Sinne eines physikalisch existierenden Modells wird als „Repräsentation“ des „Engineering Object“ bezeichnet. Generell orientiert sich das Konzept der „Engineering Objects“ mehr auf die frühen Phasen der Produktentwicklung, wo die Festlegung der Eigenschaften eines Bauteils oder einer Baugruppe noch nicht vollständig festgelegt sind. Dennoch kann dieser Forschungsansatz eine interessante Anknüpfungsstelle für das bereits erwähnte „Design for Re-Tooling“ darstellen, wo bereits existierende Produktionsein-

richtungen dazu verwendet werden können, um die Eigenschaften der betrachteten „Engineering Objects“ festzulegen und damit die Freiheitsgrade der Bauteilkonstruktion einzuschränken. Die „Engineering Objects“ werden in verschiedenen Systemen in verschiedenen generischen Strukturen abgebildet, wobei diese Strukturen jeweils die Belange einzelner Entwicklungsdomänen widerspiegeln. Die Querbeziehungen der Strukturen untereinander werden in einem zusätzlichen Verwaltungssystem in Form einer objekt-relationalen Datenbank abgebildet, in die die generischen Strukturen übertragen werden. Dies erlaubt gleichzeitig auch eine Integration von weiteren Disziplinen in die frühen Phasen der Produktentwicklung.

Der Begriff der „Engineering Objects“ steht auch im Mittelpunkt der Forschungsansätze, die in [ZiHH02] oder [Zimm05] diskutiert werden. Ähnlich wie bei [FaDa07] werden „Engineering Objects“ als Objekte im Produktentwicklungsprozess verstanden, deren Informationen in verschiedenen Disziplinen des Gesamtprozesses relevant sind. Bei diesen Objekten kann es sich um Einzelteile, Baugruppen, einzelne geometrische Elemente, Materialangaben oder ähnliches handeln. Die vorgestellten Konzepte zielen ab auf eine Integration dieser Objekte entlang einzelner Prozessketten in der Produktentwicklung in der Automobilindustrie. Dafür wird ein generisches Informationsmodell beschrieben, mit dessen Hilfe alle relevanten Informationen erfasst werden können. Gleichzeitig werden die Beziehungen zwischen diesen Informationsobjekten formal beschrieben, um beim Durchlaufen der betrachteten Prozessketten die jeweiligen Anwender mit jeweils notwendigen Informationen zu versorgen und auf diese Weise eine ausreichende Wissensbasis für Entscheidungen zu liefern. Die Autoren dieser Ansätze kommen zu dem Schluss, dass kommerzielle PDM-Systeme für eine solche Informationsabbildung nicht ausreichen und schlagen stattdessen eine Erweiterung der bestehenden Systemarchitektur vor. Dabei sollen durch die Schaffung einer neutralen Datenbank die „Engineering Objects“ und deren Relationen verwaltet und den Anwendern zentral zur Verfügung gestellt werden.

Einen Ansatz für die Strukturierung von Entwicklungsumfängen zur besseren Unterstützung der Komplexitätsbewertung von Prozessen wird bei [Jani04] und [Jani05] unter dem Begriff „integriertes Prozess- und Produktdatenmodell“ vorgestellt. Dieses Modell baut auf die bei [KrMo98] veröffentlichten Ansätze zur Verbindungsdokumentation auf. Das integrierte Prozess- und Produktmodell zielt ab auf eine Modellierung der Verbindungen zwischen Bauteilen, wobei diese physikalischer Natur, etwa im Sinne eines Schweißpunktes, oder logischer Natur, beispielsweise bei einer Toleranzangabe, sein können. Auf der Grundlage dieser Bau-

teilverbindungen werden dann zusätzliche Informationen, die sich auf Ressourcen oder Prozesse beziehen, dokumentiert, um damit eine tragfähige Datenbasis für die Entscheidungsbewertung bei der Kostenbetrachtung in Entwicklungsprozessen zu erhalten. Speziell die Bewertung von Planungsalternativen soll damit effizienter gestaltet werden. Systemseitig liegt der Schwerpunkt des in diesen Arbeiten diskutierten Integrationsansatzes auf der Kopplung zwischen dem PDM-System der Produktentwicklung sowie den betriebswirtschaftlich-planerisch ausgerichteten ERP- bzw. PPS-Systemen. Die Einbeziehung der Konstruktions- und Absicherungsaktivitäten innerhalb der Produktionsentwicklung wird nicht berücksichtigt. Damit zielt dieses Konzept eher auf die späteren Phasen des Produktentstehungsprozesses, in denen die Kostenbetrachtung im Vordergrund steht und bereits ausdetaillierte Produktstrukturen existieren. Dennoch ist speziell die Abbildung der Bauteilverbindungen ein interessanter Ansatzpunkt, um die mit der Produktstrukturierung verbundenen Probleme heutiger Entwicklungsprozesse zumindest teilweise zu lösen.

6 Konzept für ein verbessertes Informationsmanagement

In Kapitel 2 Abschnitt 3 wurde ein Ansatz für die Vorgehensweise zum Erstellen wissenschaftlicher Arbeiten nach [Bles02] vorgestellt (Abbildung 2-3), bestehend aus einer ersten deskritptiven Studie zum Aufdecken von Einflüssen und Zusammenhängen, einer sich anschließenden präskriptiven Studie, die Konzepte und Methoden liefert, um die aufgedeckten Defizite zu beseitigen, sowie einer weiteren deskriptiven Studie zur Bestätigung der zuvor gemachten Annahmen anhand realer Anwendungsbeispiele. In Anlehnung an diese Darstellung stellt Kapitel 4 mit der Ableitung der Verbesserungspotentiale die erste Analyse-Phase dar, die in die Formulierung einer der Forschungsarbeit zu Grunde gelegten Hypothese mündet. Diese Hypothese formuliert also eine Annahme, mit welchem Konzept die zuvor beschriebenen Verbesserungspotentiale erschlossen werden können.

Als Ergebnis der Ausführungen der vorherigen Kapitel lautet die Hypothese der vorliegenden Forschungsarbeit somit wie folgt:

> **Hypothese:**
> Beim Übergang von der Produktentwicklung zur Produktionsplanung im Karosserierohbau gehen wesentliche Informationen verloren. Zudem erschwert der nach wie vor eher sequentielle Charakter der einzelnen Teilprozesse, vor dem Hintergrund des steigenden Zeitdrucks und der wachsenden Komplexität, die effiziente Erfüllung der jeweiligen Tätigkeiten.
> Durch die Einführung eines geeigneten Informationsmanagementkonzepts für den oben genannten Übergang, das sowohl die Spezifikation geeigneter Datenmodelle als auch organisatorische und methodische Ansätze in sich vereint, kann die Effizienz dieser Prozessschnittstelle entscheidend verbessert und eine viel höhere Flexibilität gewonnen werden. Die Berücksichtigung der existierenden Systemumgebung stellt dabei eine wesentliche Randbedingung dar, ebenso wie aktuelle Trends und Entwicklungen im Bereich der Prozesskette Karosserie.

Die im Rahmen der Prozessanalyse abgeleiteten Verbesserungspotentiale der heutigen Entwicklungsprozesse sowie die Analyse der Einflussgrößen führen jeweils zu der Erkenntnis, dass die Art der Informationen sowie deren Modellierung und Verwaltung in den existieren-

den Systemen den Hauptansatzpunkt darstellen, um den aktuellen und in naher Zukunft auftretenden Herausforderungen innerhalb von Produktentstehungsprozessen effektiv zu begegnen. In diesem Kapitel soll nun ein ganzheitlicher Ansatz vorgestellt werden, der die beschriebenen Probleme weitestgehend löst und die Verbesserungspotentiale erschließt, und der gleichzeitig den realen Bedingungen im industriellen Umfeld gerecht wird. Die Beschreibung dieses Konzepts zum Umgang mit Informationen an der Schnittstelle zwischen Produkt- und Produktionsentwicklung geschieht dabei anhand der Dimensionen des in Kapitel 2 Abschnitt 3 eingeführten Rahmenwerkes. Abbildung 6-1 zeigt, welche Dimensionen des Rahmenwerkes durch die vier formulierten Forschungsfragen aus Kapitel 4 Abschnitt 4 adressiert werden.

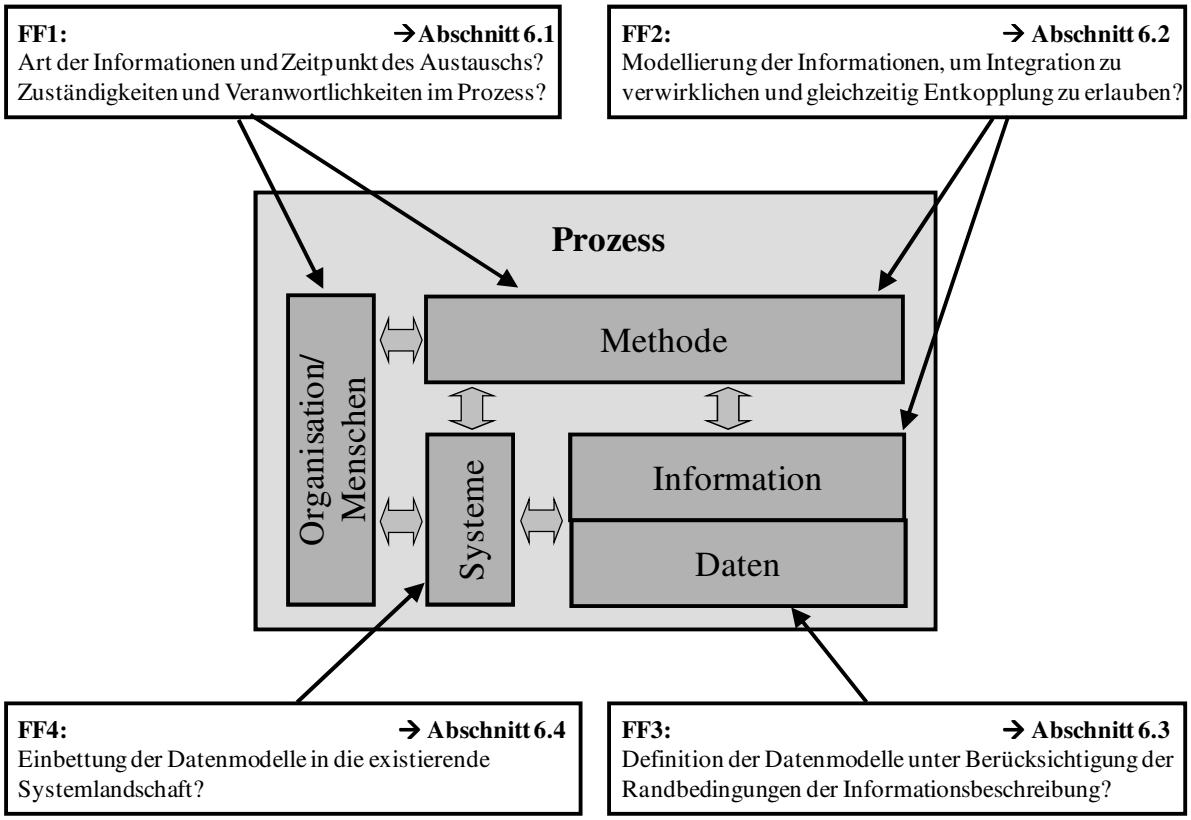


Abbildung 6-1: Vorgehensweise anhand des Rahmenwerks unter Einbeziehung der Forschungsfragen

Die Beschreibung des Konzepts zum Informationsmanagement in der Prozesskette Karosserie beginnt in Abschnitt 6.1 bei den Sichten Organisation und Methode, d.h. es wird zunächst ein grundlegendes Rollenverständnis innerhalb der beteiligten Entwicklungsprozesse formuliert, sowie ein Konzept für deren Zusammenarbeit und methodische Veränderungen innerhalb der Arbeitsweise beschrieben. Durch die Methodensicht wird dann im Abschnitt 6.2 übergeleitet in die Informationssicht, d.h. es wird spezifiziert, in welcher Form die relevanten Informationen innerhalb der Teilprozesse modelliert werden sollen, um den zuvor definierten, methodi-

schen und organisatorischen Randbedingungen gerecht zu werden. Die Übertragung dieser Modellierungsansätze in konkrete Datenmodelle erfolgt im dritten Schritt innerhalb der Datensicht in Abschnitt 6.3, wo entsprechende Entity-Relationship-Modelle vorgestellt werden und deren Zusammenspiel untereinander erläutert wird. Schließlich müssen die spezifizierten Datenmodelle in der existierenden oder ggf. zu erweiternden Systemlandschaft umgesetzt werden, was als Letztes im Abschnitt 6.4 in der Systemsicht vollzogen wird.

6.1 Organisatorischer und methodischer Ansatz

Die einzelnen Prozessabläufe zwischen Produkt- und Produktionsentwicklung sind heute schon weitestgehend parallelisiert, d.h. die Planer nehmen bereits in der Strategiephase der Produktentwicklung ihre Tätigkeit auf. Im Verlauf der Neutypplanung treten nur noch wenige Probleme auf, da hier weitestgehend auf Informationen und Daten aus den Vorgängerbaureihen oder von vergleichbaren Fahrzeugprojekten zurückgegriffen wird. Innerhalb der Entwicklungsprozesse sind grobe Abschätzungen zu diesem Zeitpunkt noch vollkommen ausreichend. Kritisch wird der Prozess erst, wenn die geometrische Ausgestaltung des Produkts innerhalb des Entstehungsprozesses eine immer stärkere Rolle einnimmt. Zu diesem Zeitpunkt muss die Produktionsentwicklung die Bauteilgeometrie mit berücksichtigen und entsprechende Datenversorgungsprozesse zur Übernahme der Produktdaten in die Wege leiten. Dies ist dargestellt in Abbildung 6-2, die den Ausschnitt aus dem Gesamtentwicklungsprozess zeigt, der sich mit der Erstanlage der Fügefolge, sowie der sich daran anschließenden Konstruktion des Spann- und Fixierkonzepts befasst. Zu Beginn dieser Phase werden erstmals Produktdaten übernommen, die dann, sortiert nach einer Fügefolge, weiter nach unten durchgereicht werden und schließlich zusammen mit dem Spann- und Fixierkonzept die eigentlichen Planungsabteilungen erreichen. Nach der initialen Versorgung wird zu definierten Zeitpunkten eine Aktualisierung der versorgten Produktdaten durchgeführt. Dieser Teilprozess innerhalb der Prozesskette Karosserierohbau wurde in der vorliegenden Arbeit bereits mehrfach erwähnt und ausführlich beschrieben. Anhand der Analyse der Verbesserungspotentiale innerhalb des Ist-Prozesses sowie durch die Untersuchung der Einflussgrößen konnte bereits festgestellt werden, dass speziell die Fügefolge sowie das darin abzubildende Spann- und Fixierkonzept innerhalb der Vielzahl der ausgetauschten Informationen eine zentrale Rolle einnehmen. Der methodische Umgang und die Dokumentation dieser Informationen stellen somit die zentralen Ansatzpunkte für das Konzept zur Optimierung der betrachteten Prozessschnittstelle dar.

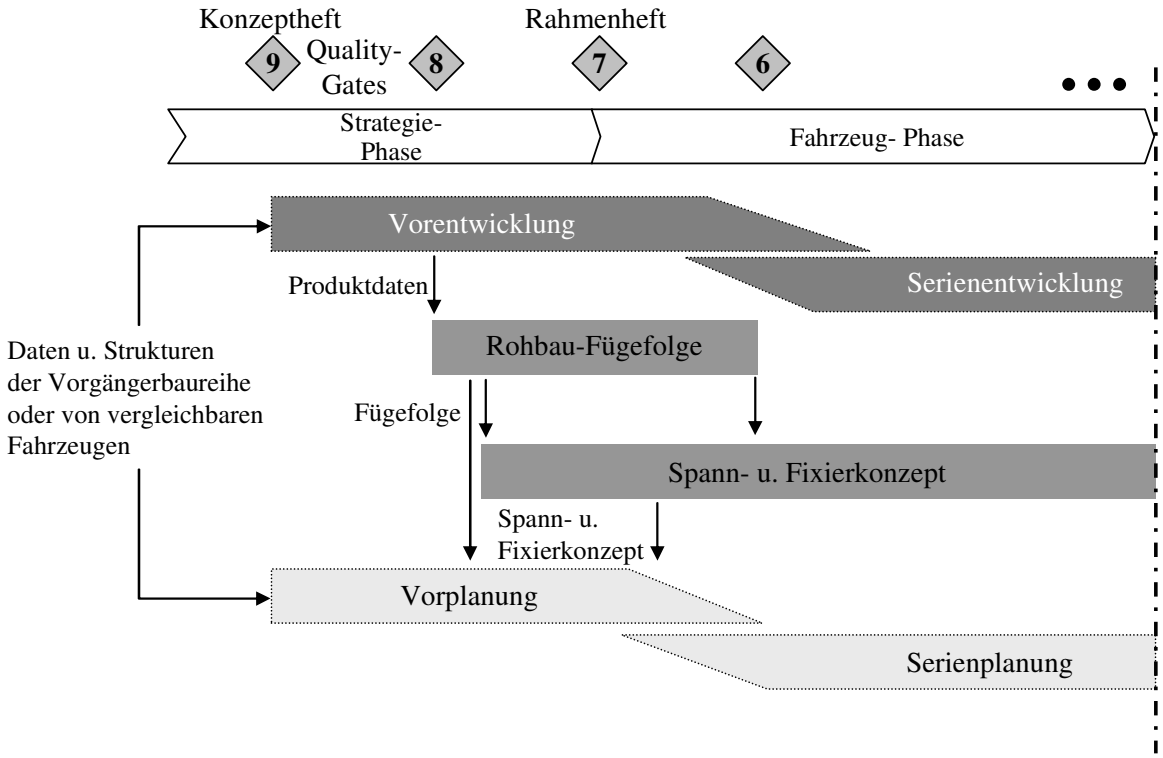


Abbildung 6-2: Prozessphasen bei der Erstellung der Fügefolge

In Abbildung 6-3 ist der erwähnte Teilprozess als ARIS Sichtenmodell detailliert dargestellt, d.h. die Abfolge der einzelnen Aktivitäten ist ergänzt um die beteiligten Organisationseinheiten, die verwendeten IT-Systeme, sowie, auf der rechten Seite der Funktionsblöcke, den Ein- und Ausgangsinformationen. Diese Darstellung ist ein Auszug des in Abbildung 3-17 dargestellten Gesamtprozesses für die Produktionsentwicklung Karosserierohbau. Es wird deutlich, dass bei der Übernahme der Produktdaten von der Produktentwicklung eine Datenextraktion erfolgt, d.h. an dieser Stelle wird das PDM-System verlassen. Damit gehen für alle Folgeaktivitäten auch die Kernfunktionen des PDM-Systems wie Versionierung, Konfiguration und Variantenauflösung verloren. Für unterschiedliche Fahrzeugvarianten werden ab hier parallele Strukturen in Verzeichnissen gepflegt. Die zu diesem Zeitpunkt noch sehr häufig auftretenden Änderungen in den Produktdaten müssen dabei in allen betroffenen Strukturen nachgezogen werden. Auf der Grundlage dieser in Verzeichnissen abgelegten Datensätze wird anschließend die Fügefolge als zentraler Informationsgegenstand für die Folgeprozesse abgeleitet. Dokumentiert wird diese im Microsoft Office System Excel, der Austausch der Fügefolge zwischen den am Prozess beteiligten Fachabteilungen erfolgt durch eine verzeichnisorientierte Weitergabe der entsprechenden Datei.

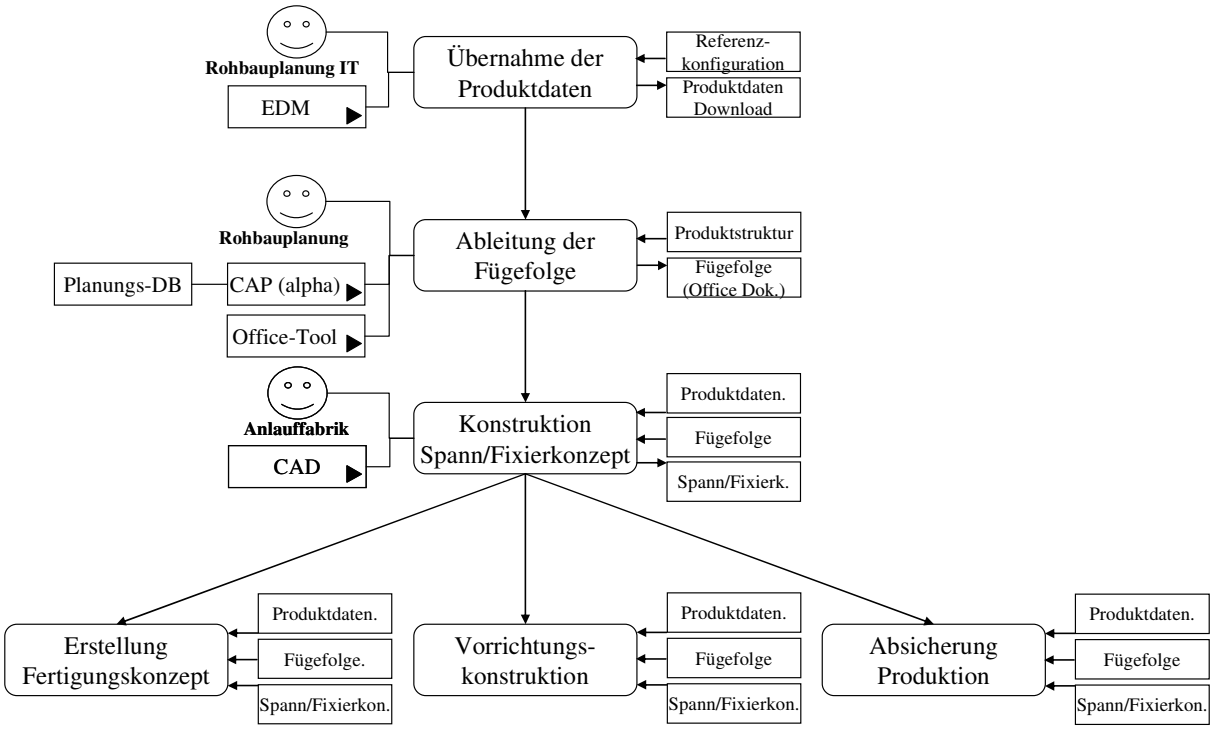


Abbildung 6-3: Ist-Zustand der betrachteten Prozesskette

Im unmittelbar nachfolgenden Schritt wird dann mit Hilfe der Fügefolge innerhalb der einzelnen Produktdatenstrukturen das Spann- und Fixierkonzept erstellt und abgespeichert. Alle bis hierher generierten Daten werden von den nächsten drei Teilprozessen, der Erstellung des Fertigungskonzepts, der eigentlichen Vorrichtungskonstruktion sowie der Absicherung der Produzierbarkeit, als Eingangsinformation verwendet. Die genannten Prozesse werden weitestgehend parallel abgearbeitet, wobei es einen regen Informationsaustausch untereinander gibt, um Problemen rechtzeitig zu begegnen und die entsprechenden Änderungsmaßnahmen einzuleiten. Die initialen Informationen für die Prozesse werden allerdings nicht zentral zur Verfügung gestellt, sondern die betroffenen Fachabteilungen müssen sich diese aus verschiedenen Quellverzeichnissen zusammenstellen, wobei darauf zu achten ist, dass die jeweiligen Datenstände auch zueinander passen und konsistent sind. Auch für die bereits angesprochenen Iterationszyklen zwischen diesen drei Teilprozessen ist es immens wichtig, dass die jeweiligen Gesprächspartner wissen, von welchem Datenstand gerade die Rede ist bzw. auf welchen Stand sich etwaige Änderungsvorschläge beziehen.

Ziel des in der vorliegenden Arbeit entwickelten Konzepts ist es, diese Prozesskette wegzuführen von der verzeichnisorientierten Arbeitsweise, mit der parallelen Abbildung von Fahrzeugvarianten und den darin enthaltenen Folgeprozessinformationen, hin zu einer datenbankbasierten Methode, die zusätzlich eine Variantenauflösung erlaubt. Dabei soll zunächst die

Möglichkeit geschaffen werden, die relevanten Informationen, die innerhalb der Prozesskette Karosserierohbau verwendet werden, zu bündeln, und den Anwendern integriert und konsistent zur Verfügung zu stellen. Zu diesem Zweck besteht der erste Ansatzpunkt des hier vorgestellten Konzepts in der Schaffung einer Fertigungsstruktur, die aus der Produktstruktur abgeleitet wird, in der aber die zusätzlich zur Bauteilgeometrie eingebrachten Informationen mit abgebildet werden können. Für die betrachtete Prozesskette sind die relevanten Informationen die Bauteilgeometrie, die zu den Bauteilen gehörenden Bezugsstellen für das Toleranzkonzept, die zu den Bauteilstrukturen gehörende Fügefolge, das darin abgebildete Spann- und Fixierkonzept, die verschiedenen Ausprägungen von Verbindungselementen, die zwischen den Bauteilen liegen, sowie die für die Herstellung der einzelnen Zusammenbaustufen notwendigen Vorrichtungs- und Betriebsmitteldaten. Tabelle 1 zeigt einen Überblick über diese Informationen, wobei jeweils deren Autoren- und das zugeordnete Verwaltungssystem, sowie der jeweilige Bereich genannt werden, der für die Definition und Verwaltung dieser Informationen verantwortlich ist. Die Unterscheidung hinsichtlich der Zugriffsart, ob lesend oder schreibend, bezieht sich dabei auf die Verwendung der Informationen in den Prozessen, die der eigentlichen Bauteilkonstruktion nachfolgen. Das heißt, dass von der Produktentwicklung ein freigegebener Geometriestand als Grundlage für die weiteren Prozessschritte versorgt wird, der Zugriff auf diese Informationen ist deshalb nur als lesend angegeben. Werden durch die der Bauteilkonstruktion nachfolgenden Bereiche Produktänderungen ausgelöst, so werden diese in einem neuen Datenstand eingebracht, der dann entsprechend neu versorgt werden muss. Änderungen in den Produktdatensätzen sind grundsätzlich nur durch die entsprechenden Konstruktionsabteilungen zulässig, da diese auch sämtliche Freigabeprozesse verantworten und für die Ergebnisse haften. Eine Sonderrolle nehmen in diesem Zusammenhang die Verbindungselemente ein. Die darin enthaltenen Informationen müssen im Rahmen der Produktionsentwicklung verändert bzw. vervollständigt werden, da die im Rahmen der Bauteilkonstruktion erzeugten Datensätze nicht ausreichen. Detailinformationen wie Anfahrposen durch die Zange oder Verfahrenskennzahlen wie Stromstärke oder Haltezeiten kann der Konstrukteur nicht festlegen. Da der Planer während seiner Tätigkeiten aber keine Schreibberechtigung auf die Datensätze der Verbindungselemente hat, geschieht die Dokumentation dieser Zusatzinformationen in eigenen Verbindungselementobjekten auf der Planungsseite, die getrennt verwaltet und im Planungssystem archiviert werden. Daher ist hier in der Spalte Zugriffsart „lesend“ und „schreibend“ eingetragen, was sich aber auf zwei unterschiedliche Informationsstände bezieht. Die Gewährleistung der Datenkonsistenz zwischen beiden Ständen ist entsprechend schwierig sicherzustellen.

Information	Autoren-system	Verwaltungs-system	Zugriffs-art	Verantwortlichkeit
Produktdaten	CAD-System	PDM-System	lesend	Produktentwicklung (Bauteilkonstruktion)
Produkstruktur	PDM/BoM-System	PDM/BoM-System	lesend	Produktentwicklung (Bauteilkonstruktion)
Toleranzkonzept	CAD-System	PDM-System	lesend	Produktentwicklung (Toleranzabteilung)
Fügefolge	Office Tool CAP-System	filebasiert Planungs-DB	schreibend	Produktionsentwicklung (Rohbauplanung)
Spann- und Fixierkonzept	CAD-System	filebasiert	schreibend	Produktionsentwicklung (Anlauffabrik)
Verbindungselemente	CAD-System CAP-System	PDM-System Planungs-DB	lesend schreibend	Produktentwicklung (Bauteilkonstruktion) Produktionsentwicklung (Rohbauplanung)
Vorrichtungen u. Betriebsmittel	CAD-System CAP-System	PDM-System Planungs-DB	schreibend	Vorrichtungskonstruktion

Tabelle 1: Übersicht über Informationen innerhalb der Prozesskette Karosserierohbau (Ist-Stand)

Anhand dieser Auflistung in Tabelle 1 wird deutlich, dass bereits im aktuellen Prozess viele Informationen im PDM-System enthalten sind. Lediglich die Fügefolge und das Spann- und Fixierkonzept werden außerhalb des PDM-Systems verwaltet. Die Fügefolge wird verzeichnisorientiert verwaltet bzw. innerhalb der Planungsdatenbank abgelegt, wo sie als Grundlage für das zu erstellende Fertigungskonzept dient. Das Spann- und Fixierkonzept wird ebenfalls, wie bereits beschrieben, nur verzeichnisorientiert archiviert, da es ja innerhalb der aus dem PDM-System extrahierten Produktdaten dokumentiert wird.

Von dieser Betrachtung ausgehend ist es also nahe liegend, alle relevanten Informationen in der Prozesskette Karosserierohbau innerhalb des PDM-Systems zu bündeln. Im Hinblick auf die Zugriffsart könnte zwar argumentiert werden, dass die innerhalb der Prozesskette zu erstellenden Daten unter der Verantwortung der Produktionsentwicklung entstehen, und daher am ehesten in deren Planungsdatenbank archiviert werden sollten. Dennoch empfiehlt sich der

Aufbau der Fertigungsstruktur innerhalb des PDM-Systems, was hauptsächlich durch drei Gründe belegt werden kann:

- Erstens treten zu den Zeitpunkten innerhalb der einzelnen Fahrzeugphasen, zu denen diese Prozesskette durchlaufen wird, noch sehr viele Änderungen an den Bauteilen auf. Diese können mit Hilfe der Versionierungs- und Konfigurationsmechanismen des PDM-Systems bei geeigneter Gestaltung der zu schaffenden Datenmodelle problemlos innerhalb der einzelnen Tätigkeiten berücksichtigt werden.

- Zweitens erlaubt das PDM-System über die für die Produktstruktur implementierten Coderegeln eine Abbildung von Varianten. Bei geeigneter Strukturierung der Informationen könnte man diese Funktion im Rahmen einer neuen Arbeitsweise auf die betrachtete Prozesskette analog anwenden, und damit den parallelen Aufbau von Strukturen für die einzelnen Fahrzeugvarianten überflüssig machen.

- Drittens ist sowohl die Konstruktion des Spann- und Fixierkonzeptes, als auch die Gestaltung der Vorrichtung eine sehr stark geometrieorientierte Tätigkeit. Hier werden auf der Grundlage von Bezugspunkten auf den Bauteilflächen einfache Features angelegt, die die Spannfläche in ihrer geometrischen Ausprägung und mit ihren Attributen repräsentieren, mit deren Hilfe dann anschließend ganze Produktionsanlagen konstruiert werden. Dies bedingt IT-technisch automatisch die Verwendung eines CAD-Werkzeuges zur Modellierung der Spann-Features und Vorrichtungsgeometrien, was dann wiederum die Verwendung des zugehörigen PDM-Systems zur Verwaltung nahe legt.

Die erwähnte Fertigungsstruktur soll nun so beschaffen sein, dass sie einerseits die Produktdaten als wichtige Basisinformation lesend verwendet, andererseits aber das Integrationselement für alle Informationen der Produktionsentwicklung zur Unterstützung der frühen Prozessphasen darstellt. Sie zielt nicht darauf ab, die gesamten Planungsprozesse mit allen dabei generierten Informationen abzubilden. Lediglich der Teil der Prozesskette Karosserierohbau, der sich mit der geometrischen Ausgestaltung der Vorrichtungen, sowie der Absicherung der Produkt- und Anlagendaten unter Gesichtspunkten der Fertigung befasst, soll durch diese Struktur unterstützt werden. Die weiteren Planungsaktivitäten, die im Rahmen der Produktionsentwicklung durchlaufen werden, wie etwa die Festlegung des Fertigungskonzepts, die Erstellung des darauf aufbauenden Fertigungslayouts, die Austaktung der Produktionsanlagen

sowie die Überlegungen zur Sicherstellung der Logistik, verbleiben weiterhin in den jeweiligen Planungsapplikationen (CAP-Systeme) sowie der zugeordneten Planungsdatenbank. Diese sind für die Erzeugung, Bearbeitung und Verwaltung der dort anfallenden Informationen wesentlich besser geeignet als das auf die CAD-Applikation hin optimierte PDM-System. Sie werden daher im Folgenden auch innerhalb des hier entwickelten Konzepts nicht weiter betrachtet.

Damit die Fertigungsstruktur Varianten abbilden kann, werden variantenneutrale Knoten innerhalb der Struktur benötigt, innerhalb derer man die Produktdaten der verschiedenen Fahrzeugausprägungen bündeln kann. Dazu werden die sogenannten Z-Aufbaustufen herangezogen, die eine organisatorische Gliederung des Fertigungsbereiches Karosserierohbau darstellen. Diese Z-Aufbaustufen sind für jedes Fahrzeug gleich, denn, von einem gewissen Abstraktionsgrad aus betrachtet, sind Fahrzeugkarosserien immer nach dem gleichen Grundschema strukturiert, das aus den folgenden Komponenten besteht:

- einem Vorbau, einem Hauptboden und einem Heckwagen, die zusammen den ZB Unterbau oder Z1 bilden (= Zusammenbaustufe 1);
- den inneren Seitenwänden links und rechts, sowie dem vorderen und hinteren Dachrahmen, die den Z2.1 bilden;
- den äußeren Seitenwänden, die die Außenhaut des Fahrzeugs bilden und als Z2.2 bezeichnet werden;
- der Dachbaugruppe, die aus einem Dachrahmen, sowie der Beplankung des Daches besteht und die Zusammenbaustufe Z2.3 darstellt;
- dem Heckdeckel, der Motorhaube, dem Tankdeckel, sowie den Fahrer- und, je nach Fahrzeugvariante, Fondtüren, die gemeinsam als Klappen und Türen die Zusammenbaustufe Z3 bilden.

Diese Gruppierung der Fahrzeugkarosserie bildet gleichzeitig die Fertigungsbereiche innerhalb der späteren Rohbauanlage ab. Hauptboden, Vorbau und Heckwagen werden getrennt voneinander gefertigt und dann zum Z1 zusammengefügt. Mit diesem entsteht der Hauptstrang der Rohbauanlage, in den die restlichen Zusammenbaustufen als Anbauteile einfließen. An den Z1 werden zunächst die inneren Seitenwände und, aus Gründen der Steifigkeit, die

vorderen und hinteren Dachrahmen angebracht. Dann folgen die äußeren Seitenwände, gefolgt von der Beplankungen, bis schließlich als letzter Schritt die Klappen und Türen angeschraubt werden. Dieser Grundaufbau ist für jede Karosserieanlage gültig und in sich logisch, denn es würde aus fertigungstechnischer Sicht sicherlich keinen Sinn machen, mit dem Dach zu beginnen und dann den Rest daran anzubauen. In Abbildung 6-4 ist diese Struktur noch einmal veranschaulicht. Unterhalb der abgebildeten Zusammenbaustufen und den darin einfließenden Baugruppen erfolgt die weitere Unterteilung der Fahrzeugstruktur anhand von Zusammenbauten, die sich hinsichtlich ihrer Komponenten von Variante zu Variante stark unterscheiden können.

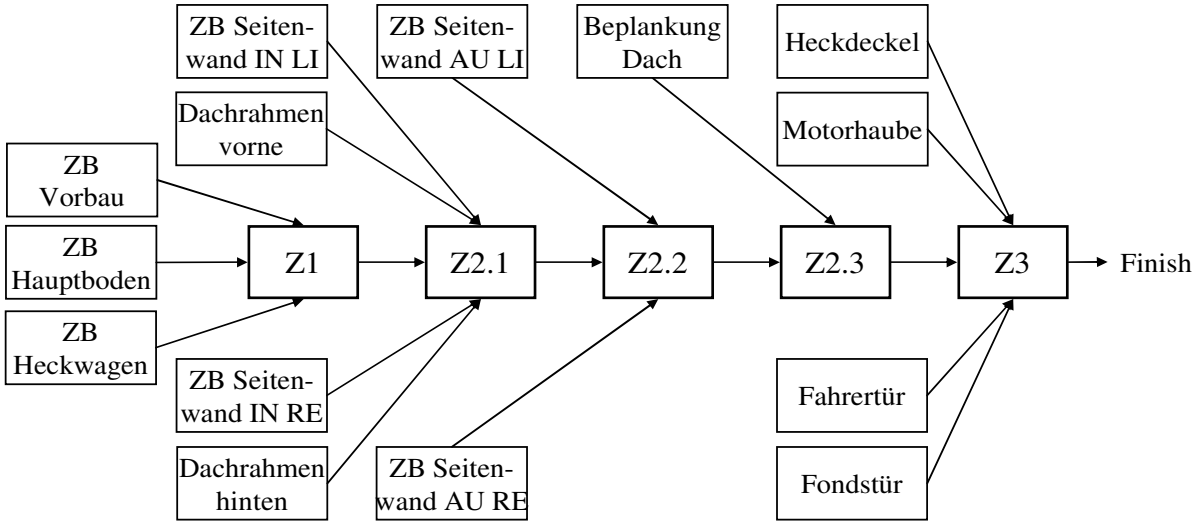


Abbildung 6-4: Allgemeine Gliederung eines Karosserierohbaus

Die Idee des Konzepts ist nun, diese Struktur im PDM-System als Grundstruktur für das Informationsmanagement an der Schnittstelle von Produkt- und Produktionsentwicklung anzulegen. Darin soll dann im nächsten Schritt die Fügefolge eingebettet werden. Diese entsteht durch Umstrukturierung aus der Produktstruktur der Bauteilentwicklung. Die Zusammenbauten des Konstrukteurs sind quasi ein Vorschlag, wie eine bestimmte Baugruppe aufgeteilt werden soll. Dabei strukturiert dieser aber hauptsächlich nach funktionalen Gesichtspunkten. Im Rahmen der Planung der Produktionseinrichtung teilt der zuständige Planer diese Struktur weiter auf, d.h. er fügt zusätzliche, sogenannte fertigungsbedingte Zusammenbauten ein, die der Konstrukteur auf Grund von mangelnder Fachkenntnis über die Produktionsanlagen nicht vorhersehen kann. Die Auslegung der einzelnen Vorrichtungen innerhalb der Rohbauanlage beeinflusst die Fügefolge sehr stark. Bestimmte Fertigungsverfahren bedingen gegebenenfalls ebenso Zusammenbaustufen, wenn sie beispielsweise ein spezielles Prüfverfahren nach sich ziehen. Letzeres würde nämlich ein Ausschleusen des dabei entstehenden Zusammenbaus aus

der Produktionsanlage bedeuten, wofür innerhalb der Produktstruktur aber eine entsprechende Sachnummer vorhanden sein muss, um diesen Vorgang organisatorisch bzw. logistisch zu handhaben. Zusätzlich dazu können die Fügefolgen für verschiedene Fahrzeugvarianten durchaus unterschiedlich sein. Für den Zusammenbau der Karosserie eines Kombis sind evtl. mehr Prozessschritte notwendig als für die Standardlimousine. Genauso bedingen bestimmte Motorvarianten eine Modifikation des Vorbaus, wodurch in einem zusätzlichen Zusammenbauschritt Verstärkungen in die Karosserieteile mit eingebracht werden müssen.

Diese zusätzlich entstehenden Strukturknoten wurden bislang entweder gar nicht berücksichtigt, oder die dafür notwendigen Informationen wurden im übergeordneten Zusammenbau abgelegt und waren damit nur schwer auffindbar. In manchen Fällen kann der Bauteilkonstruktion auch eine Anpassung der Produktstruktur abgerungen werden, was allerdings ein sehr zeitaufwendiger und teurer Prozess ist, der deshalb nur für sehr wichtige Bauteilumfänge vollzogen wird. Im hier vorgestellten Konzept wird für die Abbildung der Fügefolge dabei für jede Zusammenbaustufe, die der Planer vorsieht, ein eigener Knoten erzeugt und in die Fertigungsstruktur mit eingebracht. Dabei werden die Sachnummern der übergeordneten Zusammenbaustufen, innerhalb derer die fertigungsbedingten Knoten entstehen, als Namensgeber verwendet. Zusätzlich erhalten die Knoten im Namen ein Postfix, das die Stufe beschreibt, in der der Zusammenbau entsteht.

Der Weg von der Produktstruktur zur Fertigungsstruktur ist zum besseren Verständnis dieses Teils des vorgestellten Konzepts als Beispiel in Abbildung 6-5 grafisch dargestellt. Die Abbildung zeigt die Produktstruktur des Zusammenbaus ZB Hauptboden, der sich aus sechs Einzelteilen zusammensetzt. Der Konstrukteur hängt diese Bauteile alle flach unter einen Baugruppenknoten, da sie für ihn eine funktionale Einheit darstellen. Im Rahmen der Ableitung der Fügefolge untergliedert der Planer diese Struktur nun weiter. Der Planer weiß, dass er aus fertigungstechnischen Gründen mit dem zentralen Bauteil, an das die meisten anderen Bauteile angrenzen, beginnen muss, nämlich dem Hauptboden selbst. Die Querträger sind aber auf der Oberseite des Hauptbodens angebracht, während die Verstärkungen auf der Unterseite im Innern des Getriebetunnels liegen. Dies bedeutet für den Planer, dass er den Hauptboden während der Fertigung deshalb einmal umdrehen und in eine zweite Vorrichtung einlegen muss, was automatisch die erste zusätzliche ZB-Stufe verursacht. Aufgrund seines Erfahrungswissens weiß er außerdem, dass er die vielen Verbindungselemente, die aus Festigkeitsgründen zwischen den Querträgern und dem Hauptboden vorgesehen sind, innerhalb der geforderten

Taktzeit niemals in einer einzigen Station unterbringt. Daher fügt er einen weiteren Fertigungsschritt ein, indem er die vorderen und hinteren Querträger in zwei unterschiedlichen Vorrichtungen fertigt. Durch diese Überlegungen ist die Fügefolge entstanden, die im Vergleich zur ursprünglichen Produktstruktur des Konstrukteurs zwei zusätzliche ZB-Stufen enthält. Hat der Planer diesen Vorschlag durch den interdisziplinär zusammengesetzten Toleranzarbeitskreis, der zu diesem Zeitpunkt im Produktentwicklungsprozess die Hauptverantwortung trägt, absegnen lassen, so kann er die Fügefolge als Grundlage des Spann- und Fixierkonzepts festschreiben.

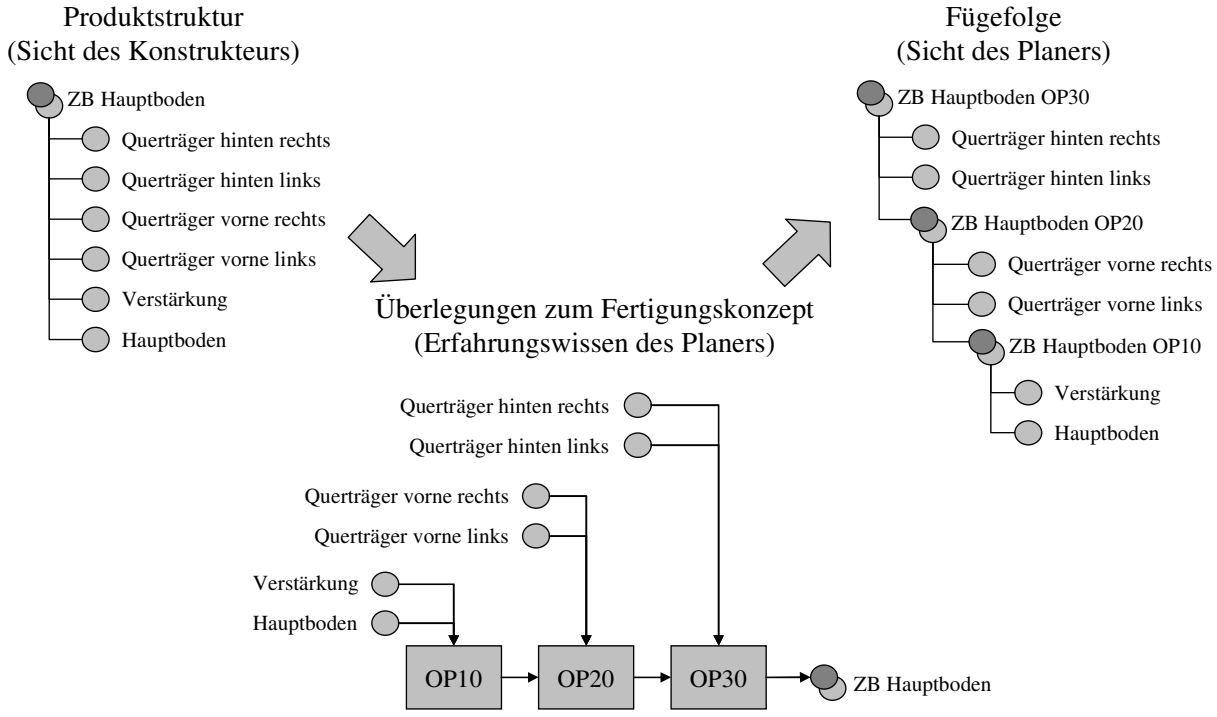


Abbildung 6-5: Von der Produktstruktur zur Fertigungsstruktur

Im Rahmen des hier vorgestellten Konzeptes besteht der nächste methodische Schritt dann im Einbringen dieser Fügefolge in die weiter oben diskutierten, neutralen Ebenen der Fertigungsstruktur. Das heißt, die im beschriebenen Beispiel real in der Produktion entstehenden ZB-Stufen werden den jeweiligen Aufbaustufen der Z-Bereiche zugeordnet.

Werden verschiedene Fahrzeugvarianten betrachtet, so entstehen zwangsläufig unterschiedliche Fügefolgen, da die jeweiligen Produktstrukturen unterschiedliche Sachnummern verwenden. Dadurch müssen zwar nach wie vor mehrere parallele Strukturen gepflegt werden, der Aufbau der Struktur im PDM-System erlaubt aber die Mehrfachverwendung bereits erzeugter

Strukturanteile durch die nun mögliche, verlinkte Arbeitsweise. Dies kann erneut am Beispiel des Hauptbodens verdeutlicht werden, siehe dazu Abbildung 6-6.

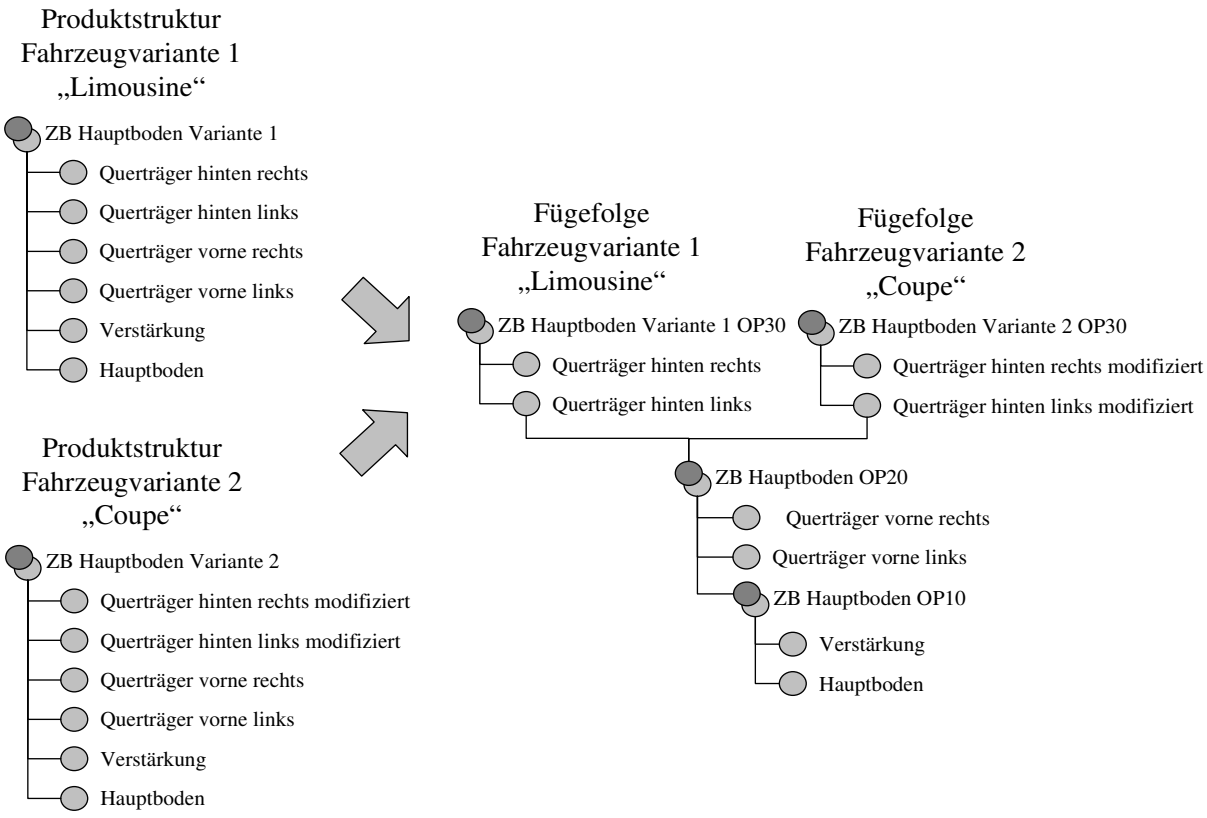


Abbildung 6-6: Fügefolgeableitung für verschiedene Fahrzeugvarianten mit identischen Strukturanteilen

Hier sind zwei Produktstrukturen des ZBs Hauptboden abgebildet, eine für die normale Limousine und eine für das Coupe. Da das Coupe nur als Zweisitzer mit einer verkleinerten Rückbank ausgelegt ist, werden die hinteren Querträger in der Karosserie modifiziert. Diese Veränderung bedingt in der Produktstruktur zwei unterschiedliche Sachnummern für die beiden Varianten. In der Fügefolge sind die beiden ersten Fertigungsschritte nach wie vor identisch, was bedeutet, dass diese Strukturanteile auch nur einmal aufgebaut werden müssen. Die Verzweigung in die varianzbehafteten ZB-Stufen erfolgt erst ab der Ebene, auf der die sich unterscheidenden Bauteile auftauchen. In die Z-Aufbaustufe „Hauptboden“ werden dann entsprechend beide ZB-Knoten eingehängt und mit der entsprechenden Codierung versehen. Über diese Codierung kann dann beim Expandieren der Struktur im PDM-System gesteuert werden, welche Varianten angezeigt werden sollen. Die resultierende Struktur ist in Abbildung 6-7 als Ausschnitt vereinfacht dargestellt.

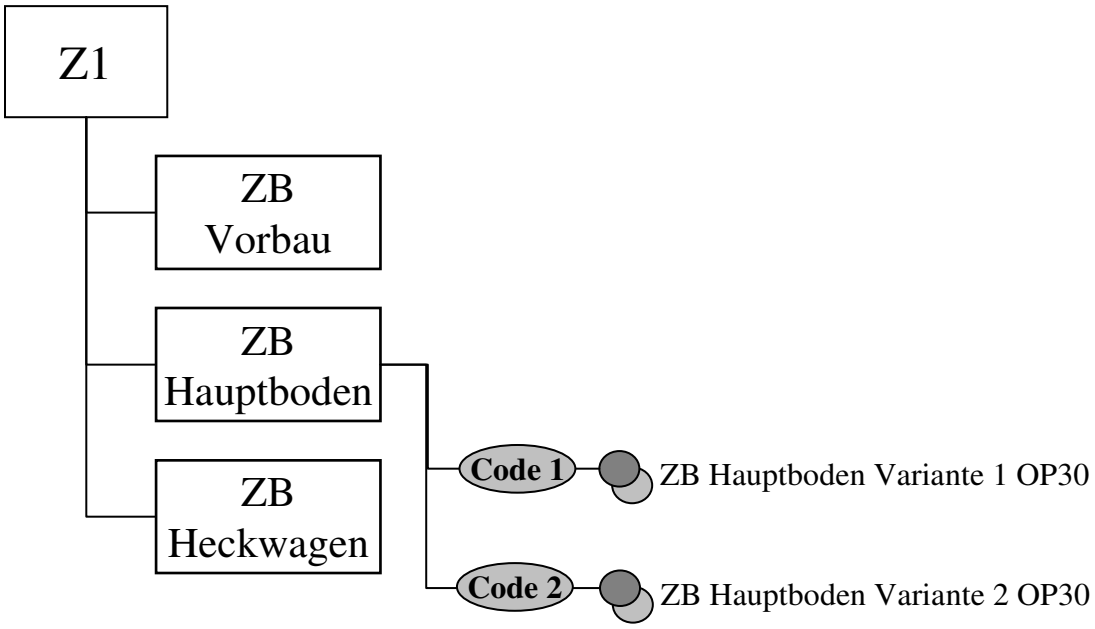


Abbildung 6-7: Einhängen der ZB-Stufen in die Fertigungsstruktur

Bis hierher umfasst das vorgestellte Konzept also hauptsächlich zwei neue, methodische Ansätze: Erstens die Dokumentation der Fügefolge als Struktur im PDM-System, zweitens die Einbettung der Fügefolge in variantenneutrale Gliederungsebenen aus der Anlagenstruktur des Karosserierohbaus, die das Abbilden von Fahrzeugvarianten innerhalb einer einzigen Struktur ermöglicht, wobei die Standard-Konfigurationsmöglichkeiten des PDM-Systems genutzt werden können. Auf diese Art und Weise wird die Fügefolge als grundlegende Information innerhalb der betrachteten Prozesskette nicht mehr wie bisher in Form eines Microsoft Office Dokuments abgebildet und weitergereicht, sondern als eigene Datenstruktur, die von jedem beliebigen Fachbereich aus aufgerufen werden kann. Verantwortlich für die Fügefolge ist innerhalb der Produktionsentwicklung der Fachbereich Rohbauplanung. Die ersten Abnehmer dieser Information sind aber die Vertreter des Bereichs Anlauffabrik, die auf der Basis der Fügefolge das Spann- und Fixierkonzept konstruieren. Da dieser Fachbereich über wesentlich mehr Erfahrung im Umgang mit dem CAD-System und dem zugehörigen PDM-System verfügt als die Planer, empfiehlt es sich, den Aufbau der beschriebenen Fertigungsstruktur in deren Hände zu geben. Dazu ist zwar eine enge Abstimmung zwischen Rohbauplanung und Anlauffabrik notwendig, was aber im Rahmen der neuen Organisationsform innerhalb des betrachteten Automobilkonzerns problemlos machbar ist, da die beiden Fachbereiche nun in der gleichen Organisationseinheit untergebracht sind. Unabhängig von der aktuell durchgeführten organisatorischen Änderung stellt die Anlauffabrik aber gerade in den frühen Phasen den idealen Verantwortlichen für die Dokumentation und Verwaltung der Ferti-

gungsstruktur dar, denn diese Abteilung verantwortet auch den Aufbau der realen Prototypen innerhalb der Prototyp-Fahrzeugphase (E- und B-Fahrzeuge). Da die in diesen Phasen gemachten Erfahrungen ohnehin in die späteren Produktionsprozesse mit einfließen sollen, bzw. aus Sicht der Produktionsplanung diese Phasen auch zur Überprüfung und Optimierung der entwickelten Produktionskonzepte dienen, wird auf einen regen Informationsaustausch zwischen den beteiligten Fachbereichen geachtet.

Werden die in diesem Abschnitt beschriebenen methodischen Ansätze in das Sichtenmodell der Prozesskette Karosserierohbau miteinbezogen, so ergibt sich die Darstellung in Abbildung 6-8, wobei die neu hinzugekommenen bzw. veränderten Anteile fett hervorgehoben sind.

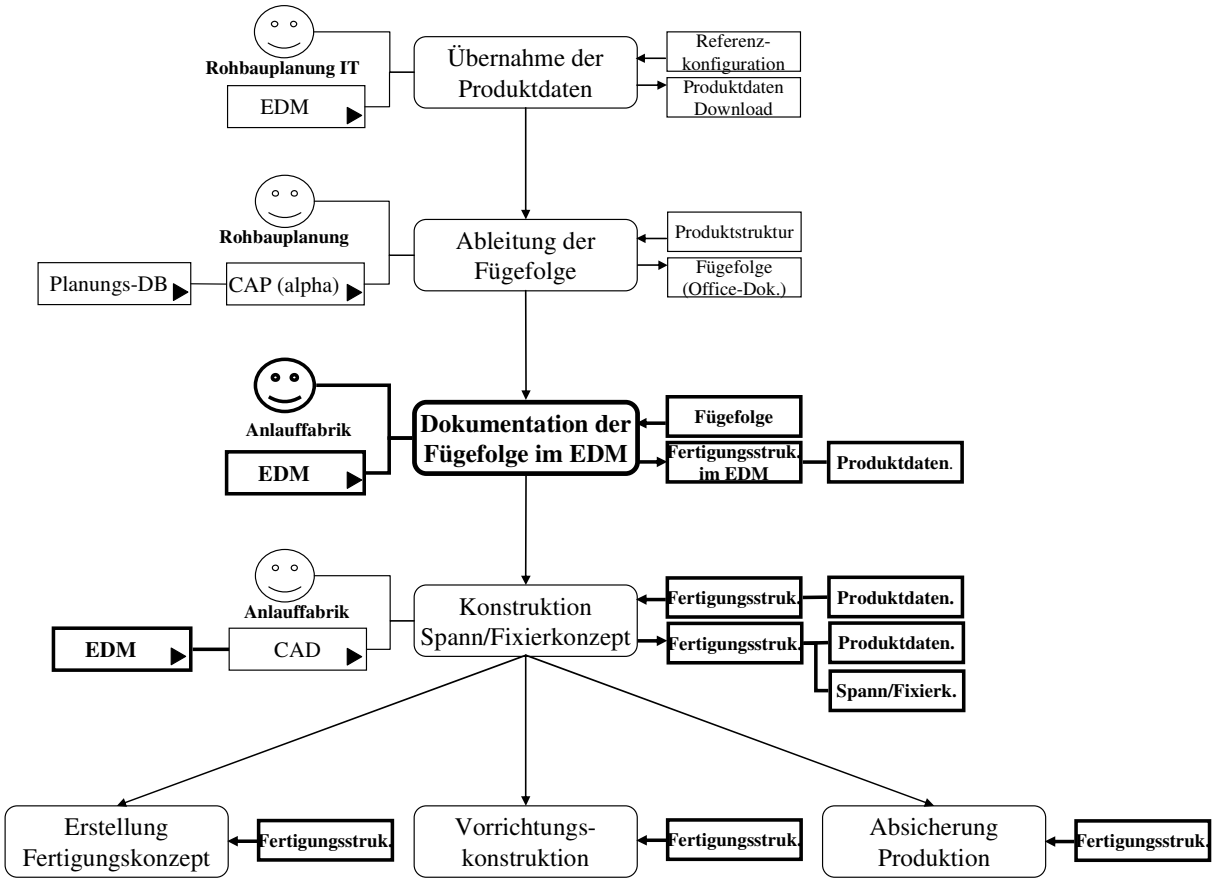


Abbildung 6-8: Veränderungen innerhalb der Prozesskette (fett hervorgehoben)

Als neue Funktion existiert jetzt unmittelbar nach der Ableitung der Fügefolge aus der Produktstruktur deren Dokumentation im PDM-System durch die Anlauffabrik. Dabei werden durch das hier beschriebene Konzept die Produktdaten aus der Fertigungsstruktur heraus referenziert, d.h. die Produktdaten werden mit der Information Fügefolge verknüpft. Das hier vorgestellte Konzept sieht deshalb weiterhin vor, das Spann- und Fixierkonzept nun innerhalb dieser Struktur zu konstruieren und zu dokumentieren, da die für diesen Prozessschritt not-

wendigen Eingangsinformationen komplett in der Fertigungsstruktur vorhanden sind. Das dafür notwendige Informationsmodell wird im folgenden Abschnitt beschrieben und deshalb an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt. Dieser Ansatz bringt aber zwei weitere Veränderungen in die Prozesskette mit ein. Erstens wird die Konstruktion des Spann- und Fixierkonzepts damit zu einem PDM-basierten Konstruktionsprozess, was in der IT-Sicht des entsprechenden Funktionsschritts kenntlich gemacht ist. Zweitens kann damit erreicht werden, dass die Fertigungsstruktur, sobald sie um das Spann- und Fixierkonzept ergänzt ist, als alleinige Eingangsinformation für sämtliche Folgeprozesse ausreicht. Das bedeutet, dass sich die jeweiligen Fachbereiche ihre Informationen nicht mehr aus verschiedenen Datentöpfen zusammensuchen müssen, sondern sie können auf die zentral abgelegte Fertigungsstruktur zugreifen, wobei es die Standardfunktionen des PDM-Systems erlauben, Konfiguration und Variantenmanagement innerhalb der Struktur zu betreiben. Die bisherigen Schwachstellen in Bezug auf Datenaktualität und Konsistenz können damit ausgeschaltet werden.

Bei der Einführung des methodischen Rahmenwerks für die Prozessanalyse wurde bereits darauf hingewiesen, dass über Erfolg oder Misserfolg von Prozessänderungen und -gestaltungen letzten Endes die Anwender aus den betroffenen Fachbereichen und Organisationseinheiten entscheiden. Für die Umsetzung der hier beschriebenen, organisatorischen und methodischen Änderungen innerhalb der Prozesskette Karosserierohbau wird deshalb, in Anlehnung an [Zink07] oder [EiKF08], ein phasenspezifisches Mitarbeiterbeteiligungskonzept angewendet. Aufbauend auf die umfassenden Interviews in allen beteiligten Fachbereichen setzt dieses Beteiligungskonzept auch auf die Einbeziehung von Pilotanwendern innerhalb der Implementierungs- und Testphase, die später als Multiplikatoren in ihren jeweiligen Fachbereichen fungieren sollen. Gleichzeitig sollen diese Pilotanwender auch innerhalb der Schulungen der Fachbereiche mitwirken, um der Skepsis und Ablehnung ihrer Kollegen bei der Konfrontation mit der neuen Methodik entgegenzuwirken und somit die Akzeptanz maßgeblich zu steigern.

Im Rahmen der in diesem Abschnitt beschriebenen Veränderungen des methodischen und organisatorischen Vorgehens innerhalb der betrachteten Prozesskette ist damit ein Konzept vorgestellt, wie die relevanten Informationen mit Hilfe einer neuen Struktur innerhalb des PDM-Systems integriert verwaltet und ausgetauscht werden können. Dabei werden den veränderten oder neuen Prozessschritten auch die passenden Verantwortlichkeiten zugeordnet.

Im nächsten Abschnitt wird nun detailliert beschrieben, wie die zur Umsetzung des Konzepts notwendigen Informationsmodelle aufgebaut sind.

6.2 Ansatz für die Informationsmodellierung

Im Kern dieses Abschnitts steht die Fragestellung, wie die in Abschnitt 6.1 genannten Informationen innerhalb der konzipierten Fertigungsstruktur modelliert werden sollen, um einerseits dem geforderten Integrationsgedanken gerecht zu werden, andererseits aber auch die jeweiligen Verantwortlichkeiten zu berücksichtigen, die für ihre Erstellung und Pflege zuständig sind. Hierfür wird zunächst mit dem Schalenmodell ein Konzept für die integrierte Abbildung der relevanten Informationen beschrieben. Daran anschließend wird gezeigt, wie dieses Modell innerhalb der in Abschnitt 6.1 vorgestellten Fertigungsstruktur umgesetzt werden soll. Nachfolgend wird die Abbildung von Fahrzeugvarianten in der entstehenden Struktur beschrieben, bevor schließlich zum Ende des Abschnitts 6.2 auf die Berücksichtigung von bauteilübergreifenden Informationen von der Produktentwicklungsseite eingegangen wird.

6.2.1 Das Schalenmodell zur Informationsmodellierung

Ausgangslage für die Formulierung eines Informationsmodells für die betrachtete Prozessschnittstelle ist die These, dass Informationen, die von unterschiedlichen Fachbereichen verantwortet werden, weitestgehend voneinander entkoppelt sein sollten. Der Begriff „entkoppelt“ wird dabei so verstanden, dass bestimmte Informationen zwar aufeinander referenzieren, also eine Relation zwischen ihnen besteht, die jeweiligen Informationsobjekte aber nicht starr miteinander verbunden sind. Gestützt werden kann diese Annahme durch die Beobachtung, dass eine starre Verkopplung auf Kosten der Flexibilität geht, und diese wiederum bedeutet Anpassungsfähigkeit. Allein diese sorgt dafür, dass die Entwicklungsprozesse in den Fahrzeugprojekten lebensfähig sind. Gerade im Hinblick auf das hohe Aufkommen von Bauteiländerungen besteht sonst immer die Gefahr, dass viele der Folgeprozesse nur noch auf diese Änderungen reagieren, ohne jemals einen abgeschlossenen Datenstand erstellen zu können.

Um dieses oft beobachtete Problem zu vermeiden, sollen die Relationen zwischen den abzubildenden Informationsobjekten eine Auflösung, etwa mit Hilfe einer Konfiguration oder Variantensteuerung, erlauben. Besonders hilfreich ist ein solcher Ansatz für den Umgang mit den Informationen, die genau an der Schnittstelle zwischen den beschriebenen Teilprozessen

der Produkt- und Produktionsentwicklung liegen, da diese Anteile aus beiden Fachbereichen beinhalten und sich die Verantwortung für diese Informationen im Laufe der Entwicklungsprozesse ändern kann. Im Rahmen der Analyse der Ist-Prozesse wurde beschrieben, dass einige wichtige Informationen auf der Grundlage der geometrischen Gestalt des Produktes entstehen. Dies sind in erster Linie die Verbindungselemente sowie das Spann- und Fixierkonzept, die genau auf der erwähnten Prozessschnittstelle liegen. Beide Arten von Informationen wurden bisher innerhalb der Produktstruktur in den vom Konstrukteur vorgesehenen Zusammenbaustufen abgebildet, mit dem Unterschied, dass das Spann- und Fixierkonzept erst nach der Extraktion der Produktdaten aus dem PDM-System hinzugefügt wurde während die Verbindungselemente innerhalb des PDM-Systems angelegt wurden. Diese Zusammenbauknoten werden aber vom Bauteilkonstrukteur verantwortet und freigeben. Aus Sicht der Nachfolgeprozesse muss jede Änderung über den betreffenden Konstruktionsbereich angefragt werden, beispielsweise, wenn ein Attribut in einem Verbindungselement verändert werden soll oder eine Spannstelle verschoben werden muss. Die Berücksichtigung dieser Änderungswünsche dauert dabei entsprechend lange, da jedes Mal der komplette Freigabeprozess erneut durchlaufen wird. Dieses Beispiel verdeutlicht ebenfalls die Nachteile, wenn Informationen zu starr miteinander verkoppelt sind, in diesem Fall als Resultat der Dokumentation innerhalb der jeweiligen Sachnummer der Produktstruktur.

Um den Umgang mit den genannten Informationen effizienter gestalten zu können, wird innerhalb des im Rahmen dieser Arbeit beschriebenen Konzeptes daher das sogenannte Schalenmodell eingeführt. Der Begriff Schalenmodell wird in der wissenschaftlichen Welt oft genutzt für die Beschreibung des Aufbaus eines Objektes aus verschiedenen Schichten, die um einen gemeinsamen Kern angeordnet sind. Verwendet wird er beispielsweise in der Atomphysik zur Erläuterung des Bohr'schen Atommodells oder in der Astronomie, um die innere Struktur von Sternen zu erklären. Im Kontext der vorliegenden Arbeit soll das Schalenmodell verdeutlichen, wie bestimmte Informationen entlang der Prozesskette Karosserierohbau Schicht um Schicht auf einen gemeinsamen Kern, die Produktbeschreibung, aufgetragen werden. Jede Schale repräsentiert eine eigene Sicht innerhalb des Gesamtprozesses und verfügt daher über ein eigenes Informationsmodell. Die Übergänge von Schale zu Schale oder von Schale zu Kern, die durch definierte Relationen gebildet werden, folgen bestimmten Regeln. Da die einzelnen Schalen von unterschiedlichen Fachbereichen verwendet und befüllt werden, ist jeder Schale eine eigene Verantwortlichkeit zugeordnet.

Die Arbeitsweise mit diesem Modell versteht sich so, dass von einer Schale aus betrachtet, alle darunter und darüber liegenden Informationen gesehen und genutzt werden. Auf die Informationen außerhalb der eigenen Schale besteht aber nur ein lesender Zugriff, während in der jeweils eigenen Schale auch ein schreibender Zugriff auf die dort platzierten Daten erfolgen kann. Die Tatsache, dass die Produktgeometrie im Zentrum des Schalenmodells liegt, soll keineswegs bedeuten, dass mit dem hier vorgestellten Konzept ein produktzentrischer Ansatz verfolgt wird. Im Gegenteil, zum Ende dieses Abschnitts hin wird gezeigt werden, dass das Schalenmodell gerade die immer öfter geforderte produktionsgetriebene Produktgestaltung sehr gut zu unterstützen vermag. In Abbildung 6-9 ist das Schalenmodell dargestellt, dessen Aufbau im Folgenden näher erklärt wird.

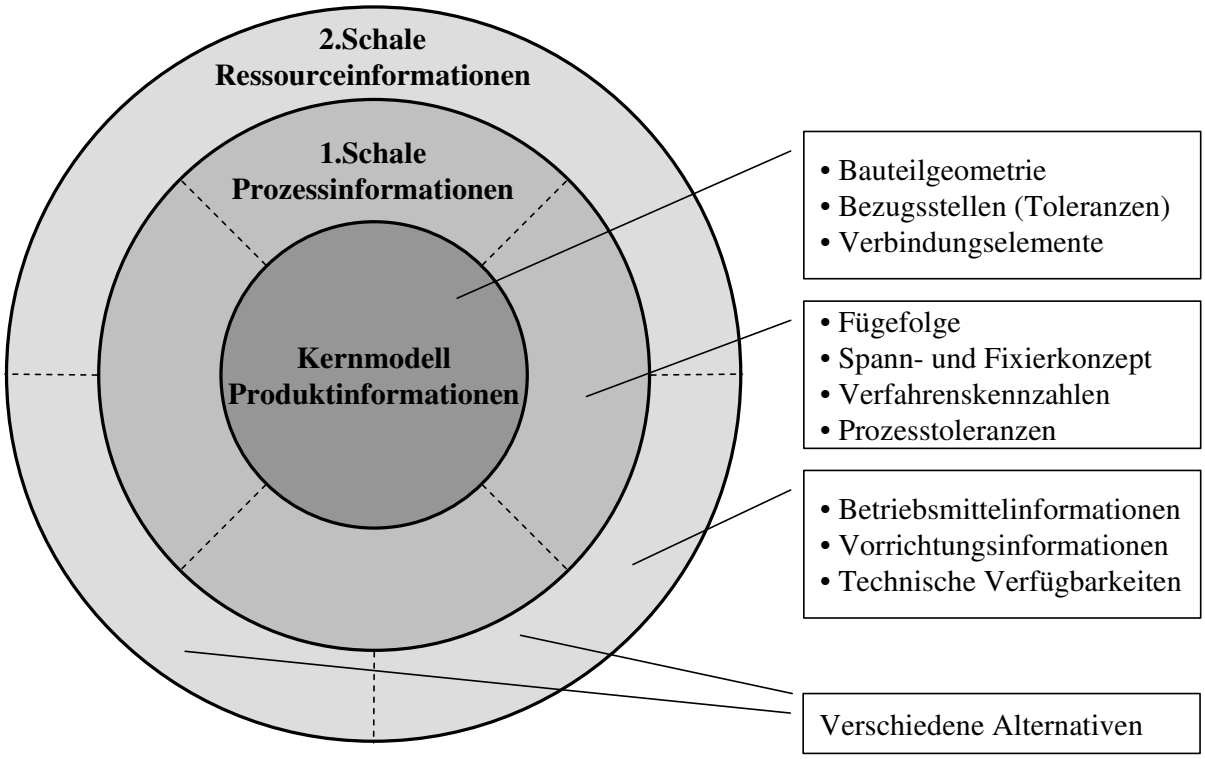


Abbildung 6-9: Schalenmodell als Grundlage für die Informationsmodellierung

Den Kern bilden Produktinformationen, so wie sie von der Bauteilkonstruktion dokumentiert werden. Diese umfassen die geometrische Ausgestaltung der Blechbauteile inklusive der zugehörigen bauteilbeschreibenden Informationen wie Versionen, Freigabezustände, Materialkennwerte und Ähnliches. Zusätzlich zur Produktgeometrie sind die Bezugsstellen aus dem Toleranzkonzept enthalten sowie die Verbindungselemente. An dieser Stelle sei wiederum verwiesen auf Tabelle 1 im vorangegangenen Abschnitt, wo erkennbar ist, dass die Verbindungselemente sowohl von der Produkt- als auch von der Produktionsentwicklung verantwor-

tet werden. Das bedeutet, dass in den Produktinformationen des Kerns zunächst nur der Teil der Verbindungselemente modelliert wird, der der Obhut des Konstrukteurs unterliegt. Hier reicht es aus, sich auf die Positionierung der Verbindungselemente auf der Bauteilfläche sowie die groben Prozessparameter zu beschränken. Das Hinzufügen weiterer Informationen ist dem Planer überlassen, dem auf diese Weise mehr Spielraum und mehr Flexibilität zugestanden wird. Gleichzeitig hat dieser das entsprechende Fachwissen, um die notwendigen Verfahrensfestlegungen sinnvoll auszugestalten. Dies kann am Beispiel eines Fügeprozesses für eine mechanische Bauteilverbindung verdeutlicht werden. Aufgrund der geforderten Festigkeit der Verbindung kann der Konstrukteur entscheiden, ob mit dem Verfahren Durchsetzfügen oder Nieten gearbeitet werden soll. Muss die Verbindung mit Nieten realisiert werden, so kann der Planer dann anschließend entscheiden, ob er die Verbindung mit Blindnieten, mit Vollnieten oder mit Hohlnieten umsetzen will, die jeweils eigene Verfahrensparameter aufweisen und aus Produktionsgesichtspunkten jeweils spezielle Vor- und Nachteile mitbringen. So bleibt es dem Planer überlassen zu entscheiden, welches Verfahren am ehesten in sein Fertigungskonzept passt.

Von dieser Überlegung ausgehend wäre es mit dem Schalenmodell auch möglich, den Prozess der Verbindungsdokumentation noch visionärer zu gestalten. Dabei müsste der Konstrukteur dann nur festlegen, an welcher Stelle die Bauteilverbindung angebracht werden soll und welche Verbindungscharakteristiken sie aufzuweisen hat. Diese können mechanischer Natur sein, wie etwa eine geforderte Mindestkraft der Verbindungsstelle, oder aber sonstige Eigenschaften wie Dichtigkeit oder ähnliches beinhalten. Die Eingangsinformation für den Planer wäre also eine Bauteilpaarung zweier Bleche, sowie die räumliche Koordinate des darauf liegenden Verbindungselementes, inklusive des Normalenvektors sowie der geforderten Kraft inklusive der Beanspruchungsart. Auf dieser Grundlage wird dann durch den Planer die konkrete Ausprägung der Bauteilverbindung angelegt, inklusive der konkreten Verfahrensparameter. Entscheidet sich dieser für das Verfahren Widerstandspunktschweißen, so fügt er den Elektrodendurchmesser, die Stromstärke und die nötige Haltezeit hinzu. Will er die Verbindung mittels Laserschweißen herstellen, so definiert er die notwendige Geometrie der Lasernaht. Verglichen mit dem weiter oben beschriebenen Vorgehen blieben dem Planer hier noch viel mehr Freiräume, um sein Fertigungskonzept zu realisieren. Im Kontrast zu den aktuellen Prozessen bei der Gestaltung der Bauteilverbindung wäre das zwar eine ganz andere Arbeitsweise, dennoch erscheint sie aus Sicht der Produktionsentwicklung durchaus als sinnvoll und birgt mög-

licherweise die Chance, die betrachtete Prozesskette Karosserierohbau noch flexibler zu machen.

Die erste Schale, die über den inneren Kern, also die Produktsicht, gestülpt wird, beinhaltet die Prozessinformationen. Dies zielt zunächst auf die bereits im vorangegangenen Abschnitt beschriebene Abbildung der Fügefolge ab, wofür spezielle Informationsobjekte, die so genannten Einzelteilbündler, eingeführt werden. Jedes dieser Bündelelemente symbolisiert eine Bauteilpaarung aus zwei oder mehr Bauteilen, die innerhalb der realen Produktion entstehen sollen. Die entsprechenden Produktdaten werden den Einzelteilbündlern zugeordnet, inklusive der notwendigen, bauteilübergreifenden Informationen. Mit Hilfe der Bündelelemente wird dann die Fügefolge abgebildet, nachdem sie festgelegt wurde. Jeder Knoten symbolisiert also einen fertigungsbedingten Zusammenbau. Ist die Fügefolge dokumentiert, so kann im Anschluss daran das Spann- und Fixierkonzept als nächste wichtige Prozessinformation innerhalb dieser Bündelelemente angelegt werden. Hierfür dienen die zugeordneten Produktdaten sowie die zugehörigen Bezugsstellen als Grundlage. Auf die bereits dokumentierten Verbindungselemente kann hier ebenfalls zugegriffen werden, wobei innerhalb dieser Schale dann die bereits angesprochenen Zusatzinformationen bzw. Verfahrensausprägungen hinterlegt werden können. Diese beinhalten spezifische Verfahrensparameter, sowie davon abhängige Prozesstoleranzen, die ihrerseits von den ausgewählten Verfahren abhängig sind.

Darauf aufbauend erfolgt die Dokumentation der Ressource-Informationen in der nächsten, der zweiten Schale. In ihr werden die betriebsmittelspezifischen Daten abgelegt, die auf das Spann- und Fixierkonzept oder bestimmte Verfahrensparameter aufsetzen. Auch dafür wird wieder ein eigenes Element geschaffen, das als Bündelelement zur Vorrichtungsbeschreibung bezeichnet wird, ähnlich dem Mechanismus in der 1.Schale. In dieser Schale könnten beispielsweise Informationen über verwendbare Schweißzangen hinterlegt werden oder Hinweise auf eine zu verwendende, spezielle Spanntechnik innerhalb der Vorrichtung. Gleichzeitig dient diese äußere Schale als Schnittstelle zum Prozess der Vorrichtungskonstruktion, d.h. sie bündelt die Produkt- und Prozessinformationen mit den Geometrien der Produktionsanlage, sobald diese fertig konstruiert ist.

Die einzelnen Schalen dieses Modells erlauben auch die Einbeziehung von verschiedenen Alternativen, in Abbildung 6-9 kenntlich gemacht durch die gestrichelt eingezeichneten Segmente. So wäre es zum Beispiel möglich, zu einer bestimmten Bauteilpaarung Prozessparameter für verschiedene Fertigungsverfahren in der betreffenden Schale zu hinterlegen. Es

könnte ein Spannkonzept für das Widerstandspunktschweißen und ein zweites für das Laserschweißen dokumentiert werden. In der äußeren Schale, der Vorrichtungsbeschreibung, können alternative Konzepte für die Betriebsmittel abgebildet werden, analog zur Dokumentation der darunter liegenden Prozessinformationen. Damit kann in der Phase der Produktionsentwicklung ermöglicht werden, verschiedene Alternativen für die gleichen Produktdaten innerhalb einer Struktur abzubilden und miteinander vergleichen zu können. Gleichzeitig kann durch die Einbeziehung von wissensbasierten Ansätzen die Bewertung der einzelnen Alternativen viel effizienter gestaltet werden. Denkbar wäre etwa die Nutzung von Formelwerken oder intelligenten Abfrage-Routinen in den jeweiligen Bündelelementen der einzelnen Schalen. So könnte beispielsweise das Bündelelement „Prozess“ die Tauglichkeit einer Bauteilpaarung für ein bestimmtes Fertigungsverfahren überprüfen, in dem verschiedene Attribute der Bauteile mit Verfahrenscharakteristiken gegengeprüft werden. Auf die gleiche Art und Weise wäre auch die Einbeziehung der Template-Technologie innerhalb der Schalenelemente möglich, wobei der Produktionsentwickler bei der Befüllung seiner Elemente durch geeignete Startmodelle unterstützt würde.

Die einzelnen Schalen des beschriebenen Modells sind nicht starr miteinander verkoppelt, sondern referenzieren aufeinander. Im vorangegangenen Abschnitt ist bereits begründet worden, warum die Fertigungsstruktur innerhalb des PDM-Systems der Produktentwicklung aufgebaut werden soll. Berücksichtigt man diese Systemfestlegung für das Schalenmodell, so bedeutet das, dass zwischen den einzelnen Schalen und den sie repräsentierenden Bündelelementen Relationen angebracht sind, die sich über Konfigurationsmechanismen dynamisch steuern lassen. Damit kann die Arbeit der beteiligten Fachbereiche entscheidend unterstützt werden. Es ist zum Beispiel möglich, die von der Anwenderseite so oft geforderten Alt-/Neu-Vergleiche durchzuführen. So kann zu einem bereits angelegten Spann- und Fixierkonzept ein veränderter Produktdatenstand angeladen werden, indem man die Konfiguration entsprechend verändert. Damit wird es für die Konstrukteure des Spann- und Fixierkonzepts viel leichter möglich, die durch die Bauteilkonstruktion eingebrachten Änderungen der Produktdaten nachzuvollziehen und ihr Spannkonzept entsprechend anzupassen. Durch die Konfiguration kann der Prozess auch viel früher gestartet werden, da nicht mehr auf die jeweilige Bauteilfreigabe gewartet werden muss. Durch einfaches Umschalten der Konfiguration von „freigegeben“ auf „in Arbeit“ kann sich der Prozessplaner, der sich um die Befüllung der Schale Prozessinformation kümmert, beispielsweise auch die aktuellsten Produktdatenstände des Bauteilkonstrukteurs anzeigen lassen, um das Ausmaß der möglicherweise bevorstehenden

Änderungen besser abschätzen zu können. Bislang musste er an dieser Stelle immer auf den Datenabzug der freigegebenen Daten aus dem PDM-System warten.

6.2.2 Implementierung des Schalenmodells in der Fertigungsstruktur

In Abbildung 6-10 ist die Implementierung des Schalenmodells innerhalb der im Abschnitt 6.1 beschriebenen Fertigungsstruktur gezeigt. Dabei werden die jeweils obersten Schichten des Schalenmodells, die Vorrichtungsknoten, in die variantenneutralen Aufbaustufen der Fertigungsstruktur eingehängt. Das abgebildete Beispiel zeigt, dass im betrachteten Werk der Anlagenteil, in dem der Hauptboden der Fahrzeugkarosserie gefertigt wird, aus insgesamt drei Vorrichtungen besteht. In den jeweils darunter eingehängten Bauteilbündelelementen sind die zu den Vorrichtungen gehörenden Spann- und Fixierkonzepte dokumentiert, die ihrerseits wiederum auf die referenzierten Produktdaten zugreifen.

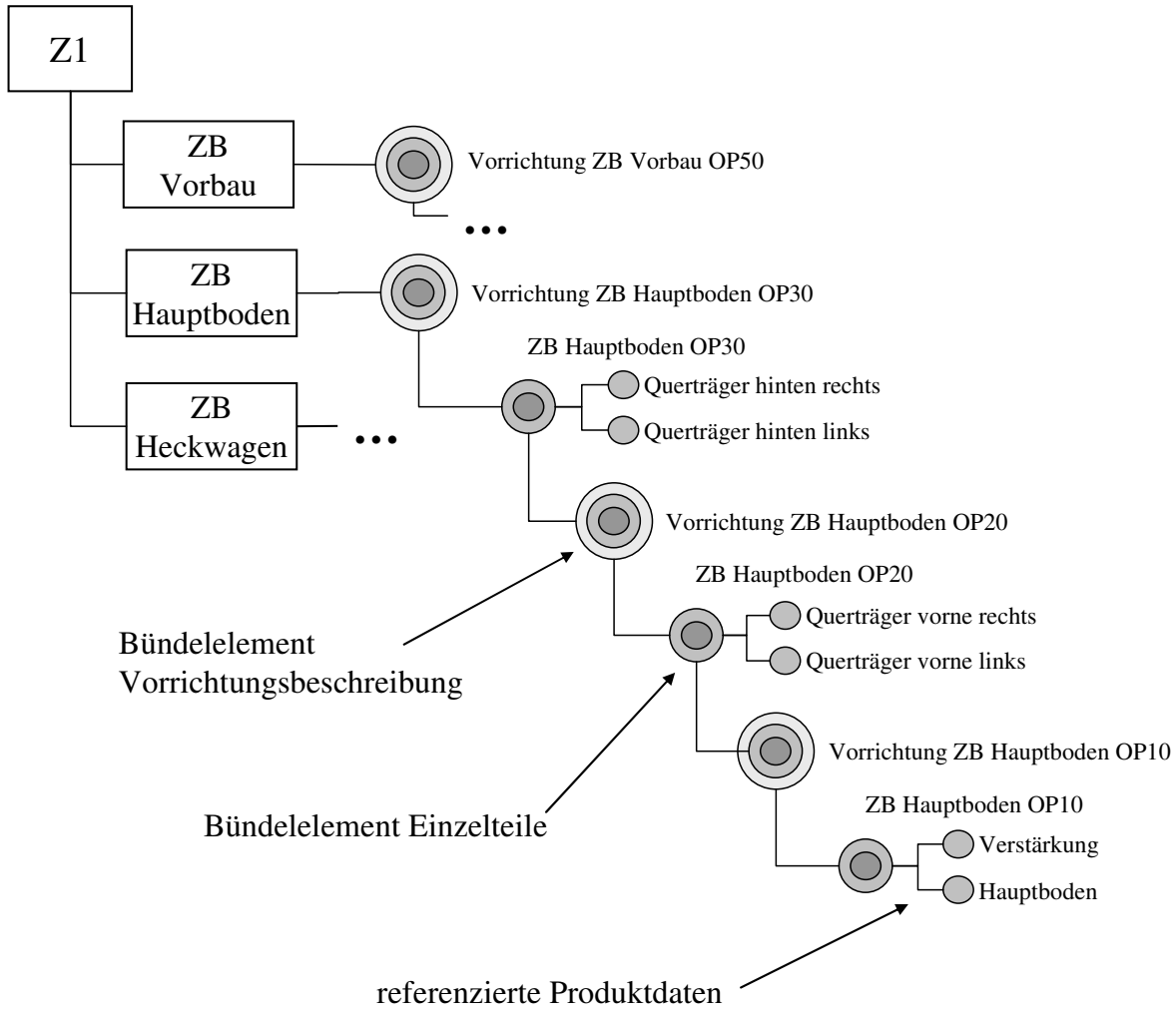


Abbildung 6-10: Implementierung des Schalenmodells in der Fertigungsstruktur

In der entstehenden Struktur wird deutlich, dass im Standardfall zwischen den Bündelelementen der Einzelteile und denen der Vorrichtungsbeschreibung immer eine 1:1 Zuordnung besteht, da für jeden zu fertigenden Zusammenbau auch eine entsprechende Vorrichtung nötig ist. Die Trennung von beiden Elementen ist aber dennoch sinnvoll, da den jeweiligen Bündelelementen unterschiedliche Verantwortlichkeiten zugeordnet sind.

Betrachtet man nun einen größeren Ausschnitt aus der Fertigungsstruktur, siehe Abbildung 6-11, so wird ersichtlich, dass es auch Aufbaustufen gibt, in die keine Zusammenbaustruktur mit referenzierten Produktdaten direkt eingehängt ist.

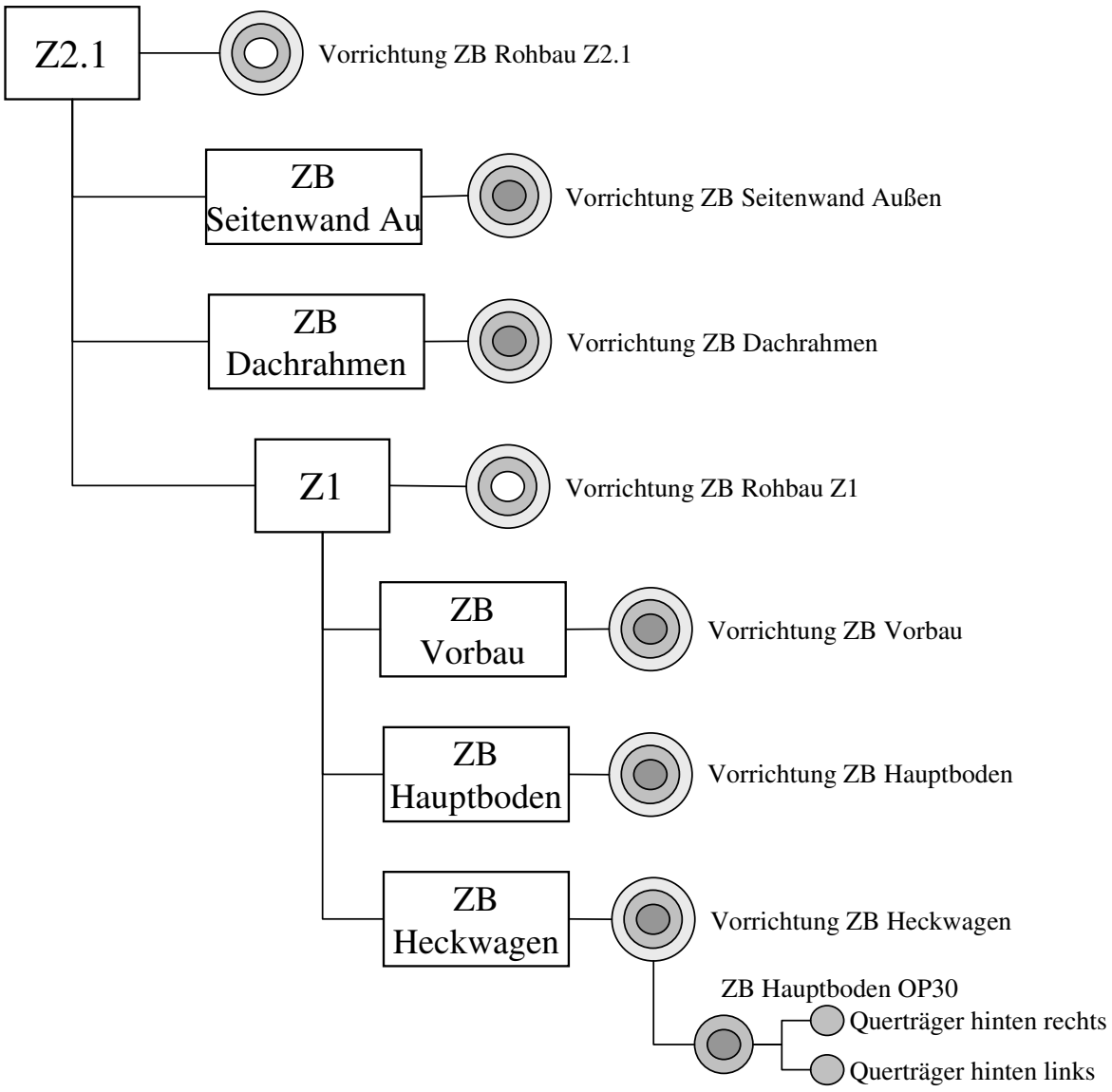


Abbildung 6-11: Beschreibung der Vorrichtungen innerhalb der Aufbaustufen

Dabei handelt es sich um die Aufbaustufen, in denen die Zusammenbauten aus verschiedenen, untergeordneten Anlagenteilen zusammenlaufen und miteinander verbunden werden, ohne

dass zusätzliche Bauteile eingelegt werden. In diesen Aufbaustufen werden zwar auch Vorrichtungen und Prozessinformationen dokumentiert, diese können aber die Spann- und Fixierkonzept-Informationen aus den darunterliegenden Anlageteilen verwenden. Dies lässt sich erneut am Beispiel des Spann- und Fixierkonzepts verdeutlichen. Dadurch, dass keinerlei zusätzliche Geometrie in Form von weiteren Bauteilen zugefügt wird, gibt es auch keine zusätzlichen Spannstellen, die berücksichtigt werden müssten. Es reicht also, auf die bereits dokumentierten Informationen aus den strukturabwärts vorhandenen Elementen zuzugreifen, in denen die Bauteile und die zu ihnen gehörenden Spannstellen abgelegt sind. Diese sind in den übergeordneten Ebenen der Fertigungsstruktur ebenfalls sichtbar, und können innerhalb der aktuellen Vorrichtung problemlos verwendet werden. Das bedeutet, dass eine einmal dokumentierte Spannstelle strukturaufwärts durchaus mehrfach zur Konstruktion der jeweiligen Vorrichtungen verwendet werden kann. Das Gleiche gilt für die Berücksichtigung von Verbindungselementen in der Fertigungsstruktur, die ebenfalls nur auf den Ebenen in die Struktur eingebracht werden, in denen Bauteile hinzukommen.

6.2.3 Darstellung von Varianten in der Fertigungsstruktur

Einen weiteren wesentlichen Unterschied im Vergleich zur bisherigen Arbeitsweise stellt die Darstellung von Varianten in der Fertigungsstruktur dar. Hier gibt es einerseits die stetig wachsende Zahl von Fahrzeugvarianten, die berücksichtigt werden müssen. Andererseits existieren aber auch Varianten innerhalb der Fertigungsprozesse sowie im Hinblick auf die darin verwendeten Ressourcen.

Die Fertigungsstruktur unterstützt über die Auflösungsmechanismen des PDM-Systems zunächst die Berücksichtigung von verschiedenen Fahrzeugvarianten in den Tätigkeiten der Produktionsentwicklung. Dabei kann dreistufig vorgegangen werden, was zum besseren Verständnis in Abbildung 6-12 dargestellt ist. In Stufe 1 können, von der Prozessschale aus gesehen, verschiedene Produktvarianten angeladen werden. Der zuständige Planer kann also bei der Konstruktion des Spann- und Fixierkonzepts varianzbehaftete Zusammenbaustufen berücksichtigen, um relativ frühzeitig abschätzen zu können, ob er diese in einer Vorrichtung fertigen kann, oder ob die Bauteile so unterschiedlich sind, dass er verschiedene Vorrichtungen beauftragen muss. In der Abbildung ist dies ganz unten dargestellt, innerhalb des Hauptbodens der Baureihe „Z“, wo zwei verschiedene Ausprägungen der hinteren Querträger jeweils über die Codesteuerung innerhalb der Bündelelemente für diesen Zusammenbau ange-

zeigt werden können. In der zweiten Stufe können, ausgehend von der äußeren Schale, der Ressourcensicht, verschiedene Bauteilbündelelemente, also verschiedene Prozesssichten, angeladen werden. Auf diese Weise können bereits auskonstruierte Spann- und Fixierkonzepte zusammengefahren werden, etwa wenn beschlossen wird, verschiedene Varianten doch innerhalb der Serienproduktion in der gleichen Vorrichtung zu fertigen, obwohl in den Prototypphasen unterschiedliche Prototypvorrichtungen verwendet wurden. Dies ist in der Abbildung in der Mitte gezeigt, bei Baureihe „Y“, wo das Bündelelement der Vorrichtungsbeschreibung des Zusammenbaues Hauptboden auf zwei verschieden codierte Prozessschalen referenziert. Diese stellen die gleichen Fertigungsstufen für unterschiedliche Varianten dar, im Beispiel für die Limousine und das Coupe, mit jeweils eigenen Prozessinformationen.

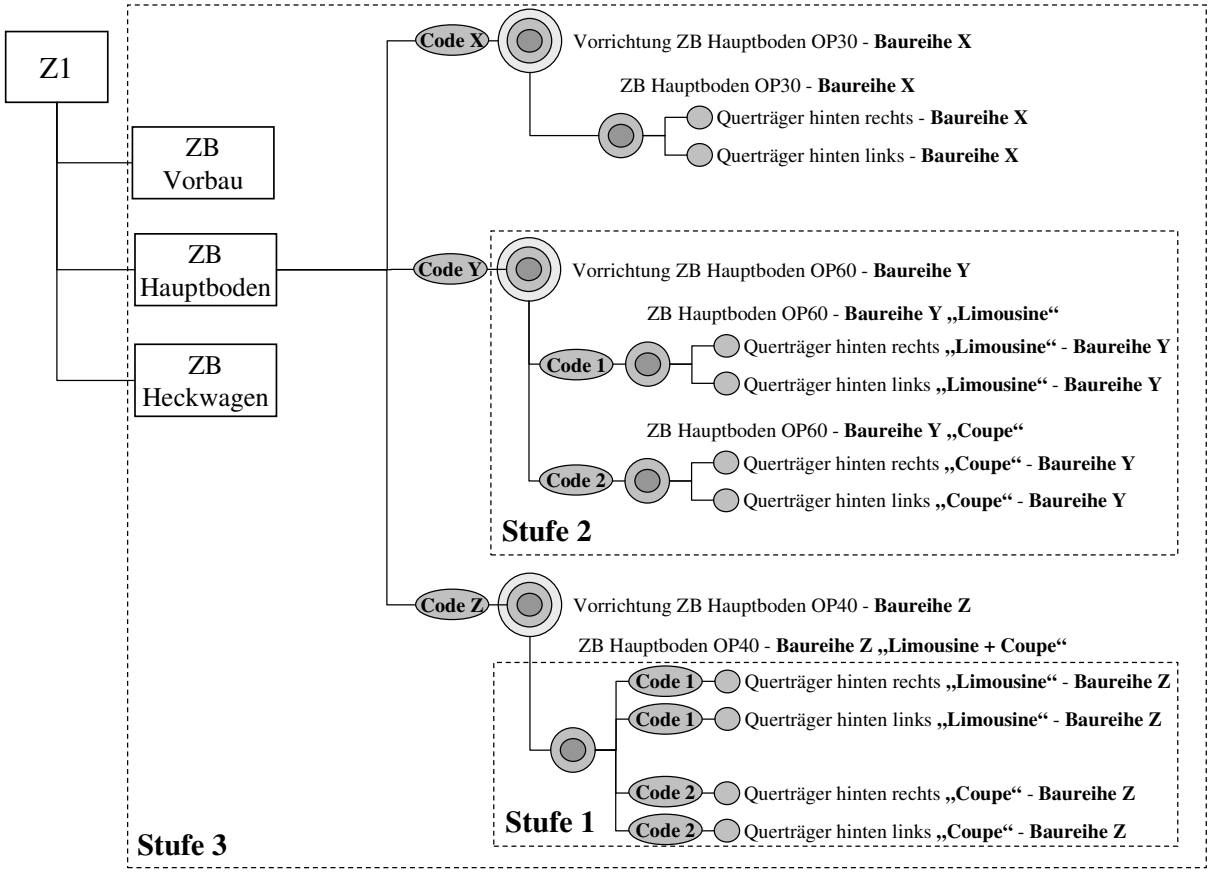


Abbildung 6-12: Drei Stufen zur Einbeziehung von Fahrzeugvarianten in der Fertigungsstruktur

In der dritten Stufe ist es möglich, auf die verschiedenen Ressourceschalen von unterschiedlichen Baureihen oder Derivaten zu referenzieren. Auf diese Weise kann eine baureihenflexible Vorrichtung konstruiert werden, für deren Gestaltung mehrere Produktdatensätze und die zugehörigen Spann- und Fixierkonzepte berücksichtigt werden müssen. In Abbildung 6-12 ist dies an Hand des großen, gestrichelten Kastens gezeigt, im dem die Baureihen „X“, „Y“ und

„Z“ gebündelt werden. In diesem Fall sollen die Hauptböden der drei Baureihen alle innerhalb der gleichen Aufbaustufe „Hauptboden“ gefertigt werden, die einem Anlagenteil in einem konkreten Werk entspricht.

Prozessvarianten werden, wie im vorangegangenen Abschnitt beschrieben, über verschiedene Ausprägungen von Bündelelementen berücksichtigt. Diese bauen dann auf die gleichen Produktdaten auf, stellen aber jeweils unterschiedliche Alternativen für die Fertigung der betrachteten Bauteilpaarung dar. Diese Prozessvarianten könnten im Extremfall sogar von den einzelnen Fahrzeugvarianten abhängig sein, was innerhalb der Fertigungsstruktur ohne Probleme abgebildet werden könnte. Es ist allerdings schwer vorstellbar, dass innerhalb einer einzigen Produktionslinie verschiedene Fertigungsverfahren für zwei Varianten des gleichen Fahrzeuges realisiert werden.

Was sich unterscheiden kann, ist die Strukturierung der Fertigungsbereiche verschiedener Werke, in denen das gleiche Fahrzeug gefertigt wird. Diese können sich stark unterscheiden, um den jeweiligen regionalen Gegebenheiten Rechnung zu tragen. Eine der im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Baureihen wird z.B. an zwei Standorten in Deutschland, sowie an einem weiteren Standort in Südafrika hergestellt, wobei sich alle drei Rohbauanlagen voneinander unterscheiden.

6.2.4 Berücksichtigung von bauteilübergreifenden Produktentwicklungsdaten

Innerhalb der Beschreibung der Ist-Prozesse wurde bereits mehrfach darauf hingewiesen, dass speziell den bauteilübergreifenden Daten auf der Seite der Produktentwicklung eine besondere Rolle zukommt. Dies bezieht sich in erster Linie auf die Verbindungselemente sowie die Bezugsstellen des Toleranzkonzepts, denn deren Informationen beziehen sich immer auf den Kontext einer Bauteilpaarung. Es hat sich gezeigt, dass die Dokumentation dieser Informationen innerhalb der Produktstruktur unzureichend ist, um die darauf zugreifenden Folgeprozesse zu unterstützen. Beide Informationen werden auf der Ebene der vom Konstrukteur definierten Zusammenbaustufen abgelegt. Da für die Folgeprozesse aber die davon abweichende Fügefolge relevant ist, die viel mehr Zusammenbaustufen enthält, müssen Verbindungselemente und Bezugsstellen aus ihrem ursprünglichen Kontext herausgelöst und neu verteilt werden, was bislang nur innerhalb der CAP-Systeme möglich ist. Dabei geht allerdings der Zusam-

menhang zum originalen Produktdatensatz verloren, was zu den mehrfach erwähnten Problemen bzgl. Aktualität und Konsistenz der Information führt.

Im Rahmen gemeinsamer Forschungsarbeiten, siehe etwa [ViBu03] oder [VBDW04], wurde das Konzept der „Generic Assembly Objects“ vorgestellt, das eine Möglichkeit beschreibt, wie diese Informationen im Rahmen der Produktentwicklung besser dokumentiert werden können. In [Viel05] wird mit Hilfe dieses Konzepts eine Methode beschrieben, wie innerhalb der Produktentwicklung eine zusammenbauorientierte Arbeitsweise realisiert werden kann, wobei gleichzeitig schon Aspekte der Informationsbereitstellung für Folgeprozesse, wie etwa die Produktionsgestaltung, berücksichtigt werden. In diesem Konzept werden die bauteilübergreifenden Informationen im Sinne der „Generic Assembly Objects“ als eigenständige Objekte modelliert, die parallel zur geometrischen Beschreibung der Produktgeometrien innerhalb der Produktstruktur des PDM-Systems angelegt und verwaltet werden. Die ursprünglich hierarchische Produktstruktur, so wie sie heute als Grundlage in der Bauteilkonstruktion angewendet wird, ist im Konzept von [Viel05] aufgelöst in eine Arbeitsstruktur für den Konstrukteur, eine DMU-Struktur für die Validierung der Produktdaten sowie eine flache Struktur zur Dokumentation der Zusammenbauinformationen. Die flache Zusammenbaustruktur ist der ideale Informationslieferant für die Folgeprozesse. Die Berücksichtigung dieses Produktstrukturierungskonzepts für Zusammenbauinformationen wird auch bei der Implementierung der Fertigungsstruktur herangezogen, was exemplarisch in Abbildung 6-13 dargestellt ist.

Auf der linken Seite ist die Zusammenbaustruktur, die das Ergebnis der Produktentwicklung darstellt, inklusive der Verbindungselemente abgebildet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind in diesem Beispiel nur vier Schweißpunkte dargestellt, die parallel zu den Bauteilen im PDM System angelegt werden. In einer vollständigen Struktur würden hier natürlich wesentlich mehr Schweißpunkte sowie zusätzlich Klebenähte, Laserschweißnähte, Nahtabdichtungen sowie Toleranzangaben existieren.

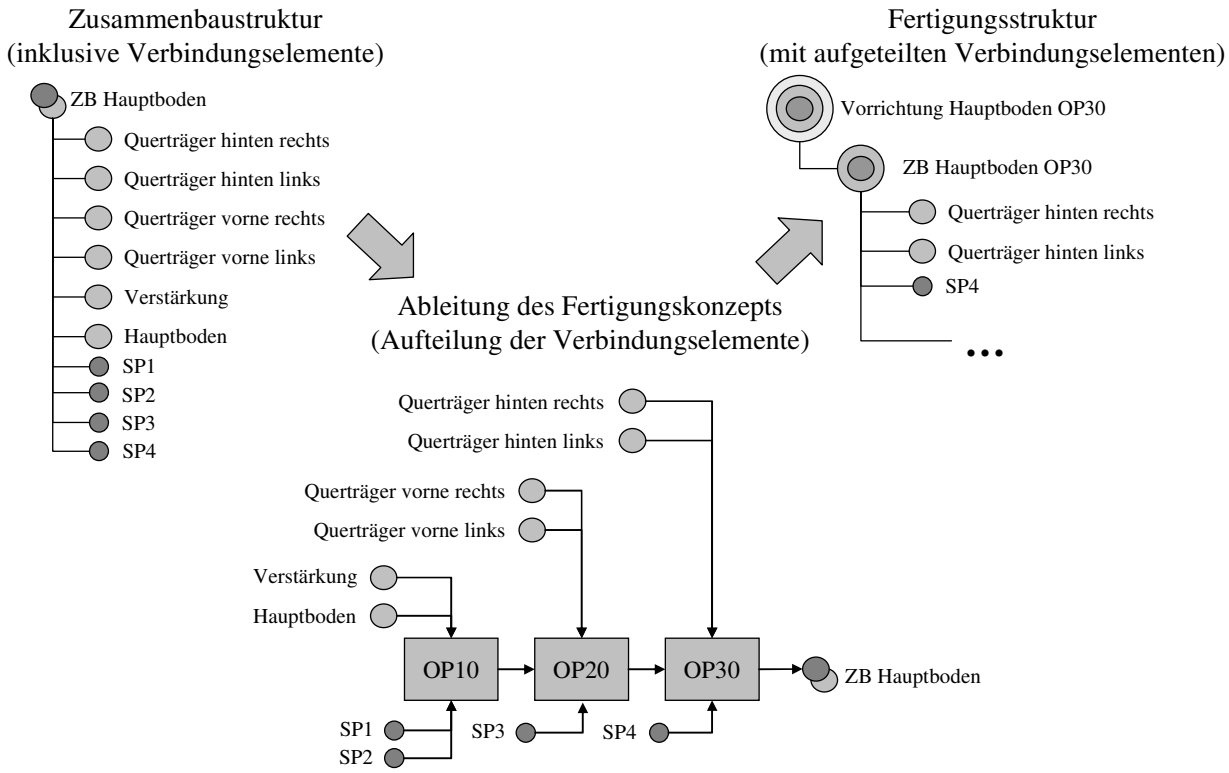


Abbildung 6-13: Übernahme von bauteilübergreifenden Informationen aus der Produktstruktur

Durch die Abbildung dieser bauteilübergreifenden Informationen als eigenständige Datenbankobjekte, können die Funktionen wie Versionierung, Konfiguration und Variantenauflösung zu deren Verwaltung angewendet werden. Im Rahmen der Ableitung der Fügefolge werden diese Objekte nun den jeweiligen Prozessschritten zugewiesen, je nachdem, wo die Bauteilpaarung, auf die sie sich beziehen, erstellt wird. Wenn Schweißpunkt 3 einen der vorderen Querträger mit dem Hauptboden verbindet, so kann er auch erst in der Operation 20 auftauchen, da vorher seine Bauteile noch nicht vollständig vorhanden sind. Innerhalb der Fertigungsstruktur tauchen diese Zusammenbauobjekte dann innerhalb des Bündelelementes für Produktdaten auf. In diesem können dann, Bezug nehmend auf das bereits im Abschnitt 6.1 beschriebenen Konzept, die Prozessinformationen des Planers auf Basis der vom Konstrukteur versorgten Verbindungselemente dokumentiert werden.

Durch das Zusammenwirken des beschriebenen Produktstrukturierungskonzeptes mit dem Konzept der Fertigungsstruktur, wird eine integrierte Dokumentation und durchgängige Verwendbarkeit von bauteilübergreifenden Informationen entlang der Prozesskette Karosserierohbau erst sichergestellt. Die Dokumentation dieser Informationen als eigenständige Objekte ist dabei eine notwendige Voraussetzung, um die Konsistenz der Informationen zu gewähr-

leisten. Darüber hinaus kann auch nur auf diese Weise die Variantenabbildung innerhalb der Fertigungsstruktur sinnvoll angewendet werden.

Die Praxistauglichkeit, sowie die prototypische Umsetzung dieses Konzepts im industriellen Umfeld im Rahmen der Bauteilkonstruktion, wurde durch die Arbeiten von [Mora03] sowie [Acke05] anhand verschiedener Praxisszenarien eingehend unter Beweis gestellt. Die weitergehende Validierung des Ansatzes innerhalb der Prozesse der Produktionsentwicklung steht dabei im Fokus der vorliegenden Arbeit.

6.2.5 Unterstützung der produktionsgetriebenen Produktgestaltung

Im Rahmen der Potentialanalyse wurde bereits darauf hingewiesen, dass es eine ganze Reihe von Anforderungen gibt, die aus dem Trend zu einer immer stärkeren Berücksichtigung von Belangen der Produktion während der Produktentwicklung resultieren. Hier kann zunächst das Thema „produktionsgetriebene Produktgestaltung“ genannt werden, das darauf abzielt, schon in frühen Phasen der Produktentwicklung Festlegungen und Randbedingungen aus der Entwicklungsphase der Produktionsanlagen zu berücksichtigen. Als weiteres Thema taucht in letzter Zeit auch das so genannte „Design for Re-Tooling“ auf, unter dem die Neukonstruktion von Bauteilen innerhalb bereits existierender und in der laufenden Produktion eingesetzter Vorrichtungen verstanden wird.

Die Unterstützung dieser beiden Ansätze ist in der bisherigen Arbeitsweise kaum möglich, da es für die betroffenen Konstruktionsbereiche so gut wie unmöglich ist, auf die weit verteilten, und in verschiedenen Verzeichnissen abgelegten Datensätze aus den beteiligten Fachbereichen zuzugreifen. Auch hier kann das Konzept der Fertigungsstruktur und der darin verwendeten Schalenmodelle Abhilfe schaffen. Werden die einzelnen Bündelelemente des Schalenmodells im herkömmlichen Entwicklungsprozess von innen nach außen befüllt, so ist in den hier betrachteten Fällen dazu einfach nur eine Umkehrung der Vorgehensweise nötig.

Für den Fall der produktionsgetriebenen Produktgestaltung hieße das, dass zunächst die Vorrichtung ausgelegt werden muss, die dann als Randbedingung inklusive der durch sie festgelegten Prozessinformationen innerhalb des Konstruktionsprozesses der Bauteile zur Verfügung steht. Der Bauteilkonstrukteur muss dann entsprechend über die Fertigungsstruktur in seinen Entwicklungsprozess einsteigen, um im richtigen Kontext arbeiten zu können. Soll der Entwicklungsprozess nicht vollständig umgekehrt werden, sondern die Bauteilkonstrukteure

lediglich die Belange der Produktionsentwicklung stärker berücksichtigen, so bietet die Fertigungsstruktur die Möglichkeit, sich die Produktdaten im Kontext der Produktionsinformationen anzuschauen. So wird es dem Konstrukteur ermöglicht, bei Änderungen in seinen Produktdaten zu kontrollieren, ob er damit beispielsweise mit einem bereits festgelegten Spann- und Fixierkonzept kollidiert, oder ob seine Änderungen eine existierende Fügefolge beeinflussen.

Im Fall des „Design for Re-Tooling“ ist die Vorgehensweise noch konkreter, denn in diesem Fall sind die Vorrichtungen, in denen die neu zu konstruierenden Bauteile später gefertigt werden sollen, bereits vollständig vorhanden und dokumentiert. Innerhalb der Fertigungsstruktur kann der Konstrukteur über die Konfiguration seine neu angelegten und zu befüllenden Produktknoten im Kontext der existierenden Bündelelemente für Vorrichtungen und Prozesse laden und seine Tätigkeit beginnen. Diese Vorgehensweise kann am Beispiel einer Seitenwand verdeutlicht werden. Soll diese innerhalb einer existierenden Vorrichtung gefertigt werden, so muss während der Konstruktion gewährleistet sein, dass die Seitenwand in diese Vorrichtung passt und kollisionsfrei eingelegt und herausgenommen werden kann. Gleichzeitig stellt das der Vorrichtung zu Grunde gelegte Spann- und Fixierkonzept eine wichtige Randbedingung für die Gestaltung der Flächen der Seitenwand dar, damit diese später richtig aufgenommen werden kann. Die innerhalb des in der Vorrichtung durchgeführten Fügeprozesses verwendeten Schweißzangen bedingen wiederum eine Einschränkung in Bezug auf die Platzierung der Schweißpunkte auf den Bauteilflächen, da die Verbindungselemente durch die Zange erreichbar sein müssen.

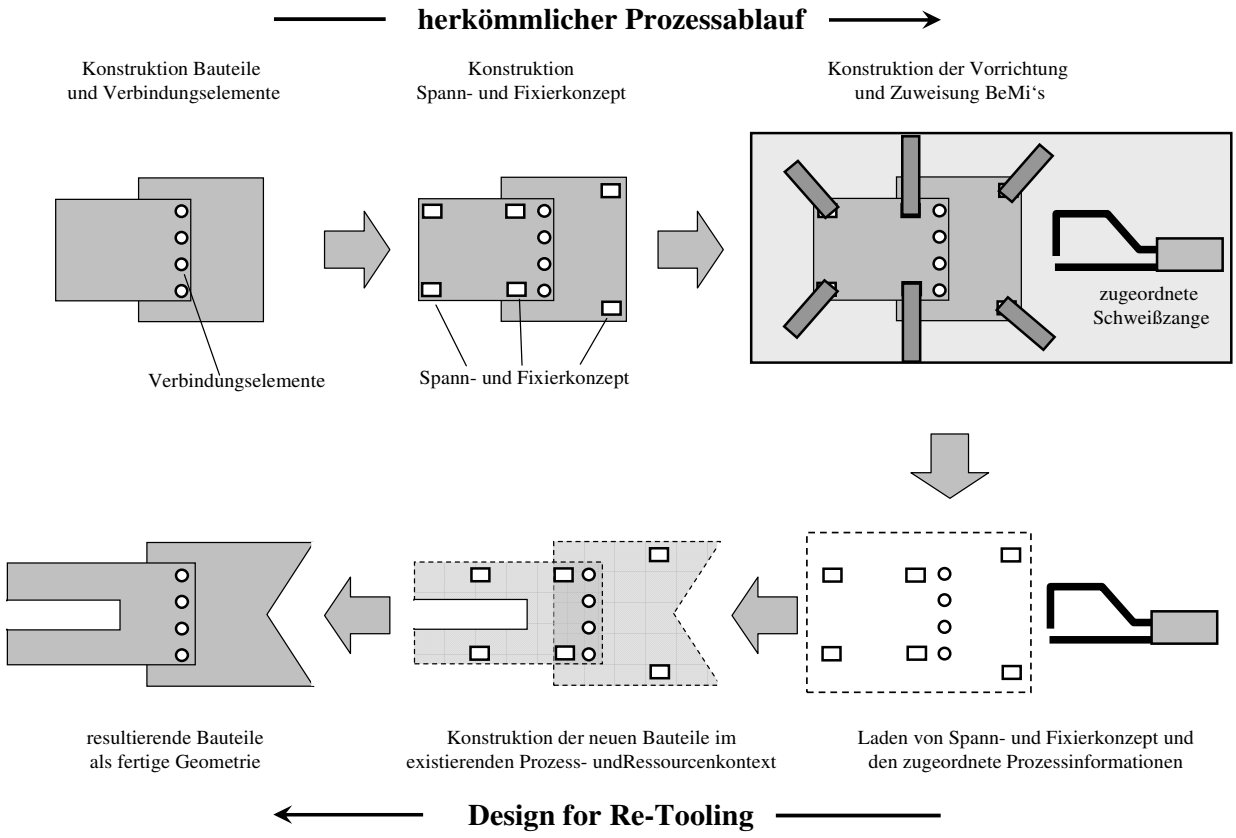


Abbildung 6-14: Prozessablauf beim Design for Re-Tooling

In Abbildung 6-14 ist zum besseren Verständnis dieser Arbeitsweise innerhalb der Fertigungsstruktur der herkömmliche Ablauf in der Prozesskette Karosserie dem Verlauf beim „Design for Re-Tooling“ gegenübergestellt. In der oberen Hälfte der Abbildung sind die aufeinander aufbauenden Schritte Bauteilkonstruktion, Konstruktion des Spann- und Fixierkonzeptes, sowie Konstruktion der Vorrichtung inklusive der Zuordnung von Betriebsmitteln gezeigt. Beim Übergang zum „Design for Re-Tooling“ werden die Prozess- und Ressource-Informationen für die Neukonstruktion von Bauteilen einer nachfolgenden Baureihe verwendet. Dies ist in der unteren Bildhälfte dargestellt, wo innerhalb des existierenden Spann- und Fixierkonzeptes geometrisch anders aufgebaute Produktteile entstehen, die aber dennoch in der gleichen Vorrichtung gefertigt werden können. Dies wird ermöglicht, da sowohl das Spannkonzept als auch die verwendeten Betriebsmittel, in dem gezeigten Beispiel eine Schweißzange, dem Bauteilkonstrukteur als Randbedingung zur Verfügung stehen.

6.3 Definition der Datenmodelle

In den beiden vorangegangenen Abschnitten wurde beschrieben, mit welchen methodischen und organisatorischen Ansätzen die Schnittstelle zwischen Produkt- und Produktionsentwicklung effizienter gestaltet werden kann. Mit der Fertigungsstruktur und dem darin abgebildeten Schalenmodell wurde zugleich definiert, wie die relevanten Informationen an dieser Schnittstelle dokumentiert und verwendet werden sollen, um die aktuellen Verbesserungspotentiale der betrachteten Prozesskette zu beseitigen, sowie gleichzeitig den bereits heute absehbaren Anforderungen hinsichtlich der Prozesscharakteristik gerecht zu werden. In diesem Abschnitt werden nun die Datenmodelle spezifiziert, die als Grundlage für eine informationstechnische Umsetzung der beschriebenen Konzepte innerhalb eines kommerziellen PDM-Systems dienen. Zum besseren Verständnis wird dabei zunächst kurz das Datenmodell für Produktdaten vorgestellt, da die Datenmodelle der Prozess- und Ressource-Informationen auf dessen Grundlage implementiert wurden. Dies hat den Vorteil, dass sich bei der Umsetzung des Konzeptes innerhalb existierender Systeme nicht zu viel Anpassungsaufwand ergibt. Gleichzeitig können viele Funktionen eines kommerziellen PDM-Systems, die für Produktdaten konzipiert sind, mit dieser Vorgehensweise auch auf die neuen Objekte angewendet werden.

Bezug nehmend auf die Arbeitsweise von [Sche97], werden die zuvor in diesem Kapitel beschriebenen Informationsmodelle nun mit Hilfe von Entity-Relationship-Modellen in ein Fachkonzept übersetzt, das als Grundlage für die Implementierung in einem IT-System dient. Die nachfolgend spezifizierten Datenmodelle wurden im Rahmen des hier vorgestellten Forschungsprojekts in einer IT-Fachabteilung des betrachteten Automobilkonzerns als Erweiterung des existierenden PDM-Systems programmiert und nach umfangreichen Tests innerhalb einer ersten Baureihe operativ eingesetzt. Die dabei vollzogene Validierung des in dieser Arbeit entwickelten Konzepts ist im nachfolgenden Kapitel 7 beschrieben.

6.3.1 Datenmodell für Produktdaten

Ausgangslage für die informationstechnische Umsetzung der Informationsmodelle der Fertigungsstruktur sind die Produktdaten, die durch Sachnummern in einem PDM-System repräsentiert werden. Diese eignen sich auf Grund ihres Datenmodells am ehesten dazu, die Bündelelemente der Fertigungsstruktur abzubilden, da sie ebenfalls eine Vielzahl von verschiedenartigen Dokumenten wie CAD-Modelle oder Textdokumente aufnehmen müssen. Zusätz-

lich können auf die Sachnummern der Produktstruktur wichtige Funktionalitäten eines PDM-Systems wie Versionierung, Konfiguration, Variantenauflösung oder Zuordnung eines Reifegrades angewandt werden. Genau diese Funktionalitäten sind es, die die Hauptnutzenpotentiale eines PDM-Systems bei der Anwendung in Entwicklungsprozessen erschließen. Aus diesem Grund gilt es, diese auch für das hier vorgestellte Konzept der Fertigungsstruktur nutzbar zu machen.

Zum besseren Verständnis der Datenmodelle der Bündelelemente wird zunächst das Datenmodell für Produkt-Sachnummern vorgestellt. Beim Anlegen von Produktdaten innerhalb des PDM-Systems wird zunächst eine Sachnummer erzeugt. Dies geschieht in der Regel durch einen kontrollierten Prozess, bei dem der jeweilige Konstrukteur die Sachnummer über eine Art Formblatt beantragt. Dadurch wird ein Dokumentationsprozess ausgelöst, an dessen Ende schließlich die Sachnummer innerhalb des PDM-Systems zur Verfügung steht. Bei dieser Beantragung werden auch bereits allgemeine Daten vorgegeben, wie beispielsweise konkrete Projektzuordnungen, Verwendungen, die Art der Sachnummer, oder Ähnliches. Diese bereits vorher feststehenden Informationen finden sich später in den Stammdaten der Sachnummer wieder. In der Regel ist es in heutigen PDM Systemen so, dass zu jeder Sachnummer ein Master-Objekt angelegt wird, das dann zu einer ersten, vom Konstrukteur verwendbaren Version instanziert wird. Nur über diese Konstellation kann später mit verschiedenen Versionsständen gearbeitet werden, die jeweils vom gleichen Sachnummern-Master abstammen. Die Attribute aus dem Master werden dabei an die jeweilige Version vererbt, wobei innerhalb der Version noch zusätzliche Attribute ergänzt werden können, die versionsspezifisch sind. Die Zuordnung zu einem bestimmten Projekt wäre beispielsweise über den Master vorgegeben, wohingegen ein konkreter Freigabestatus auf Versionsebene vergeben wird. Dadurch wird das Verwalten verschiedener Reifegrade bei der Entwicklung des Produktes erst ermöglicht, da unterschiedlichen Instanzen des gleichen Master-Objekts jeweils eigene Statusattribute zugeordnet werden können. Auf diese Art und Weise bildet das PDM-System die Historie des Produkts während seiner Entwicklung ab, denn in der Regel kann man auf die alten Produktstände immer wieder zurückgreifen bzw. sich diese anzeigen lassen. Das Datenmodell für Produktdaten ist in Abbildung 6-15 dargestellt.

Das abgebildete Datenmodell findet in dieser Form in vielen gängigen PDM-Systemen Verwendung. Werden nun mehrere Sachnummern zueinander in Beziehung gesetzt, so wird eine Produktstruktur erzeugt. Dabei wird in der Regel eine Relation angebracht, die von der in-

stanzierten Version des übergeordneten Strukturknotens auf das Master-Objekt des untergeordneten Strukturknotens verweist. Eine solche Relation kann beispielsweise durch Ausdrücke wie „Sachnummer 1 verwendet Sachnummer 2“ oder „Sachnummer 1 verbaut Sachnummer 2“ beschrieben werden.

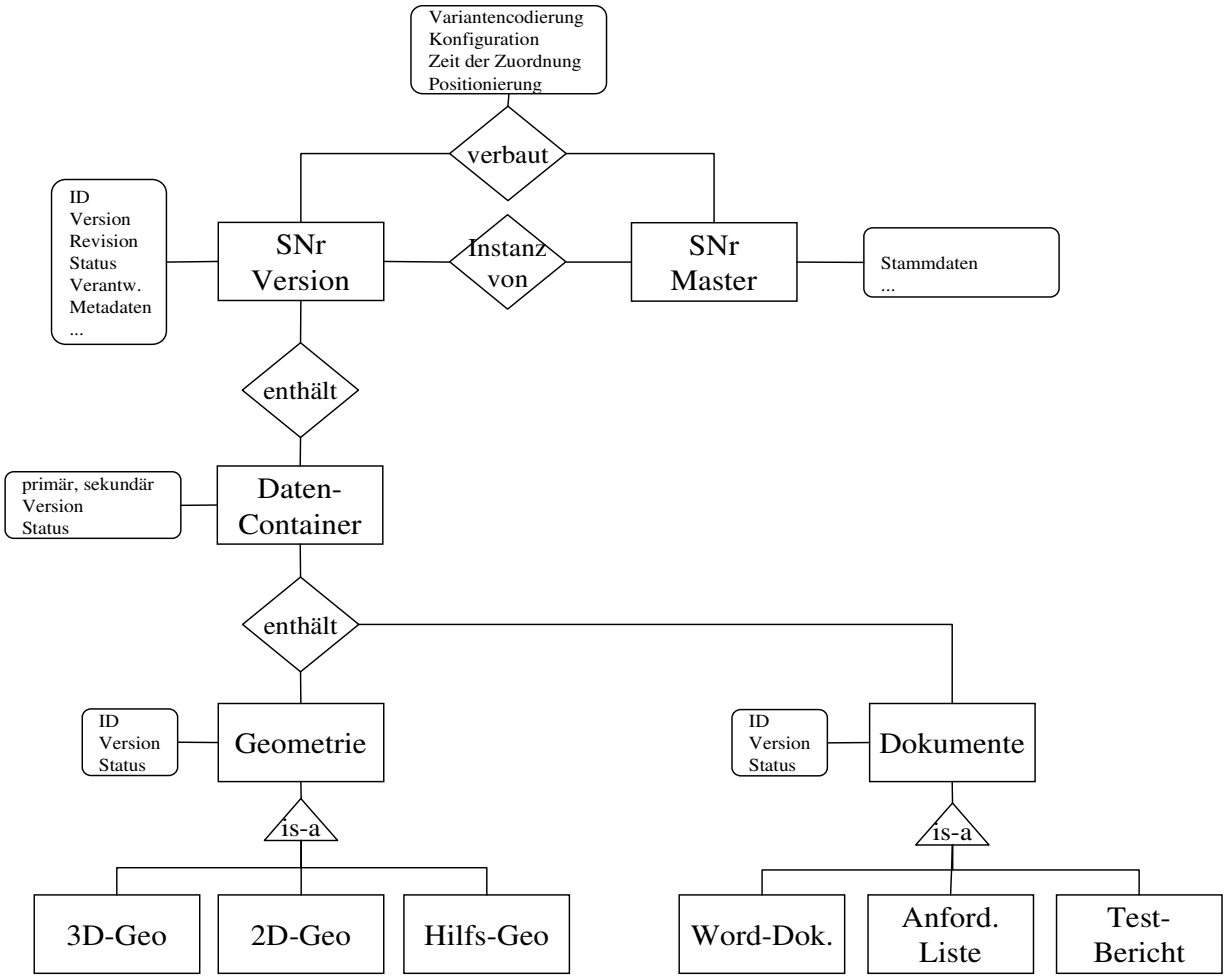


Abbildung 6-15: Datenmodell für Produktdaten

Innerhalb des PDM-Systems stellt diese Relation ein eigenes Objekt dar, das auch eigene Attribute in die Struktur mit einbringt. Dazu gehören beispielsweise Lageinformationen, die die Positionierung der Sachnummern in Bezug zu einem Basiskoordinatensystem beschreiben, zeitliche Zuordnungen und Statusaussagen, um eine gesteuerte Konfiguration zu ermöglichen, sowie gegebenenfalls Coderegeln zum Auflösen von Varianten. Beim Expandieren einer Struktur werden die Attribute auf der Verbauungsrelation gemäß einer eingestellten Konfiguration geprüft, und die relevanten Sachnummern dementsprechend angezeigt. Durch diese Art des Strukturaufbaus wird die Dynamik innerhalb eines PDM-Systems realisiert, die es erlaubt, zu einer übergeordneten Sachnummer verschiedene untergeordnete Sachnummern anzuzei-

gen. Kriterien für diese Auflösung können dabei Zeitpunkte, Reifegrade oder Variantencodierungen sein. Analog zum Vorgehen zwischen Master und Version für einen Produktdatensatz kann so der Lebenszyklus einer kompletten Baugruppe in einer Struktur verwaltet und archiviert werden.

Innerhalb der Sachnummer wird in der Regel zunächst eine Art Informationscontainer angelegt, d.h. ein Objekt, das verschiedene Informationen bezüglich der jeweiligen Sachnummer bündelt. Dazu gehören beispielsweise das CAD-Modell des Produkts, aber auch andere, für das Bauteil relevante Informationen wie Hilfsgeometrien, Skelettmodelle, Prüfprotokolle oder Anforderungslisten. In manchen PDM-Systemen werden diese Container-Objekte weiterhin hinsichtlich ihrer Relevanz für Statusänderungen der Sachnummern unterschieden. So können z.B. alle für eine Bauteilfreigabe relevanten Informationen in einem Objekt gebündelt sein, während Zusatzinformationen in einem zweiten Objekt abgelegt werden. Wird der Freigabeprozess durchlaufen, genügt es, den ersten freigaberelevanten Informationscontainer zu prüfen, während in dem anderen auch später noch Informationen hinterlegt bzw. geändert werden können, ohne dass dafür jedes Mal ein neuer Freigabeprozess gestartet werden muss. Die unterhalb der Sachnummer liegenden Objekte haben jeweils eigene Attribute, die sie eindeutig kennzeichnen, zusätzlich können sie auch einen eigenen Status besitzen. In der Regel verlangt dabei die im System hinterlegte Logik, dass zunächst die in der Produktsachnummer enthaltenen Dokumente freigegeben sein müssen, bevor dieser Status nach oben auf die eigentliche Sachnummer übergeben wird.

6.3.2 Bündelelement für Prozessdaten

Das Bündelelement „Prozessdaten“ repräsentiert die erste Schale des Schalenmodells, innerhalb derer die Prozessinformationen abgelegt werden können. Dabei handelt es sich im Fall des Karosserierohbaus hauptsächlich um sehr stark an den Produktdaten orientierte Informationen, die allerdings durch die Seite der Produktionsentwicklung verantwortet und detailliert werden. Diese Datensätze werden auf der Grundlage der Bauteilgeometrie erstellt, ohne diese jedoch selbst zu verändern, d.h. es gibt nur einen lesenden Zugriff auf die Produktdaten. In dieser Schale werden Informationen dokumentiert, die ein hohes Maß an Spezialistenwissen bei der Generierung verlangen. Sie stellen somit eine Erweiterung der Produktdaten um Prozessinformationen dar.

Der Grundaufbau des Bündelelementes ist dem Datenmodell für Produktdaten sehr ähnlich. Auch hier gibt es zu jedem Element ein Master-Objekt, das jeweils zu einzelnen Versionen instanziert werden kann. Auch die Zusammensetzung der Attribute ist aus dem Modell für Produktdaten abgeleitet, allerdings gibt es einige zusätzliche Attribute, die speziell für die Dokumentation von Prozessinformationen in der Fertigungsstruktur spezifiziert wurden. Innerhalb des PDM-Systems stellt das Bündelelement für Prozessdaten ein eigenes Objekt dar, dem somit neben einem eigenen Icon auch eine eigene Verhaltenslogik mitgegeben werden kann.

Dabei werden folgende Regeln für das Bündelelement „Prozess“ definiert:

- Die Benennung des Bündelelements wird im Moment der Anlage von der zugrunde gelegten Produktsachnummern abgeleitet, wobei der dabei entstehenden Sachnummer z.B. ein Prä- oder Postfix angehängt werden kann.
- Zum Zeitpunkt der Anlage wird automatisch eine Relation vom Typ „verwendet“ zwischen der oder den zugrunde gelegten Produktsachnummern und dem Bündelelement erzeugt, d.h. die Produktdaten tauchen innerhalb des Bündelelements als referenzierte Information auf. Datentechnisch wird also genau hier die Verbindung zwischen Produkt- und Prozessinformation hergestellt.
- Zum Zeitpunkt der Anlage wird geprüft, ob bereits ein Bündelelement mit gleicher Benennung vorliegt. Idealerweise sollte immer eine 1:1 Relation zwischen Produktdatenmodell und dem entsprechenden Bündelelement für Prozessdaten bestehen. Die Problematik der Variantenabbildung könnte dennoch ein zweites Bündelelement nötig machen, das dann aber namentlich unterschieden werden muss.
- Beim Anlegen des Bündelelementes werden die darin enthaltenen Informationscontainer sowie die CAD-Startmodelle oder sonstige Dokumente automatisch angelegt, unter Berücksichtigung einer vorgegebenen Namenskonvention.
- Bündelelemente dürfen im Gegensatz zu Sachnummern nicht rekursiv verwendet werden, d.h. sie dürfen nicht untereinander referenziert werden.
- PDM-Funktionen wie Konfiguration, Versionierung, Reifegradzuweisung und Variantencodierung müssen auf die Relationen, die vom Bündelelement ausgehen bzw. auf das Bündelelement verweisen, anwendbar sein.

Auch der Relationstyp, der die Beziehung zum untergeordneten Produktdatenobjekt herstellt, wird gegenüber dem innerhalb von Produktstrukturen verwendeten Relationstyp modifiziert. Zunächst wird ein zusätzliches Attribut „Einlegereihenfolge“ definiert, dass aussagt, an wievielter Stelle das referenzierte Bauteil in die später entstehende Vorrichtung eingelegt werden soll. Während die Fügefolge aussagt, dass Bauteil X und Bauteil Y den Zusammenbau A ergeben, sagt die Einlegereihenfolge zusätzlich aus, in welcher Reihenfolge dies zu geschehen hat. Die Aussage wäre somit also, das Bauteil X nach Bauteil Y innerhalb einer Vorrichtung zum Zusammenbau A gefügt werden. Diese Information wird durch die Toleranzspezialisten in Absprache mit der Abteilung, die für die Erstellung des Spann- und Fixierkonzepts verantwortlich ist, definiert. Sie stellt für die anschließend stattfindende Vorrichtungskonstruktion eine wichtige Information dar, die deren Konzept maßgeblich beeinflusst.
Zusätzlich zum Attribut „Einlegereihenfolge“ wird die Relation in Bezug auf ihr Verhalten beim Expandieren der Fertigungsstruktur speziell angepasst. Das Expandierverhalten des Bündelelements soll nämlich steuerbar sein, um bei Bedarf die untergeordneten Produktdaten nicht mit anzuzeigen. Dies kann beispielsweise innerhalb der Phase der Vorrichtungskonstruktion notwendig sein, wenn zunächst nur die Prozessinformationen zum Aufbau der Anlagenmodelle berücksichtigt werden. Dafür müssen geeignete Filterfunktionen auf diese Relation anwendbar sein, um bei Bedarf einen Teil der in der Fertigungsstruktur abgebildeten Informationen ausblenden zu können. Außerdem kann mit Hilfe dieser Filterung erreicht werden, dass die Expandierung der Struktur stufenweise erfolgt, wobei die Konfiguration zwischendurch umgeschaltet werden kann.

In Abbildung 6-16 ist das Datenmodell für Prozessdaten als Entity-Relationship-Modell dargestellt.

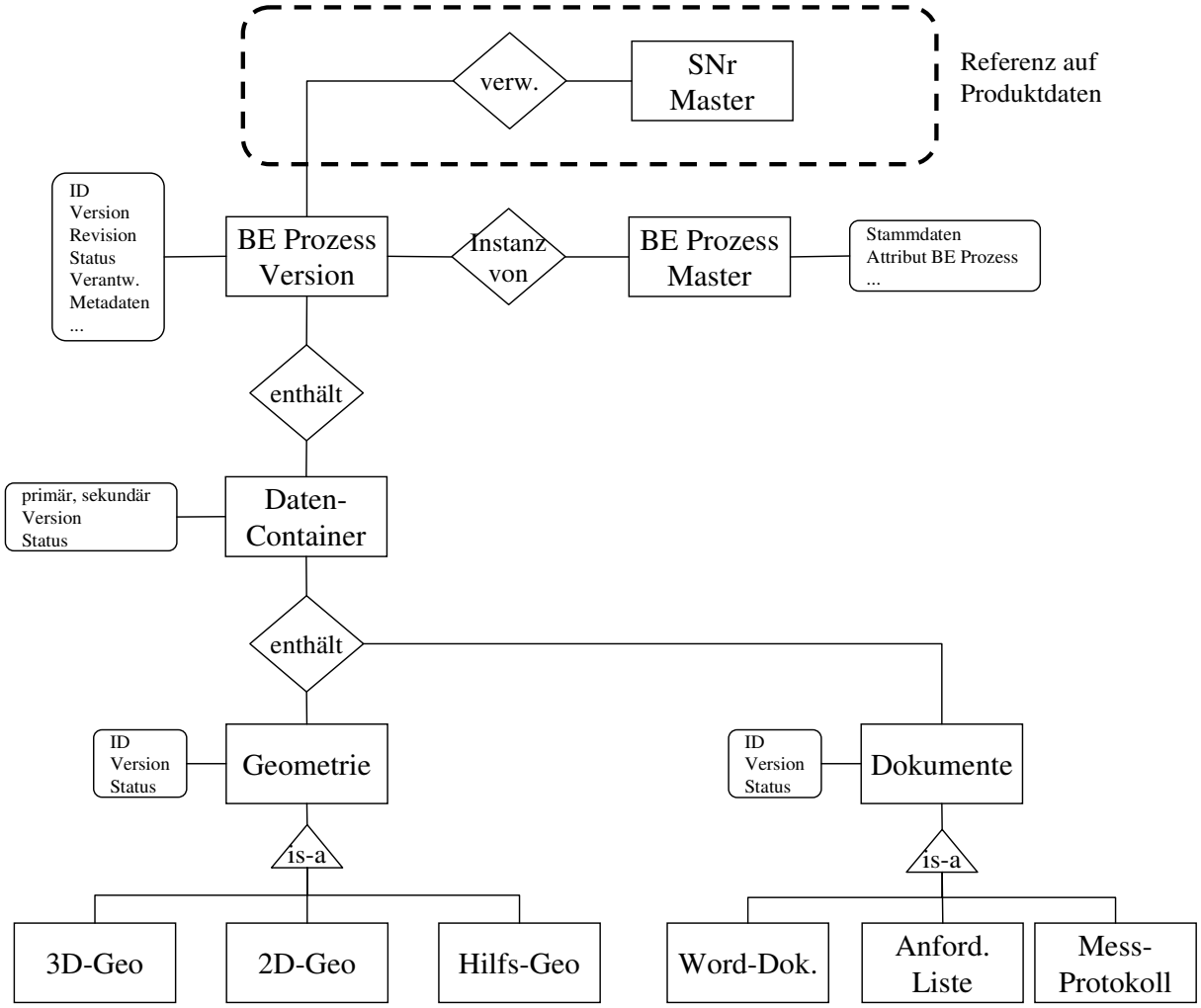


Abbildung 6-16: Datenmodell für Prozessdaten

Die Prozessinformationen werden in den Datencontainern unterhalb des instanzierten Objektes abgelegt, wobei zwischen geometrischen Informationen und alphanumerischen Dokumenten unterschieden wird. Als Geometrieobjekt könnte hier beispielsweise das Spann- und Fixierkonzept angelegt werden, während zu den alphanumerischen Dokumenten Prüfprotokolle oder Messpläne zählen. Die Beziehung zwischen Datencontainer und Geometrieobjekt bzw. Dokument ist als 1:n-Relation ausgelegt, d.h. hier können mehrere Datensätze abgelegt werden. Dabei müssen aber die organisatorischen Verantwortlichkeiten beachtet werden, denn das Bündelelement für Prozessdaten kann auch nur von einer einzigen Person verwaltet und freigegeben werden.

6.3.3 Bündelelement für Ressourcedaten

Gemäß dem Schalenmodell folgt auf die Prozessdaten als äußerste Schicht das Bündelelement für die Ressourcedaten. In Abbildung 6-17 ist das entsprechende ERM abgebildet. Innerhalb dieses Bündelelements werden die zuvor in der zweiten Schale erzeugten Prozessinformationen weiter konkretisiert und abgespeichert, um dann als Grundlage für die Vorrichtungskonstruktion herangezogen zu werden. Wurde im Prozessmodell beispielsweise ein konkreter Fertigungsprozess definiert, so können hier alternative Ressourcen für diesen abgelegt werden.

Der Aufbau dieses Bündelelements ist in seinem Kern ebenfalls mit dem Standard-Produktdatenmodell identisch, d.h. auch hier existieren die einzelnen Informationscontainer und Dokumenttypen innerhalb einer Version, die ihrerseits wiederum aus einem Master-Objekt instanziert wird. Die innerhalb der einzelnen Objekte verwendeten Attributsätze sind auf die Verwendung von Ressourcedaten angepasst, da hier spezielle Parameter hinterlegt werden. Ein Unterschied zum zuvor beschriebenen Datenmodell für Prozessdaten ist, dass das Bündelelement für Ressourcedaten rekursiv auf sich selbst zugreifen kann. Nur so kann es ermöglicht werden, dass verschiedene Vorrichtungen zu größeren Anlagenteilen zusammengefasst werden können, wie es beispielsweise oft in den Prototypphasen der Fall ist.

Vom Bündelelement für Ressource-Informationen ausgehend gibt es zwei Schnittstellen, die spezielle Relationstypen verwenden. Zum einen greift dieses Objekt über die Relation „BE Ressource verwendet BE Prozess“ auf die im Schalenmodell unterhalb liegenden Prozessinformationen zu, wobei es sich hier immer um eine 1:1 Relation handelt. Dies entspricht dem Konzept der Fertigungsstruktur, bei dem zu jeder Bauteilpaarung innerhalb der Fügefolge nur ein eindeutiges Vorrichtungskonzept dokumentiert werden kann. Gleichzeitig kann über die Beziehung „BE Ressource verwendet Vorrichtung“ auf die verschiedenen Ausprägungen von Betriebsmitteln zugegriffen werden, denn diese sollen innerhalb des Ressource-Bündelelements über die Prozessinformationen mit den Produktdaten gebündelt werden. Diese Relation ist vom Typ 1:n, denn innerhalb der Beschreibung des Vorrichtungskonzeptes muss es möglich sein, verschiedene Ressourceinformationen zu bündeln. Dies ist etwa der Fall, wenn zusätzlich zur Vorrichtung Schweißzangen oder sonstige Betriebsmittel zugewiesen werden.

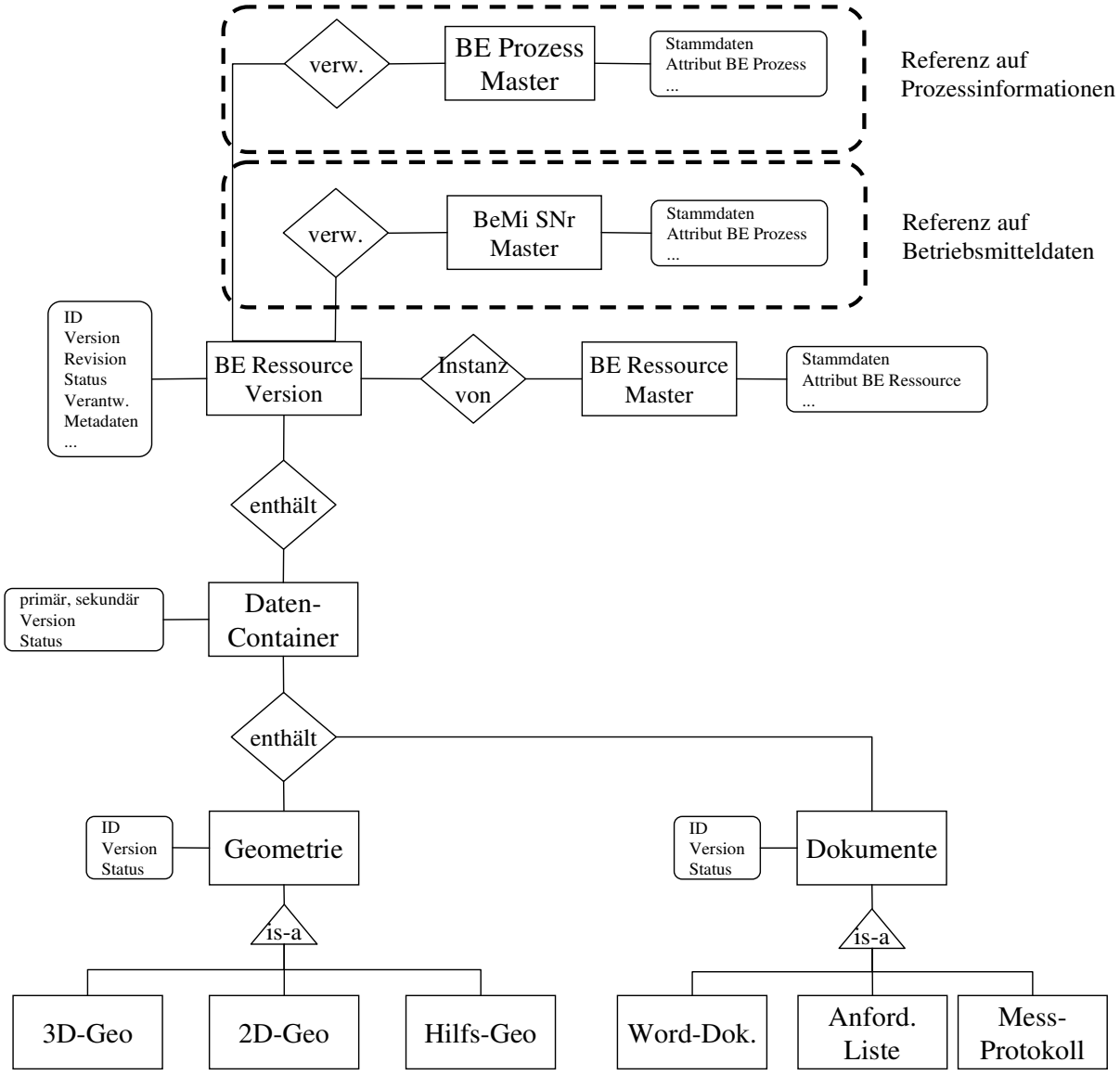


Abbildung 6-17: Datenmodell für Ressourcedaten

6.3.4 Zusammenspiel der Datenmodelle

Nach der Beschreibung der jeweils einzelnen Datenmodelle hinsichtlich ihres inneren Aufbaus zeigt das ERM in Abbildung 6-18 das Zusammenspiel der einzelnen Bündelelemente untereinander, wobei aus Gründen der Übersichtlichkeit auf die Darstellung der Container-Objekte sowie der darin enthaltenen Dokumenten verzichtet wurde.

Die Relationen, die an den Übergängen der einzelnen Schichten des Schalenmodells liegen, sind in der Darstellung dick eingezeichnet. Innerhalb der den Relationen zugeordneten Attributfelder sind die Attribute eingezeichnet, auf die beim Expandieren der Fertigungsstruktur zusätzlich zu den bereits in Produktstrukturen üblichen Attributen zugegriffen wird.

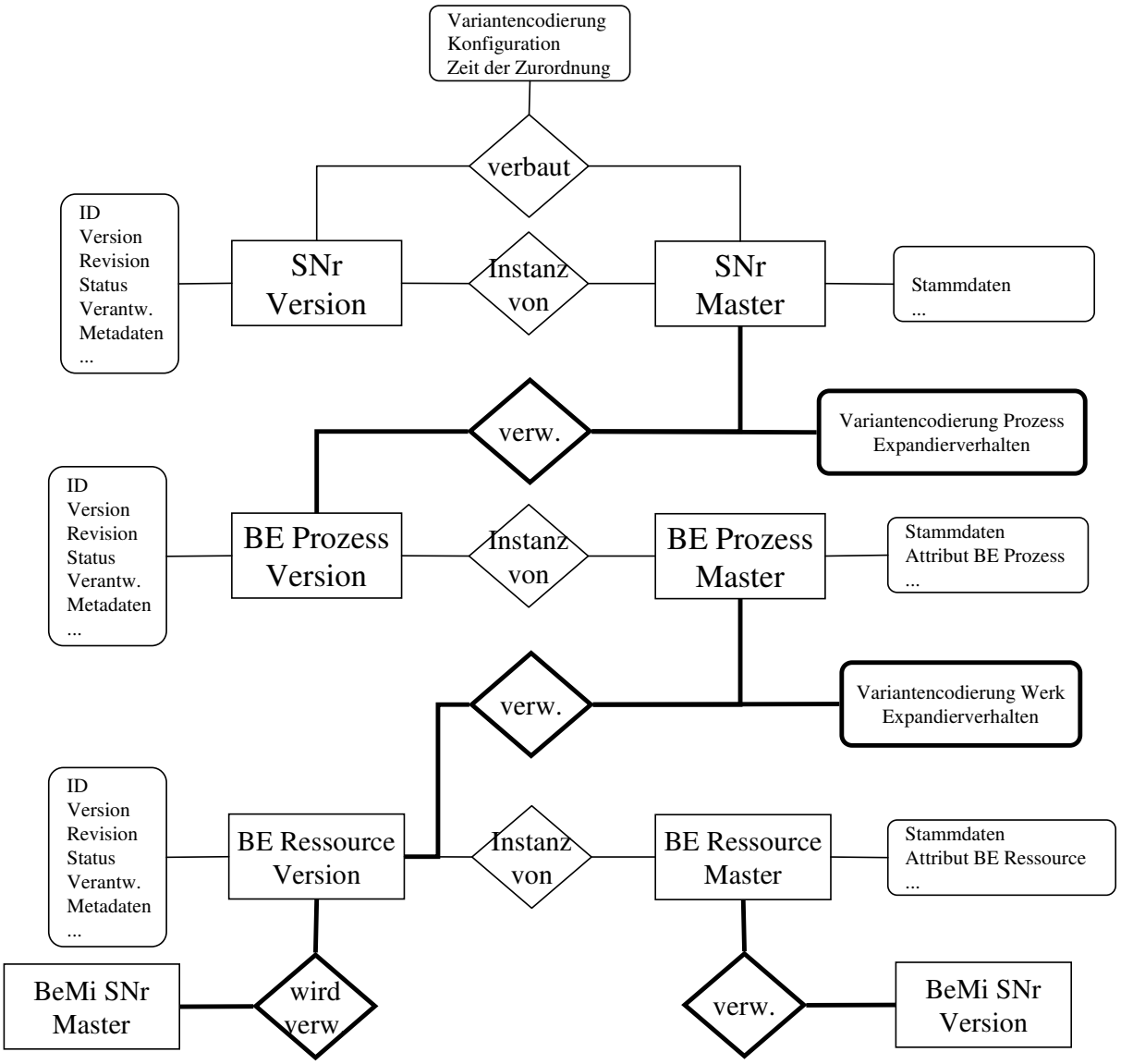


Abbildung 6-18: Zusammenspiel der Datenmodelle

Durch das Zusammenspiel dieser drei Datenmodelle erfolgt die eigentliche Integration der verschiedenen Informationen, die es innerhalb der Prozesskette Karosserierohbau zu integrieren gilt, um eine effiziente Arbeitsweise in den einzelnen Tätigkeiten zu ermöglichen. Durch die Entkopplung der Datenmodelle in verschiedenen Schichten mit jeweils eigenem Systemverhalten ist gewährleistet, dass unterschiedliche Verantwortlichkeiten im Prozess zu Grunde gelegt werden können. Jedes der drei Datenmodelle ist auf die Sicht und Arbeitsweise der am Produktentstehungsprozess beteiligten Fachbereiche optimiert.

Den Hauptnutzen für das Informationsmanagement mit dem Konzept der Fertigungsstruktur bringen aber die eingezeichneten Relationen zwischen den drei Datenmodellen mit sich, da diese eine Anwendung der Kernfunktionen des PDM-Systems ermöglichen. Vor allem den

häufig auftretenden Änderungen innerhalb der einzelnen Phasen des Produktentstehungsprozesses kann mit Hilfe dieser Relationen effizient begegnet werden, da zu jedem Zeitpunkt beliebige Datenstände über die Konfiguration geladen werden können. Gleichzeitig wird durch die Nutzung von Versionstempeln aber auch eine Arbeitsweise auf einem statischen Strukturstand ermöglicht, der gerade bei der Ersterstellung von Datensätzen stark erwünscht ist. Schließlich ermöglichen es die auf den Relationen angebrachten Variantencodierungen auch, die Vielzahl von unterschiedlichen Fahrzeugvarianten und die damit verbundenen flexiblen Produktionsvorrichtungen effizient zu verwalten. Durch den bidirektionalen Charakter der Relationen ist dabei vollkommen unabhängig, ob ein Produktentstehungsprozess im herkömmlichen Sinn durchlaufen wird, also beim Produkt beginnend bis hin zur Gestaltung der Produktionsmittel, oder ob ein inverser Prozess im Sinne eines „Design for Re-Tooling“ durchlaufen wird. Die Fertigungsstruktur mit ihrem Schalenmodell erlaubt beide Sichtweisen, vom Kern nach außen und umgekehrt.

6.4 Einbettung in die Systemlandschaft

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie das vorgestellte Konzept der Fertigungsstruktur sowie die darin enthaltene Modellierung der Informationen gemäß dem Schalenmodell innerhalb der Systemlandschaft im Umfeld der Prozesskette Karossserierohbau implementiert werden kann. Im Rahmen de Beschreibung der wissenschaftlichen Vorgehensweise wurde bereits darauf hingewiesen, dass in der industriellen Forschung oft bestimmte Randbedingungen eingehalten werden müssen, die die freie Umsetzung eines Konzepts sehr stark einschränken.

Innerhalb des Forschungsprojekts, das dieser Arbeit zu Grunde liegt, war der operative Druck aus bereits gestarteten Baureihenprojekten sehr groß, da hier zusehends Schwierigkeiten bei der Dokumentation der Spann- und Fixierkonzepte aufgetreten sind. Dies machte eine schnelle Umsetzung des Konzepts notwendig, was nur innerhalb der bestehenden Systemlandschaft möglich war. Gleichzeitig wurden die hier vorgestellten Ansätze und Methoden aber auch als Referenzszenarien im Rahmen von Forschungsprojekten eingesetzt, die die Definition einer mittel- bis langfristigen PDM-Architektur für die Produktentstehungsprozesse des Automobilkonzerns zum Ziel hatten.

Aus diesem Grund erfolgt die Beschreibung der Implementierung des Konzepts in die Systemlandschaft in zwei Stufen. Zunächst wird beschrieben, wie die am ehesten geeignete Um-

setzung innerhalb der aktuellen System-Architektur aussieht, d.h. hier werden die zuvor definierten Datenmodelle innerhalb der existierenden Systeme umgesetzt. Daran anschließend wird in der nächsten Stufe betrachtet, wie für die im Kontext dieser Arbeit diskutierten Szenarien eine sinnvolle Erweiterung bzw. veränderte Rollenverteilung in Bezug auf eine verteilte Systemumgebung gefunden werden kann, bei der durchaus noch weitere Systeme in Betracht gezogen werden.

6.4.1 Operative Integration in die aktuelle Systemumgebung

Innerhalb der aktuellen Teilprozesse, die im Rahmen der Prozesskette Karosserierohbau durchlaufen werden, finden hauptsächlich zwei Systeme zur verteilten Datenverwaltung Anwendung. Zum einen ist dies das PDM-System der Produktentwicklung, in dem die Produktstrukturen mit der gestalterischen Beschreibung der Bauteile sowie zusätzlich die Konstruktionsdaten der in den einzelnen Produktionsphasen verwendeten Vorrichtungen verwaltet werden. Zum anderen werden die Daten der Produktionsplanung innerhalb der Planungsdatenbank dokumentiert, soweit die technischen Grenzen der heutigen Systeme dies zulassen. In Abbildung 6-19 ist die existierende Systemlandschaft an der Schnittstelle zwischen Produkt- und Produktionsentwicklung dargestellt. In der Mitte erkennt man die beiden zentralen Verwaltungssysteme, das PDM-System der Produktentwicklung sowie die Planungsdatenbank auf Seiten der Produktionsentwicklung. Darunter liegen die zugeordneten Autorensysteme CAD und CAP, die jeweils eigene Methoden und Datenmodelle verwenden. Als weiteres System innerhalb dieser Landschaft ist das ERP-System eingezeichnet, das die Anbindung der Logistik an die Entwicklungsprozesse sicherstellt.

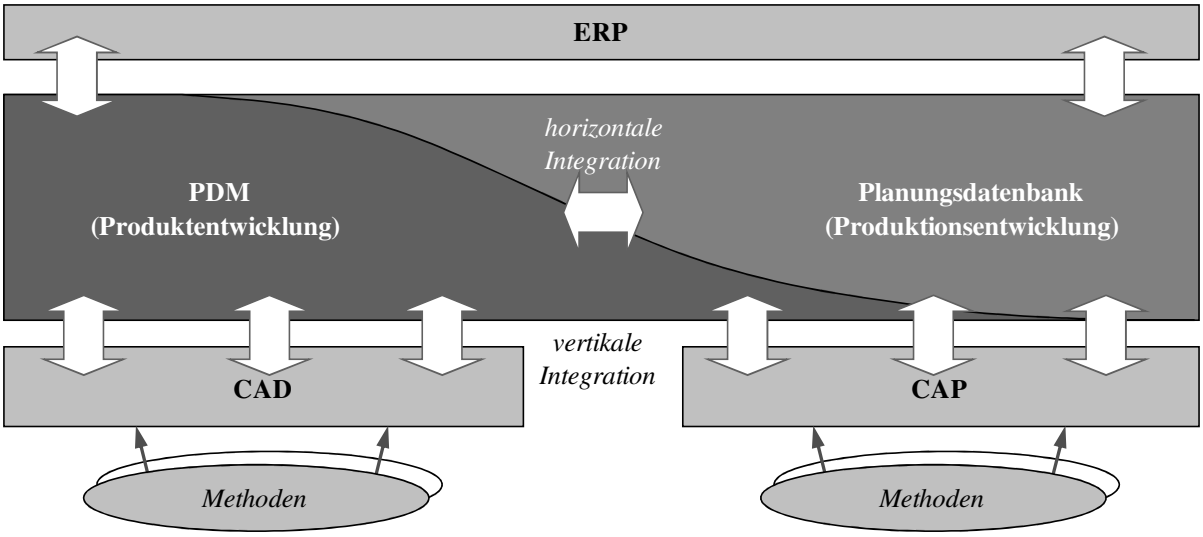


Abbildung 6-19: Existierende Systemlandschaft für die betrachtete Prozessschnittstelle

In Bezug auf das ERP-System wird deutlich, dass dessen Integration auf Seiten der Produktionsentwicklung wesentlich höher ist, da die Verzahnung der logistischen Geschäftsprozesse und des Kostencontrollings mit den Produktionsplanungsprozessen wesentlich enger ist als mit den Konstruktionsprozessen. Weiterhin zeigt die Abbildung, dass auch von Seiten der Produktionsentwicklung eine Anbindung an das PDM-System der Produktentwicklung existiert. Diese stellt den Prozess der eigentlichen Vorrichtungskonstruktion dar, die CAD-gestützt stattfindet, wobei die konstruierten Anlagen aber in den CAP-Systemen abgesichert werden müssen.

Die in Abbildung 6-19 eingezeichneten Pfeile zeigen die verschiedenen Schnittstellen zwischen den beteiligten Systemen. Bezug nehmend auf die Darstellung kann dabei von einer vertikalen und horizontalen Integration gesprochen werden. Die vertikale Integration bezieht sich dabei auf die Abbildung und Verwaltung der Objekte und Daten aus den jeweiligen Autorensystemen in den jeweiligen Verwaltungssystemen bzw. vom Verwaltungssystem aus in Richtung ERP-System, wobei bei diesem Übergang oft nur Strukturdaten und Metadaten übertragen werden. Im Fokus dieser Arbeit liegt die horizontale Integration, also die Schnittstelle zwischen PDM-System und Planungsdatenbank, an der ein geeignetes Integrationskonzept definiert werden soll.

Schnittstellen zwischen verschiedenen Verwaltungssystemen können hinsichtlich ihrer technischen Ausprägung sehr unterschiedlich gestaltet sein. In [DoMu00] werden im Kontext des Themas „Integration von PDM-Systemen über Organisationsgrenzen hinweg“ fünf verschiedene Stufen der Systemintegration zum Datenaustausch zwischen verschiedenen Verwal-

tungssystemen im Produktentstehungsprozess vorgestellt und diskutiert. Diese fünf verschiedenen Ausbaustufen sind in Abbildung 6-20 dargestellt.

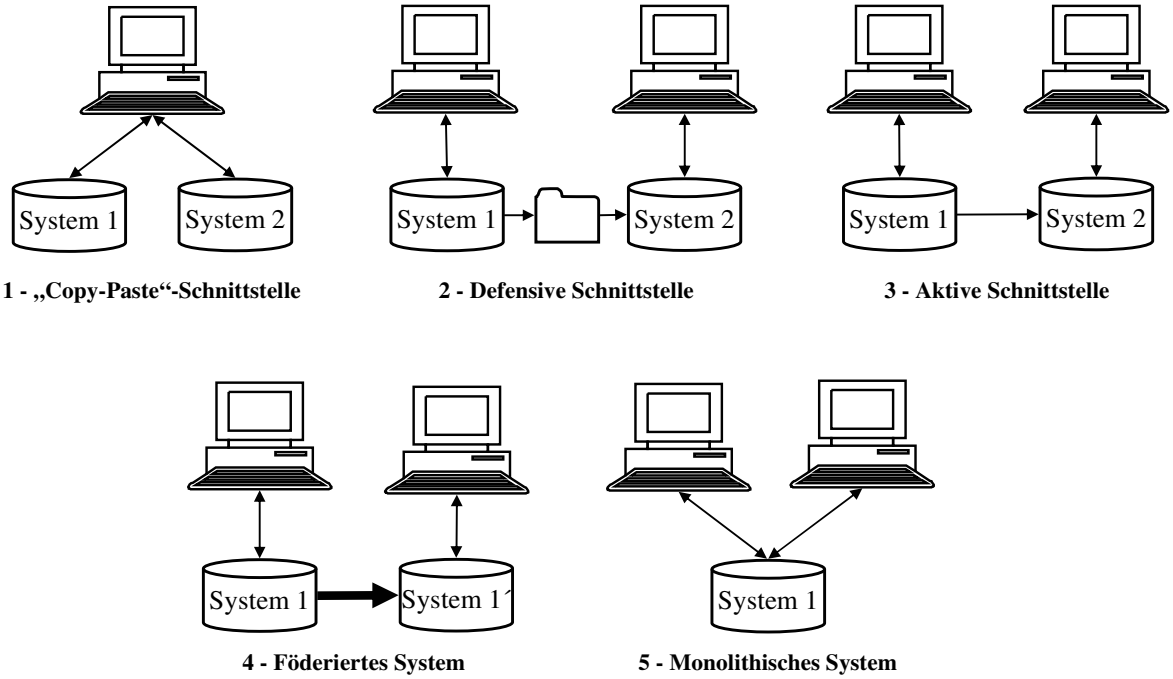


Abbildung 6-20: Verschiedene technische Ausprägungen von Systemschnittstellen [DoMu00]

Die einfachste Art der Systemintegration ist die so genannte „Copy-Paste“-Schnittstelle, die darin besteht, dass ein Anwender von einem Applikationsrechner aus auf beide beteiligten Verwaltungssysteme Zugriff hat. Diese ist dargestellt in Abbildung 6-20 (1). Die Daten werden hier einfach vom Anwender von einem System ins das andere manuell kopiert. In der nächsten Ausbaustufe, der so genannten defensiven Schnittstelle in Abbildung 6-20 (2), wird die „Copy-Paste“-Schnittstelle teilautomatisiert, d.h. die Daten aus System 1 werden in einen Eingangskorb von System 2 übertragen, der Anwender von System 2 wird automatisch benachrichtigt, dass neue Daten zur Übernahme in sein System bereitstehen. Damit hat der Anwender von System 2 aber erst dann Zugriff auf die Daten, wenn sie in seinem System angekommen sind. Abbildung 6-20 (3) zeigt die nächste Stufe, die als aktive Schnittstelle bezeichnet wird. Diese steht im Gegensatz zur defensiven Schnittstelle permanent zur Verfügung und erlaubt auch eine direkte Anfrage des Anwenders des Systems 2 auf die Daten in System 1. Sehr aufwendig ist in diesem Fall aber die Übersetzung von Metadaten und Strukturinformationen beim Datenaustausch, da die Datenmodelle von System 1 und 2 sich grundlegend unterscheiden können. Dies wird im föderierten System umgangen, siehe Abbildung 6-20 (4). Hier basieren beide Systeme auf einem gemeinsamen Kern und einem harmonisierten Datenmodell, was den Datenaustausch erheblich erleichtert. Durch die föderierte Architektur kön-

nen außerdem die gleichen Funktionen auf die Daten angewendet werden, wodurch viele Arbeitsschritte, die an den Daten vollzogen werden sollen, flexibel zwischen beiden Systemen verteilt werden. Die fünfte Stufe, die als die stärkste Ausbaustufe der Systemintegration bezeichnet werden kann, ist das in Abbildung 6-20 (5) gezeigte monolithische System. Hier greifen verschiedene Autorensysteme auf die gleiche Datenbasis zu, wodurch gar keine Schnittstellen notwendig sind. Dadurch entfallen sämtliche Schwachstellen in Bezug auf redundante Datenhaltung und Konsistenz, die für verteilte Systemumgebungen sehr typisch sind. Dies muss allerdings erkauft werden durch einen hohen Aufwand bei der Abbildung der Informationen aus den Autorensystemen, die sich im Aufbau ihrer Datenmodelle und Strukturen sehr stark unterscheiden können. Allerdings geht bei dieser monolithischen Systemumgebung sehr viel Flexibilität verloren, denn die Bündelung der vielseitigen Informationen in einer einzigen Datenbank macht bei jedem Versionswechsel endlose Testschleifen notwendig.

Die gezeigten Arten der Systemintegration bieten jeweils verschiedene Vor- und Nachteile. In [DoMu00] wird eine Bewertung der verschiedenen Ansätze entlang der Kategorien Kosten, Funktionalität und Komplexität vorgeschlagen. Diese ist in ähnlicher Form, wenngleich auch mit einem etwas anderen Ergebnis, in Tabelle 2 durchgeführt.

Schnittstelle	**Anschaffungs-kosten**	**Betriebskosten**	**Funktionalität**	**Komplexität**
1-„Copy-Paste“-Schnittstelle	sehr gering	sehr hoch	sehr gering	sehr gering
2-Defensive Schnittstelle	gering	hoch	gering	gering
3-Aktive Schnitt-stelle	mittel	hoch	hoch	mittel
4-Föderiertes System	hoch	mittel	hoch	hoch
5-Monolithisches System	sehr hoch	mittel	sehr hoch	mittel

Tabelle 2: Gegenüberstellung der verschiedenen Integrationsarten

Die Anschaffungskosten sind beim monolithischen System sicherlich am höchsten, da hier die existierende Systemlandschaft grundlegend verändert werden muss, gleichzeitig werden die existierenden Prozesse und Methoden sehr stark verändert. Demgegenüber entstehen bei den

ersten beiden Schnittstellenarten lediglich Mehraufwände in Form zusätzlicher Lizenzkosten, die sich eher in Grenzen halten. Die Betriebskosten der technisch einfachen Lösungen sind wiederum relativ hoch, da hier in der Regel zwei Datenbanken parallel gewartet und betreut werden müssen. Im Hinblick auf die Funktionalität decken die technisch anspruchsvollen Integrationskonzepte den größten Umfang ab, wobei auch die aktive Schnittstelle bei entsprechendem Programmieraufwand viele Funktionen bieten kann. Die Komplexität für den Anwender steigt gemeinhin mit der Komplexität der Schnittstelle. Entsprechend kann hier ein Anstieg von Lösung 1 bis 4 verzeichnet werden. Beim monolithischen System wird die Komplexität jedoch wieder reduziert, da der Anwender hier innerhalb einer einzigen Umgebung arbeiten kann. Dadurch, dass der Monolith aber alle verschiedenen Anwender zufrieden stellen muss, ist das Gesamtsystem viel anspruchsvoller als mehrere Einzelsysteme, weshalb eine mittlere Einstufung bei der Komplexität als gerechtfertigt erscheint.

Bereits die einfache Bewertung an Hand dieser vier Kategorien zeigt, dass die jeweiligen Konzepte zur Systemintegration sich sehr stark unterscheiden. Die Auswahl einer Lösung kann nur an Hand der existierenden Anforderungen und Randbedingungen erfolgen. Im Abschnitt 6.1 dieses Kapitels wurde bereits methodisch begründet, warum die Fertigungsstruktur innerhalb des PDM-Systems der Produktentwicklung aufgebaut werden soll. Als stärkstes Argument für diese Festlegung wurde die hohe Anzahl von Produktänderungen genannt, die zum Zeitpunkt, zu dem die beschriebenen Folgerprozesse ihre Tätigkeiten auf der Grundlage der Bauteilgeometrie beginnen, noch durchgeführt werden. Bei diesen Änderungen handelt es sich aber hauptsächlich um geometrische Modifikationen der Bauteile, während die Produktstruktur selbst weitaus seltener modifiziert wird. Das bedeutet, dass die Fertigungsstruktur, die aus der Produktstruktur abgeleitet wird, nicht so oft modifiziert werden muss wie die Informationen, die sie beinhaltet. Ein Spann- und Fixierkonzept muss beispielsweise bei jeder geometrischen Veränderung der zugeordneten Bauteile überprüft und eventuell angepasst werden, während die Fügefolge, in der es verwendet wird, konstant bleiben kann. Diese Überlegung ist wichtig, um die notwendigen Schnittstellen zwischen PDM-System und Planungsdatenbank zu konzipieren und dabei zu beschreiben, wie die Informationen zwischen beiden ausgetauscht werden.

In Tabelle 3 sind die beteiligten Datenverwaltungssysteme sowie die jeweils darin verwalteten Informationen zur besseren Übersicht noch einmal dargestellt. Im unteren Tabellenbereich erkennt man die im Rahmen des neuen Konzepts hinzukommende Fertigungsstruktur sowie

das darin archivierte Spann- und Fixierkonzept, die beide nun zusätzlich innerhalb des PDM-Systems verwaltet werden sollen. Gleichzeitig ist in den Spalten der jeweiligen Systeme das Änderungsaufkommen in den frühen Phasen der Produktentstehung gekennzeichnet, da speziell diese Phase den kritischen Zeitpunkt innerhalb der betrachteten Prozesskette Karosserierohbau darstellt.

	PDM-System		**Planungsdatenbank**	
	verwaltete Informationen	**Änderungen in frühen Phasen**	**verwaltete Informationen**	**Änderungen in frühen Phasen**
Ist-Zustand	Produktdaten (inkl. Toleranzkonzept)	hoch	Fügefolge (inkl. Verbindungselemente)	mittel
	Produktstruktur	mittel	Fertigungskonzept	gering
	Verbindungselemente	hoch	Layout der Fertigungsanlage	gering
	Vorrichtungsdaten	gering	Prozessdaten	mittel
neues Konzept	Fertigungsstruktur	hoch		
	Spann- und Fixierkonzept	hoch		

Tabelle 3: Informationen innerhalb der beteiligten Systeme

Anhand der Tabelle wird deutlich, dass die Anzahl der Änderungen auf Seiten der Planungsdatenbank wesentlich niedriger ist, da man hier versucht, die Planungsprojekte auf eher statischen Ständen aufzubauen. Die noch sehr stark von Änderungen betroffenen Produktdaten spielen innerhalb der zu diesem Zeitpunkt existierenden Fertigungskonzepte und Layouts noch keine wesentliche Rolle, hier reichen grobe Abschätzungen. Das Änderungsaufkommen in der Planungsdatenbank steigt zwar in den späteren Prozessphasen an, wenn die Serienanlage auskonstruiert wird und der Produktionsbeginn näher rückt. Die Produktdaten ändern sich zu diesem Zeitpunkt aber fast gar nicht mehr, wodurch die betrachtete Systemschnittstelle keinen kritischen Faktor mehr darstellt.

Für die Übertragung der Produktdaten in die Planungsdatenbank existiert in der aktuellen Systemlandschaft schon eine Schnittstelle, die innerhalb der vorgestellten Kategorien am ehesten als defensive Schnittstelle eingestuft werden kann. Auf der Grundlage der gerade formulierten

Überlegungen bezüglich der Änderungshäufigkeit wird für die operative Umsetzung des Konzepts in die existierende Systemlandschaft eine „Copy-and-Paste“-Schnittstelle vorgesehen, d.h. die Übertragung der für die Fertigungsstruktur relevanten Informationen aus dem Planungssystem zurück in das PDM-System der Produktentwicklung erfolgt durch einen manuellen Prozess. Organisatorisch ist dies möglich, da die mit dem Aufbau der Fertigungsstruktur betraute Abteilung über beide Systeme verfügt. Diese Realisierung ist außerdem sehr kostengünstig, da zunächst keine spezielle Schnittstelle programmiert werden muss. So können im Rahmen der pilothaften Umsetzung des Konzepts weitere Erfahrungen gesammelt werden, um dann in einem nächsten Schritt die Integration der beteiligten Systeme weiter voran zu treiben und möglicherweise weitere Informationen zu berücksichtigen. Gleichzeitig können beim Ausbau der Systemintegration hin zu einer aktiven Schnittstelle die einzelnen Tätigkeiten bei der Datenübertragung immer stärker automatisiert werden, um die Komplexität für den Anwender sukzessive zu reduzieren. Um diese Optimierungen sinnvoll zu gestalten sind aber umfangreiche Erfahrungen im Umgang mit der neuen Struktur und den veränderten Arbeitsweisen notwendig.

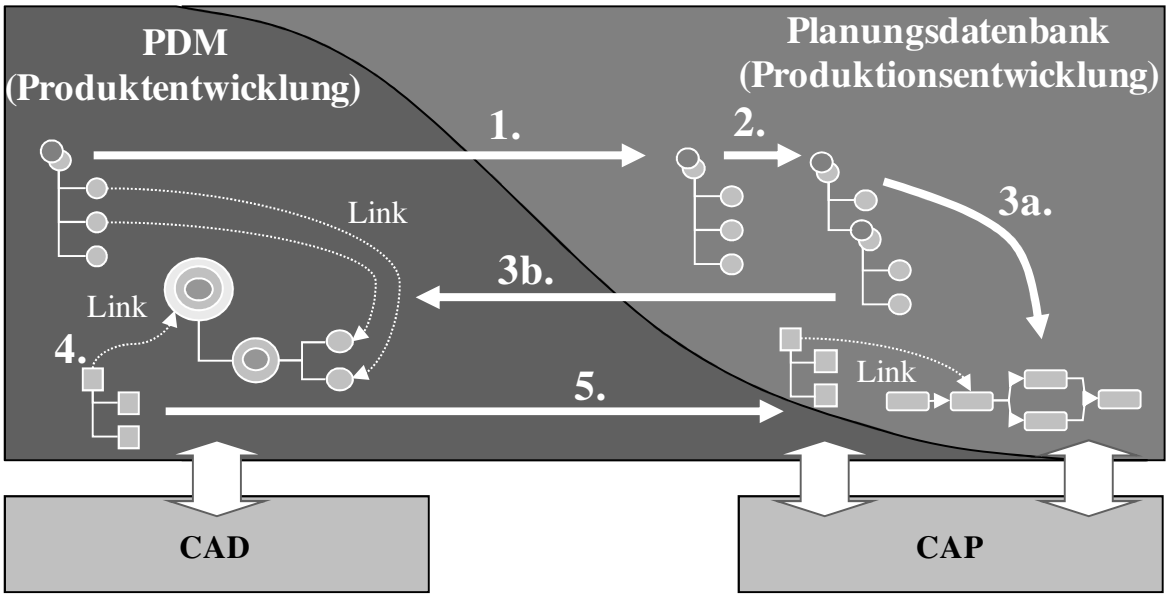


Abbildung 6-21: Implementierung der Fertigungsstruktur in die existierende Systemumgebung

Abbildung 6-21 zeigt die Implementierung der Fertigungsstruktur mit dem Schalenmodell innerhalb der existierenden Systemumgebung. Auf die Darstellung des ERP-Systems wurde dieses Mal verzichtet, da es im Kontext der operativen Umsetzung des Konzepts keine Rolle gespielt hat. Im ersten Schritt wird die Produktstruktur über die existierende, defensive Schnittstelle in die Planungsdatenbank übertragen (1). Dort wird im zweiten Schritt aus der

Produktstruktur durch die Einbeziehung fertigungstechnischer Aspekte die Fügefolge abgeleitet (2). Diese wird einerseits im Rahmen der anschließenden Festlegung des Fertigungskonzepts verwendet (3a), gleichzeitig aber auch über die neu konzipierte „Copy-and-Paste"-Schnittstelle zurück in das PDM-System übertragen (3b), wobei teilautomatisiert die Fertigungsstruktur entsteht. Bei diesem Schritt werden automatisch Links zwischen den Bündelelementen für Prozessdaten und den entsprechenden Knoten der Produktstruktur erzeugt. Über das Bündelelement für Ressourceinformationen erfolgt dann die Konstruktion der Vorrichtung (4), die ebenfalls in die Fertigungsstruktur verlinkt wird. Über den Zugriff auf das PDM-System können in den Planungswerkzeugen die auskonstruierten Vorrichtungen im Rahmen von Simulationen anschließend validiert werden, gleichzeitig erfolgt deren Übertragung in die Planungsdatenbank (5) zur Verwendung innerhalb des Fertigungskonzepts und des Fabriklayouts.

Anhand dieser Implementierung erfolgt auch die Beschreibung der operativen Umsetzung des Konzepts in einer ersten Baureihe, die im Kapitel 7 beschrieben wird. Zuvor soll aber noch kurz auf mögliche alternative Umsetzungskonzepte eingegangen werden, die innerhalb der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Forschungsarbeiten untersucht wurden.

6.4.2 Mittel- bis langfristige Umsetzung in einer veränderten PDM-Landschaft

Bei der Formulierung der Anforderungen an das Management von Informationen beim Übergang von Produktentwicklung zur Produktionsentwicklung wurde auch auf absehbare Änderungen bzw. strategische Trends im Umfeld der beteiligten IT-Systeme eingegangen (siehe hierzu auch [BDVH03] oder [BVDW04]). Generell kann beobachtet werden, dass die zu verwaltende Datenmenge in allen CAx-Applikationen ansteigt, unabhängig davon in welcher Phase des Produktentstehungsprozesses diese eingesetzt werden. Gleichzeitig steigt die Komplexität in den dabei abgebildeten Datenmodellen und den von ihnen gebildeten Strukturen immens an. Beides muss aber sinnvoll und effizient verwaltet werden können, um den Anforderungen in den Entwicklungsprozessen Stand zu halten. Gleichzeitig versuchen die IT-Hersteller ihre Kunden immer stärker von ihrem eigenen Portfolio abhängig zu machen, da versucht wird, nicht nur die Autorensysteme, sondern auch die zugehörigen Verwaltungssysteme an den Käufer zu bringen. Die dabei angebotenen „All-in-One"-Lösungen können aber keineswegs als ausgereift bezeichnet werden, siehe hierzu auch [Dyla04].

Durch diese Entwicklungen wird sich die Systemarchitektur mittelfristig verändern, hin zu einer immer stärker verteilten Entwicklungsumgebung [AbGL98], bei der verschiedene Ausprägungen von Verwaltungssystemen eingesetzt werden müssen. Bei [EiST01] ist von so genannten L-PDM-Systemen die Rede, die für eine lokale Unterstützung von Applikationen gedacht sind. Im Kontext dieser Arbeit werden solche applikationsnahen, also eng auf das jeweilige Autorensystem abgestimmten, Datenverwaltungswerkzeuge als Team-Data-Management-Systeme (TDM-Systeme) bezeichnet. Die bereits beschriebene Planungsdatenbank ist ein Beispiel für diese Systemkategorie, da sie als Datenbank speziell auf das CAP-Werkzeug ausgelegt ist. Ein Verwaltungswerkzeug für Ablaufsimulationen wäre ein weiteres Beispiel aus dem Produktionsentwicklungsumfeld, während in den konstruktiven Prozessen schon heute eigene Datenbanken zur Verwaltung von Berechnungsergebnissen oder zum Ablegen der Packaging-Untersuchungen im Einsatz sind. All diese Verwaltungssysteme stehen aber als Anwendungen noch recht isoliert da, es gibt derzeit noch keine übergeordnete und zielführende Integrationsstrategie.

Bezieht man diese Überlegungen auf die Systemlandschaft der betrachteten Prozesskette Karosserierohbau, so verändert sich diese wie in Abbildung 6-22 dargestellt.

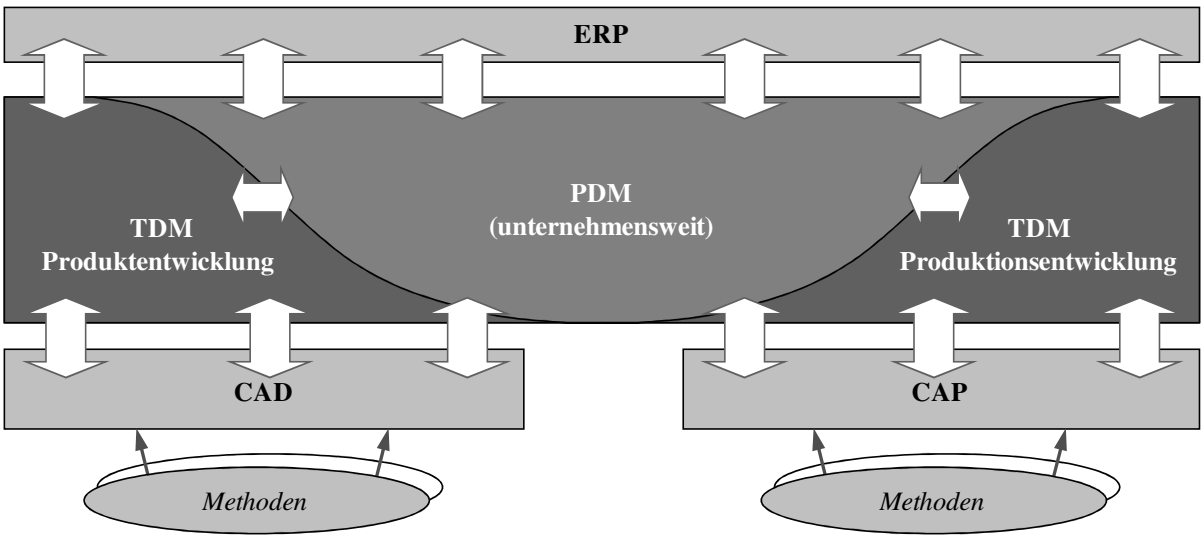


Abbildung 6-22: Veränderte Systemlandschaft mit TDM-Systemen [BVDW04]

Hier erkennt man auf der Seite der Produktentwicklung nun ebenfalls ein TDM-System, um die Konstrukteure in ihren Tätigkeiten ausreichend unterstützen zu können und auch Methoden wie assoziatives oder parametrisches Konstruieren zu ermöglichen. Zwischen den verschiedenen TDM-Systemen liegt das PDM-System als unternehmensweite Informationsplattform. Auch die ERP-Systeme werden in den letzten Jahren immer stärker ausgebaut und um-

fassen immer mehr Funktionalitäten in Bezug auf Stücklistenverwaltung sowie Prozessdokumentation. Für diese Landschaft müssen neue Integrationsansätze geliefert werden, um auch mittel- und langfristig den effizienten Austausch von Informationen zu ermöglichen. Vor allem muss untersucht werden, welches System zu welchem Zeitpunkt die Hauptrolle in einem Prozess innehat, und welche Informationen in die anderen Systeme übertragen werden müssen. Dabei sind verschiedene Ansätze denkbar, wie in Abbildung 6-23 dargestellt ist.

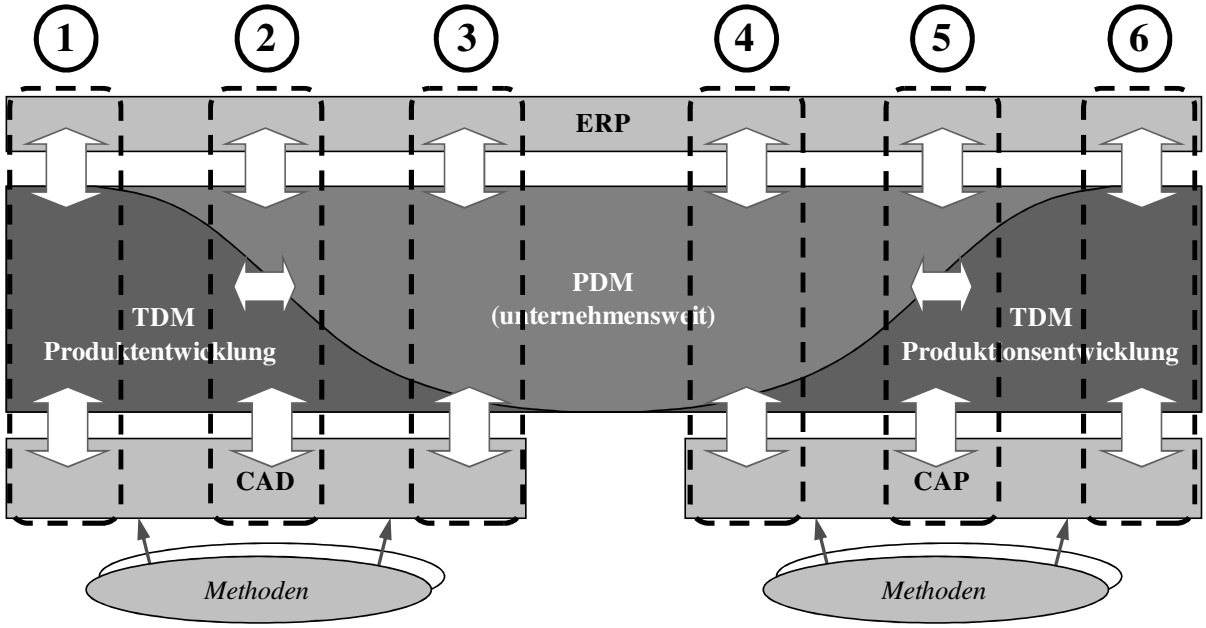


Abbildung 6-23: Integrationskonzepte für die veränderte Systemlandschaft [BVDW04]

Die gestrichelt eingezeichneten Kästchen symbolisieren dabei jeweils einen Integrationsansatz für eine Systemschnittstelle innerhalb der betrachteten Landschaft. Die Integrationsansätze 1 bis 3 beschreiben die Seite der Produktentwicklung, die Ansätze 4 bis 6 die Produktionsentwicklung. Die äußeren Kästchen stellen auf beiden Seiten ein Konzept dar, bei dem vom jeweiligen Autorensystem über das zugeordnete TDM-System direkt das ERP-System mit Daten versorgt wird. Das ERP-System würde dabei die eigentliche Integrationsplattform darstellen, auf deren Ebene die Informationen aus den verschiedenen applikationspezifischen Datentöpfen zusammenlaufen. Aus pragmatischer Sicht könnte für bestimmte Informationen aber auch eine Querverbindung zwischen benachbarten TDM's innerhalb einer Prozesskette vorgesehen werden. Die Ansätze 3 und 4 verdeutlichen das andere Extrem, bei dem auf keiner der beiden Seiten des betrachteten Entwicklungsprozesses ein TDM-System eingesetzt wird und lediglich das PDM-System als monolithischer Informationsträger verwendet wird. Im Hinblick auf das in dieser Arbeit betrachtete Unternehmen wird dieser Ansatz beispielsweise im Rahmen der Bauteilkonstruktion verwendet, lediglich innerhalb von hochkomplexen Kon-

struktionsprozessen bei der Motorenentwicklung wird noch zusätzlich ein TDM-System angewendet. Die Ansätze 2 und 4 stellen jeweils den Mittelweg zwischen den Extremlösungen „nur TDM“ oder „nur PDM“ dar. Hier werden vom Autorensystem aus zunächst umfangreiche Informationen und Strukturen im TDM-System abgelegt, während im nächsten Schritt, z.B. bei Erreichen eines definierten Reifegrades, ein reduzierter Datensatz in das PDM-System übertragen wird. Dort stehen die Daten dann dem Zugriff und der Weiterverarbeitung durch andere TDM-Systeme zur Verfügung. Untersuchungen am Beispiel von Bauteilumfängen, die im Rahmen der Forschungsarbeiten der vorliegenden Arbeit gemacht wurden, haben gezeigt, dass nur ein Bruchteil der vorhandenen Informationen aus Sicht der Folgeprozesse wirklich benötigt wird. Für den Konstrukteur der Vorrichtung ist es beispielsweise vollkommen uninteressant, wie die einzelnen Herstellungsschritte aussehen, die zur Fertigteilgeometrie eines Bauteils führen. Ihn interessiert nur die finale Geometrie, so, wie das Bauteil in seine Vorrichtung kommt. In vielen Fällen konnte sogar belegt werden, dass für die Weiterverwendung der Produktdaten in Folgeprozessen tesselierte Formate vollkommen ausreichend wären.

Im Rahmen der im Kontext dieser Arbeit durchgeführten Forschungsarbeiten wurden die in Abbildung 6-23 gezeigten Alternativen an Hand der Prozesskette Karosserierohbau untersucht und bewertet, um die jeweiligen Stärken und Schwächen zu beleuchten.

Integrationsansatz	**Vergleichskriterien**				
	Koordinationsaufwand	**Anzahl Schnittstellen**	**Flexibilität Erweiterbarkeit**	**Datenqualität**	**Informationsgüte**
„nur TDM“	hoch	mittel	gering	mittel	hoch
„nur PDM“	gering	gering	mittel	hoch	gering
gemischte Lösung	hoch	hoch	hoch	mittel	hoch

Tabelle 4: Gegenüberstellung der Integrationsansätze auf Systemebene

Der Vergleich der drei Ansätze, der in Tabelle 4 als Übersicht dargestellt ist, erfolgt an Hand von fünf verschiedenen Kriterien. Zunächst wird der Koordinationsaufwand betrachtet, der nötig ist, um das jeweilige Konzept in einem realen Entwicklungsprozess anzuwenden. Solche Aufwände entstehen typischerweise bei der Beschaffung bzw. Verwaltung der Informationen innerhalb der einzelnen Tätigkeiten. Eine typische Fragestellung bei der Betrachtung des Koordinationsaufwand wäre etwa „Wie oft müssen die Daten angefasst werden?“. Das nächste Kriterium, die Anzahl der Schnittstellen, lässt sich relativ einfach untersuchen, denn diese

steigt logischerweise mit der Anzahl der beteiligten Systeme. Damit verwandt ist die Frage nach der Flexibilität und Erweiterbarkeit der einzelnen Konzepte. Diese zielt ab auf den Aufwand, der betrieben werden muss, wenn ein zusätzliches System in die integrierte Landschaft mit aufgenommen werden soll bzw. wenn sich Anpassungen im Rahmen von Versionswechseln oder Änderungen an Datenmodellen ergeben. Die Datenqualität bezieht sich auf die drei Faktoren Aktualität der Datensätze, Redundanz in der Datenhaltung und Konsistenz der vorhandenen Daten. Das letzte Kriterium, die Informationsgüte, versteht sich als Maß dafür, in wieweit die Informationen aus dem Autorensystem auch explizit im Verwaltungssystem abgebildet werden können. Hier wird etwa betrachtet, ob ein Zugriff auf wichtige Attribute der Daten möglich ist oder Beziehungen zwischen einzelnen Datenobjekten aufgelöst werden können.

Vergleicht man die drei Ansätze an Hand dieser Kriterien gegeneinander, so ergeben sich wie auch bei der Betrachtung der unterschiedlichen Lösungsmöglichkeiten für die Integration auf Schnittstellenebene jeweils einige Vor- und Nachteile. Diese werden für jeden der Ansätze nun kurz beschrieben.

Der Ansatz, der auf die alleinige Anwendung des TDM-Systems baut, birgt einen relativ hohen Koordinationsaufwand in sich, denn der Anwender muss sich in seiner täglichen Arbeit mit dem Verwaltungssystem auseinandersetzen. Er kann nicht mehr, wie es bisher oft der Fall war, verzeichnisorientiert arbeiten. Insofern stellt eine datenbankorientierte Arbeitsweise immer einen Mehraufwand dar. Dieser zahlt sich aber aus bei der vollständigen Abbildung der Informationen aus der jeweiligen Applikation, da diese ganzheitlich erfasst und verwendet werden können. Auch die Datenqualität ist relativ hoch, da für einen begrenzten Bereich die Stände aktuell und konsistent gehalten werden können. Problematisch wird es nur, wenn es um die Bereitstellung von Informationen für Folgeprozesse geht, denn für diese sind die hochkomplexen Strukturen des TDM-Systems nur schwer nachvollziehbar und deren Aufbereitung daher mit viel Aufwand verbunden. Dieses Konzept hat deshalb auch Nachteile in Bezug auf die Flexibilität und Erweiterbarkeit, da es keine sehr offene Architektur darstellt.

Der zweite Ansatz, die Lösung, die nur mit dem PDM-System als Verwaltungswerkzeug arbeitet, stellt demgegenüber einen offeneren Ansatz dar. Dies liegt hauptsächlich daran, dass die Daten und Strukturen in ein Datenformat übersetzt werden müssen, das ein Stück weit von der erzeugenden Applikation losgelöst ist. Durch den dafür notwendigen Aufbereitungsschritt fällt es leichter, weitere Systeme zu integrieren. Der Koordinationsaufwand bei dieser Lösung

ist relativ überschaubar, da nur ein einziges, zentrales System gewartet und betreut werden muss, auf das alle Applikationen zugreifen. Für den Anwender bietet eine solche Architektur ein recht geringes Maß an Komplexität, da er mit seinen Arbeitsstrukturen weiterhin verzeichnisorientiert arbeiten kann und nur die „reifen“ Datenstände ins PDM-System überträgt. Die Anzahl der Schnittstellen hält sich in Grenzen, denn diese entspricht maximal der Anzahl der an das PDM-System angebundenen Applikationen. Die Datenqualität der im PDM-System abgelegten Daten kann als relativ hoch eingestuft werden. Da dieser Ansatz eine zentrale Datenhaltung ohne Redundanz dar stellt, treten kaum Probleme hinsichtlich Aktualität und Konsistenz auf. Dafür hat der Ansatz im Umkehrschluss aber sehr starke Nachteile hinsichtlich der Datengüte, denn bei der Abbildung der Daten und Strukturen im PDM-System müssen starke Informationsverluste in Kauf genommen werden.

Der dritte Ansatz, die kombinierte Lösung, hat das Potential, die Nachteile der beiden anderen Konzepte teilweise auszugleichen und gleichzeitig die Vorteile zu kombinieren. So ist einerseits eine sehr gute Abbildung der Datenobjekte und Strukturen im TDM-System möglich, da es schließlich auf die jeweiligen Autorensysteme abgestimmt ist. Speziell die frühen Phasen der einzelnen Teilprozesse lassen sich so optimal unterstützen. Andererseits stehen die Daten nach der Übertragung ins PDM-System, das hier die Rolle der zentralen Informationsdrehscheibe einnimmt, aber unternehmensweit zur Verfügung. Bei diesem Übergang gehen zwar Teile der Informationen verloren, aber es wurde weiter oben ja bereits beschrieben, dass das durchaus in Kauf genommen werden kann. Dies wirkt sich auch positiv auf die Flexibilität und Erweiterbarkeit aus, da im Idealfall sogar die Weiterreichung von vereinfachten Datenformaten ausreicht, wodurch standardisierte Schnittstellen wir STEP oder XML benutzt werden können. Neue Systeme können so relativ leicht integriert werden. Der Nachteil dieser Architektur steckt hauptsächlich im relativ hohen Koordinationsaufwand. Denn zur Realisierung dieses Konzepts ist es im notwendig, im Vorfeld die Prozesse und Methoden aller integrierten Fachbereiche klar zu strukturieren und die Zusammenarbeitsmodelle sauber zu definieren. Nur wenn festgelegt ist, welche Information zu welchem Zeitpunkt in welches System übertragen werden müssen, ist dieses Integrationskonzept umsetzbar.

Es fällt schwer, sich auf eine dieser drei Architekturvarianten festzulegen. Auch hier muss ein sorgfältiges Abwägen der Vor- und Nachteile gegeneinander stattfinden, wobei letzten Endes die Randbedingungen und Anforderungen der zu integrierenden Gesamtprozesse dafür Ausschlag gebend sind, welches Konzept am ehesten geeignet ist.

Es wurde eingangs dieses Abschnitts bereits erwähnt, dass das dieser Forschungsarbeit zu Grunde gelegte Prozessszenario Karosserierohbau auch im Rahmen von Untersuchungen der möglichen Integrationsszenarien für eine künftige Systemlandschaft angewendet wurde. Dazu wurden die Informationsflüsse innerhalb dieser Prozesskette im Detail analysiert, wozu zahlreiche Anwenderbefragungen notwendig waren, um ein möglichst ganzheitliches Bild zu erhalten. Dabei wurde auch festgehalten, in welchem Format die jeweilige Information bzw. die zugehörigen Datensätze in den jeweiligen Fachbereichen vorliegen. Einen Teil der dabei gewonnenen Ergebnisse zeigt Tabelle 5.

Fachabteilung	**Informationen**					
	Produkt-daten	**Verbin-dungs-elemente**	**Toleranz-konzept**	**Spann- u. Fixier-konzept**	**Fügefolge**	**Vorrich-tungs-daten**
Bauteilkonstruktion	nativ*	nativ*	lesend	lesend	lesend	lesend
Toleranzabteilung	nativ	lesend	nativ*	lesend	lesend	n.r.
Anlauffabrik	nativ	lesend	lesend	nativ*	nativ	lesend
Rohbauplanung	lesend	nativ	lesend	lesend	nativ*	lesend
Vorrichtungs-konstruktion	lesend	lesend	n.r.	nativ	lesend	nativ*
Produktions-absicherung	lesend	lesend	n.r.	lesend	lesend	lesend

Tabelle 5: Informationen und Zugriffsart in der Prozesskette Karosserierohbau (n.r. = nicht relevant)

Die Kennzeichnung „nativ“ in den Spalten der Tabelle bedeutet, dass in diesen Teilbereichen ein Zugriff auf die nativen Informationen notwendig ist, d.h. die Daten müssen im Format des Autorensystems vorliegen. Dies ist zum Beispiel für die Produktdaten der Fall, die im Rahmen der Konstruktion des Spann- und Fixierkonzepts im nativen Format benötigt werden, denn die zu konstruierenden Spannfeatures verwenden die Bauteilflächen als geometrisches Trägerelement und zum Beschnitt der Spannstellenkontur. Ein zusätzlicher „*“ in der Spalte zeigt an, dass diese Information auch von der jeweiligen Abteilung erzeugt wird. Die Be-

zeichnung „lesend“ ist gleichbedeutend mit einer Verwendung von vereinfachten Datenformaten. Beim Zugriff auf ein CAD-Modell würde in diesen Arbeitsschritten etwa die Verwendung einer tesselierten Repräsentation der Geometrie genügen. Dies ist zum Beispiel in der letzten Zeile bei der Produktionsabsicherung der Fall. Hier werden fast alle Informationen zusammengetragen, aber eine Absicherung im nativen Format ist auf Grund der Datenmenge nicht möglich. Dadurch, dass die vereinfachten Datenformate aber immer noch für Kollisionsanalysen bzw. kinematische Simulationen tauglich sind, reichen diese für den genannten Teilprozess aus.

Überträgt man diese Erkenntnisse in die veränderte Systemlandschaft, wie sie eingangs dieses Abschnitts beschrieben wurde, so ergibt sich für die Implementierung der Fertigungsstruktur die Darstellung in Abbildung 6-24.

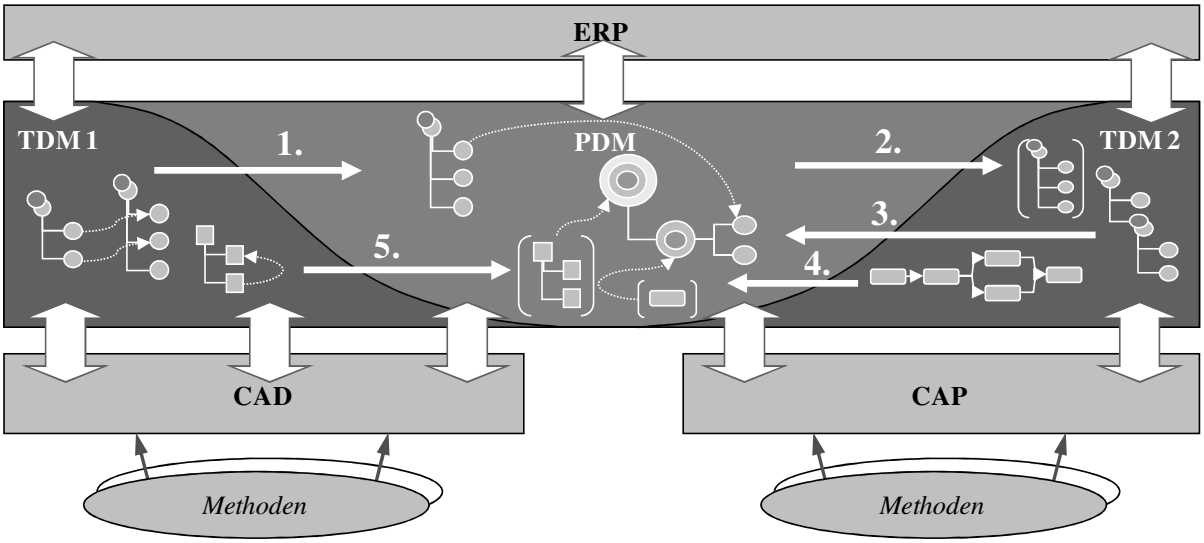


Abbildung 6-24: Implementierung der Fertigungsstruktur in der veränderten Systemumgebung

Hier steht für die CAD-gestützten Prozesse, die Bauteilkonstruktion sowie die Konstruktion der Vorrichtungen, ein TDM-System zur Verfügung. Dieses erlaubt die vollständige Nutzung der Modellierungsmethoden der CAD-Werkzeuge, inklusive assoziativer Links und wissensbasierter Ansätze. Dies ist dargestellt durch die verknüpften Strukturen in der linken Bildhälfte im TDM-System 1. Auf dieser Hälfte der Systemumgebung können auch die Hilfsstrukturen verwaltet werden, so, wie sie bei [Viel05] oder [Acke05] zur Unterstützung der Zusammenbauorientierten Arbeitsweise beschrieben sind. Die Produktdaten werden, sobald sie einen bestimmten Reifegrad erhalten haben, ins PDM-System übertragen (1) und stehen dort für Folgeprozesse zur Verfügung. In Tabelle 5 wird deutlich, dass die Produktdaten aber in vielen Teilprozessen im nativen Format benötigt werden, weshalb sie auch in diesem Format

ins PDM-System übertragen werden. Von dort aus können die Produktdaten in einem abgeleiteten Repräsentationsformat ins TDM-System der Produktionsentwicklung übernehmen, in Schritt (2) dargestellt durch die eingeklammerte Produktstruktur. Nach der Ableitung der Fügefolge kann mit deren Hilfe kann anschließend im Schritt (3) die Fertigungsstruktur im PDM-System aufgebaut werden. Dabei werden die Produktdaten sowie möglicherweise relevante Prozessinformationen über Relationen in die Fertigungsstruktur mit eingehängt, dargestellt als Schritt (4). Die Prozessinformationen werden im TDM-System in de rechten Bildhälfte verwaltet, die ins PDM-System übertragenen Anteile stellen lediglich einen gekapselten Informationsumfang dar, der für anderen Fachbereiche wie etwa die Vorrichtungskonstruktion von Interesse sind. Deren Daten im TDM-System auf der CAD-Seite erzeugt und anschließend ebenfalls als vereinfachtes Datenformat in Schritt (5) ins PDM-System übertragen, wo sie für Produktionsabsicherung und Produktionsplanung zur Verfügung stehen. Damit ist die Fertigungsstruktur als zentrales Informationselement im PDM-System vollständig. Sie steht dort zentral für alle Fachbereiche, die an dieses System angeschlossen sind, zur Verfügung und bündelt alle wichtigen Informationen, die für die Produktentstehungsprozesse und die anschließende Produktion wichtig sind. Auch die Langzeitarchivierung der Daten der Produktionsanlage kann dort erfolgen, ebenso wie das Einpflegen von Änderungen, die innerhalb der laufenden Produktion an den Anlagen und Vorrichtungen durchgeführt werden. Deren digitale Erfassung ist nämlich ein wesentlicher Baustein zur Realisierung der Ansätze zur Wiederverwendung der Anlagenteile.

Abschließend sei noch erwähnt, dass die im Kontext dieser Arbeit betrachtete Prozesskette speziell in frühen Phasen der Produktentstehungsprozesse sehr viele Verbesserungspotentiale aufweist, die das Konzept der Fertigungsstruktur im PDM-System sowie die Modellierung der Informationen im Schalenmodell beheben sollen. Bezieht man den gesamten Produktlebenszyklus in die Betrachtung mit ein, so ergeben sich speziell für die Einbettung des Konzepts in die Systemlandschaft noch weitere Schlussfolgerungen. Denn die Rolle der Systeme innerhalb dieser Landschaft ändert sich, je weiter die Produktentstehung voranschreitet. In einzelnen Phasen können neue Systeme auftauchen, während andere keine Bedeutung mehr in diesen Phasen haben. Dadurch erhalten die beschriebenen Integrationskonzepte eine Mehrdimensionalität, die es im Rahmen einer ganzheitlichen informationstechnischen Betrachtung des Produktlebenszyklus zu berücksichtigen gilt. An dieser Stelle sei auf die Arbeiten von [BiEV08] verwiesen, die sich mit dieser Thematik auseinandersetzen.

7 Operative Umsetzung des Konzepts

Das im vorangegangenen Kapitel beschriebene Konzept der Fertigungsstruktur mit der Modellierung der Informationen im Schalenmodell wurde innerhalb des in dieser Forschungsarbeit betrachteten Automobilkonzerns auch operativ umgesetzt. Die Umsetzung erfolgte im Rahmen der E-Fahrzeugphase einer Baureihe aus der Kompaktklasse. Um die Änderungen innerhalb der einzelnen Tätigkeiten in der Prozesskette Karosserie aus Sicht der Anwender überschaubar zu halten, war es notwendig, zunächst nur einen Teil der relevanten Informationen zu berücksichtigen. Daher beschränkt sich die operative Umsetzung des Konzepts auf die Modellierung und Verwaltung der Fügefolge sowie der Dokumentation des Spann- und Fixierkonzepts, das aus Sicht der Prozesskette Karosserierohbau aber eine der wichtigsten Informationen im Gesamtprozess darstellt.

Das vorliegende Kapitel beschreibt diese operative Umsetzung sowie die dabei gemachten Erfahrungen, mit deren Hilfe das in dieser Arbeit vorgestellte Konzept einer ersten Validierung unterzogen werden konnte. Dazu werden zunächst kurz die beteiligten IT-Systeme vorgestellt, bevor nachfolgend auf die konkrete Abbildung des Konzepts in diesen Systemen eingegangen wird. Anschließend wird noch auf die mögliche Übertragung dieses Konzepts auf den Prozess der Montageplanung eingegangen, wobei auch zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht eingesetzte Systeme berücksichtigt wurden.

7.1 Eingesetzte IT-Systeme

Im Rahmen der Konstruktion des Spann- und Fixierkonzeptes werden im aktuellen Prozess vier verschiedene IT-Systeme angewendet. Die Bauteilkonstruktion sowie die Modellierung des Spann- und Fixierkonzepts werden im CAD-System CATIA V5 des Herstellers Dassault Systémes durchgeführt. Die Archivierung der Produktdaten erfolgt im PDM-System Smaragd, das eine unternehmensspezifische Version des kommerziellen Systems Metaphase des früheren Herstellers SDRC darstellt. Gleichzeitig wird in diesem System die neu konzipierte Fertigungsstruktur umgesetzt. Von Smaragd aus werden die Produktdaten über eine unidirektionale Schnittstelle in die Planungsdatenbank der Produktionsentwicklung, den PPR-Hub, übertragen. Der PPR-Hub stammt von der Firma DELMIA, die eine Tochterfirma von Dassault Systémes ist. Die Ableitung der Fügefolge aus der Produktstruktur erfolgt innerhalb des

Systems DPM, das auf den PPR-Hub zugreift. Die einzelnen Systeme sind zum besseren Verständnis nachfolgend kurz beschrieben.

7.1.1 CAD-System CATIA V5

CATIA V5 ist ein parametrisch-assoziatives 3D-CAD-System von Dassault Systèmes. Es ist seit 2003 in einigen Fahrzeugentwicklungsprojekten des betrachteten Unternehmens im Einsatz und gilt als eine der marktführenden CAD-Softwarelösungen in der Automobilindustrie (vgl. [Bras02], [CoGM04]). CATIA V5 ist vollkommen modular aufgebaut, wobei sich der Anwender verschiedene Arbeitsbereiche („Workbenches“) zusammenkonfigurieren kann. Dadurch ist ein sehr breites Spektrum an verfügbaren Anwendungen und entsprechenden Funktionalitäten abdeckbar. Neben den Arbeitsbereichen für die geometrische Modellierung stehen so beispielsweise auch Anwendungen zur Festigkeitsberechung, zur Kinematisierung, für die Toleranzvergabe oder für DMU-Untersuchungen zur Verfügung.

In der aktuellen Version erlaubt CATIA V5 auch die Unterstützung fortschrittlicher Ansätze wie parametrisch-assoziative Modellierung oder wissensbasierte Konstruktion. Die Strukturierung der Daten in CATIA V5 erfolgt in Einzelteilen, CAT-Parts genannt, und Baugruppen, den CAT-Products. Dabei entscheidet die Strukturebene, die gerade aktiviert ist, welche Funktionen dem Anwender zur Verfügung stehen. Innerhalb der Einzelteile kann für die Bauteile ein sehr umfangreicher Strukturbaum angelegt werden, bei dem sich das fertige Bauteil aus mehreren Körpern aufbauen lässt. Im betrachteten Konzern wird im Rahmen der Bauteilkonstruktion für den Karosseriebereich ein sehr detailliertes Startmodell vorgegeben, das den geometrischen Aufbau der Produktdaten genau beschreibt und eine standardisierte Weiterverwendung der Daten erlaubt.

7.1.2 PDM-System Smaragd

Das PDM-System Smaragd stammt ursprünglich vom Hersteller SDRC, der heute zur Firma Unigraphics Solutions gehört. Smaragd ist eine unternehmensspezifische Anpassung des Systems Metaphase und wird seit sechs Jahren eingesetzt. Innerhalb des betrachteten Automobilkonzerns werden in Smaragd hauptsächlich die Produktdaten aus den CAD-Systemen verwaltet sowie die geometrische Beschreibung der Vorrichtungen aus der Prototypenproduktion. Die Versorgung der Produktstruktur erfolgt über ein angeschlossenes System zur Stücklistenverwaltung. Bauteile werden in Smaragd in Form von Sachnummern verwaltet, wobei es kei-

ne Unterscheidung der Sachnummern für Einzelteile und Baugruppen gibt. Innerhalb der Sachnummern liegen die physikalischen CAD-Dateien sowie eine Reihe von zusätzlichen Dokumenten zur Beschreibung des Produkts. In den Attributen der Sachnummer sind die auf das Produkt bezogenen Metadaten wie Versionen, Freigabestände, Reifegrade und ähnliches abgelegt. Die Positionierung der Bauteile erfolgt mit Hilfe von Transformationsmatrizen, die auf den Verbaurelationen zwischen den Sachnummern einer Struktur abgelegt werden. Über diese Relationen kann auch eine Auflösung von speziellen Codes erfolgen, bzw. wird hier auch das Laden von speziellen Versionen gesteuert. Die Übertragung der Daten aus dem CAD-System erfolgt über eine spezielle, bidirektionale Schnittstelle, die die Datenmodelle von CATIA V5 und von Smaragd zueinander übersetzt. Da die Verwaltung von Lageinformationen in CATIA V5 anders als in Smaragd erfolgt, ist es notwendig, die Einzelteilsachnummern aus Smaragd durch jeweils ein CATProduct mit einem zugehörigen CAT-Part in CATIA V5 abzubilden.

Zum Datenexport aus Smaragd steht eine STEP-Schnittstelle zur Verfügung, über die die physikalischen CAD-Dateien und die Strukturinformation aus dem System extrahiert werden können. Dies geschieht mittels des STEP-Protokolls AP214 CC6. Auch der Import von Daten nach Smaragd ist über diese Schnittstelle technisch möglich, wobei in der aktuellen Version auch Objekte und Strukturen beim Import neu angelegt werden können.

7.1.3 Planungsdatenbank PPR-Hub

Die Planungsdatenbank PPR-Hub ist eine Oracle-Datenbank, die Objekte vom Typ Prozess, Produkt oder Ressource verwaltet. Die einzelnen Objekte sind dabei in konkrete Planungsprojekte zusammengefasst, denen über einen so genannten Plantypensatz jeweils eine eigene Verhaltenslogik zu Grunde gelegt werden kann. Im Plantypensatz sind die Plantypen für sämtliche Datenobjekte in den Planungsprojekten gebündelt. Gleichzeitig beschreibt dieser, welche Verhaltenslogik den Objekten zu Grunde gelegt wird und wie sie strukturiert werden können. Die Administration und Verwaltung der einzelnen Objekte und der Projekte selbst erfolgt im Delmia Process Engineer, der die Nutzeroberfläche des PPR-Hub darsellt. Innerhalb dieser Oberfläche kann auch die alphanumerische Planung durchgeführt werden.

Daten aus Fremdsystemen können über eine XML-Schnittstelle, den PPR-Loader, in den PPR-Hub eingelesen werden. Die Art und Weise, wie die eingelesenen Daten im PPR-Hub

miteinander verknüpft werden sollen, muss dabei über eine Konfigurationsdatei im Vorfeld definiert werden.

7.1.4 CAP-System DPM

Das CAP-System DPM ist ein geometrieorientiertes, dreidimensionales Planungssystem, das sowohl eine verzeichnisorientierte Arbeitsweise als auch ein Zusammenspiel mit dem PPR-Hub unterstützt. Da DPM ebenfalls von Dassault Systémes stammt, ist sowohl der Aufbau als auch die Funktionsweise der Nutzeroberfläche weitestgehend identisch mit CATIA V5. Die Daten liegen hier allerdings in Form von so genannten CAT-Projects vor, die ihrerseits wiederum in die Sichten Produkt, Prozess und Ressource untergliedert sind. Bei der Arbeitsweise mit dem PPR-Hub werden auch die gleichen Plantypensätze und damit die entsprechend definierte Verhaltenslogik innerhalb von DPM verwendet.

Das System selbst erlaubt die Ableitung von Fügefolgen aus Produktstrukturen, die Modellierung von Prozessstrukturen sowie das Einbeziehen von Betriebsmitteln im Rahmen konkreter Fertigungskonzepte. Dabei kann auf umfangreiche Bibliotheken für Ressourceobjekte zurückgegriffen werden, die sich der Anwender selbst anlegen kann. Des Weiteren stehen Funktionen zur Layout-Erstellung, zur Austaktung von Linien sowie für die Simulation von Fertigungsprozessen zur Verfügung. Eine umfangreiche Unterstützung des planerischen Umgangs mit Verbindungselementen wird durch eine Vielzahl von entsprechenden Funktionen gewährleistet, deren volles Potential allerdings nur bei der Arbeitsweise im Zusammenspiel mit dem PPR-Hub genutzt werden kann.

7.2 Die Beispielbaugruppe ZB Hauptboden

Die Beschreibung der operativen Umsetzung innerhalb dieser Arbeit erfolgt an Hand der ZB-Stufe Hauptboden aus einem Fahrzeug der Kompaktklasse. Der Hauptboden gehört zum ZB Unterbau innerhalb der Z-Aufbaustufe Z1. Er umfasst insgesamt 11 Einzelteile, die konstruktionsseitig alle unterhalb einer ZB-Sachnummer angelegt sind. Abbildung 7-1 gibt einen Überblick über diese Baugruppe. Das Hauptbauteil bildet der Hauptboden selbst, der als Tailored-Blank, d.h. als Blechbauteil mit variabler Dicke, ausgelegt ist. Die Querträger-Paare, die links und rechts des Getriebetunnels angeordnet sind, dienen später im Fahrzeug zur Befestigung der Vordersitze. Über die Anschlussträger wird die Verbindung zur Stirnwand aus dem

ZB Vorbau hergestellt. Der Halter, der im hinteren Bereich des Getriebetunnels angebracht ist, dient später zur Befestigung von Montageteilen der Mittelkonsole. Bei den drei Verstärkungen im vorderen Bereich des Getriebetunnels handelt es sich um Mehrfachverwendungen, d.h. die drei Bauteile sind identische Sachnummern und werden lediglich mit Hilfe von Transformationsmatrizen unterschiedlich positioniert. In der Regel werden die genannten Anbauteile alle an den Hauptboden mit dem Verfahren Widerstandspunktschweißen gefügt, wobei im Einzelfall auch Laserschweißen oder Kleben als Verfahren möglich wäre. Die gezeigte Baugruppe verfügt insgesamt über 160 Verbindungselemente.

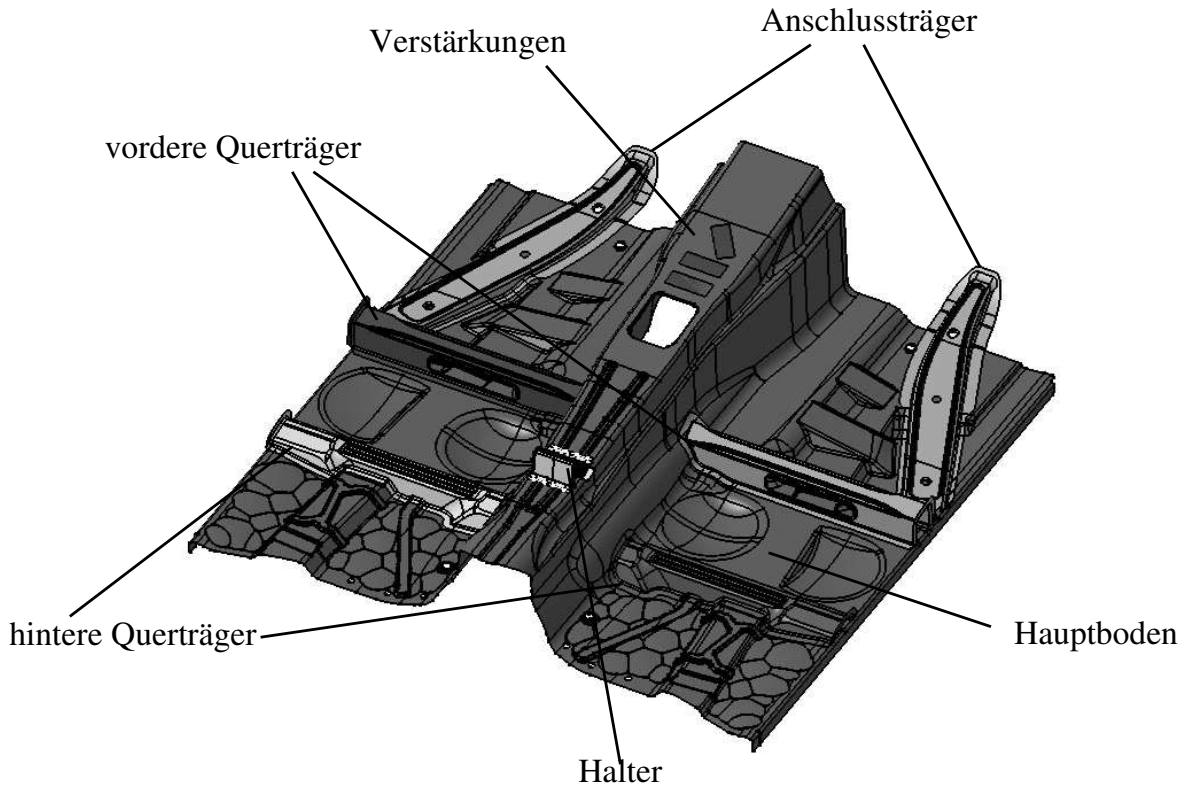


Abbildung 7-1: Die Baugruppe ZB Hauptboden

Bei den Verbindungselementen handelt es sich hauptsächlich um Zwei-Blech-Verbindungen, lediglich zwischen den Anschlussträgern, den vorderen Querträgern und dem Hauptboden gibt es einige wenige Drei-Blech-Punkte. Die einzelnen Anbauteile werden mit jeweils sechs Spannstellen in den Vorrichtungen aufgenommen und fixiert.

In Abbildung 7-2 ist die Fügefolge des ZBs Hauptboden dargestellt. Gegenüber der konstruktionsseitig dokumentierten Struktur mit elf Einzelteilen unter einer Sachnummer wird deutlich, dass bereits innerhalb dieser sehr überschaubaren Baugruppe zwei fertigungsbedingte Zusammenbaustufen entstehen, in der Abbildung grau eingefärbt. Diese sind notwendig, um

den ZB Hauptboden innerhalb der geforderten Taktzeit mit der geforderten Anzahl von Verbindungselementen herstellen zu können. Diese Prämissen sind dem Konstrukteur zum Zeitpunkt der Dokumentation der Produktstruktur aber noch unbekannt, da sie erst später festgelegt werden bzw. erst im Rahmen der Überlegungen zu einem konkreten Fertigungskonzept entstehen.

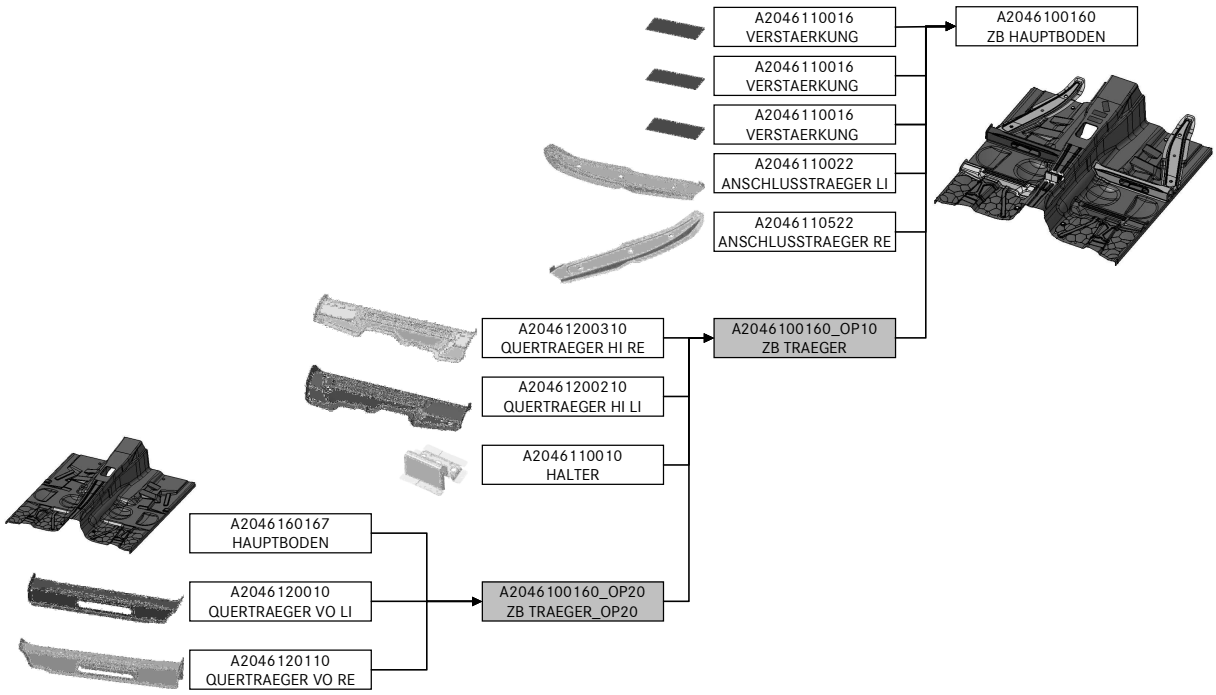


Abbildung 7-2: Fügefolge des ZB Hauptboden

Mit den beschriebenen Merkmalen stellt der ZB Hauptboden ein typisches Beispiel aus dem Karosserierohbau dar. Trotz der relativ einfachen Struktur reicht dieser Bauteilumfang aus, um die Umsetzung der Fertigungsstruktur detailliert am Beispiel des Teilprozesses „Definition des Spann- und Fixierkonzepts“ zu erklären.

7.3 Das Spann- und Fixierkonzept

Die Beschreibung der operativen Umsetzung des in dieser Arbeit vorgestellten Konzepts der Fertigungsstruktur unter Einbeziehung des Schalenmodells erfolgt an Hand der Definition des Spann- und Fixierkonzepts, das eine der wichtigsten Informationen in der Prozesskette Karosserierohbau darstellt. Das Spann- und Fixierkonzept ist die informationstechnische sowie auch physische Schnittstelle zwischen dem Produkt und seiner Produktionsanlage. Zum bes-

seren Verständnis dieser Information wird deshalb im Folgenden kurz auf Inhalt und Konstruktionsprinzip des Spann- und Fixierkonzepts eingegangen.

Soll eine Baugruppe aus mehreren Einzelteilen innerhalb einer Vorrichtung gefügt werden, so muss gewährleistet werden, dass die Einzelteile bei diesem Fertigungsprozess völlig spielfrei gelagert sind. Um dies zu gewährleisten, wird für jedes Bauteil ein Spann- und Fixierkonzept beschrieben, das dem so genannten 3-2-1-Prinzip folgt. Durch die einzelnen Spannstellen und Fixierpunkte werden dem Bauteil nach und nach die Freiheitsgrade genommen, bis es räumlich voll fixiert und in seiner Lagerung statisch bestimmt ist. An den Spannstellen wird das Bauteil später in der Vorrichtung durch Spanner festgeklemmt. Fixierpunkte werden über Scherbolzen, Schwerstifte oder einfache Anschläge realisiert. Abbildung 7-3 zeigt exemplarisch das Prinzip der Dokumentation des Spann- und Fixierkonzepts an Hand eines wannenförmigen Bauteils, in das zwei Winkelstücke eingelegt werden.

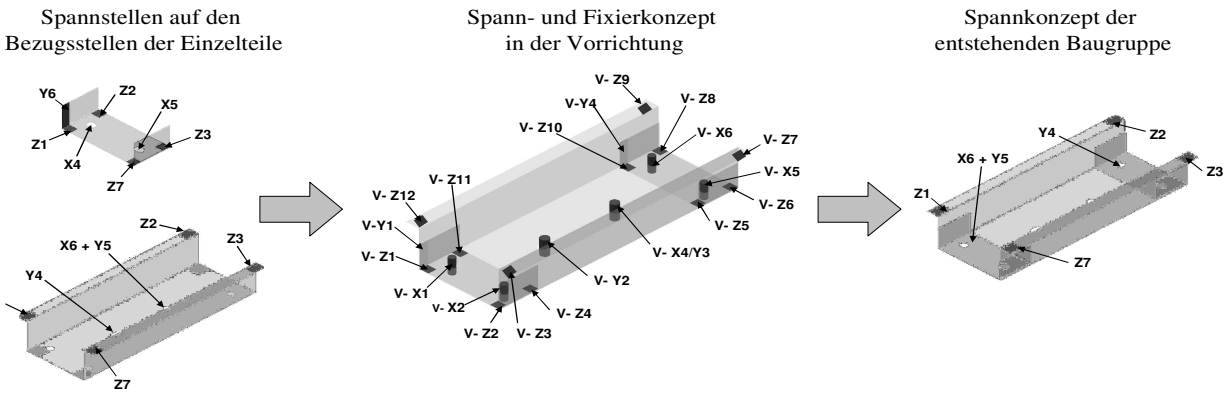


Abbildung 7-3: Prinzipdarstellung des Spann- und Fixierkonzepts

Auf der linken Seite der Abbildung sind die Einzelteile beschrieben, wobei die eingezeichneten Spannstellen jeweils auch den Bezugsstellen des dargestellten Bauteils entsprechen. In der mittleren Bildhälfte sind die Bauteile im Kontext der Vorrichtung abgebildet. Die Spannstellen der Einzelteile werden hier zusammengeführt und liegen an manchen Stellen zwangsläufig übereinander, um eine fixierte Bauteilpaarung zu gewährleisten. Auf der rechten Seite ist die resultierende Baugruppe abgebildet, die ebenfalls wieder ein eigenes Spann- und Fixierkonzept in die nächste, übergeordnete Vorrichtung mitbringt. Innerhalb dieser entstehenden Baugruppe werden die Daten aus den zuvor für Einzelteil und Vorrichtung beschriebenen Spannstellen weiterverwendet.

7.4 Die operative Implementierung der Fertigungsstruktur

Im Folgenden wird beschrieben, wie die Fertigungsstruktur im PDM-System Smaragd aufgebaut und verwendet wird. Dazu werden zunächst kurz die Datenobjekte vorgestellt, die im Rahmen dieser Arbeit neu in dem System Smaragd eingeführt wurden. Anschließend wird der schrittweise Aufbau der Fertigungsstruktur mit den Bündelelementen sowie deren Anwendung im CAD-System CATIA V5 beschrieben. Am Ende dieses Abschnitts wird noch kurz auf das neue Rollenkonzept eingegangen, dass als organisatorische Änderung im Rahmen der operativen Umsetzung des Konzepts innerhalb der betroffenen Fachbereiche eingeführt wurde.

7.4.1 Neue Datenmodelle in Smaragd

Die Fertigungsstruktur wurde im PDM-System Smaragd implementiert. Dazu wurden die in Kapitel 6 Abschnitt 4 spezifizierten Datenmodelle im Rahmen eines Versionswechsels von Smaragd programmiert. Als Grundlage für diese Programmierung wurde das Datenmodell für die Sachnummern der Produktstruktur verwendet, da diese genau wie die Bündelelemente der Fertigungsstruktur eine ganze Reihe von verschiedenartigen Dokumenten beinhalten, die sowohl geometrischer als auch alphanumerischer Natur sein können. Gleichzeitig werden die Elemente der Fertigungsstruktur genauso wie die Produktdaten hauptsächlich im CAD-System verwendet. Für den Umgang mit den Objekten der Fertigungsstruktur ist es wichtig, die gleichen Funktionen wie für die Variantensteuerung und die Auflösung von verschiedenen Versionsständen bei den Produktdaten anwenden zu können. Nur auf diese Art und Weise kann ein effizienter Umgang der Anwender mit dieser gemischten Struktur gewährleistet werden. Tabelle 6 zeigt eine Auflistung der in Smaragd eingebrachten, neuen Objekte.

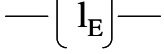
Icon	Objektname	Inhalte
	Bündelelement Prozessinformationen	• Spann- und Fixierkonzept für eine Bauteilpaarung • Detaillierung von Verbindungselementen für eine Bauteilpaarung • Dokumente zur Prozessbeschreibung • Messpläne für die Qualitätssicherung • verwendet Produktsachnummern
	Bündelelement Vorrichtungsbeschreibung	• Spann- und Fixierkonzept für eine konkrete Vorrichtung, das mehrere Varianten beinhalten kann • Informationen über zugeordnete Ressourcen • verwendet Bündelemente für Prozessinformationen • verweist auf Betriebsmittelsachnummern
	Relation zwischen Bündelelement Prozessinformation und A-Sachnummer	• Transformationsmatrizen • Einlegereihenfolge

Tabelle 6: Objekte der Fertigungsstruktur

In der Spalte „Inhalte“ sind die im jeweiligen Objekt abgelegten Informationen erläutert, zusätzlich werden die anderen Datenobjekte benannt, auf die die Bündelelemente innerhalb von Smaragd verweisen können. Mit den Bündelelementen wurde ein neues Datenobjekt für die Relation zwischen dem Bündelelement für Prozessinformationen und der Produktsachnummer implementiert, da hier als neues Attribut die Einlegereihenfolge hinterlegt werden soll. Für die anderen Relationen zwischen den Objekten der Fertigungsstruktur wurden die bereits in Smaragd existierenden Beziehungsobjekte vom Typ „verwendet“ bzw. „verwendet Betriebsmittel“ genutzt.

Ein Beispiel für die Gliederung der Fertigungsstruktur in Smaragd ist in Abbildung 7-4 dargestellt. Unterhalb der einzelnen Bündelelemente sind jeweils die Containerelemente („bauteilbeschreibende Mappen“) sichtbar, in denen beispielsweise die Geometriemodelle für die

Konstruktionsdaten des Spann- und Fixierkonzepts enthalten sind. Innerhalb des Bündelelements zur Vorrichtungsbeschreibung sind zusätzlich zu den dreidimensionalen Modellen auch zweidimensionale Zeichnungen als CAD-Modell enthalten. Diese beinhalten Darstellungen von Schnitten durch die Bauteile und das zugehörige Spann- und Fixierkonzept, die als wichtige Arbeitsgrundlage im Rahmen der Vorrichtungskonstruktion benötigt werden.

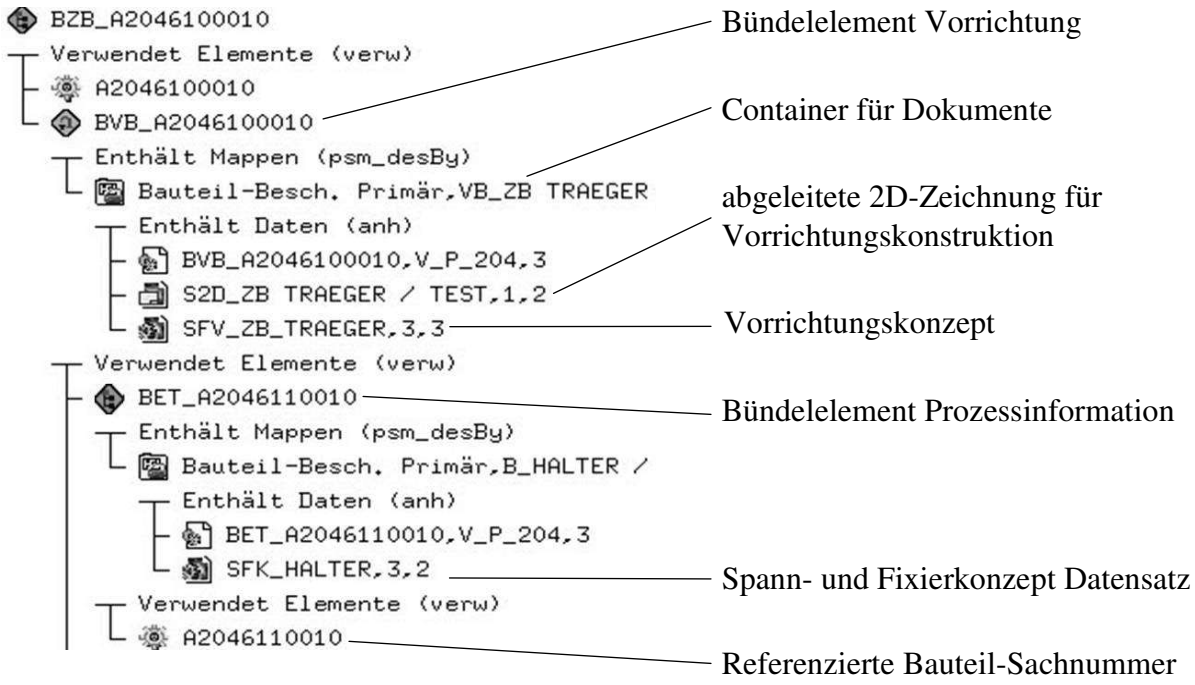


Abbildung 7-4: Gliederungsbeispiel für die Fertigungsstruktur in Smaragd

In den Bündelelementen für die Prozessinformationen erkennt man auch die referenzierten Produktdaten in Form von A-Sachnummern in Smaragd (kleines Zahnrad).

7.4.2 Aufbau der Struktur in Smaragd

Der Aufbau der Fertigungsstruktur im PDM-System beginnt mit dem Anladen einer Produktstruktur. Dafür wird in Smaragd seitens der Projektsteuerung für das konkrete Fahrzeugentwicklungsprojekt eine Referenzkonfiguration hinterlegt, die den zur jeweiligen Fahrzeugphase freigegebenen Produktdatenstand liefert. Dieser stellt eine der Eingangsgrößen für den Teilprozess „Dokumentation des Spann- und Fixierkonzepts“ dar. Zusätzlich zu den Produktdaten wird dem zuständigen Fachbereich noch ein erster Entwurf für die Fügefolge der einzelnen Karosseriebaugruppen zur Verfügung gestellt, der innerhalb von interdisziplinär zusammengesetzten Arbeitskreisen erarbeitet und vom Produktionsplaner in der CAP-Applikation dokumentiert wird. Aus diesem kann durch die Verwendung von Skripten teilau-

tomatisiert die Fügefolge im Format Microsoft Excel ausgeben werden. Auf dieser Grundlage beginnt der zuständige Sachbearbeiter nun mit dem Aufbau der Fertigungsstruktur, in dem er die Fügefolge mit den Bündelementen in Smaragd abbildet. Die Bündelelemente für Prozessinformationen werden angelegt, in dem die Sachnummern der jeweiligen Bauteilpaarung ausgewählt werden und anschließend über ein Kontextmenü das Bündelelement erzeugt wird. Dabei erscheint ein Eingabefenster, in dem der Anwender aufgefordert wird, einen Namen für das Element zu vergeben. Gleichzeitig kann hier eingestellt werden, welchem Fahrzeugprojekt das entstehende Bündelelement zugeordnet werden soll und welche Version des CAD-Systems verwendet wird. Mit Hilfe dieser zuletzt genannten Einstellmöglichkeit wird gesteuert, welche CAD-Startmodelle in dem Bündelelement angelegt werden. Das Präfix „BZB“, das jedem Bündelelement vorangestellt wird, wird dabei dem Namen automatisch hinzugefügt. Dieses Präfix erleichtert die Navigation in den entstehenden, recht umfangreichen Strukturen, vor allem wenn diese ins CAD-System übertragen werden.

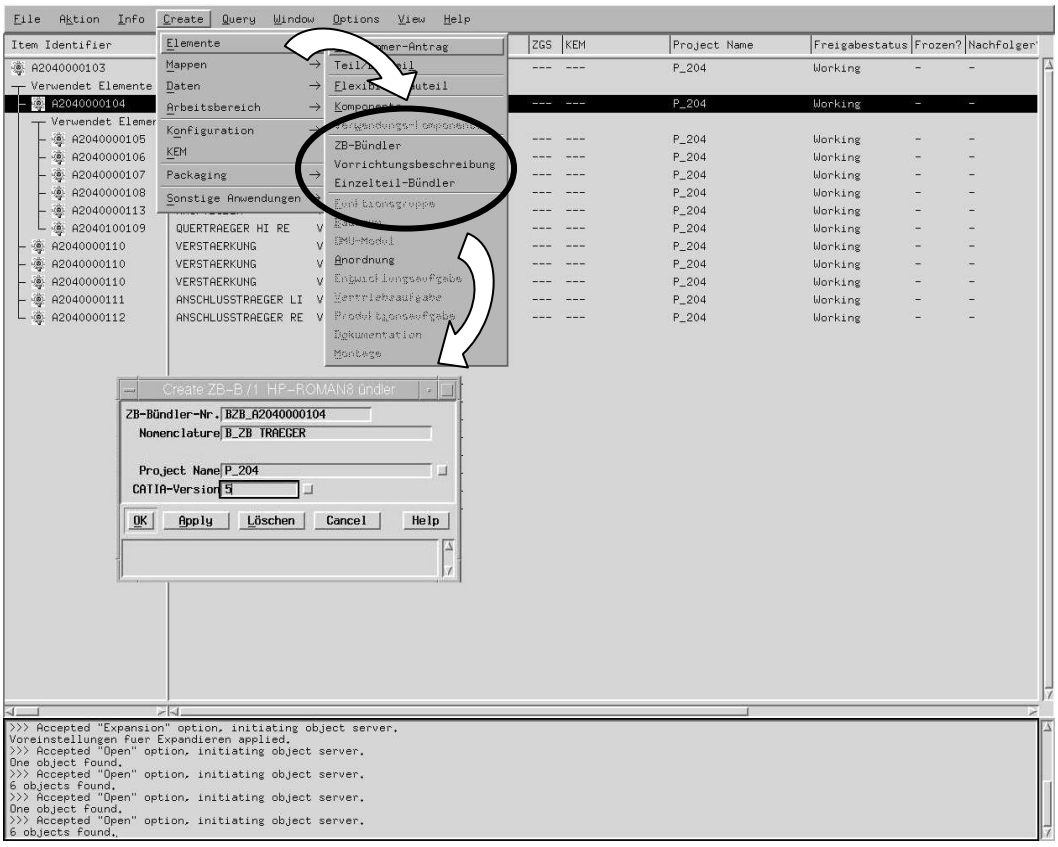


Abbildung 7-5: Ablauf beim Anlegen eines Bündelelements für Prozessinformationen

Der geschilderte Ablauf ist in Abbildung 7-5 dargestellt. In Abbildung 7-6 ist das Ergebnis dieses Arbeitsschrittes dargestellt. Unter der Produktstruktur, markiert durch den schwarzen Balken, ist das Bündelelement entstanden. In dieser Abbildung erkennt man unterhalb des

Icons des Bündelelements auch das automatisch angelegte CAD-Modell sowie die referenzierten Produktdaten, nämlich die A-Sachnummern der Produktstruktur mit den zahnradförmigen Icon. Für die Bezeichnungslogik der Bündelelemente und der darin enthaltenen Informationen wurde mit den Anwendern eine spezielle Namenskonvention vereinbart, um deren Anforderungen im Umgang mit der Struktur gerecht zu werden.

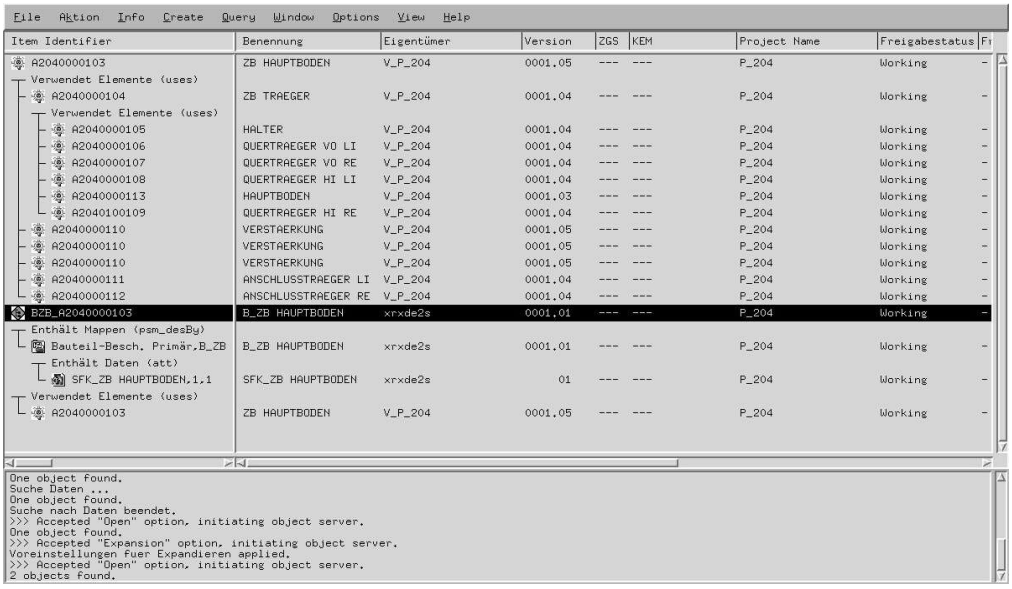


Abbildung 7-6: Angelegtes Bündelelement in Smaragd mit den darin enthaltenen Dokumenten

Der Ablauf bei der Erstellung der Bündelelemente für die Vorrichtungsbeschreibung geht prinzipiell ganz ähnlich, nur werden hier beim Anlegen des Objekts keine Produktsachnummern ausgewählt, da bei diesem Objekt keine automatische Referenzierung durchgeführt wird.

Im Moment des Anlegens bei beiden Arten von Bündelelementen abgeprüft, ob der vom Anwender eingegebene Namen zulässig ist und ob unter diesem Namen bereits ein entsprechendes Bündelelement existiert. Sollte dies der Fall sein, so wird automatisch eine Fehlermeldung für den Anwender generiert, damit er entsprechend reagieren kann. Diese Prüfung ist nötig, da beim Umgang mit großen Strukturen, die aus sehr vielen ähnlich aufgebauten und ähnlich benannten Objekten bestehen, sehr schnell der Überblick verloren geht.

Auf die beschriebene Art und Weise werden nun alle Elemente der Fertigungsstruktur erzeugt, die zu einem bestimmten Produktstrukturumfang gehören. Größere Bauteilumfänge werden in der Regel auf mehrere Sachbearbeiter aufgeteilt, um die Komplexität der zu generierenden Strukturen relativ überschaubar zu halten. Im nächsten Arbeitsschritt werden die

angelegten Bündelelemente nun untereinander verlinkt, so wie es innerhalb der Fügefolge vorgeschlagen ist, d.h. die eigentliche Strukturierung der Bündelelemente erfolgt. Im System Smaragd geschieht dies einfach per „Drag-and-Drop“ mit der Maus, wobei jeweils die Prozess-Bündler auf die entsprechenden Vorrichtungs-Bündler gezogen werden. Dabei erzeugt Smaragd eine Relation vom Typ „verwendet/wird verwendet“ zwischen den beiden Objekten. Sollte der Anwender bei der Strukturierung einen Fehler machen, etwa in dem er aus Versehen ein Prozess-Bündelelement auf ein anderes zieht, so wird er durch eine Fehlermeldung benachrichtigt und die Relationserzeugung wird abgebrochen.

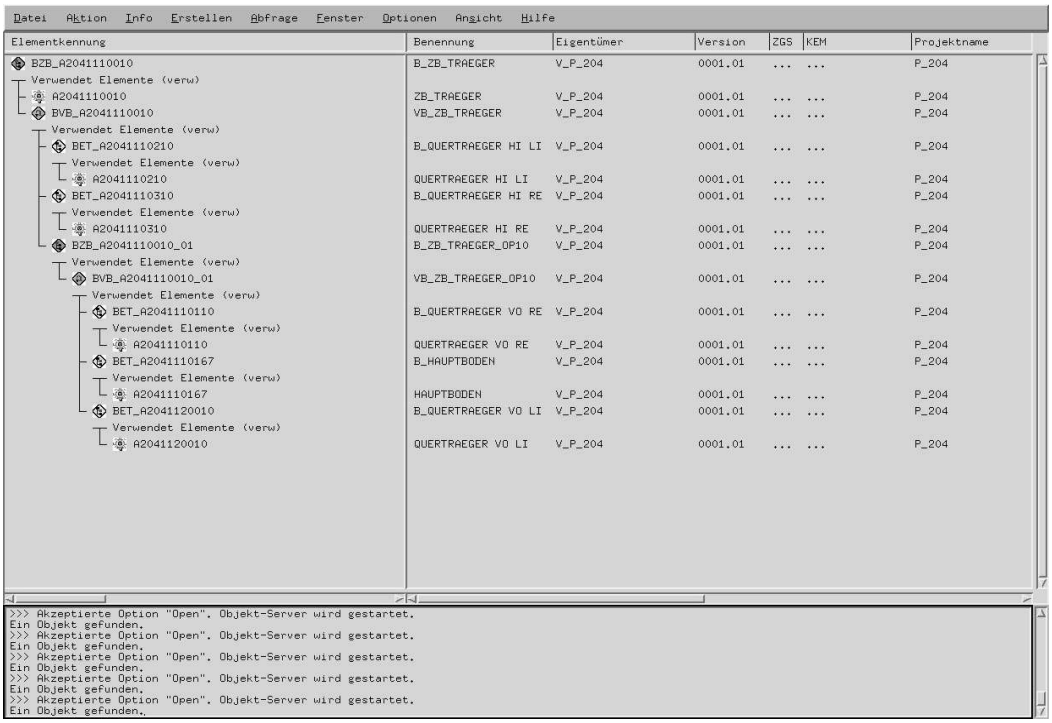


Abbildung 7-7: Resultierende Fertigungsstruktur in Smaragd

In Abbildung 7-7 ist die resultierende Fertigungsstruktur für einen kleinen Bauteilumfang aus dem Hauptboden abgebildet. Unterhalb der Prozess-Bündelelemente erkennt man jeweils die referenzierten Produktdaten. Über diese Relation zu den Bauteildaten kann der Anwender sich in seiner alltäglichen Arbeit verschiedene Bauteilstände einblenden lassen, in dem er einfach eine andere Konfiguration einstellt. Dies ist unabhängig von der Konfiguration der Produktstruktur, die zum Zeitpunkt der Anlage der Objekte eingestellt war, da die Relation immer vom instanzierten Bündelelement zum Master-Objekt der Produktstruktur verläuft. Da diese Funktionalität bei der Verwendung der Fertigungsstruktur sehr wichtig ist und für die Anwender einen deutlichen Mehrwert gegenüber der bisherigen Arbeitsweise bringt, ist sie in Abbildung 7-8 detailliert dargestellt. Zu einem Master-Objekt der Fertigungsstruktur können

verschiedenen Instanzen von Bündelelementen existieren, die beispielsweise für unterschiedliche Prototypphasen gültig sein können. Von der Instanz des Bündelelelements ausgehend verläuft dann die Relation zum Master-Objekt der Produktsachnummer, die ihrerseits wiederum verschiedenen instanzierte Versionen besitzen kann.

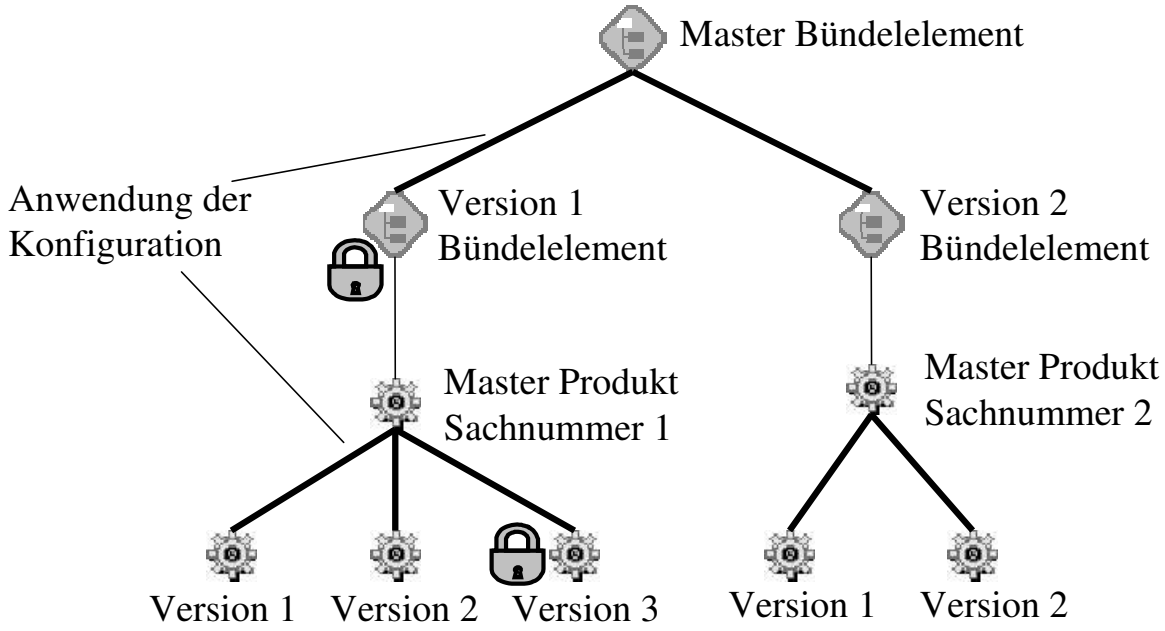


Abbildung 7-8: Anwendung der Konfiguration innerhalb der Fertigungsstruktur

Die Konfiguration wird immer beim Expandieren der dick eingezeichneten Verbindungslinien aktiv, d.h. auf Grund der Attribute, die an diesen Beziehungen angebracht sind, wird entschieden, welche Versionen angezeigt werden. So ist es dem Anwender möglich, sich zu den Informationen im Bündelelement beliebige Produktdatenstände anzeigen zu lassen, beispielsweise um Änderungen nachverfolgen zu können oder Bauteilstände miteinander zu vergleichen. In der Abbildung sieht man auch, dass verschiedenen Instanzen des Bündelelements verschiedene Produktsachnummern zugeordnet werden können. Dies ist zum Beispiel dann der Fall, wenn von einer Prototypphase zur nächsten ein bestimmtes Bauteil durch ein anderes ersetzt worden ist.

Die damit verbundene Dynamik innerhalb der Fertigungsstruktur generiert gegenüber der bisherigen, verzeichnisorientierten Arbeitsweise einen deutlichen Mehrwert. Für die Erstanlage der Struktur oder für die Freigabe von Teilen der Fertigungsstruktur ist es aber dennoch notwendig, bei Bedarf auch statische Zustände abzubilden. Daher wurde bei der Implementierung der Feritgungsstruktur darauf geachtet, dass die neu definierten Objekte auch den in Smaragd vorhandenen Versionssteuerungsobjekten zugeordnet werden können. Diese stellen

eine Art übergeordneten Stempel dar, der an ein instanziertes Strukturobjekt, also einer konkreten Version, angebracht wird und beim Expandieren gezielt eingestellt werden kann. In Abbildung 7-8 ist dies beispielhaft durch die Versionen mit dem Schloss dargestellt. Dieses Schloss stellt die Zugehörigkeit zu einem definierten, statischen Datenstand dar, etwa einem festen Baulos innerhalb einer konkreten Prototypphase, und ist damit immer wieder eindeutig reproduzierbar. Auf diese Art und Weise kann beim Arbeiten mit der Fertigungsstruktur sowohl ein statisches als auch ein dynamisches Verhalten realisiert werden, abhängig davon, was gerade innerhalb der betreffenden Tätigkeit gewünscht ist.

Im Kontext dieser Arbeit wurden speziell für den Teilprozess „Dokumentation des Spann- und Fixierkonzepts“ neue Versionssteuerungsobjekte definiert. Es wurde ein Eingangsstempel für die Produktdaten und die daraus abgeleiteten Bündelelemente definiert, mit dem die ursprüngliche Fertigungsstruktur, auf der die Erstanlage des Spann- und Fixierkonzepts beginnt, gestempelt wird. Damit ist für die Anwender in diesem Fachbereich eine statische Struktur geschaffen, mit der sie ihrer täglichen Arbeit nachgehen können. Ist das Spann- und Fixierkonzept für eine Fahrzeugphase fertig konstruiert, so wird ein weiterer Stempel an die jeweiligen Versionen der Objekte der Fertigungsstruktur angebracht. Diesen zweiten Stempel können die Vertreter aus Folgeprozessen, die auf die Informationen aus der Fertigungsstruktur zugreifen wollen, in der Konfiguration einstellen, um so einen verbindlichen und freigegebenen Datenstand geliefert zu bekommen. Zur gleichen Zeit können die Konstrukteure des Spann- und Fixierkonzepts aber mit ihrem eigenen Stempel weiterarbeiten und neue Versionen der Bündelelemente der Fertigungsstruktur mit Daten befüllen.

Ist die Fertigungsstruktur für einen bestimmten Bauteilumfang angelegt, so müssen an manchen Stellen noch die Transformationsmatrizen aus der Produktstruktur übertragen werden, siehe Abbildung 7-9. Dies ist etwa bei mehrfach verwendeten Teilen notwendig, oder wenn im Rahmen der Variantenabbildung einzelne Bauteile oder Baugruppen räumlich verschoben werden. Für diesen Arbeitsschritt steh in Smaragd eine eigene Funktion zur Verfügung, bei der eine Transformationsmatrix ausgewählt und auf eine neue Relation kopiert werden kann.

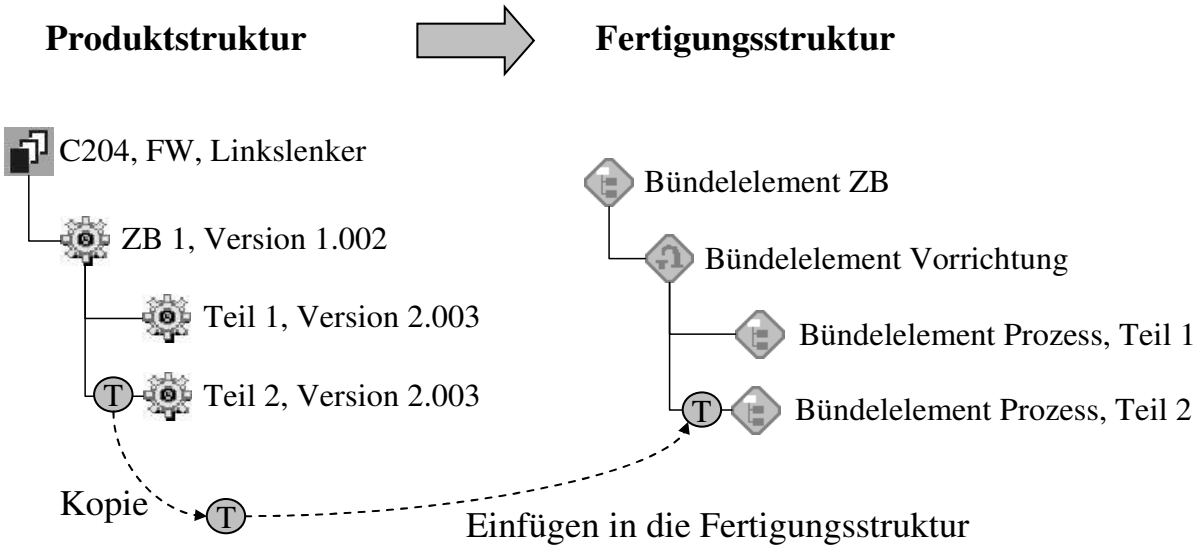


Abbildung 7-9: Übertragung der Transformationsmatrix auf die Fertigungsstruktur

Beim Ausführen dieser Funktion kann die erzeugte Kopie mit der Originalmatrix gekoppelt werden, so dass Änderungen im Original sich automatisch auf die Kopie übertragen, solange der Anwender die entsprechenden Rechte besitzt. Auf diese Weise kann die Konsistenz beider Strukturen in Bezug auf die räumliche Lage der Bauteile gewährleistet werden. In Abbildung 7-10 ist die Erzeugung der Kopie der Transformationsmatrix im System Smaragd zu sehen. In dieser Darstellung sind auch die Verbaurelationen sichtbar, auf die Positionierungsinformation angebracht wird.

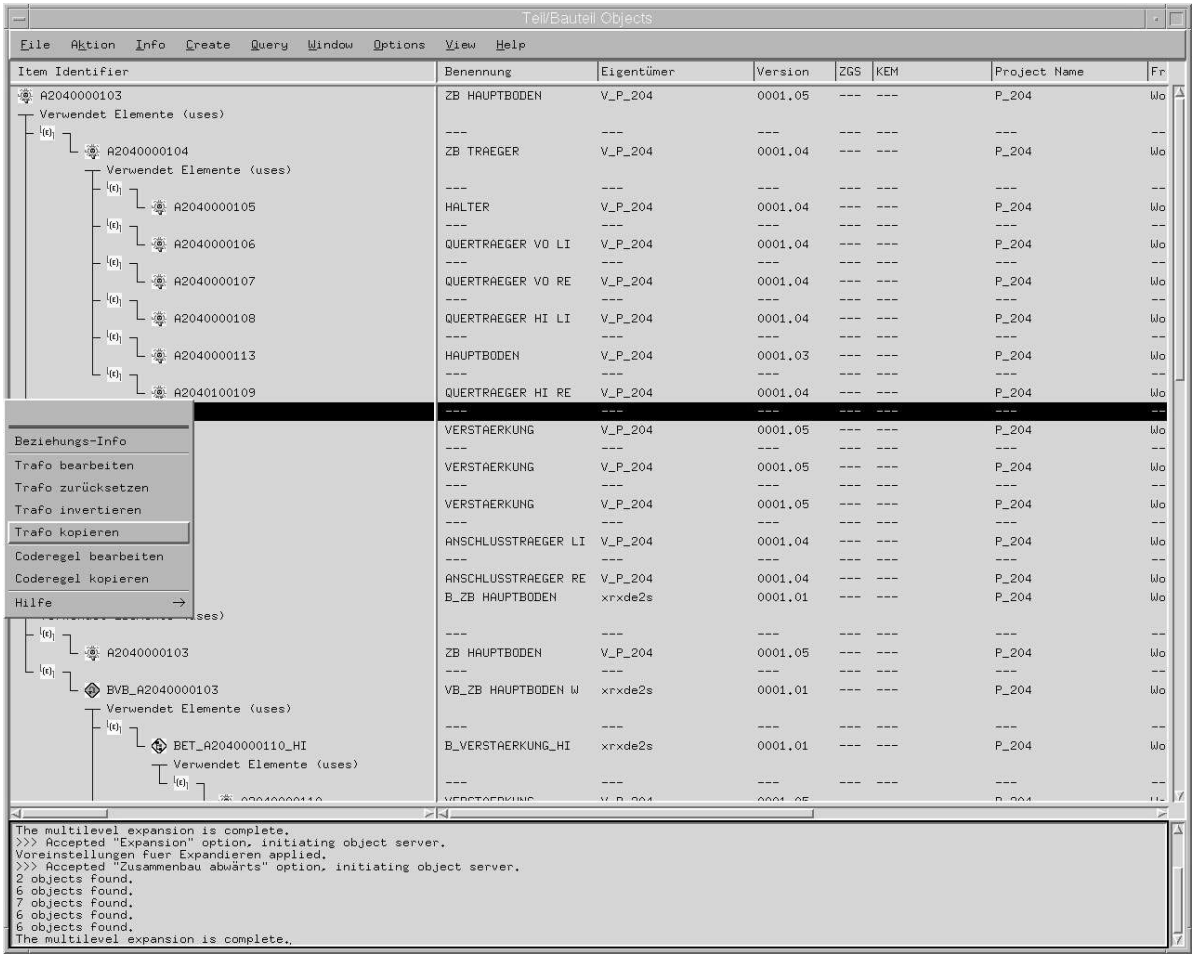


Abbildung 7-10: Erzeugung einer Kopie der Transformationsmatrix

Eine weitere Stärke der Fertigungsstruktur im Rahmen der Erzeugung des Spann- und Fixierkonzepts wird beim Umgang mit Spiegelteilen sichtbar. Bei der Produktkonstruktion wird bei Bauteilen, die symmetrisch in Bezug zur Ebene durch die Längsachse des Fahrzeugs sind, immer nur die linke Hälfte konstruiert. Für die korrespondierende Bauteilsachnummer auf der rechten Fahrzeugseite wird anschließend eine zweite Verbaurelation zum konstruierten CAD-Modell erzeugt, auf die eine Spiegelmatrix angebracht wird. Dadurch wird versucht, den Konstruktionsaufwand für symmetrische Bauteile zu minimieren. Die gleiche Methodik kann beim Aufbau der Fertigungsstruktur angewandt werden, wenn symmetrische Bauteilumfänge vorliegen. Wie in Abbildung 7-11 zu sehen ist, wird dabei eine Spiegelungsmatrix auf die Relation zwischen dem Bündelelement der rechten Seite auf das CAD-Modell des linken Bündelelements erzeugt. Dabei muss allerdings beachtet werden, dass dabei im CAD-System das Spann- und Fixierkonzept entsprechend spiegelverkehrt angezeigt wird, was auf Grund der Erfahrung der Anwender aber kein großes Problem darstellt.

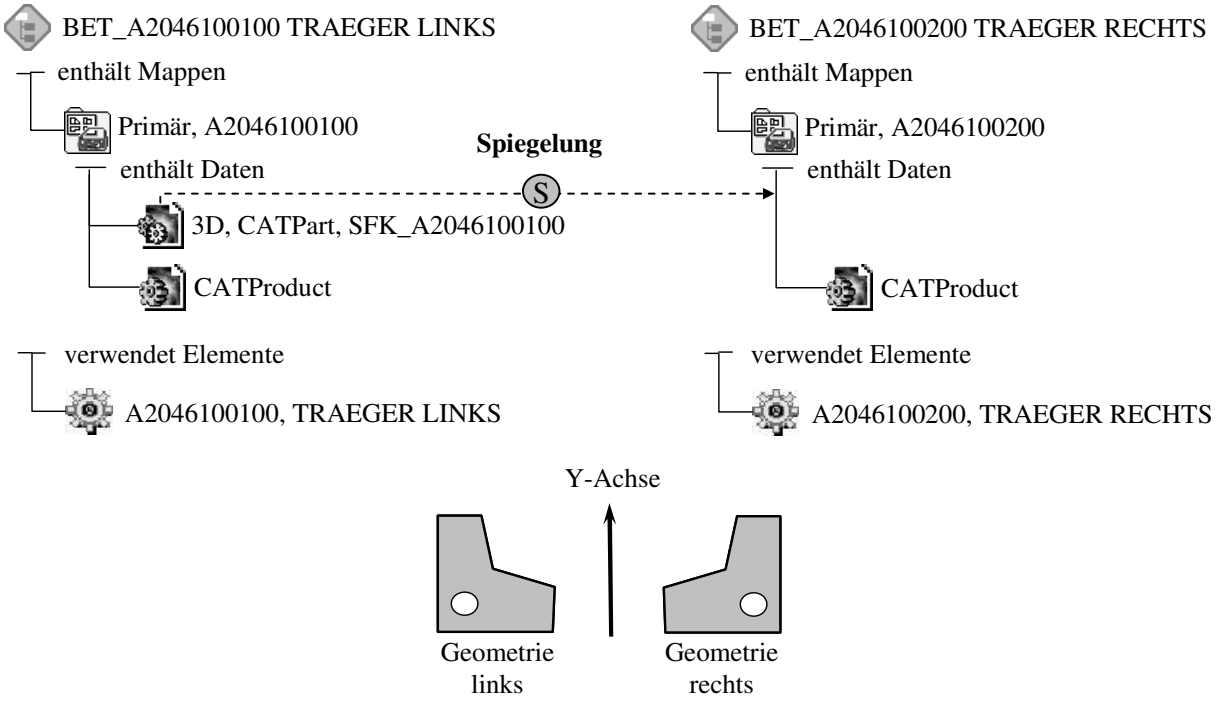


Abbildung 7-11: Umgang mit symmetrischen Bauteilen in der Fertigungsstruktur

Sind noch weitere Prozessinformationen im Bündelelement enthalten, so muss im Einzelfall geprüft werden, ob die Anwendung der Spiegelmatrix zulässig ist oder nicht.

In der beschriebenen Art und Weise werden so für die einzelnen Bauteilumfänge nach und nach die korrespondierenden Fertigungsstrukturanteile angelegt. Sind alle Baugruppen einer bestimmten Aufbaustufe fertig gestellt, werden diese in die entsprechende Ebene der Beschreibung der Z-Aufbaustufen eingehängt, bis schließlich der komplette Karosserierohbau eines Fahrzeugs abgebildet ist. Die dabei entstandene Struktur spiegelt die Fügefolge wieder, sowie sie von der Produktionsentwicklung mit den anderen beteiligten Bereichen vereinbart worden ist.

Ist ein erstes Fahrzeug dokumentiert, so können nach und nach die anderen Fahrzeugvarianten abgebildet werden. Dabei ist es ausreichend, die geometrisch unterschiedlichen Bauteilumfänge zu dokumentieren und als Strukturanteil in die Fertigungsstruktur mit einzuhängen. Die Auflösung der Varianten erfolgt in Smaragd über eine entsprechende Codierung auf der Verbaurelation. In Abbildung 7-12 ist ein Strukturbeispiel für die Abbildung von Fahrzeugvarianten dargestellt. Die Codierung ist in den schwarz umrahmten Feldern hinterlegt, wobei „FW“ der Code für eine Standardlimousine ist und „FV“ die verlängerte Fahrzeugversion darstellt. Diese ist zusätzlich noch mit einer Transformationsmatrix versehen, was bedeutet, dass die abgebildete Baugruppe in der verlängerten Variante räumlich verschoben ist. Diese Codein-

formation wird von der Produktstruktur übernommen und auf die entsprechende Relation in der Fertigungsstruktur übertragen.

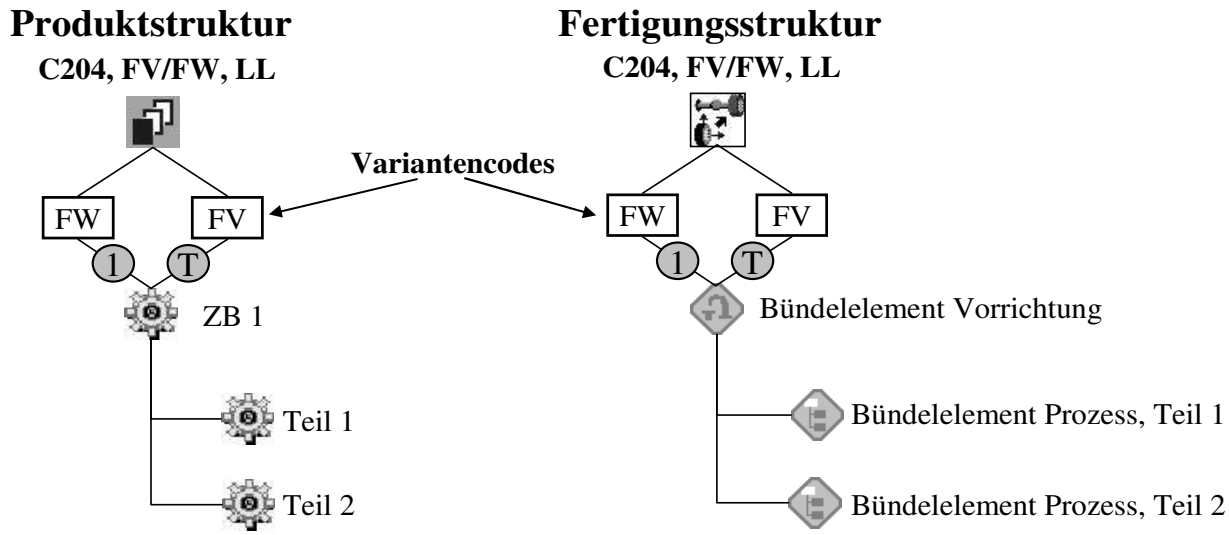


Abbildung 7-12: Abbildung von Fahrzeugvarianten

Über das Konfigurationsmenü von Smaragd können nun einzelne Varianten in der Fertigungsstruktur aufgelöst werden, genauso können aber auch mehrere Fahrzeugvarianten gleichzeitig dargestellt werden. Dies ist zum Beispiel bei der Konstruktion der Vorrichtungen gewünscht.

Die resultierende Fertigungsstruktur ist recht umfangreich, da sie die reale Fügefolge für den kompletten Karosserierohbau eines Fahrzeugs inklusive seiner Varianten abbildet. Um besser in einer solch großen Struktur navigieren zu können, wurden im Kontext der vorliegenden Arbeit bei der operativen Umsetzung in Smaragd zusätzliche Filteroptionen für die Struktur geschaffen. Die erste Filteroption blendet alle Objekte außer den Bündelelementen für die Vorrichtungsbeschreibung aus. Dies ist für den Teilprozess der Vorrichtungskonstruktion sinnvoll, wo Informationen über Prozesse oder Bauteile nur bei Bedarf eingeblendet werden müssen. Die zweite Filteroption blendet nur die referenzierten Bauteilsachnummern aus der Fertigungsstruktur aus, d.h. es werden nur noch die Bündelelemente für Vorrichtungsbeschreibung und Prozessinformationen angezeigt. Dieser Filter erleichtert die Orientierung innerhalb der Struktur, wenn das Spann- und Fixierkonzept konstruiert wird. Die dritte Filteroption bricht das Expandieren von Produktstrukturen innerhalb der Fertigungsstruktur nach dem Auffinden der 1.Sachnummer ab. Er wird speziell in dem Fall notwendig, wenn eine Baugruppe aus mehreren Einzelteilen als Zulieferteil in der Fertigungsstruktur verbaut wird und deshalb aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht mehr weiter aufgelöst werden soll. Die

Entscheidung für die Einstufung als Lieferumfang wird im Rahmen der Produktionsplanung festgelegt, und ab diesem Zeitpunkt wird die Baugruppe in den Planungsprozessen nur noch als Einzelteil behandelt.

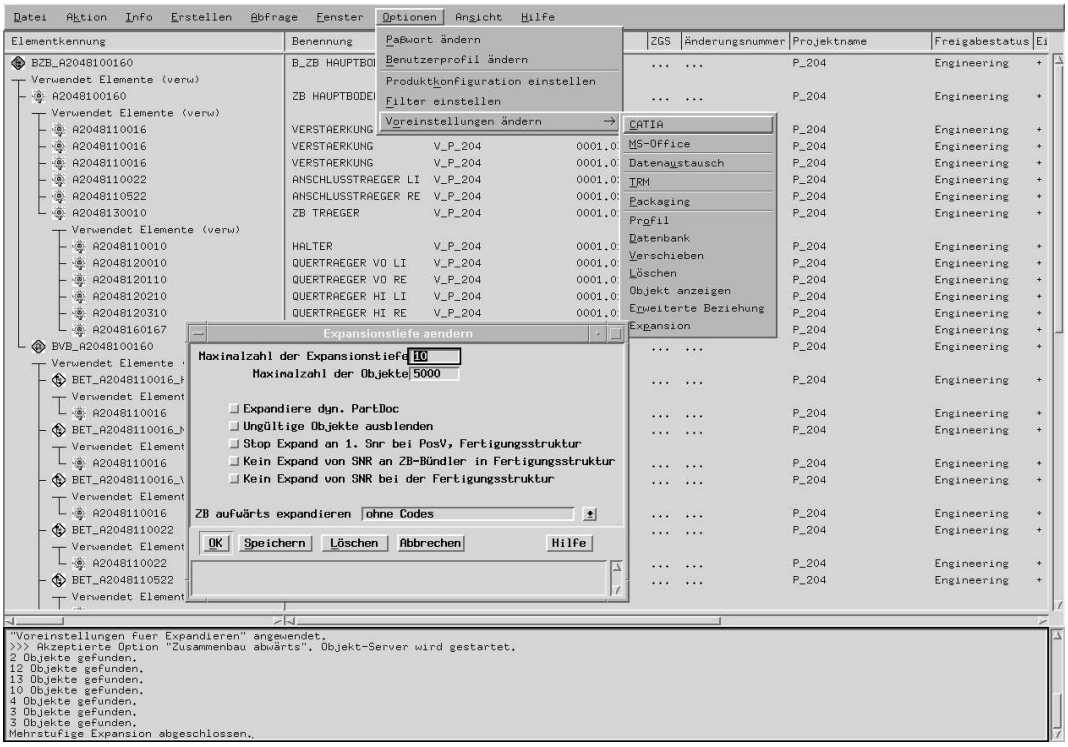


Abbildung 7-13: Implementierung der Filtermöglichkeiten für die Fertigungsstruktur

Im Zusammenspiel mit den zuvor bereits erwähnten Versionssteuerungsobjekten oder Versionsstempeln erfüllen die Strukturfilter eine weitere, wichtige Funktion beim Expandieren der Struktur. Sie ermöglichen nämlich sehr einfach, dass beim Expandieren der Struktur die Konfiguration umgestellt werden kann. Beispielsweise kann die Fertigungsstruktur mit einem konkreten Versionssteuerungsobjekt bis auf die Ebene Bündelelement Prozess hin expandiert werden, realisiert durch Filter 2. Dann wird in der Konfiguration ein anderes Versionssteuerungsobjekt ausgewählt, Filter 2 deaktiviert, und die Fertigungsstruktur weiter aufgeklappt. Dies erzeugt eine zusätzliche Dynamik beim Umgang mit den einzelnen Ebenen der Fertigungsstruktur.

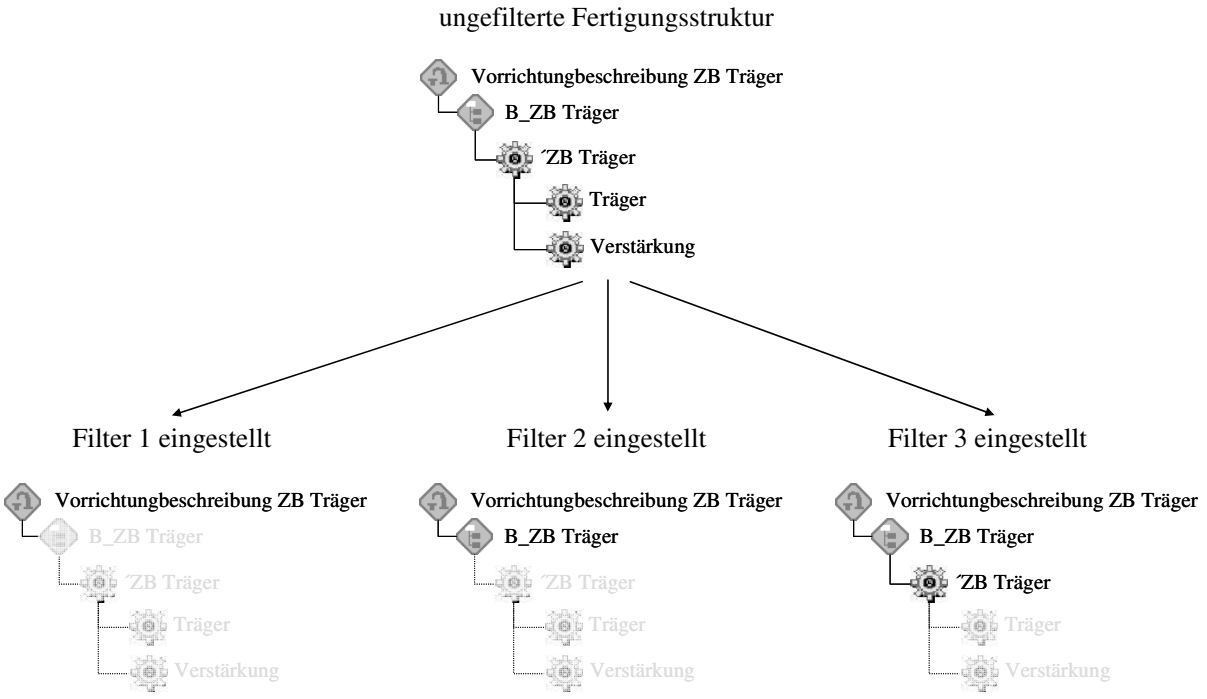


Abbildung 7-14: Filtermöglichkeiten für die Fertigungsstruktur in Smaragd

Damit ist der Aufbau der Fertigungsstruktur in Smaragd vollständig beschrieben. Als Informationen sind darin bis zu diesem Zeitpunkt die Fügefolge des Fahrzeugs enthalten, sowie, falls schon festgelegt, die Einlegereihenfolge in den einzelnen Vorrichtungen. Im nächsten Arbeitsschritt wird mit Hilfe dieser Struktur anschließend das Spann- und Fixierkonzept konstruiert, was im Zusammenspiel mit dem CAD-System erfolgt.

7.4.3 Nutzung der Struktur in CATIA V5

Bei der Erstellung des Spann- und Fixierkonzepts werden im CAD-System vordefinierte Feature-Elemente erzeugt, die über ein im betrachteten Konzern speziell entwickeltes Makro teilautomatisiert innerhalb eines CAD-Modells eingebracht werden. Diese Spannfeatures werden später im Prozess im Rahmen der Vorrichtungskonstruktion nahtlos weiterverwendet. Dabei werden mit Hilfe eines weiteren, kommerziell entwickelten Makros unter Verwendung von wissensbasierten Konstruktionsansätzen standardisierte Spannelemente auf die Flächen des Spannfeatures gesetzt. Abbildung 7-15 zeigt den ZB Hauptboden mit dem fertig konstruierten Spann- und Fixierkonzept, sichtbar durch die weiß eingeblendeten Bezeichnungen der einzelnen Spannstellen.

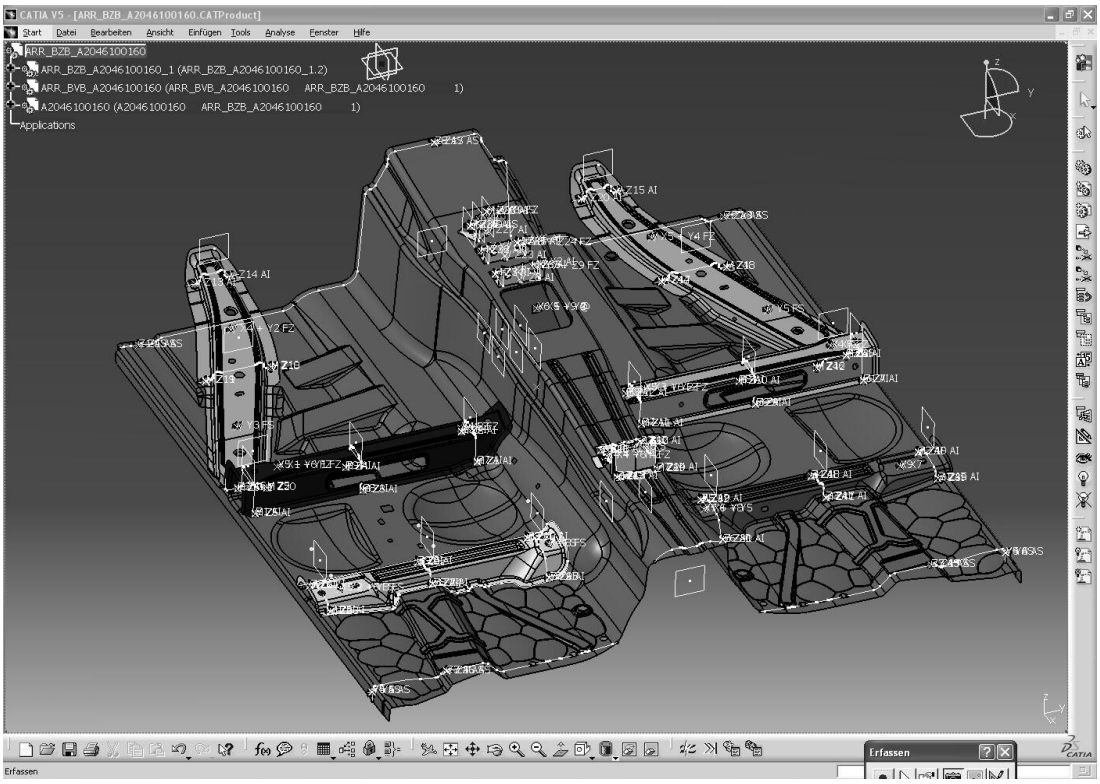


Abbildung 7-15: Hauptboden mit fertig konstruiertem Spann- und Fixierkonzept

Zur Unterstützung dieses Teilprozesses werden innerhalb der Fertigungsstruktur beim Anlegen automatisch CAD-Modelle generiert, deren Aufbau und Gliederung im Rahmen der vorliegenden Arbeit speziell auf die Verwendung bei der Konstruktion des Spann- und Fixierkonzepts hin ausgelegt wurden. Für den eigentlichen Konstruktionsprozess wählt der Anwender einen bestimmten Teilumfang der Fertigungsstruktur in Smaragd aus und überträgt diesen ins CAD-System CATIA V5. Soll ein Spannkonzept für eine Bauteilpaarung angelegt werden, so wird ihm der jeweilige Knoten der Fertigungsstruktur sowie die darin referenzierten Bauteilsachnummern der Produktstruktur angezeigt. Auf diese hat der Anwender nur einen lesenden Zugriff, während das im Bündelelement enthaltene CAD-Modell von ihm befüllt werden kann. Auf der Grundlage seines Erfahrungswissens bzw. durch ein bereits vorhandenes Toleranzkonzept bringt er nun die Spannfeatures als Datensatz in die Fertigungsstruktur ein. Dabei wird die geometrische Beschreibung der Bauteile, also deren Flächen oder auch Bezugspunkte, die auf diesen Flächen liegen, als Referenzelemente für die Anlage der Spannfeatures verwendet. Im CAD-Modell der Fertigungsstruktur wird dabei ein Datensatz erzeugt, der zwei wichtige Informationen enthält. Erstens werden Spannflächen erzeugt, die die Kontur der zu verspannenden Bauteilfläche nachbilden und später zum geometrischen Beschnitt der Kontursteine in der Vorrichtungskonstruktion dienen. Zweitens wird ein Normalenvektor angelegt, der die Spannrichtung anzeigt, die immer senkrecht zur Bauteiloberfläche liegen

muss. Beide Informationen werden im Rahmen der Vorrichtungskonstruktion beim Anlegen der Spanner verwendet.

Ist das Spann- und Fixierkonzept für die ausgewählte Bauteilpaarung fertig konstruiert, so wird das entsprechende Bündelelement wieder nach Smaragd eingecheckt, womit innerhalb der Fertigungsstruktur eine neue, wichtige Information entstanden ist.

Für die Befüllung der Bündelelemente zur Vorrichtungsbeschreibung ist die Vorgehensweise sehr ähnlich. Hier wird ebenfalls zunächst das entsprechende Bündelelement in der Fertigungsstruktur ausgewählt und nach CATIA V5 übertragen. Die in den darunter liegenden Prozessbündlern referenzierten Produktdaten spielen in diesem Arbeitsschritt eine untergeordnete Rolle und können bei Bedarf mit Hilfe der bereits erwähnten Filteroptionen ausgeblendet werden. Anschließend kann der Anwender aus dem Datensatz des Prozessbündelelements einzelne Spannstellen auswählen und in das CAD-Modell des Bündelelements der Vorrichtungsbeschreibung übernehmen. Dabei kann er auf den Datensatz eines einzigen Bündelelements zugreifen, wenn er einen Bauteilumfang für eine einzige Variante beplant, oder ein Spannkonzept aus mehreren Bündelelementen zusammenstellen, wenn es sich um eine Vorrichtung für mehrere Varianten handelt.

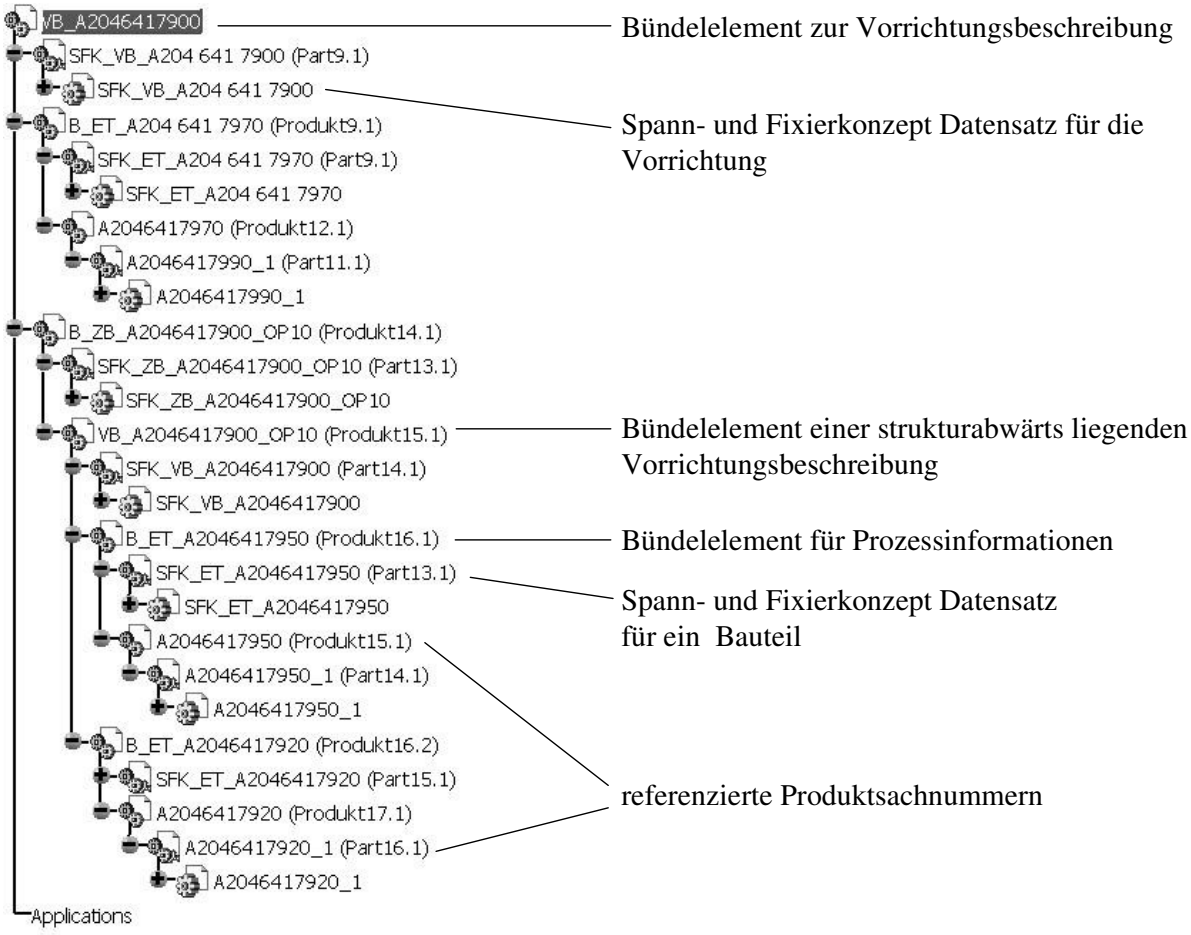


Abbildung 7-16: Fertigungsstruktur im CAD-System CATIA V5

Ein Beispiel für einen Teilumfang der Fertigungsstruktur im CAD-System CATIA V5 ist in Abbildung 7-16 dargestellt. Der schwarz markierte Knoten am Beginn der Struktur stellt den Einstiegsknoten dar, bei dem es sich um ein Bündelelement zur Vorrichtungsbeschreibung handelt. Darunter sind Bündelelemente für Prozessinformationen sowie eine weitere, strukturabwärts liegende Vorrichtung abgebildet. Bei dieser handelt es sich um eine Vorrichtung für eine fertigungsbedingte Zusammenbaustufe, was an dem Postfix „_OP10“ in der Bezeichnung erkennbar ist, das an die Sachnummernbezeichnung der übergeordneten Zusammenbaustufe angehängt ist. Unterhalb der einzelnen Bündelelemente liegen die CAD-Modelle für die Dokumentation des Spann- und Fixierkonzepts, die an dem Präfix „SFK_“ zu erkennen sind. Mit Hilfe dieser verbindlichen Namenskonventionen bei der Bezeichnung der Bündelelemente können über eigens für die Fertigungsstruktur definierte Skripte einzelne Ebenen im CAD-Modell ausgewählt bzw. ein- und ausgeblendet werden.

Nach der Dokumentation des Spann- und Fixierkonzepts steht die Fertigungsstruktur anschließend zur Verwendung in anderen Folgeprozessen bereit. Darunter sind die Vorrich-

tungskonstruktion, die Produktionsabsicherung sowie die Erstellung des Fertigungskonzepts die drei wichtigsten innerhalb der Prozesskette Karosserierohbau.

7.4.4 Anwendung der Fertigungsstruktur in den Folgeprozessen

Auf die Fertigungsstruktur als zentralen Informationsträger im PDM-System kann eine ganze Reihe von Folgeprozessen zugreifen. Nach der Dokumentation des Spann- und Fixierkonzepts ist die Konstruktion der Vorrichtungen der nächste wichtige Schritt innerhalb der betrachteten Prozesskette. Die Struktur einer solchen Vorrichtung ist analog zu den bereits beschriebenen Produktstrukturen aufgebaut, d.h. es handelt sich um eine Baugruppe aus mehreren Einzelteilen. Dennoch stehen für Vorrichtungsdaten in Smaragd eigene Sachnummern, so genannte Betriebsmittelsachnummern, zur Verfügung. Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Bündelelement zur Vorrichtungsbeschreibung so ausgelegt, dass diese Betriebsmittelsachnummern über eine Relation mit den Bündelelementen verbunden werden können. Beim Expandieren der Struktur kann gezielt nach zugeordneten Betriebsmitteln gesucht werden. Dadurch ist es möglich, die Vorrichtung direkt im Kontext der Fertigungsstruktur zu erzeugen, indem der Anwender das entsprechende Bündelelement zur Vorrichtungsbeschreibung auswählt und die Betriebsmittelsachnummer für die von ihm zu konstruierende Vorrichtung mit dazu einblenden lässt. Innerhalb von Smaragd wird dies über eine spezielle Expandierfunktion realisiert. Nach der Übertragung kann der Konstrukteur seine Vorrichtung entwerfen und dabei auf das Spann- und Fixierkonzept oder sonstige Informationen aus der Fertigungsstruktur zugreifen. Auf diese Weise kann auch die Geometrie der zu fertigenden Bauteile berücksichtigt werden. Zusätzlich wurde bei der Konzeption der Fertigungsstruktur darauf geachtet, dass die Informationen über die Einlegereihenfolge, die auf den Verbaurelationen zwischen Bündelelement und Produktsachnummer abgelegt sind, nach CATIA V5 übertragen werden. Diese können als zusätzliches Attribut im Strukturbaum des CAD-Systems eingeblendet werden und sind so für den Vorrichtungkonstrukteur sichtbar, denn für diesen spielen sie bei der Auslegung der Vorrichtung eine wichtige Rolle.

Auf das Spann- und Fixierkonzept werden die einzelnen Spannelemente der Vorrichtung angebracht, bis die Aufnahme und Fixierung der in der Vorrichtung liegenden Bauteile vollständig beschrieben ist. Durch die Arbeitsweise mit der im PDM-System dokumentierten Fertigungsstruktur ist es nun auch möglich, die Prozesskette Karosserierohbau beim Auftreten von Bauteiländerungen Schritt für Schritt zu durchlaufen und die von der Änderung betroffe-

nen CAD-Modelle einfach zu aktualisieren. Das Spann- und Fixierkonzept wird, wie beschrieben, in der Regel auf der Grundlage der Bezugstellen der Bauteile angelegt. Werden diese Bezugsstellen verschoben, so reicht ein einfaches Öffnen des betroffenen Bündelelements der Fertigungsstruktur mit der neuen Version der nun veränderten Bauteilsachnummer im CAD-System aus. Dort kann per Knopfdruck der Datensatz des Spann- und Fixierkonzepts entsprechend der neuen Lage der Bezugsstellen einfach nachgezogen, geprüft und erneut abgespeichert werden. Betrifft die durch die Bauteiländerung ausgelöste Anpassung des Spann- und Fixierkonzepts mehrere Ebenen der Fertigungsstruktur, beispielsweise wenn eine modifizierte Spannstelle in mehreren aufeinanderfolgenden Vorrichtungsbeschreibungen verwendet wird, so muss der ganze Strukturumfang nach CATIA V5 übertragen und aktualisiert werden. Im letzten Schritt kann auch die zugeordnete Betriebsmittelsachnummer im Kontext der Fertigungsstruktur nach CATIA V5 geladen werden, wo sich durch die Verwendung der Spannfeatures auch die Positionierung der Spannelemente problemlos nachziehen lässt. Dabei ist es allerdings wichtig, dass die Aktualisierung der einzelnen CAD-Modelle durch den Anwender überwacht werden muss, um korrupte oder unzulässige Datenstände zu vermeiden.

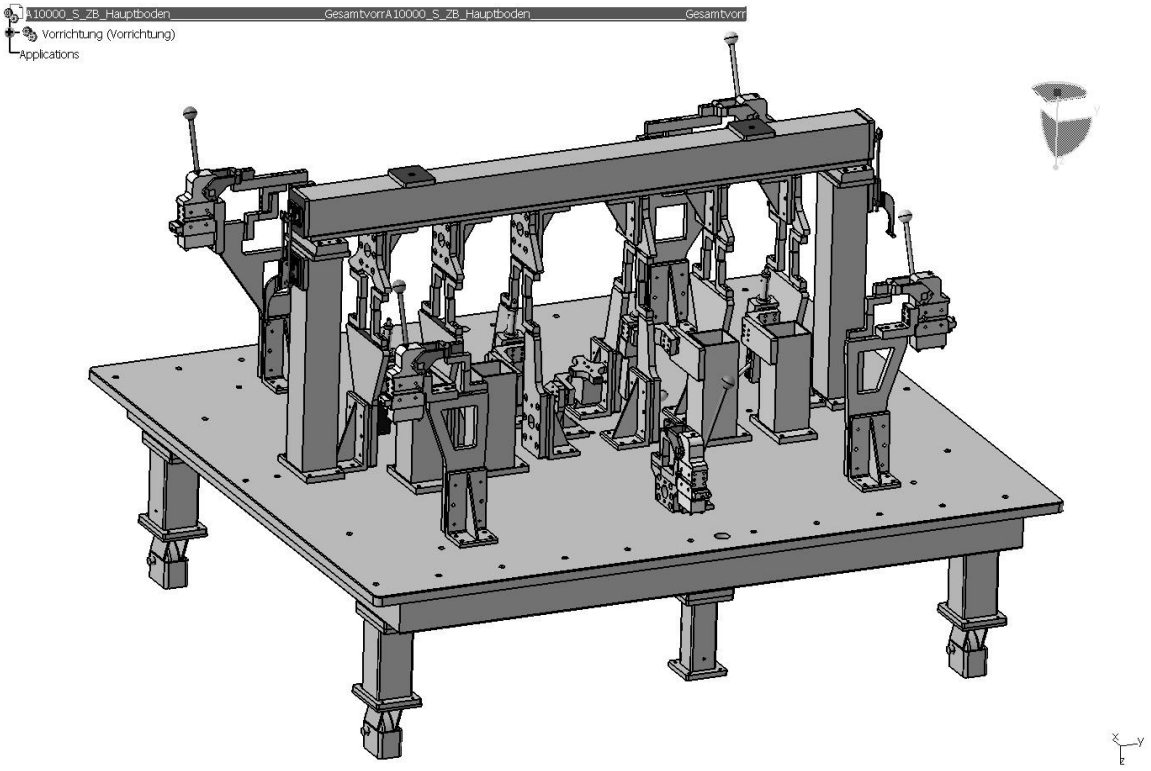


Abbildung 7-17: Vorrichtung für den ZB Hauptboden in der Fertigungsstruktur

In Abbildung 7-17 ist eine auskonstruierte Vorrichtung für eine Zusammenbaustufe für den ZB Hauptboden im Kontext eines Bündelelements der Fertigungsstruktur abgebildet. Auf die

Darstellung von Produktdaten wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet, diese können aber in jeder beliebigen Version in die Betrachtung mit einbezogen werden, was speziell bei der Auslegung und Konstruktion von Vorrichtungen für mehrere Fahrzeugvarianten eine sehr gute Unterstützung bietet.

Die gemeinsame Betrachtung von Vorrichtung, Produktdaten sowie den Fertigungsstrukturinformationen wie Fügefolge oder Einlegereihenfolge spielen in einem weiteren Folgeprozess, der Produktionsabsicherung, eine zentrale Rolle. Ziel dieses Teilprozesses ist es, die Produzierbarkeit der Zusammenbaustufen zu gewährleisten und problematische Bereiche frühzeitig ausfindig zu machen. Dazu wird bereits sehr früh im Produktentstehungsprozess das Zusammenspiel von Produkt und Produktionsmittel untersucht und bewertet. So werden beispielsweise Kollisionsanalysen zwischen Bauteil und Betriebsmittel durchgeführt. Die Erreichbarkeit der einzelnen Verbindungselemente der Zusammenbaustufen wird sowohl für die Bauteilpaarungen alleine als auch im Kontext der Vorrichtung analysiert. Auch die Simulation der Einlegereihenfolge wird untersucht, um mögliche Restriktionen rechtzeitig ausfindig zu machen. Durch das Konzept der Fertigungsstruktur ist es nun möglich, auch ganz frühe Datenstände, die noch keine offizielle Freigabe seitens der Bauteilkonstruktion durchlaufen haben, innerhalb der Produktionsabsicherung zu berücksichtigen und die entsprechenden Fachbereiche auf notwendige Änderungen aufmerksam zu machen. Gleichzeitig können auch während der Produktionsabsicherung mehrere Fahrzeugvarianten abgesichert werden, da die Verwendung der Code-Steuerung des PDM-Systems deren Berücksichtigung problemlos ermöglicht.

Abbildung 7-18 zeigt die Untersuchung einer Seitenwand der Fahrzeugkarosserie innerhalb einer vereinfachten Vorrichtung aus der Prototypphase, deren Spann- und Fixierkonzept dennoch mit dem der Serie übereinstimmt. Dadurch wird sich die Lage der Spannelemente nicht mehr verändern, lediglich der Automatisierungsgrad wird in der Serienvorrichtung wesentlich höher sein. Einerseits kann mit Hilfe der gezeigten Untersuchung ermittelt werden, ob alle Verbindungselemente von den Robotern und den daran montierten Schweißzangen problemlos erreicht werden können. Durch die Hinterlegung von Verfahrenszeiten kann aber andererseits auch schon eine wichtige Information für die Produktionsplanung abgeleitet werden, die sich später im Prozess bei der Ausgestaltung des Fertigungskonzepts um die Austaktung der Rohbauanlage kümmert.

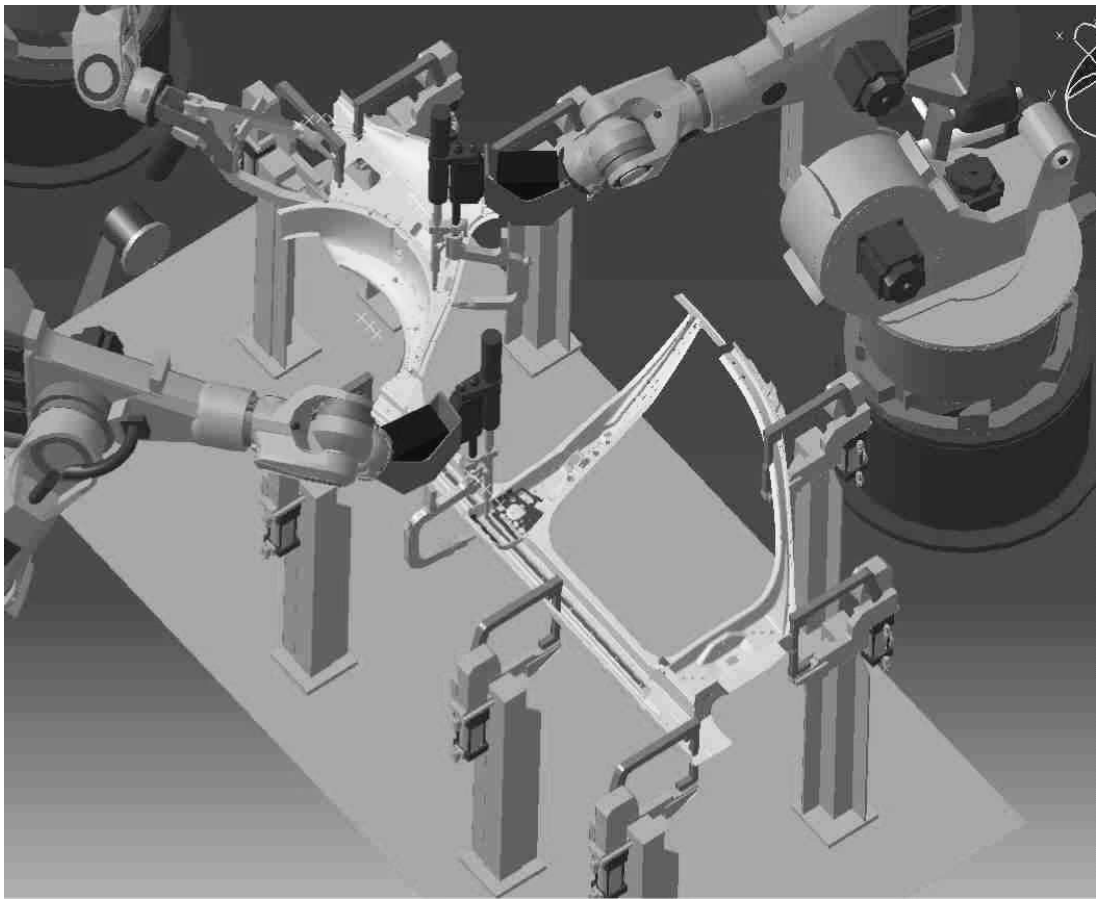


Abbildung 7-18: Produktionsabsicherung einer Seitenwand in einer Vorrichtung

Für den Teilprozess der Produktionsabsicherung wurde im Rahmen der operativen Umsetzung des in dieser Arbeit entwickelten Konzepts ein rein lesender Zugriff auf die Fertigungsstruktur realisiert. Durch die Anpassung des Rechte- und Rollenkonzepts ist es aber genauso denkbar, die im Rahmen der Produktionsabsicherung gewonnenen Erkenntnisse als zusätzliche Informationen ebenfalls in die Fertigungsstruktur mit einzubringen und damit den anderen am Prozess beteiligten Fachbereichen leichter zugänglich zu machen. Dafür müsste lediglich ein schreibender Zugriff auf die Bündelelemente der Fertigungsstruktur geschaffen werden, bei gleichzeitiger Berücksichtigung dieser Rolle in der Ablauforganisation des Gesamtprozesses.

Zusätzlich zur Vorrichtungskonstruktion und zur Produktionsabsicherung findet die Fertigungsstruktur auch in einem dritten, sehr wichtigen Folgeprozess Anwendung, nämlich im Rahmen der Erstellung de Fertigungskonzepts durch die Produktionsplanungsabteilungen. Diese können über die STEP-Schnittstelle des PDM-Systems Smaragd die komplette Fertigungsstruktur versorgen und in ihre Planungsdatenbank übertragen. Damit stehen mit einer einzigen Datenversorgung die Informationen über Fügefolge, Spann- und Fixierkonzept, Ver-

bindungselemente sowie möglicherweise schon existierende Vorrichtungen zur Verfügung. So können diese als Grundlage für die weiteren Planungsaktivitäten verwendet werden. Dabei wird bei Änderungen einfach ein neuer Abzug der Fertigungsstruktur durchgeführt, und die aktualisierten Daten werden nicht mehr wie bisher aus allen möglichen Downloadverzeichnissen zusammengetragen. In Abbildung 7-19 zeigt die übertragene Fertigungsstruktur in einem Planungsprojekt innerhalb des CAP-Systems Delmia V5.

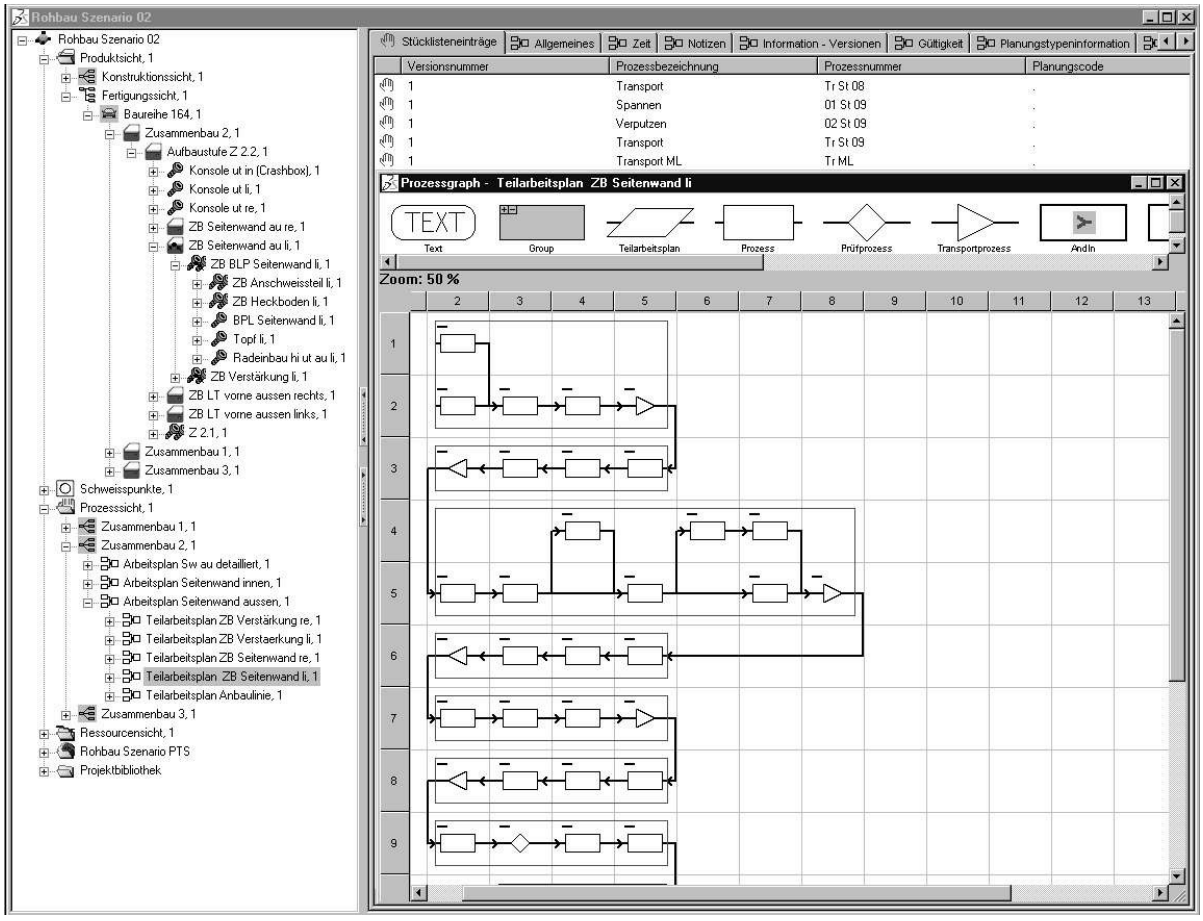


Abbildung 7-19: Weiterverwendung der Fertigungsstruktur im CAP-System

Bei der Schnittstelle zwischen dem PDM-System Smaragd und der Planungsdatenbank PPR-Hub handelt es sich bislang noch um eine unidirektionale Datenversorgung auf Basis von STEP AP214 CC06. Im bisherigen Prozess war diese ausreichend, da die Erstellung des Fertigungskonzepts keine so häufigen Aktualisierungsschleifen für die Produktdaten benötigt wie beispielsweise die Vorrichtungskonstruktion. Gleichzeitig gab es bisher auch kaum eine Rückversorgung von Informationen aus dieser Phase der Produktionsentwicklung. Durch die Möglichkeiten, die mit der Einführung der Fertigungsstruktur innerhalb der Prozesskette Karosserierohbau geschaffen wurden, kann an dieser Prozessschnittstelle aber eine ganz neue Arbeitsweise ermöglicht werden. Hierzu wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit auch

schon erste Untersuchungen zum Aufbau einer Datenrückversorgung von der Planungssystemen zurück ins PDM-System der Produktentwicklung durchgeführt. Diese würde es erlauben, den bisherigen Arbeitsschritt der Dokumentation der aus der Produktstruktur abgeleiteten Fügefolge in einem Microsoft Office Dokument abzulösen. Stattdessen könnte die Fertigungsstruktur automatisch im PDM-System Smaragd aufgebaut werden, indem die erstellte Fügefolge aus dem CAP-System exportiert wird und mit Hilfe der Import-Schnittstelle nach Smaragd übertragen wird. Über diese Schnittstelle können in Smaragd auch eigene Objekte angelegt werden, was für die Bündelelemente der Fertigungsstruktur sowie die variantenneutralen Aufbaustufenelemente notwendig ist. Diese Import-Schnittstelle kann auch Relationen in Smaragd anlegen, wodurch die neu erzeugten Bündelelemente auch auf bereits in Smaragd existierende Objekte referenzieren können. Die Umsetzung einer solchen Datenrückversorgung würde eine weitere, wesentliche Verbesserung des Gesamtprozesses Karosserierohbau mit sich bringen.

7.4.5 Das neue organisatorische Konzept

Während der operativen Umsetzung des Konzepts war es auch nötig, das bestehende, organisatorische Konzept innerhalb der betrachteten Prozesskette zu verändern. Dadurch, dass mit der Fertigungsstruktur eine ganze neue Art der Informationsmodellierung und –bereitstellung im Gesamtprozess geschaffen wurde, war es notwendig, eine geeignete Abteilung für den Aufbau und die Pflege dieser Struktur zu finden. Diese Abteilung sollte idealerweise über Erfahrung bei der Anwendung des PDM-Systems Smaragd und des CAD-Systems CATIA V5 besitzen, da die operative Umsetzung an Hand der Dokumentation des Spann- und Fixierkonzeptes erfolgen sollte. Aus diesen Gründen war es nahe liegend, den Bereich der Anlauffabrik mit der Umsetzung der Fertigungsstruktur zu beauftragen, da deren Mitarbeiter auch bislang die Konstruktion des Spann- und Fixierkonzeptes betreut haben und gleichzeitig sehr gut an den genannten Systemen ausgebildet sind.

Innerhalb des Spann- und Fixierkonzept Teams dieses Fachbereichs wurden eigens für die Fertigungsstruktur drei neue Rollen vorgesehen, nämlich die des „Strukturmanagers“ und die des „SFK Engineers“ (SFK = Spann- und Fixierkonzept) und die des „Datennutzers“. Die einzelnen Rollen sind an Hand ihrer Tätigkeiten und der dabei verwendeten Systeme in Tabelle 7 als Übersicht dargestellt.

Rollenbezeichnung	Tätigkeiten	verwendete Systeme
Strukturmanager	• Konfiguriert die Eingangsdaten (Produktstruktur) • Vergibt die Eingangsstempel • legt Bündelelemente an • baut die Hierarchie auf • überträgt die Transformationsmatrizen • gibt die Struktur frei • pflegt auftretende Änderungen in die Struktur ein	PDM-System Smaragd
SFK-Engineer	• wendet die Konfiguration und die Stempelung an • checkt die Bündelemente der Fertigungsstruktur aus • konstruiert das Spann- und Fixierkonzepts • macht die Alt-/Neu-Vergleiche der Datensätze	PDM-System Smaragd CAD-System CATIA V5
Datennutzer	• wendet die Konfiguration und die Stempelung an • greift lesend auf die Fertigungsstruktur zu • übernimmt bei Bedarf Teile der Information in die eigenen Datensätze	PDM-System Smaragd CAD-System CATIA V5

Tabelle 7: Neue Rollen im Rahmen der operativen Umsetzung der Fertigungsstruktur

Der Strukturmanager ist als eine Art Administrator für den Aufbau und die Pflege der Fertigungsstruktur verantwortlich. Er übernimmt die Konfiguration der Produktentwicklung, um die jeweils zur aktuellen Fahrzeugentwicklungsphase gültigen Produktdaten anladen zu können. Auf diesem Datenstand erzeugt er anschließend die Fertigungsstruktur für die betrachtete Baureihe, d.h. er legt die Bündelelemente an und ordnet sie an Hand der Fügefolge, die ihm von der Rohbauplanung als Dokument zur Verfügung gestellt wird, in die entsprechende Hierarchie ein. Ist die Fertigungsstruktur aufgebaut, so erhält einen Eingangsstempel, auf den die Konfigurationsmechanismen von Smaragd zugreifen können. Im weiteren Verlauf des Prozesses werden durch den Strukturmanager auch die Änderungen in die Struktur eingepflegt.

Diese Änderungen werden dem Strukturmanager über eine sogenannte Deltaliste mitgeteilt, beispielsweise wenn Bauteile ersetzt oder verschoben werden bzw. neue Versionen von Bauteilen berücksichtigt werden müssen. Der Strukturmanager berücksichtigt diese Änderungen und aktualisiert die Fertigungsstruktur entsprechend. Mit der Rolle des Strukturmanagers ist damit eine zentrale Anlaufstelle geschaffen, an der die Informationen sowohl von der Produkt- als auch von der Produktionsentwicklung zusammenlaufen. Gleichzeitig kann der Strukturmanager diese Informationen dann wiederum gezielt an die betroffenen Spann- und Fixierkonzept Konstrukteure bzw. andere Anwender der Fertigungsstruktur weiterreichen.

Die „SFK-Engineers“ sind die Konstrukteure, die die Spannfeatures in den CAD-Modellen der Bündelelemente der Fertigungsstruktur anlegen. Sie wenden die Stempel und Konfigurationsinformationen des Strukturmanagers an, um die jeweils gültigen Datensätze zu laden, die Bündelelemente aus der Struktur auszuchecken und das Spann- und Fixierkonzept zu konstruieren. Treten Änderungen auf, so können die „SFK-Engineers“ auch die notwendigen Alt-/Neu-Vergleiche innerhalb der Bündelelemente durchführen, beispielsweise um eine neue Bauteilgeometrie mit einem bereits bestehenden Spannkonzept abzugleichen. Hat der „SFK-Engineer“ seine Tätigkeit beendet, so checkt er die Bündelelemente wieder ins PDM-System ein und meldet dies dem zuständigen Strukturmanager. Dieser prüft die fertiggestellten Strukturumfänge auf ihre Konsistenz und Datenqualität hin und gibt sie durch die Vergabe des Ausgangsstempels für die Folgeprozesse frei.

Die „Datennutzer“ repräsentieren die Anwender aus diesen Folgeprozessen. Dies sind im Wesentlichen die Vertreter aus den Bereichen Vorrichtungskonstruktion, Produktionsabsicherung und Rohbauplanung, die sämtliche Informationen aus der Fertigungsstruktur zur Erfüllung ihrer jeweiligen Tätigkeiten lesend verwenden. Darüber hinaus zählen aber auch die Bauteilkonstrukteure der Produktentwicklung zu diesen Datennutzern, die an Hand der Fertigungsstruktur bereits im Vorfeld überprüfen können, ob und in welchem Ausmaß mögliche Bauteiländerungen die Folgeprozesse aus der Produktionsentwicklung treffen. Die Gruppe der „Datennutzer“ verwendet die verschiedenen Möglichkeiten der Konfiguration in Smaragd, um die relevanten Informationen aus Smaragd herauszufiltern. Der Zugriff auf die Elemente der Fertigungsstruktur erfolgt aber nur lesend.

Der Prozessablauf für den Aufbau der Fertigungsstruktur und die Konstruktion des Spann- und Fixierkonzeptes ist mit dem Zusammenspiel der neu definierten Rollen in Abbildung 7-20 als Übersicht noch einmal dargestellt.

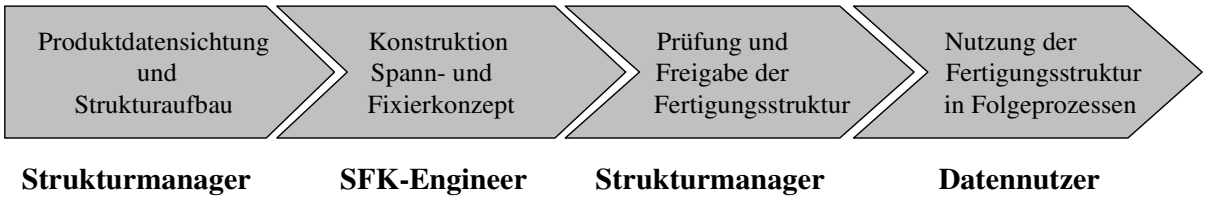


Abbildung 7-20: Prozessablauf mit den zugeordneten Rollen

Für jede der beschriebenen Rollen wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein eigenes Nutzerprofil in Smaragd angelegt, wobei an Hand der zu erfüllenden Tätigkeiten die entsprechenden Rechte in Smaragd vergeben wurden. Auf diese Weise konnte dafür gesorgt werden, dass die Anwender vor möglichen Fehlern weitestgehend geschützt wurden, indem man im Vorfeld ihre Möglichkeiten im Umgang mit der Struktur entsprechend einschränkt.

8 Kritische Bewertung des Konzepts

In diesem Kapitel wird zunächst auf die Erfahrungen eingegangen, die im Rahmen der operativen Umsetzung des in der vorliegenden Arbeit vorgestellten Konzepts gesammelt wurden. Gleichzeitig wird das diskutierte Konzept kritisch geprüft und gleichzeitig das weitere Entwicklungspotential herausgestellt. Die kritische Auseinandersetzung mit dem Konzept folgt dabei den Kriterien des für die Prozessanalyse eingeführten Rahmenwerks. Am Ende werden die im Kontext der vorliegenden Arbeit formulierten Forschungsfragen abschließend beantwortet.

8.1 Erfahrungen im Rahmen der operativen Umsetzung

Das Konzept der Fertigungsstruktur im PDM-System und die Abbildung der relevanten Schnittstelleninformationen mit Hilfe des Schalenmodells wurden, wie im Kapitel 6 und 7 beschrieben, innerhalb des Produktentstehungsprozesses einer Fahrzeugneuentwicklung in der Kompaktklasse umgesetzt. Dabei wurde auch das neu definierte organisatorische Konzept mit den entsprechenden Rollen erstmals angewendet. In den von diesen Änderungen betroffenen Abteilungen waren insgesamt neun Sachbearbeiter in die operative Umsetzung des entwickelten Konzeptes involviert, wobei zwei als Strukturmanager und sieben als SFK Konstrukteure eingesetzt waren. Gleichzeitig griffen etwa 20 Personen aus benachbarten Prozessen als Datennutzer auf die Informationen der Fertigungsstruktur zu. Zusätzlich waren auch externe Firmen in den Prozess mit einbezogen, d.h. es wurden auch Teilumfänge der Fertigungsstruktur aus dem PDM-System exportiert, bei Lieferanten befüllt und anschließend wieder in das System importiert. Der Beobachtungszeitraum erstreckte sich insgesamt über neun Monate, beginnend mit Freigabe der Designdaten aus der Bauteilentwicklung bis hin zur endgültigen Abnahme der auskonstruierten Prototypvorrichtungen.

8.1.1 Bewertung der methodischen Änderungen

Den wohl wichtigsten Ansatzpunkt des hier entwickelten Konzepts bildet die Schaffung der Fertigungsstruktur als zentrales Instrument der Informationsbündelung. Auf diese Strukturgreifen alle Prozessbeteiligten zu bzw. legen darin Informationen ab oder rufen sie daraus auf. Im Hinblick auf die Methodik ergibt sich mit dieser neuen Arbeitsweise als Hauptvorteil die

Nutzung eines zentralen PDM-Systems, wodurch die bisherige, verzeichnisorientierte Arbeitsweise prinzipiell eliminiert wird. Dadurch wurden die der Produktentwicklung nachgelagerten Teilprozesse von den bisherigen Downloadverzeichnissen weggeführt hin zu einem zentral verwalteten Datenbestand. Dieser Schritt wurde allgemein von allen beteiligten Fachbereichen innerhalb der einzelnen Teilprozesse begrüßt, da hier der Handlungsbedarf in Sachen Datenaktualität und Änderungsmanagement durch Erfahrungen von vorherigen Entwicklungsprojekten offensichtlich war. Sehr positiv aufgenommen wurde vor allem die Möglichkeit, Alt-/Neu-Vergleiche der Datenstände während der Konstruktion des Spann- und Fixierkonzeptes direkt mit Hilfe der Konfigurationsmöglichkeiten des PDM-Systems durchführen zu können, ohne zuvor aufwendige Datenaufbereitungsschritte durchlaufen zu müssen.

Die Durchführung der anschließenden Vorrichtungskonstruktion konnte allerdings nur teilweise in direktem Zusammenspiel mit der Fertigungsstruktur umgesetzt werden, da in diesem Fall die CAD-Konstruktionen sehr stark auf parametrische und wissensbasierte Modellierungsmethoden zurückgreifen. Diese können aber im aktuell vorhandenen PDM-System nicht vollständig explizit abgebildet werden, wodurch im Rahmen der Umsetzung lediglich nur komplett auskonstruierte Vorrichtungsdatenstände in die Fertigungsstruktur mit eingehängt werden konnten. Aus Sicht der Vorrichtungskonstrukteure wurde die Versorgung mit Eingangsdaten dennoch stark vereinfacht, da durch den Zugriff auf die gemeinsame Struktur zu jeder Zeit der neueste freigegebene Datenstand abruf- und damit nutzbar war. Die Abnehmer der Vorrichtungsdaten selbst begrüßten die Möglichkeit, die auskonstruierten Betriebsmittel direkt mit dem Spann- und Fixierkonzeptdaten oder den Bauteilgeometrien abrufen zu können. Vor allem den Teilprozess der Absicherung hat diese neue Methodik wesentlich vereinfacht.

Die Abbildung von Varianten, die bislang als parallele Strukturen in jeweils eigenen Download-Verzeichnissen durchgeführt wurde, konnte im Rahmen der Umsetzung des hier eingeführten Konzepts nur teilweise geprüft werden. Die dabei gemachten Erfahrungen haben aber zwei wesentliche Dinge gezeigt: Einerseits konnte bewiesen werden, dass die vorgeschlagene Methodik zur Abbildung von Varianten prinzipiell tragfähig ist und angewendet werden kann. Andererseits wurde von einigen Anwendern, hauptsächlich aus dem Bereich der Spann- und Fixierkonzept Konstruktion, auf die hohe Komplexität im Umgang mit der Variantencodierung hingewiesen. Zwar konnten fehlerfreie Datenstände erzeugt und entlang der gesamten Prozesskette weiterverwendet werden, die Übertragung dieses Konzepts auf die breite Masse

der Anwender setzt aber eine sehr starke Betreuung in der Anfangsphase voraus. Möglicherweise liegt die Ursache für die stark ausgeprägte Wahrnehmung des Themas Komplexität durch den Anwender aber auch in den nur teilweise vorhandenen Erfahrungen der Anwender mit PDM-Werkzeugen und deren Funktionen. Es wurde deutlich, dass in den betroffenen Fachbereichen bislang innerhalb der IT-Trainingseinheiten das Thema Informationsmodellierung sehr ausgiebig geschult wurde, während das Thema Infomationsweitergabe und -verwaltung eher zu kurz kam.

Die Entkopplung der einzelnen Schalen des Informationsmodells hat sich bei der Betrachtung der gesamten Prozesskette Karosserierohbau als sehr nützlich erwiesen. Vor allem die Fachabteilungen der Produktionsplanung und der Produktionsabsicherung fühlten sich hier in ihrer Arbeitsweise sehr gut unterstützt. Am deutlichsten wurde dies im Fall der Archivierung der Verbindungselemente, bei denen die bereits diskutierten Euler'schen Winkel, die die Anfahrpose der Schweißzange an das Verbindungselement beschreiben, erst während der Prozesssimulation im Rahmen der Absicherung festgelegt werden konnten. Die wertlose Definition dieser Informationen in vorgelagerten Prozessbereichen war damit hinfällig.

Die generelle Umstellung der Modellierungs- und Archivierungsmethodik auf Seiten der Produktentwicklung im Sinne eines Wandels zu einer „Top-Down"-Methodik, wie auch schon in der Forschungsarbeit von [Viel05] gefordert, war im Rahmen der hier durchgeführten Methodik nicht durchsetzbar. Zwar konnten die Notwendigkeit und die Vorteile einer solchen Vorgehensweise bei bauteilübergreifenden Informationen sehr deutlich nachgewiesen werden, die Entscheidung für eine solche Prozessveränderung muss aber an höherer Stelle getroffen und umgesetzt werden. In letzter Zeit ist allerdings eine Diskussion zwischen den einzelnen Fachbereichen entstanden, in der vor allem der Umgang mit Verbindungselementen im Fokus stand. Sollte in dieser Diskussion in absehbarer Zeit eine positive Entscheidung zugunsten einer Zusammenbau-orientierten Arbeitsweise getroffen werden, so kann deren Umsetzung durch das Konzept der Fertigungsstruktur um so einfacher erfolgen.

Insgesamt konnte erreicht werden, dass die Bauteilentwickler auf die Fertigungsstruktur zugreifen, wenn es darum geht, die Auswirkungen von durchzuführenden Änderungen an der Produktgeometrie einzuschätzen. Die Möglichkeit, über die eigenen Bauteilumfänge innerhalb des PDM-Systems an die von der Planung erzeugten Zusatzinformationen zu gelangen, wurde auch von den Bauteilkonstrukteuren gut angenommen. Dies zeigt, dass die geforderte Transparenz zwischen zwei größeren Fachbereichen tatsächlich erzielt werden konnte. Den

Konstrukteuren ist es nun beispielsweise möglich, bei einer Verschiebung von Lackablauflöchern, Sicken, Verprägungen oder ähnlichen Karosserie-Features die mögliche Beeinflussung des Spann- und Fixierkonzepts als auch der darauf aufbauenden Vorrichtung sofort zu erkennen und entsprechend zu berücksichtigen.

Für die methodischen Änderungen wird zusammenfassend deutlich, dass viele der erwarteten Prozessverbesserungen in den nachgelagerten Teilprozessen sich tatsächlich eingestellt und die Qualität und Effizienz des Gesamtprozesses wesentlich verbessert haben. Handlungsbedarf besteht aber weiterhin vor allem hinsichtlich der Dokumentationsmethodik für bauteilübergreifende Daten in frühen Entwicklungsphasen auf Seiten der Produktentwicklung. Das Thema Komplexität bei der Handhabung der PDM-Funktionen sollte weiterhin adressiert werden, um die Akzeptanz der neuen Methoden vor allem bei der Abbildung von variantenreichen Entwicklungsprojekten zu gewährleisten.

8.1.2 Bewertung der geänderten Verwaltung von Informationen/Daten

Bei der Analyse der Prozesskette Karosserierohbau wurde aufgezeigt, dass in allen beteiligten Teilprozessen die Fügefolge eine der wichtigsten Informationen darstellt. Damit war die vollständige digitale Erfassung und Nutzung der Fügefolge ein wesentlicher Bestandteil des hier entwickelten Konzepts. Diese anfängliche Hypothese hat sich während der Implementierung des Konzepts in vollem Umfang bewahrheitet. Der Produktionsplanung wurde es ermöglicht, die für die Gestaltung der Fertigungsanlagen allein verbindliche Struktur direkt in ihre digitalen Systeme zu übernehmen, wodurch die bisherige, Dokumenten-basierte Erfassung der Fügefolge überflüssig geworden ist.

Im Hinblick auf die Verwendung geometrischer Informationen kann mit Hilfe der Fertigungsstruktur nun auch jeder Verbauzustand der Fahrzeugkarosserie dargestellt werden, auf Seiten der Produktionsplanung sogar inklusive der zugehörigen Verteilung der Verbindungselemente. Dies hat sich sowohl für den Fachbereich Produktionsplanung als auch für die Vorrichtungskonstruktion als sehr hilfreich erwiesen, wodurch eine deutliche, zeitliche Einsparung in den jeweiligen Tätigkeiten erreicht wurde.

Darüber hinaus wurde die Qualität der ausgetauschten Daten verbessert, da durch die Nutzung der Standardfunktionen des PDM-Systems, hier speziell durch die Anwendung der entworfenen Konfigurationsmethoden, einzelne Versionen von Datenständen sehr gut und nachvoll-

ziehbar verwaltet werden können. Die Durchführung von Alt-/Neu-Vergleichen während der Konstruktion des Spann- und Fixierkonzepts wurde von den Anwendern als deutlicher Mehrwert gegenüber der bisherigen Arbeitsweise empfunden, da nun beliebige Stände ganz einfach zusammengeführt werden können, ohne jedes Mal einen Download von Produktdaten durchführen zu müssen. Unabhängig von der Vereinfachung der Arbeitsabläufe wurde hier auch eine weitere Zeiteinsparung erzielt.

Aus Sicht der Prozessbeteiligten aus den Bereichen Vorrichtungskonstruktion und Produktionsabsicherung wurde vor allem die Schaffung einer zentralen Informationsplattform als sehr positiv bewertet, da beide Teilprozesse jetzt einfach an alle relevanten Informationen gelangen und sich gleichzeitig auf deren Konsistenz und Verbindlichkeit verlassen können. Das Zusammentragen von Daten aus mehreren Quellen ist damit überflüssig geworden. In beiden genannten Teilprozessen ist es nun auch einfacher möglich, den ständig wachsenden Anforderungen hinsichtlich der Flexibilität der Fertigungsvorrichtungen gerecht zu werden. Durch die Bündelung der Informationen verschiedener Fahrzeugvarianten in der Fertigungsstruktur können diese über die Konfiguration ganz einfach zusammengestellt und entsprechend berücksichtigt werden.

Aus Sicht der gesamten Prozesskette hat sich die Abbildung der relevanten Informationen in den einzelnen Schichten des Schalenmodells hinsichtlich der Verwaltung und Verantwortung als sehr guter Ansatz herausgestellt, da nun unterschiedliche Fachbereiche jeweils ihren eigenen Teil der Informationen dokumentieren und freigeben können, ohne aufwendige und kommunikationsintensive Abstimmungsprozesse durchlaufen zu müssen. Im Fall der bauteilübergreifenden Informationen konnten die grundlegenden Datenmodelle auch besser aufeinander abgestimmt werden, was in der gesamten Prozesskette eine größere Durchgängigkeit nach sich zieht.

Für weitere bauteilübergreifende Daten war dies bislang noch nicht möglich. An dieser Stelle sei erneut auf die Dokumentation und Archivierung der Verbindungselemente auf Seiten der Produktentwicklung verwiesen, durch deren Anpassung weitere wesentliche Nutzenpotentiale erschlossen werden könnten.

Einen deutlichen Mehrwert konnte mit Hilfe der Fertigungsstruktur für den Fall der Wiederverwendung von Informationen im Falle des „Design-for-Re-Tooling“ erzeugt werden. So ist es nun ohne weiteres möglich, bestehende Produktionsanlagen und deren Spann- und Fixier-

konzepte zu berücksichtigen, sobald eine neue Fahrzeugvariante in eine bestehende Fertigungsanlage integriert werden sollte. Dies ist zwar im Rahmen der operativen Umsetzung des Konzepts noch nicht aufgetreten, konnte aber zumindest prototypisch als Szenario durchgespielt werden und wurde von allen beteiligten Fachbereichen als recht einfach durchführbar bezeichnet. Die auf diese Weise mögliche Umkehrung des Entwicklungsprozesses, wie sie auch in Kapitel 6 Abschnitt 2 ausführlich beschrieben wurde, wird in aktuellen Fahrzeugentwicklungsprojekten immer stärker gefordert. Auch hier wird mit der Fertigungsstruktur eine optimale Voraussetzung für die Rückführung der Informationen geschaffen.

8.1.3 Bewertung der Auswirkungen auf die Systemlandschaft

Das in dieser Arbeit entwickelte Konzept wurde im Rahmen eines laufenden Fahrzeugentwicklungsprojektes unter operativen Bedingungen implementiert und validiert. Dabei musste auf die existierende Systemlandschaft zurückgegriffen werden, die innerhalb eines laufenden Prozesses nicht beliebig stark verändert werden kann. Die zuvor gemachten Annahmen haben sich hinsichtlich der eingeschränkten Interaktion der Systeme verschiedener Hersteller untereinander bzw. der Auswirkungen der noch nicht vollständig aufeinander abgestimmten Datenmodelle größtenteils bestätigt. Wie im Falle der bereits erwähnten Verbindungselemente hat dies auch methodische Ursachen. Während der Umsetzung hat sich dennoch gezeigt, dass vor allem im Fall der bauteilübergreifenden Informationen die Vielzahl von Anwendungen, die entlang der gesamten Prozesskette auf diese Informationen zugreifen, ein generalisiertes Datenmodell verlangt. Der Anspruch vieler Systemhersteller, ihre Kunden mit ganzheitlichen Entwicklungssystemen zu versorgen, die alle Belange der Fachbereiche in allen Phasen des Gesamtprozesses abdecken, scheint dabei als kaum erreichbar. Dafür sind die Ansprüche einzelner Fachbereiche viel zu speziell.

In diesem Zusammenhang konnte während der Umsetzung gezeigt werden, dass die Einbeziehung von applikationsnahen Datenverwaltungssystemen, also die Nutzung einer sogeannten TDM-Schicht innerhalb der IT-Landschaft, die digitale Unterstützung der einzelnen Teilprozesse viel effizienter gestalten könnte. Durch die Verwendung einer solchen Schicht ist es möglich, die einzelnen Fachdisziplinen und die dort erzeugten Daten optimal zu verwalten, wenn gleichzeitig gewährleistet werden kann, dass der für die anderen Prozessbeteiligten interessante Teil dieser Informationen auch Disziplinen-übergreifend ausgetauscht werden kann. Hier würde sich als Austauschplattform ein unternehmensweites PDM-System oder ein ERP-

System anbieten, abhängig davon, wie stark der geometrische Anteil an Informationen ist bzw. in welcher Phase sich der Entwicklungsprozess gerade befindet. Die Untersuchung einer solchen Architektur mit Hilfe eines entsprechenden Szenarios in einer modifizierten Systemlandschaft hat vielversprechende Verbesserungspotentiale gezeigt. Am ehesten konnte das für den Fachbereich der Vorrichtungskonstruktion nachgewiesen werden, die mit Hilfe eines TDM-Systems ihre parametrisch-assoziativen Konstruktionsdaten ohne weiteres verwalten können, und die gleichzeitig die freigegebenen Daten über das PDM-System an die anderen Teilprozesse wie die Produktionsabsicherung oder die Planungsabteilungen weiterreichen.

Im Rahmen dieser prototypischen Untersuchungen wurde aber auch deutlich, dass bei der Schaffung einer solchen Systemlandschaft sehr viel Aufwand in die Auslegung der Schnittstellen gesteckt werden muss. Diese bezieht sich vor allem auf den Abgleich unterschiedlicher Konfigurations- oder Versionierungsalgorithmen untereinander, um die ausgetauschten Datenstrukturen auch nach dem Transfer noch konsistent und verbindlich zu halten. Gleichzeitig muss ein grundlegendes Rollenmodell geschaffen werden, um im gesamten Entwicklungsprozess zu jedem Zeitpunkt exakt festzulegen, wer aktuell der Treiber des Prozesses ist und wer die jeweilige Verantwortung für die Informationen trägt.

Es kann aber festgehalten werden, dass die Inkaufnahme dieser Aufwände vor dem Hintergrund der zu erschließenden Nutzenpotentiale durchaus gerechtfertigt zu sein scheint, vor allem wenn die Zielsetzung verfolgt wird, sämtliche Prozessphasen der Produktentwicklung digital zu durchdringen.

8.1.4 Bewertung der Auswirkungen auf die Organisation

Innerhalb der vorliegenden Arbeit wurde verdeutlicht, dass sich die Organisation von Produktenstehungsprozessen auf Grund äußerer Einflüsse aktuell sehr stark verändert. Dies hat einerseits seine Ursache in der Größe und der globalen Verteilung der Unternehmen sowie ihrer Wettbewerbssituation, andererseits sind die Gründe für diese Veränderungen aber auch in den Produkten und deren Charakteristiken selbst zu finden. Als Reaktion auf diese Entwicklungen entsteht die Notwendigkeit, organisatorische Abläufe zu verändern und an die neuen Gegebenheiten anzupassen. Es ist allerdings unrealistisch, dies im Rahmen einer einzelnen Forschungsarbeit in großem Umfang erreichen zu wollen.

Die Anpassungen innerhalb der Organisation, die im Rahmen der Umsetzung des Konzepts der vorliegenden Arbeit durchgeführt wurden, halten sich deshalb in überschaubarem Rahmen. Dennoch konnte mit diesem kleinen Beitrag zumindest zwischen einzelnen Organisationseinheiten ein verbesserter Informationsaustausch herbeigeführt und damit Transparenz geschaffen werden. Hervorgehoben sei hier vor allem die Schaffung eines bidirektionalen Informationsflusses innerhalb der Prozesskette Karosserie, der eine ganz neue Arbeitsweise ermöglicht und sowohl von den Produkt- als auch von Produktionsentwicklern als sehr positiv empfunden wurde. Das gleiche gilt für die Zusammenarbeit mit externen Entwicklungspartnern bei der Vergabe von Arbeitsinhalten über die Unternehmensgrenzen hinweg nach außen. Auch dies wurde in einem Szenario während der Umsetzung des Konzepts erfolgreich getestet. Mit Hilfe der Fertigungsstruktur konnte an dieser Stelle bei gleichzeitig gestiegener Datenqualität eine einfachere Organisation der Zusammenarbeit erreicht werden.

Größere Anpassungen innerhalb der Organisation können allerdings nur durch die Einbeziehung der betroffenen Führungshierarchien erreicht werden. Speziell an der hier analysierten und optimierten Prozessschnittstelle gestaltet sich dies aber schwierig, da die erste gemeinsame und damit entscheidungsbevollmächtigte Instanz zwischen Produkt- und Produktionsentwicklung direkt unterhalb der Vorstandsebene angesiedelt ist. Dennoch ist ein langsamer Wandel spürbar von der sehr stark an Neuprodukten orientierten Gestaltung des Produktentstehungsprozesses hin zu einer immer stärker werdenden Berücksichtigung der Belange der Produktion. Durch eine entsprechende Positionierung des oberen Managements kann somit sicherlich auch auf niedrigeren Führungsebenen eher eine Bereitschaft zur organisatorischen Veränderung ganzer Prozessketten erreicht werden. Diese Unterstützung durch das mittlere Management ist wiederum eine wesentliche Voraussetzung für die Akzeptanz bei den einzelnen Mitarbeitern, was während der Umsetzung des Konzepts in verschiedenen Bereichen beobachtet werden konnte.

Unabhängig von diesen Überlegungen wurde bei der fachlichen Umsetzung auf ein phasenspezifisches Mitarbeiterbeteiligungskonzept gesetzt, wie im Kapitel 2 Abschnitt 3 beschrieben. Diese Vorgehensweise erwies sich als sinnvoll und hilfreich. Einerseits konnten durch die vielen Gespräche mit den Vertretern aus den jeweiligen Fachbereichen viele, interessante Anregungen und Verbesserungsvorschläge für das Konzept gewonnen werden, die ohne mehrjährige Erfahrung in eben diesen Bereichen kaum zu erahnen sind. Andererseits fanden sich die involvierten Mitarbeiter aber durch die Beteiligung während der Konzepterstellung

stark in der veränderten Arbeitsweise wieder, da sie diese von Beginn an maßgeblich mitgestalten konnten. Eine ständige Herausforderung besteht dabei sicherlich im Erzielen von Kompromissen zwischen den Anforderungen einzelner Fachbereiche. Hier hat sich gezeigt, dass die Schaffung von Transparenz die Bereitschaft fördert, bei einer offenen Diskussion von Vor- und Nachteilen der notwendigen Veränderungen mit allen Beteiligten Zugeständnisse zugunsten einer anderen Organisationseinheit zu machen. Die Nutzung von Prozessgraphen, wie sie ebenfalls im Kapitel 2 Abschnitt 3 erläutert wurde, ist auch in diesem Fall immer wieder eine deutliche Erleichterung in den Gesprächen. Es konnte beobachtet werden, dass außerhalb eines abgegrenzten Fachbereichs kaum ein Verständnis dafür existiert, was mit den erzeugten Informationen weiter geschieht. Gelingt es aber, dieses zu erreichen, so fällt es leichter, die entsprechenden Mitarbeiter für eine Änderung zu gewinnen. In Einzelfällen ist es so gelungen, Mehraufwände in einzelnen Tätigkeiten zugunsten eines optimierten Gesamtprozesses durchzusetzen.

8.2 Beantwortung der forschungsrelevanten Fragestellungen

Mit der Ableitung der Verbesserungspotentiale aus den bestehenden Prozessen wurden im Kapitel 4 die forschungsrelevanten Fragestellungen formuliert, deren Beantwortung im Fokus der vorliegenden Arbeit steht. Nachfolgend werden diese vier Fragen anhand des entwickelten Konzepts beantwortet.

Fragestellung 1: Welche Informationen müssen zu welchen Zeitpunkten an der betrachteten Schnittstelle zwischen Produkt- und Produktionsentwicklung miteinander ausgetauscht werden, und welche Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten müssen diesen Informationen innerhalb des Gesamtprozesses zu Grunde gelegt werden?

Antwort: Die Kern-Information in der betrachteten Prozesskette Karosserierohbau stellen zunächst die Produktdaten dar, da dieser gesamte Prozess sehr stark an der Geometrie der einzelnen Bauteile der Karosserie orientiert ist. Alle weiteren Informationsarten bauen auf der Produktinformation auf. Als eine für den Gesamtprozess sehr wesentliche Information kann dabei die Fügefolge angesehen werden, die für sämtliche der Produktentwicklung nachfolgenden Prozesse eine verbindliche Arbeitsgrundlage darstellt. Eine weitere wichtige Gruppe von Informationen, die an der Prozesschnittstelle ausgetauscht werden müssen, sind die sogenannten bauteilübergreifenden Informationen. Hierzu gehören die Toleranz-

angaben, das Spann- und Fixierkonzept sowie alle Arten von Verbindungselementen. Für den Fall einer Umkehrung der Prozesskette, d.h. wenn zuerst die Produktionsanlage existiert und darauf aufbauend die Produktdaten modelliert werden, stellen auch die auskonstruierten Fertigungseinrichtungen sowie deren Fertigungsprozesse eine wichtige Information dar, die über die betrachtete Prozessschnittstelle übertragen werden muss. In Bezug auf die Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten kann festgehalten werden, dass diese sich beim Durchlaufen der Prozesskette ändern können und daher flexibel gehalten werden müssen. Im Falle der Verbindungselemente kann es sogar hilfreich sein, die darin enthaltenen Informationen über mehrere Verantwortungsbereiche hinweg zu verteilen, wobei die Konsistenz der zu Grunde gelegten Daten gewährleistet werden muss.

Fragestellung 2: Wie können Informationen zwischen Teilprozessen der Produktentwicklung und der Produktionsentwicklung so miteinander ausgetauscht werden, dass einerseits eine effiziente Integration zu verwirklichen ist, diese Tätigkeiten aber andererseits so weit wie möglich voneinander entkoppelt sind, um innerhalb der Teilprozesse arbeitsfähig zu bleiben?

Antwort: Eine Modellierung der Informationen in einzelnen Schalen, die jeweils die Sicht eines bestimmten Teilprozesses wiederspiegeln, erlaubt eine solche entkoppelte Arbeitsweise. Gleichzeitig wird durch eine Verknüpfung der einzelnen Schalen untereinander die Integration der Informationen der am Gesamtprozess beteiligten Bereiche aufrecht erhalten.

Fragestellung 3: Wie müssen Datenmodelle aussehen, die bei einem Austausch von Informationen an den Schnittstellen innerhalb der Prozesskette Rohbau den jeweiligen Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten gerecht werden, im Sinne des Gesamtprozesses aber dennoch eine Basis für eine durchgängige Integration liefern?

Antwort: Die verwendeten Datenmodelle orientieren sich in ihrem Aufbau an den für Produktdaten üblichen Modellierungsgrundsätzen. Durch eine entsprechende Attributierung können die Ansprüche der jeweiligen Prozessbereiche berücksichtigt werden. Zwischen den einzelnen Objekten, die jeweils eine eigene Sicht auf die gesamte Prozesskette repräsentieren, wird über die Verwendung von speziellen Relationen die Datenintegration gewährleistet. Diese Relationen müssen es erlauben, Funktionen wie Konfiguration, Versionierung und Variantenauflösung zu unterstützen. Dabei müssen sie durch die Verwen-

dung eines entsprechenden Rechte- und Zugriffskonzepts den unterschiedlichen Verantwortlichkeiten im Gesamtprozess gerecht werden.

Fragestellung 4: Wie kann man diese Datenmodelle so in die existierende Systemlandschaft einbetten, dass die heute gesetzten Systeme und ihre Funktionen möglichst weiterhin verwendet werden können, ohne beliebig viele neue Schnittstellen zu schaffen, gleichzeitig aber die durchgängige Dokumentation und Verwendbarkeit der Informationen in allen Teilprozessen sichergestellt ist?

Antwort: Da Schnittstellen zur Übertragung von Daten fast immer eine Verzögerung innerhalb einer Prozesskette bedeuten, gilt es, die Anzahl der notwendigen Schnittstellen so gering wie möglich zu halten. Daher empfiehlt es sich, die spezifizierten Datenmodelle und die zu ihrer Verwaltung notwendigen Strukturen in dem System zu implementieren, in dem die häufigsten Zugriffe auf die Informationen stattfinden. Dabei müssen zunächst die Teilprozesse unterstützt werden, die am zeitkritischsten sind. Beantwortet man diese Frage losgelöst vom operativen Druck aktueller Projekte, so sollte auch eine genaue Analyse von Systemfunktionen wie etwa der Verwaltung von Relationen zwischen Objekten sowie der Unterstützung von wissensbasierten Ansätzen erfolgen. Insgesamt lässt sich jedoch feststellen, dass Einbußen am Informationsgehalt der abgebildeten Objekte um so mehr hingenommen werden müssen, je stärker die existierenden Systeme zu berücksichtigen sind.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Das folgende Kapitel fasst die vorliegende Forschungsarbeit sowie die darin präsentierten Ergebnisse zusammen und gibt anschließend einen Ausblick auf mögliche Erweiterungen des vorgestellten Konzepts.

9.1 Zusammenfassung

Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit war die These, dass innerhalb moderner Produktionsbetriebe der Begriff der „Information“ sowie deren Austausch und Verwaltung zu einem wesentlichen Erfolgsfaktor innerhalb des herrschenden Wettbewerbs geworden sind. Nach einer allgemeinen Einleitung wurde die Prozesskette Karosserierohbau betrachtet, beginnend mit der Produktentwicklung über die Phase des Aufbaus der Prototypfahrzeuge in speziellen Vorrichtungen bis hin zur Entwicklung der Fertigungseinrichtung für die Serienproduktion.

Zur Analyse der genannten Prozesskette wurde zunächst die angewandte Forschungsmethodik erläutert und ein Rahmenwerk eingeführt, dass zur Analyse der relevanten Unternehmensprozesse herangezogen wurde. Dieses Rahmenwerks setzt sich zusammen aus den einzelnen Dimensionen Methode, Organisation bzw. den darin eingegliederten Menschen, System sowie Informationen bzw. den ihnen zu Grunde liegenden Daten. Das Zusammenspiel dieser Dimensionen bildet den Prozess. Die Prozessanalyse wurde für die beiden großen Teilprozesse der Prozesskette Karosserierohbau, der Produktentwicklung sowie der Produktionsentwicklung, durchgeführt.

Die während der Prozessanalyse aufgezeigten Defizite wurden in acht verschiedene Kategorien aufgeteilt, anhand derer eine Optimierung bzw. Umgestaltung der bestehenden Teilprozesse erfolgt. Außerdem wurden aktuelle bzw. bereits absehbare Veränderungen der Randbedingungen innerhalb der Prozesskette Karosserierohbau beschrieben, damit das innerhalb der vorliegenden Arbeit entworfene Konzept auch diesen weitestgehend gerecht wird. Die Prozessanalyse endet mit der Formulierung von vier Forschungsfragestellungen, an Hand derer ein neuartiges und verbessertes Konzept für die betrachtete Prozesskette entwickelt wird, das die aufgezeigten Defizite beseitigt.

Nach einem Überblick über Forschungsarbeiten mit ähnlichen Ansätzen und über existierende informationstechnische Konzepte der führenden Systemhersteller im Umfeld von Produkt- und Produktionsentwicklung, wurde entlang der einzelnen Dimensionen des zuvor in der Prozessanalyse eingeführten Rahmenwerks ein neuartiges Konzept für das Informationsmanagement in der Prozesskette Karosserierohbau entwickelt. Den Kern dieses Konzepts bildet die Zusammenführung der relevanten Informationen in einer Fertigungsstruktur innerhalb eines zentralen Datenverwaltungssystems des Unternehmens sowie die Informationsmodellierung in einem Schalenmodell. Dieses erlaubt die integrierte, aber organisatorisch voneinander entkoppelte Verwaltung der Informationen getrennt nach den Kategorien Produktinformation, Prozessinformation und Ressourceinformation.

Für die einzelnen Sichten des Schalenmodells wurden Datenmodelle spezifiziert, die im Sinne eines Fachkonzepts zunächst systemunabhängig beschrieben werden. Daran anschließend wurde die operative Umsetzung des entwickelten Konzepts im existierenden Systemumfeld des betrachteten Unternehmens erläutert. Diese Umsetzung fand innerhalb der Entwicklungsprozesse einer neu entstehenden Baureihe statt. Dabei wurden einzelne Teilprozesse aus Produkt- und Produktionsentwicklung mit der Fertigungsstruktur sowie der Informationsmodellierung an Hand des Schalenmodells gezielt unterstützt. Die dabei gemachten Erfahrungen zeigen die Praxistauglichkeit des entwickelten Konzepts und lassen erkennen, dass mit dieser neuen Arbeitsweise wesentliche Nutzenpotentiale innerhalb der Prozesskette erschlossen werden konnten und gleichzeitig Effizienz und Prozessqualität gesteigert wurden. Es wird aber auch deutlich, dass eine Reduktion der Komplexität im Umgang mit der neuen Struktur deren Verankerung im Gesamtprozess noch weiter verbessern kann. Die erwarteten Ergebnisse wurden vollends erreicht und können somit als eine Bestätigung der in der vorliegenden Arbeit formulierten Hypothese angesehen werden. Die aufgeworfenen Forschungsfragen konnten somit beantwortet werden.

9.2 Ausblick

Die Erfahrungen im Rahmen der Umsetzung des Konzepts der Fertigungsstruktur sowie der Informationsmodellierung in den Sichten des Schalenmodells haben gezeigt, dass verschiedene Tätigkeiten in den beiden Teilprozessen der Prozesskette Karosserie viel effizienter durchgeführt werden konnten als bisher. Es können vor allem das vereinfachte Änderungsmanagement und die Berücksichtigung der unterschiedlichen Produktvarianten herausgestellt werden.

Es wird aber auch deutlich, dass es in Zukunft gilt, auch weitere Nutzenpotentiale innerhalb der betrachteten Prozesskette zu erschließen. Da im Rahmen der operativen Umsetzung die existierende Systemwelt berücksichtigt bzw. auch unverändert übernommen werden musste, konnte das entwickelte Konzept sicherlich nicht mit allen nötigen Freiheitsgraden eingeführt werden. Die gemachten Erfahrungen werden aber in mittel- bis langfristige Überlegungen zur Gestaltung der Systemlandschaft im betrachteten Unternehmen einfließen.

In benachbarten Forschungsprojekten wurden während der Entstehung der vorliegenden Arbeit bereits Untersuchungen in die Wege geleitet, wie auf Seiten der Produktentwicklung applikationsnahe Datenverwaltungssysteme eingesetzt werden können und welcher Koordinationsaufwand dabei entsteht. Dabei sind eine ganze Reihe von technischen und organisatorischen Herausforderungen aufgetreten, denen es beim Umbau der existierenden Systemlandschaft zu begegnen gilt. Diese Neuausrichtung der Systeme bietet aber gleichzeitig auch die Chance für eine Bereinigung des Wildwuchses innerhalb der IT-Landschaft, der eine Folge der zunehmenden digitalen Durchdringung der einzelnen Disziplinen in der Produktentstehung ist.

Eine weitere interessante Aufgabe besteht in der Prüfung der Übertragbarkeit des Konzepts der Fertigungsstruktur auf andere Prozessketten in der Produktentstehung. Diesbezüglich entstanden im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit bereits weiterführende Forschungsaktivitäten, etwa bei [Muel04], [Meis05] oder [Resc06]. Dabei standen vor allem Untersuchungen bezüglich der Produktionsabsicherung sowie der produktionsgerechten Produktgestaltung im Fokus der Arbeiten. Die durchgeführten prototypischen Implementierungen ließen bereits erste Aussagen zu, dass eine Übertragung des Konzepts auf die Prozessschnittstelle zwischen Produktentwicklung und Montageplanung ohne größere Anpassungen zu ermöglichen ist und dass dort ähnliche Nutzenpotentiale wie im Karosserierohbau zu erschließen sind. Zu untersuchen ist in diesem Zusammenhang allerdings noch, ob die Rollenverteilung der beteiligten Datenverwaltungssysteme möglicherweise angepasst werden muss, da viele Teilprozesse der Montageplanung sich weniger stark an der Produktgeometrie orientieren als es im Rohbau der Fall ist. Hier wird die Rolle des ERP-Systems vermutlich stärker sein, während das PDM-System als Träger der geometrischen Information in den Hintergrund tritt.

Betrachtet man die Produktentstehung eines neuen Fahrzeugs als gesamte Einheit, so spielt sicherlich auch die Einbeziehung des Presswerks eine zentrale Rolle für die qualitativ hochwertige Gestaltung des Endprodukts. In der Arbeit von [Gloß07] wurde bereits eine integrier-

te Planungsmethodik diskutiert, die die Ansätze der digitalen Fabrik in den Planungsprozessen der Werkzeugkonstruktion des Presswerks beschreibt. Dort wurde bereits auf die Notwendigkeit hingewiesen, die Informationen durchgängig weiterverwenden zu können und gleichzeitig eine Rückführung vom Werkzeugbau in Richtung Produktentwicklung zu ermöglichen. Daraus kann geschlossen werden, dass auch hier für das Informationsmanagement mit der Fertigungsstruktur sowie dem Schalenmodell ein effizientes Werkzeug zur Verfügung gestellt werden könnte. Die Ähnlichkeit der Konstruktions-, Planungs- und Absicherungsprozesse zwischen Karosserierohbau und Presswerk lässt eine problemlose Übertragbarkeit des Konzepts vermuten.

Die Vielzahl an Informationen und den zu ihrer Erzeugung, Nutzung und Verwaltung eingesetzten Systemen wird in den kommenden Jahren noch weiter ansteigen. Die Gewährleistung der durchgängigen Nutzung der Informationen innerhalb der Unternehmensprozesse wird dabei aus Sicht der industriellen Forschung auch weiterhin eine wichtige Aufgabe darstellen. In diesem Kontext versteht sich die vorliegende Forschungsarbeit als ein kleiner, aber hilfreicher Schritt hin zu einem transparenten, durchgängigen und vor allem bidirektionalen Informationsaustausch zwischen den Fachbereichen der Produkt- und Produktionsentwicklung.

Glossar

Begriff	Abk.	Begriffsverständnis
CAD-Modell		Strukturierter CAD-Datenbestand, der entsprechend den physischen Teilen der dargestellten Objekte gegliedert ist [DIN199]
Computer Aided Design	CAD	Bezeichnet das rechnerunterstützte Entwerfen und Konstruieren von Produkten [DIN 199]. Der Begriff umfasst dabei die Methodik als solche als auch die angewendeten Applikationen.
Concurrent Engineering	CE	Synonym für Simultaneous Engineering
Datenformat		Vorschrift für die elektronische Darstellung und Speicherung von Daten
Datenmodell		Datenmodelle werden auf der konzeptionellen und auf der externen Ebene zur formalen Beschreibung aller in einer Datenbank enthaltenen Daten und ihrer Beziehungen untereinander verwendet. Hierbei wird jedes einzelne Objekt (engl. Entity), seine Eigenschaften (engl. Attributes) und seine Beziehungen zu anderen Objekten (engl. Relationships) aufgeführt. Dies führt zum Entity-Relationship-Modell, das unabhängig von einer konkreten Anwendung ist.
Design-for-Re-Tooling		Unter diesem Begriff werden die Entwicklungstätigkeiten verstanden, die im Rahmen einer Neu- oder Anpassungsentwicklung eines Produkts unternommen werden, um bestehende Produktionsanlagen so wenig wie möglich zu ändern.
Digital Mock-Up	DMU	Virtueller Zusammenbau von Baugruppen mit Hilfe eines CAD-Systems mit dem Ziel von Funktions- und Einbauuntersuchungen [DIN199]; die Daten werden dabei zur Reduzierung des Berechnungsaufwands in Repräsentationsformate, so genannte tesselierte Formate, konvertiert.
Digitale Fabrik		Die digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Me-

		thoden und Werkzeugen – u.a. der Simulation und 3D-Visualisierung – die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt [VDI4499].
Metadaten		Beschreibende, klassifizierende bzw. attributive Informationen zur Verwaltung und Organisation von Dateien. Metadaten, die in Datenbanken verwaltet werden, repräsentieren Informationen über Ersteller, Erstellungsdatum, Freigabestatus, Aufbewahrungsort usw. und verweisen auf die Dateien, welche die jeweiligen produktdefinierenden Dokumente bzw. Modelldaten enthalten [VDI2219].
Packaging		Untersuchung des Bauraums und Stauraums mit Hilfe von CAD [DIN199].
Product Data Management /Engineering Data Management	PDM/ EDM	Das Datenmanagement von Produktdaten bzw. Engineering Daten. Bei PDM liegt der Schwerpunkt auf den das Produkt beschreibenden Daten, bei EDM auf den Arbeitsprozessen und die diese beschreibenden Daten, worunter auch Daten zur Steuerung des Arbeitsablaufs fallen. Beide Sichten sind notwendig, um eine vollständige Rechnerunterstützung in der Produktentwicklung zu ermöglichen [VDI2219]. Trotz dieser Unterscheidung werden die beiden Begriffe heute weitestgehend synonym verwendet. Sie bilden die Grundlage für PLM [Eign05].
Product Lifecycle Management	PLM	Ein strategischer Ansatz, der auf die konsequente Anwendung von Geschäftlösungen zur gemeinschaftlichen Erzeugung, Verwaltung, Verbreitung und Nutzung Produkt-Beschreibender Informationen innerhalb des Unternehmens (im weiteren Sinn) abzielt, beginnend in der Konzeptphase bis zum Ende des Lebenszyklus, unter Einbeziehung von Menschen, Prozessen, Geschäftssystemen und Informationen [CIM05].
Produkt		Erzeugnis, das als Ergebnis des Entwickelns und

		Konstruierens hergestellt oder angewendet wird. Das können materielle (z.B. Maschinen, Verfahren) oder auch immaterielle Erzeugnisse (z.B. Programme) sein. [VDI2221]
Produktentstehungsprozess	PEP	Der Produktentstehungsprozess wird in der Literatur unterschiedlich definiert. Im Kontext der vorliegenden Arbeit ist er definiert als das Zusammenspiel zwischen Produkt- und Produktionsentwicklung. Der Produktentstehungsprozess umfasst somit alle Tätigkeiten, die sich mit der Ausgestaltung des eigentlichen Produkts sowie allen zu seiner Herstellung notwendigen Fertigungsmitteln und Fertigungsprozessen befassen.
Produktentwicklungsprozess		Eine Folge von Aktivitäten, die zur Entwicklung eines Produktes von der ersten Idee bis zur Freigabe für die Fertigung notwendig sind.
Produktionsentwicklungs-prozess		Analog zum Produktentwicklungsprozess wird hierunter eine Folge von Aktivitäten verstanden, die zur Ausgestaltung der für die Herstellung des Produkts notwendigen Fertigungsmittel sowie der darauf ablaufenden Fertigungsprozesse notwendig sind.
Produktionsplanung		Unter Produktionsplanung wird „die gedankliche Vorwegnahme zukünftigen Handelns durch Abwägen verschiedener Handlungsalternativen und Entscheidungen für den günstigsten Weg“ verstanden, mit dem Fokus auf der Ausgestaltung der Produktionsanlagen [Wöhe05].
Simultaneous Engineering	SE	Vorgehensweise in Entwicklung, Konstruktion, Arbeitsvorbereitung bei der entweder ein umfangreicher Prozess aufgeteilt und parallel bearbeitet wird oder nacheinander ablaufende Prozesse zeitlich weitgehend parallelisiert werden, auch über Unternehmensgrenzen hinweg. Dabei werden die einem Prozess folgenden Prozesse zum frühest möglichen Zeitpunkt gestartet [VDI2219].
Struktur		Darstellung von Teilen eines Ganzen und deren Beziehungen zueinander (gegliederter Aufbau, Gefüge, Verknüpfungen, Anordnungen) [VDI2221]

Stückliste	Für den jeweiligen Zweck vollständiges, formal aufgebautes Verzeichnis für einen Gegenstand, das alle zugehörigen Gegenstände unter Angabe von Bezeichnung, Menge und Einheit enthält es werden verschiedene Ausprägungen von Stücklisten unterschieden, z.B. Baukastenstückliste, Konstruktionsstückliste, Fertigungsstückliste;
Wertschöpfungskette	Eine Folge von Prozessen, die durch den Einsatz von Personal- und Betriebsmittelkapazitäten zur Wertschöpfung beitragen (der „produktive“ Prozess). Diese kann sich auch über mehrere Unternehmen erstrecken [VDI2219].
Workflow	Arbeitsfluss, Arbeitsfolge, d.h. eine Folge von Arbeitsschritten/Prozessen, die rechnerunterstützt verwaltet, organisiert und geregelt werden können. [VDI2219].
Zusammenbau-Zeichnung	Technische Zeichnung zur Erläuterung der räumlichen Lage und Anzahl von Teilen für Zusammenbauvorgänge [DIN199].

Literaturverzeichnis

[AbGL98] Abramovici, M., Gerhard, D., Langenberg, L.: Werkzeuge, Methoden und Standards für die Unterstützung verteilter Entwicklungsprozesse durch EDM/PDM. Industrie-Management, Nr.14, GITO-Verlag, 1998.

[Abra01] Abramovici, M.: Virtuelle Produktentwicklung im Wandel - Ein Thema für den Mittelstand. Vortrag auf IHK Reihe Digitale Produktentwicklung als Einstieg für e-business, Bochum, 2001.

[Acke05] Ackermann, S.: Assembly Oriented Design - Erstellung eines zusammenbauorientierten Produktstrukturierungskonzeptes im CAD/PLM-Umfeld und beispielhafte Implementierung in CATIA V5/ ENOVIA LCA. Diplomarbeit am Fachbereich Maschinenbau/Verfahrens- und Umwelttechnik, Technische Fachhochschule Berlin, 2005.

[Aggt87] Aggteleky, B.: Fabrikplanung. Carl-Hanser-Verlag, München, 1987.

[AnPf03] Anderl, R., Pfeifer-Silberbach, U.: Konzepte zur Informationsfortschreibung in kooperativen Produktentwicklungsprozessen. ProduktDatenJournal, Nr.2, 2003.

[ASNL04] Abramovici, M., Schulte, S., Naumann, U., Leszinski, C.: benefits of PLM - Nutzenpotentiale des Product Lifecycle Managements in der Automobilindustrie. Benchmarkstudie, Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik, Ruhr-Universität Bochum, 2004.

[BDVH03] Burr, H., Deubel, T., Vielhaber, M., Haasis, S., Weber, C.: Challenges for CAx and EDM in an international automotive company. Konferenz-Einzelbericht ICED 03 - International Conference on Engineering Design, The Design Society, Stockholm, 2003, S. 309-310 (Executive Summary), Paper Nr. 1506 (CD-Rom).

[Beck02] Becker, W.: BMW-AG – Network of Automotive Excellence als Lösungsansatz für den Wandel in Entwicklung/Produktion und Markenpolitik. Beitrag zur European Engineering User Conference E.E.U.C, München, 2002.

[BGHS03] Barske, Gerybadze, Hünninghausen, Sommerlatte: „Das innovative Unternehmen“, Digitale Fachbibliothek, ISBN 3-936608-39-3, August 2003

[BHZB02] Bär, T., Haasis, S., Zenner, C., Bley, H.: Verschmelzen digitale Prozessplanung und Ablaufsimulation. CAD-CAM Report, Nr. 12, Dressler-Verlag, Heidelberg, 2002.

[BiEV08] Bitzer, M., Eigner, M., ,Vielhaber, M.: Implications of Design Process Characteristics on the Selection of PLM Architectures. International Design Conference Design 2008, Dubrovnik, Kroatien, Mai 2008.

[Bles02] Blessing, L.: What is This Thing called Design Research. Konferenzband zum internationalen CIRP Design Seminar, Hong Kong, China 2002

[BmBF03] „Informationsgesellschaft Deutschland 2006“, Gemeinsame Pressemitteilung des Bundesministeriums für Wirtschaft und des Bundesministerium für Bildung und Forschung, 03.Dezember 2003

[Bull05] Bullinger, H.-J.: Produzieren in Netzwerken. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (Sonderausgabe Digitale Fabrik), Hanser Verlag. 2005

[BVDW04] Burr, H., Vielhaber, M., Deubel, T., Weber, C., Haasis, S.: CAx/EDM-integration - enabler for methodological benefits in the design process. Konferenz-Einzelbericht DESIGN 2004 - International Design Conference, The Design Society, Dubrovnik, 2004, S. 833-840.

[Chen76] Chen, P.P.: Entity-Relationship Model: Towards a Unified View of Data. ACM Transactions on Database Systems, 1976.

[CIM05] CIMdata: „What is PLM“. PDT Europe 2005, Amsterdam, Niederlande, 26.September 2005

[Dave93] Davenport, T.-H.: „Process Innovation – Reengineering Work through Information Technology“, Harvard Business School Press, Boston, MA, USA, 1993

[DIN199] DIN199 „Technische Produktdokumentation – CAD Modelle, Technische Zeichnungen und Stücklisten“

[DoMu00] Doblies, M, Muschiol, M.: Integration von EDM/PDM-Systemen über Organisationsgrenzen hinweg. VDI Berichte Nr. 1569, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 2000.

[DoSV97] Domschke, W., Scholl A., Voß, S.: Produktionsplanung - Ablauforganisatorische Aspekte. 2.Auflage, Springer, Berlin, 1997

[DuAn95] Duffy, A.H.B., Andreasen, M.M.: Enhancing the Evolution of Design Science. Proceedings of the 10th. International Conference on Engineering Design – ICED 95, Vol. 1, S. 29-35, Praha/Heurista, Czechoslovakia, 1995.

[Dyla04] Dyla, A.: Paradigmenwechsel durch einen IT-basierten phasenübergreifenen Produktentstehungsprozess (PEP). Konferenz Einzelbericht I2P - Integrierte Informationsverarbeitung in der Produktentstehung, Stuttgart, VDI Berichte Nr.

1819, VDI Verlag, Düsseldorf, 2004.

[Ehrl95] Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung. München: Hanser-Verlag, 1995.

[Eign05] Eigner, M.: "Virtuelle Produktentwicklung". Vorlesung am Lehrstuhl für virtuelle Produktentwicklung, Universität Kaiserslautern, Februar 2005

[EiKF08] Eigner, M., Krause, F.-L., Faißt, K.-G.: Projektskizze HOPE – Industrienahe Forschung für die holistische Optimierung der Produktentstehung. White-Paper am Lehrstuhl für virtuelle Produktentstehung, Technische Universität Kaiserslautern, 2008.

[EiMa04] Eigner, M.: Cross Enterprise Engineering – eine Herausforderung für die IT. Konferenz Einzelbericht Digital Engineering Forum 2004, Ruhr-Universität, Bochum, 2004.

[EiSt01] Eigner, M., Stelzer, R.: Produktdatenmanagement-Systeme. Springer Verlag, Berlin, 2001.

[EiZW05] Eigner, M., Zagel, M., Weidlich, R.: The Conceptual Product Structure as Backbone of the Early Product Development Process.

[EvBL95] Eversheim, W., Bochtler, W., Laufenberg, L.: Simlutaneous Engineering – Von der Strategie zur Realisierung. Berlin, Springer Verlag 1995.

[EvSc99] Eversheim, W., Schenke, F.-B.: Das virtuelle Produkt – Hilfsmittel zur effizienten Produktgestaltung. Werkstatttechnik, Nr. 89/3, 1999.

[FaDa07] Faisst, K.G., Dankwort, C.W.: New Extended Concept for the Use of Engineering Objects and Product Properties of the Virtual Product Generation Process. Konferenz Einzelbericht, International Conference on Engineering Design ICED'07, Paris, Frankreich, 2007.

[GlHW06] Gloeggler, C., Herfter, M., Wurst, D., Baer, T.: Product Design Optimisation Through Continuous Feedback of Production Process Data. 16th CIRP International Design Seminar, Kananaskis, Kanada, 16-19. Juli 2006.

[Gloe03] Gloeggler, C.: Integriertes Toleranzmanagement im CAD-System. Zeitschrift Konstruktion, 2003.

[Gloß07] Gloßner, M.: Integrierte Planungsmethodik für die Presswerkneutypplanung in der Automobilindustrie. Dissertation am Institut für Informationsmanagement im Ingenieurswesen, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, Juni 2007.

[Grei91]	Greiner, U.W.: CIM-Handbuch. 2. Auflage, Vieweg Verlag, 1991
[GrMR06]	Grewer, G., Matthäi, I., Reindl, J.: Der innovative Ältere – Warum die Entwickleruhr länger als sieben Jahre tickt. Forschungsbericht im Auftrag des BMBF, Institut für Sozialforschung und Sozialwirtschaft e.V., Saarbrücken, 2006.
[Haas93]	Haasis, S.: CIM – Einführung in die rechnerintegrierte Produktion. Hanser Verlag, 1992.
[Harv04]	Harvard Business Review Automobilentwicklung. Harvard Business School Press, 2004.
[HeRS01]	Heinzl, J., Reicheneder, J., Schiegg, H.: Qualitätsorientierte Prozessgestaltung in der integrierten Produktentwicklung. In „Projektmanagement“, Ausgabe 2, 2001.
[Herz98]	Herzog, R.: „Erziehung im Informationszeitalter“, Grundsatzrede des Bundespräsidenten zur Eröffnung des Paderborner Podiums, 9.Juni 1998
[IDAS04]	IDASTEP – Integrating Distributed Applications on the Basis of STEP data models. Abschlussbericht zum EU IST-2000-30082, 03.Juni 2004.
[ISO10303-519]	International Standard ISO 10303: Industrial automation systems and integration - product data representation and exchange. Part 519: Application interpreted construct: Geometric tolerances. 03/2000
[Jani04]	Jania, T.: Änderungsmanagement auf Basis eines integrierten Prozess- und Produktdatenmodells mit dem Ziel einer durchgängigen Komplexitätsbewertung. Dissertation am Fachbereich Maschinentechnik, Universität Paderborn, 2004.
[Jani05]	Jania, T.: Komplexitätsdarstellung und Bewertung. Visualising and valuating complexity based on an integrated product and process model (IPDM). Zeitschrift Industriemanagement, Band 20, Heft 4, 2005.
[Jørg90]	Jørgensen, K.A.: Paradigms for Research Work. Institut für Produktionstechnik, Aalborg Universität, Dänemark, 1990
[KaFV99]	Karcher, A., Fischer, F., Vierlböck, M.: EDM/PDM-Systeme als Rückgrat der Integrierten Produktentwicklung. Ein modulares Einführungs- und Integrationskonzept. VDI-Berichte Nr. 1497, Düsseldorf, 1999.
[Katz04]	Katzenbach, A.: Informationstechnik in der Produktentwicklung. Vorlesung an der Universität Stuttgart, Wintersemester 2004/2005.
[Kiel01]	Kiel, B.: Wissensmanagement bei der Realisierung der digitalen Fabrik. EDAG

Engineering + Design AG, 2001.

[KlRe02] Klein, L., Rech, R.: IDASTEP – A step towards the digital factory for the body-in-white assembling of cars on the basis of ISO 103030-212/214. Konferenzbericht zum 33.Symposium on Robotics (ISR), Stockholm, 7.-11.Oktober 2002.

[KnSt05] Knirsch, S., Stöfka, M.: Datendurchgängigkeit als Schlüssel einer effizienten Produkt- und Prozessgestaltung. Beitrag zur VDI-Tagung „Gießtechnik im Motorenbau“, Magdeburg, 01.-02.02.2005.

[KrMo98] Kröger, U., Monke, E.: Method and System for Resource Requirement Planning and Generating a Production Schedule by Using a Uniform Data Model. Patentschrift, 1998.

[KrTA02] Krause, F.L., Tang, T., Ahle, U.: Abschlussbericht zum Leitprojekt IVIP – integrierte virtuelle Produktentwicklung. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2002.

[Like04] Liker, J.K.: The Toyota Way: 14 Management Principles from the World’s Greatest Manufacturer. Mcgraw-Hill Professional, New York, 2004.

[LRIL99] Lindemann, U., Reinhart, G., Irlinger, R., Loferer, M.: Integrierte Gestaltung von Produkt und Produktionsmittel. VDI Berichte, 1999.

[Marc06] Marchand, O.: The state of Digital Manufacturing Deployment at PSA Peugeot Citroën. Delmia European User Conference, Fellbach, 18. /19. Oktober 2006

[Meis05] Meissner, R.: CAx/EDM-Konzept zur geometrie-orientierten Montageabsicherung. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, Dezember 2008.

[Mora03] Morales, H.: Assembly Oriented Design komplexer Produkte in der Automobilindustrie. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD der Universität des Saarlandes, Saarbrücken, 2003.

[MüBW05] Müller, M., Bär, T., Weber, C.: Was ist Reifegrad? Beitrag zum 16.Symposium „Design for X“, Neukirchen, 13. und 14.Oktober 2005

[Müll04] Müller, M.: „Erarbeitung eines neuen Konzepts zur Dokumentation von Prozessdaten im Schnittstellenbereich zwischen digitaler Entwicklung und Planung“, Diplomarbeit am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD, 2004

[Musc02] Muschiol, M.: Effizienz in der Produktentwicklung. Aufsatz in der Technischen Rundschau, Nr. 8, 2002.

[MüSc99] Müller, H.J., Schappert, A.: The Knowledge Factory – A Generic Knowledge Management Architecture. IJCAI Workshop, Stockholm, 1999.

[NIST93] National Institute of Standards and Technology: "Integration Definition for Function Modelling (IDEF0)", Processing Standards Publication 183, Gaithersburg, MD, USA, 1993.

[OvWS05] Ovtcharova, J., Weigt, M., Seidel, M.: Virtual Engineering – Handlungsbedarfe und Lösungsansätze zur Prozess- und Systemintegration. Beitrag auf den 7.Magdeburger Maschinenbautagen „Virtuelle Produkt- und Prozessentwicklung", Magdeburg, 11.-12.10.2005.

[PaBe97] Pahl, G., Beitz, W.: Konstruktionslehre: Handbuch für Studium und Praxis. 4. Auflage, Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, 1997.

[PfSc05] Pfisterer, J., Schlesinger, A.: Verbesserung der Lieferantenbeziehungen in der Automobilindustrie mittels TVM. In: Marketing im Perspektivenwechsel. Springer Verlag, Heidelberg, 2005.

[ReDü00] Reinhart, G., Dürrschmidt, S.: Produkt und Produktion gemeinsam geplant. IWB Newsletter Nr. 3, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften, 2000.

[Reit02] Reithofer, N.: VDI-Nachrichten. Nr. 23, 7.Juni 2002.

[Resc06] Resch, J.: Entwurf und Umsetzung einer Methode zur produktionsorientierten Produktentwicklung und Absicherung. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD, Universität des Saarlandes, Saarbrücken, November 2006

[Ross77] Ross, D.T.: "Structured Analysis (SA): A Language for Communicating Ideas", IEEE Transactions on Software Engineering, SE-3 (1), S.16-34, 1977

[Rusi06] Rusina, F.: New Design and Manufacturing Strategies for the Development of Automotive Bodyshop Advanced Control Systems. Delmia European User Conference, Fellbach, 18. /19. Oktober 2006.

[Scha01] Schabacker, M.: Bewertung der Nutzen neuer Technologien in der Produktentwicklung. Dissertation an der Universität Magdeburg, Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik, Magdeburg, 2001.

[Schä06] Schäfer, K.: Digital Engineering for Module- and Flexibility Strategies. Delmia European User Conference, Fellbach, 18. /19.Oktober 2006.

[Sche97] Scheer, A.W.: Wirtschaftsinformatik – Referenzmodelle für industrielle Ge-

schäftsprozesse. 2. Ausgabe, Springer Verlag, Berlin, 1997

[Schm95] Schmigalla, H.: Fabrikplanung – Begriffe und Zusammenhänge. REFA Fachbuchreihe Betriebsorganisation, Carl-Hanser-Verlag, München, 1995

[Scho04] Scholz, C.: Wettlauf zur Kammlinie. Automobil Produktion, April 2004.

[SpKr97] Spur, G., Krause, F.-L.: Das virtuelle Produkt: Management der CAD-Technik. Carl-Hanser-Verlag, München und Wien, 1997.

[Stein05] Steinbach, M.: Systematische Gestaltung von Product-Service Systems - Integrierte Entwicklung von Product-Service Systems auf Basis der Lehre von Merkmalen und Eigenschaften. Dissertation an der Universität des Saarlandes, Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 35, Saarbrücken, 2005.

[Sven03] Svenson, D.: „Towards Product Structure Management in heterogenous Environments“, Dissertation an der Chalmers Technical University, Göteborg, Schweden, 2003

[SvHZ03] Svensson, D., Hallin, K., Zimmerman, T., Malmquist, J.: An Information Model for Mechatronic Products focusing on early development phases. Konferenz Einzelbericht, International Conference on Engineering Design ICED’03, Stockholm, Schweden, 2003.

[Unge02] Unger, S.: Bericht über die Pressekonferenz. Handelsblatt, 27.November 2002.

[Unsw06] Unsworth, J.: Delmia and the Bentley CAx Strategy. Delmia European User Conference, Fellbach, 18. /19. Oktober 2006.

[VBDW04] Vielhaber, M., Burr, H., Deubel, T., Weber, C., Haasis, S.: Assembly oriented design in automotive engineering. Konferenz-Einzelbericht DESIGN 2004 - International Design Conference, The Design Society, Dubrovnik, 2004, S. 539-546

[VDA05] VDA Verband der Automobilindustrie – Annual Report 2005 http://www.vda.de/service/jahresbericht/index.html

[VDI2219] VDI-Richtlinie 2219: Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung – Einführung und Wirtschaftlichkeit von PDM-Systemen. November 2002

[VDI2221] VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Mai 1993

[VDI4499] VDI-Richtlinie 4499: Digitale Fabrik. Entwurf, Juni 2005.

[VDI90] VDI Gemeinschaftsausschuss CIM: Produktdatenverarbeitung. VDI Verlag, 1990.

[ViBu03] Vielhaber, M.; Burr, H.: What is a weld point - Extending the Product/Process/ Resource Paradigm. White Paper DaimlerChrysler AG, 2003.

[Viel05] Vielhaber, Michael: Assembly Oriented Design – zusammenbau-orientiertes Konstruieren im Produktentstehungsprozess der Automobilindustrie am Beispiel des Karosserierohbaus. Dissertation an der Universität des Saarlandes, Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 34, Saarbrücken, 2005

[WaBa99] Wagner, R., Bauer, K.: Digitale Entwicklungsbegleitung in der Karosserieentwicklung bei Audi. Tag der Karosserie, Aachen, 4.10.1999.

[WaKe04] Waltl, H., Kerschner, M.: Automobilherstellung im Wandel - Herausforderungen und Chancen für den Betriebsmittelbau. 4.Internationales Kolloqium „Werkzeugbau mit Zukunft“, Aachen, 28.-29.09.2004.

[Walt02] Walter, T.: Einsatz von Methoden der Digitalen Fabrik bei der Planung von Produktionssystemen für die Automobilindustrie. Dissertation an der Fakultät für Bergbau, Hüttenwesen und Maschinenwesen, Technische Universität Clausthal, 2002.

[West05] Westkämper, E.: Interview in der ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (Sonderausgabe Digitale Fabrik), Hanser Verlag, 2005

[Wöhe05] Wöhe, G.: Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Vahlen Verlag, 22.Auflage, 2005.

[Wolf04] Wolf, A.: Wege zur virtuellen Haupt- und Gesellschafterversammlung. Dissertation in den Saarbrücker Studien zum Privat- und Wirtschaftsrecht. Verlag Peter Lang, Frankfurt/Main, 2004.

[WWW01] http://www.initiatived21.de, abgerufen am 20.04.2004.

[Zenn02] Zenner, C.: Untersuchung der Kopplungsmöglichkeiten zwischen Prozessplanung und Ablaufsimulation in der Automobilindustrie. Diplomarbeit an der Universität des Saarlandes, Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM, Saarbrücken, 2002.

[ZiHH02] Zimmermann, J.-U., Haasis, S., van Houten, F.J.A.M.: ULEO – Universal Linking of Engineering Objects. Beitrag in CIRP Annals Nr. 51/1, 2002.

[Zimm05] Zimmermann, J.-U.: Informational Integration of Product Development Software in the Automotive Industry – The ULEO Approach. Dissertation an der

Universität Twente, Niederlande, 2005.

[Zink07] Zink, K.-J.: Mitarbeiterbeteiligung bei Verbesserungs- und Veränderungsprozessen. Carl Hanser Verlag, München, 2007.

Lebenslauf

ZUR PERSON

Name	Holger Burr
Geburtsdatum	10. März 1974
Geburtsort	Neunkirchen/Saar
Staatsangehörigkeit	deutsch

BERUFSERFAHRUNG

Seit 10/2007	Produktionsplanung Mercedes-Benz Cars Projekt Digitale Fabrik, Team Rohbauplanung
10/2006 – 09/2007	DaimlerChrysler Austauschgruppe verschiedene Projekte im Bereich Informationstechnologie für Engineering-Prozesse
11/2001 – 09/2006	Wissenschaftlicher Mitarbeiter in einem gemeinsamen Forschungsprojekt zwischen der DaimlerChrysler AG, Forschungszentrum Ulm, und dem Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD, Universität des Saarlandes, Saarbrücken
09/1993 – 09/1995	Zweijährige Dienstzeit als Zeitsoldat in der Bundeswehr, Tätigkeit als Luftfahrzeugmechaniker

AUSBILDUNG

Seit 06/2003	Berufsbegleitende Promotion
10/2001	Abschluss des Studiums als Diplom-Ingenieur der Konstruktions- und Fertigungstechnik
04/2001 – 09/2001	Diplomarbeit mit dem Thema: Konstruktion eines Human Powered Vehicle in selbsttragender Bauweise und Auslegung auf Festigkeit
01/2000 – 06/2000	6-monatiges Auslandsstudium an der Technischen Universität Luleå, Schweden
10/1995 – 10/2001	Studium der Konstruktions- und Fertigungstechnik an der Universität des Saarlandes, Saarbrücken
08/1990 – 06/1993	Gymnasium Ottweiler, Abschluss Abitur
08/1986 – 06/1990	Kreisrealschule Ottweiler, Abschluss Mittlere Reife

LEHRTÄTIGKEIT

Link Management in CATIA V5	Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD, Universität des Saarlandes, Saarbrücken
Blockkurs Technisches Zeichnen	Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD, Universität des Saarlandes, Saarbrücken
EDM/PDM – Strategies and Concepts in Automotive Industry	Department for Integrated Product Development, Royal Institute of Technology, Stockholm, Schweden

Veröffentlichungen

Burr, Holger; Müller, Marco; Vielhaber, Michael:
EIMS – A framework for Engineering Process Analysis
ICED 07 – International Conference on Engineering Design, Paris, Frankreich, 2007

Burr, Holger; Bergsjö, Dag; Müller, Marco; Vielhaber, Michael:
Product Lifecycle Management for Cross-X Engineering Design
ICED 07 – International Conference on Engineering Design, Paris, Frankreich, 2007

Burr, Holger; Bitzer, Michael; Eigner, Martin:
Produktlebenszyklus mit Unterbrechungen
ZWF – Zeitschrift für wirtschafltichen Fabrikbetrieb, Carl-Hanser-Verlag, Jahrgang 102, 2007

Burr, Holger; Vielhaber, Michael; Weber, Christian:
Information Management for the Digital Factory – Bridging the Gap between Engineering Design and Digital Planning
International Design Conference -Design 2006, Dubrovnik, Kroatien, 2006.

Burr, Holger; Vielhaber, Michael; Eigner, Martin:
Product Structuring for Cross-X PDM
International Design Conference -Design 2006, Dubrovnik, Kroatien, 2006.

Burr, Holger; Kiefer, Jens; Schmidgall, Günter:
Objectives of a Seamless Digital Process Chain in the Automotive Industry
International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and virtual Production – CARV 05, München, 2005.

Burr, Holger; Deubel, Till; Weber, Christian; Vielhaber, Michael; Haasis, Siegmar:
PLM – Herausforderungen und Strategien in der Automobilindustrie
CAD/CAM Report 5, Dressler-Verlag, Heidelberg, 2004.

Burr, Holger; Deubel, Till; Weber, Christian; Vielhaber, Michael; Haasis, Siegman:
Verwaltung von Engineering Daten – Herausforderungen und Strategien
EDM Report 2, Dressler-Verlag, Heidelberg, 2004.

Burr, Holger; Deubel, Till; Weber, Christian; Vielhaber, Michael; Haasis, Siegmar:
Assembly-Oriented Design in Automotive Engineering
International Design Conference -Design 2004, Dubrovnik, Kroatien, 2004

Burr, Holger; Deubel, Till; Weber, Christian; Vielhaber, Michael; Haasis, Siegmar:
CAx/EDM-Integration – Enabler for Methodical Benefits in the Design Process
International Design Conference -Design 2004, Dubrovnik, Kroatien, 2004
Ausgezeichnet mit dem “Certificate for an excellent contribution”, Republiziert im Journal of Engineering Design, 2004.

Burr, Holger; Deubel, Till; Weber, Christian; Vielhaber, Michael; Haasis, Siegmar:
Challenges for CAx and EDM in an International Automotive Company
International Conference on Engineering Design ICED 03, Stockholm, Schweden, 2003.

Burr, Holger; Deubel, Till; Weber, Christian; Vielhaber, Michael; Haasis, Siegmar:
IT-Tools for Engineering and Production Planning in an International Automotive Company – Challenges and Concepts
36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Saarbrücken, 2003.

Universität des Saarlandes

Schriftenreihe Produktionstechnik
Herausgeber: H. Bley und C. Weber

ISSN 0945-6244

Verzeichnis der bisher erschienenen Bände (Stand: November 2006)

Band 1 Schulte, Michael: *Grundlagen der automatischen funktionsorientierten Klassifizierung technischer Gegenstände im Rahmen intelligenter Konstruktionsunterstützungssysteme (CAD-Systeme).*
ISBN 3-930429-30-6 (1993)

Band 2 Schulte, Michael; Stark, Rainer: *Definition und Anwendung höherwertiger Konstruktionselemente (Design Features) am Beispiel von Wellenkonstruktionen.*
ISBN 3-930429-31-4 (1993)

Band 3 Mischo, Armin: *Modellbasierte Akquisition und Implementierung des technologischen Wissens für die NC-Detailplanung.*
ISBN 3-930429-32-2 (1993)

Band 4 Rech, Karsten: *Regelungsmodell zur Konzipierung der Informationsverarbeitung in der Produktionslogistik.*
ISBN 3-930429-33-0 (1994)

Band 5 Stark, Rainer: *Entwicklung eines mathematischen Toleranzmodells zur Integration in (3D-) CAD-Systeme.*
ISBN 3-930429-34-9 (1994)

Band 6 Dietz, Stefan: *Wissen zur Auswahl von Montagemitteln, seine Aufbereitung und Verarbeitung in CA-Systemen.*
ISBN 3-930429-35-7 (1994)

Band 7 Muth, Michael: *Repräsentation von Konstruktionswissen unter Verwendung des objektorientierten Paradigmas.*
ISBN 3-930429-36-5 (1994)

Band 8 Stadelmeyer, Volker: *Entscheidungsunterstützung zur technischen Planung im Fertigungsbereich.*
ISBN 3-930429-37-3 (1994)

Band 9 Jostock, Jürgen: *Aufbau eines hierarchisch organisierten, wissensunterstützten Fertigungsregelungssystems.*
ISBN 3-930429-38-1 (1994)

Band 10 Müller, Andreas: *Leitlinie zur Problemdefinition bei der Entwicklung von komplexen Montagesystemen.*
ISBN 3-930429-39-X (1994)

Band 11 Labisch, Susanna: *Untersuchung des Kaltpressens pulverförmiger Stoffe mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente unter besonderer Berücksichtigung der Trockenpressung von Sekundärkornmassen*.
ISBN 3-930429-40-3 (1995)

Band 12 Schmidt, Jürgen: *Untersuchung zur Reinheit spanend bearbeiteter Oberflächen unter besonderer Berücksichtigung des erzeugenden Prozesses*.
ISBN 3-930429-41-1 (1996)

Band 13 Cuber, Michael: *Entwicklung einer Strategie zur qualitätsgerechten Modellierung des Entwicklungs-/Konstruktionsprozesses*.
ISBN 3-930429-42-X (1996)

Band 14 Avgoustinov, Nicolay: *Minimizing the Labour for Exchange of Product Definition Data Among N CAx-Systems*.
ISBN 3-930429-43-8 (1997)

Band 15 Bär, Thomas: *Einsatz der Feature-Technologie für die Integration von Berechnungen in die frühen Phasen des Konstruktionsprozesses*.
ISBN 3-930429-44-6 (1998)

Band 16 Seel, Uwe: *Robotergestützte Zellenkalibrierung als Basis einer Feature-basierten Montageplanung*.
ISBN 3-930429-45-4 (1999)

Band 17 Britten, Werner: *CAD-basierte Übersetzung geometrischer Toleranzen in vektorielle Darstellungen*.
ISBN 3-930429-46-2 (1999)

Band 18 Jung, Dieter: *Praxis- und Prozessnahes Optimierungsmodell (PPO-Modell) zur systematischen, kontinuierlichen Verbesserung komplexer industrieller Prozesse*.
ISBN 3-930429-47-0 (2000)

Band 19 Muth, Michael: *CAD-M(COMPUTER AIDED DESIGN using MULTIMEDIA)-Repräsentation und Nutzung von Konstruktionswissen in verteilten Entwicklungsumgebungen*.
ISBN 3-903429-48-9 (2000)

Band 20 Wuttke, Claas Christian: *Mehrfachnutzung von Simulationsmodellen in der Produktionslogistik*.
ISBN 3-930429-49-7 (2000)

Band 21 Oltermann, Ralf: *Systematik zur Abschätzung von Fertigungstoleranzen auf Grundlage einer Auswertung der laufenden Fertigung*.
ISBN 3-93042-50-0 (2000)

Band 22 Werner, Horst: *Integration von CAx-Funktionalitäten in einem neuartigen Konstruktionssystem*.
ISBN 3-930429-51-9 (2001)

Band 23 Behrning, Stefan: *Messungen von Belegungen durch Fertigungshilfsstoffe auf metallenen Werkstücken mittels mIR-Fasersonde*.
ISBN 3-930429-52-7 (2001)

Band 24 Thome, Oliver: *Durchgängige Erfassung und Verarbeitung von Toleranzinformationen*.
ISBN 3-930429-53-5 (2001)

Band 25 Junk, Stefan: *Inkrementelle Blechumformung mit CNC-Werkzeugmaschinen: Verfahrensgrenzen und Umformstrategien*.
ISBN 3-930429-54-3 (2003)

Band 26 Braun, Peter: *Entwicklung einer Methodik zur Untersuchung des Einflusses von Kühlschmierstoffen auf das Härteverhalten von Einsatzstählen am Beispiel des Kühlschmierstoffs ARAL Sarol 470 EP und der Einsatzstähle C15, 16MnCr5, 9SMnPb28*.
ISBN 3-930429-55-1 (2003)

Band 27 Rattay, Bernd: *Untersuchung der Einflußgrößen auf die Formfüllung und die Werkzeugbelastungen beim Prägen von Mikrokanalstrukturen in Metallische Bleche.*
ISBN 3-930429-56-X (2003)

Band 28 Franke, Christina: *Feature-basierte Prozesskettenplanung in der Montage als Basis für die Integration von Simulationswerkzeugen in der Digitalen Fabrik.*
ISBN 3-930429-57-8 (2003)

Band 29 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems
ISBN 3-930429-58-6 (2003)

Band 30 Korne, Thomas: *Fertigungsorientierte Analyse und Optimierung von Gruppenarbeit in der Automobil-Endmontage unter besonderer Berücksichtigung von Informationstechnologie und Digitaler Fabrik*.
ISBN 3-930429-59-4 (2004)

Band 31 Fischer, Nikolaus: *Messungen geringster organischer Belegungen auf diffus reflektierenden Oberflächen mit einem mIR-faseroptischen Prüfkopf.*
ISBN: 3-930429-60-8 (2005)

Band 32 Bernardi, Markus: *Gestaltung eines mechatronikorientierten Entwicklungsprozesses für mobile Arbeitsmaschinen und des dazugehörigen Entwicklungsumfeldes.*
ISBN 3-930429-61-6 (2005)

Band 33 Ryu, Shi-Bok: *Development of a Microklystrode Vacuum Tube: A Focus on the Improvement of Modeling and Manufacturing Processes*.
ISBN 3-930429-62-4 (2005)

Band 34 Vielhaber, Michael: *Zusammenbauorientiertes Konstruieren im Produktentstehungsprozess der Automobilindustrie am besonderen Beispiel des Karosserierohbaus*.
ISBN 3-930429-63-2 (2005)

Band 35 Steinbach, Michael: *Systematische Gestaltung von Product-Service Systems*.
ISBN 3-930429-64-0 (2005)

Band 36 Blumenau, Jean-Claude: *Lean Planning unter besonderer Berücksichtigung der Skalierung wandlungsfähiger Produktionssysteme*.
ISBN 3-930429-65-9 (2006)

Band 37 Zenner, Christian: Durchgängiges Variantenmanagement in der Technischen Produktionsplanung.
ISBN 3-930429-66-7 (2006)

Band 38 Bossmann, Marc: *Feature-basierte Produkt- und Prozessmodelle in der integrierten Produktentstehung*
ISBN 978.3-930429-67-7

Band 39 Deubel Till: *Anforderungs-, kosten- und wertgetriebene Steuerung des Produktentwicklungsprozesses*
ISBN 978-3-930429-68-4

Band 40 Oberhausen, Michael: *Der Einsatz laserinduzierter Fluoreszenzmessungen zur Detektion geringster organischer Belegungen auf Oberflächen*
ISBN 978-3-930429-69-1

Band 41 Fritz, Jürgen Ulrich: *Zielführende Modellierung und Analyse schlanker Fertigungssysteme mit der Digitalen Fabrik.*
ISBN 978-3-930429-70-7

Band 42 Müller, Marco: *Reifegradbasierte Optimierung von Entwicklungsprozessen am besonderen Beispiel der produktionsbezogenen Produktabsicherung in der Automobilindustrie*
ISBN 978-3-930429-71-4

Band 43 Kiefer, Jens: *Mechatronikorientierte Planung automatisierter Fertigungszellen im Bereich Karosserierohbau*
ISBN 978-3-930429-72-1