

# Änderungs- und Konfigurationsmanagement unter Berücksichtigung von Verwendungsinstanzen

Arbeitsmethoden für integrierte Produktmodelle im Rahmen des  
Produkt-Lebenszyklus-Managements der Automobilindustrie

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN

von der Fakultät für Maschinenbau der  
Universität Karlsruhe  
genehmigte

Dissertation

von

Dipl.-Ing. Eike Harms

Tag der mündlichen Prüfung:  
Hauptreferent:  
Koreferent:

23. 01. 2009  
Prof. Dr. Dr.-Ing. J. Ovtcharova  
Prof. Dr.-Ing. Martin Eigner

## Vorwort des Autors

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit im PEP-PDM Projekt der BMW AG. Getragen wurde meine Teilnahme an diesem Projekt von der BMW AG und meinem damaligen Arbeitgeber, der IBM Business Consulting GmbH. Hierfür möchte ich mich sehr bei Britta Rathgeb (IBM) und Peter Spies (BMW) bedanken, die mir die Teilnahme an diesem Projekt ermöglichten.

Vor dem Hintergrund des Produkt-Lebenszyklus-Managements beschäftigt sich die Dissertation mit der Gestaltung eines integrierten und konsistenten Informationsflusses im Produktentstehungsprozess. Die Etablierung durchgängiger Methoden und Prozesse im Spannungsfeld zwischen der dokumentenorientierten Produktentwicklung und der stücklistenorientierten Produktion stellt hierfür eine grundlegende Voraussetzung dar. Mit dem PEP-PDM Projekt wurde mir ein innovativer und praxisorientierter Rahmen zur wissenschaftlichen Bearbeitung dieses Themas geboten.

Zielsetzung des PEP-PDM Projektes war es, eine transparente und verbindliche Dokumentation der Fahrzeugprojekte und eine Datendrehscheibe für alle Produktdaten des Produktentstehungsprozesses zu schaffen. Hierfür sollte das Produktdatenmanagement auf Basis einer integrierten Produktstruktur umgesetzt werden und alle Produktlinien und Fachbereiche mit einbeziehen.

Im Projekt wurde ich durch Dr. Stefan von Praun (BMW) betreut. Seine detaillierten Kenntnisse der BMW Prozesse und Systeme sowie seine pragmatischen Anleitungen und Empfehlungen halfen mir wesentlich bei der inhaltlichen Auseinandersetzung mit dem Thema. Hierfür gilt ihm mein ganz besonderer Dank.

Für die inhaltlichen Diskussionen und die angenehme Arbeitsatmosphäre möchte ich mich bei allen Mitarbeitern des PEP-PDM Projektes bedanken. Besonders hervorheben möchte ich Joachim Thiel (BMW) und Alfred Heueck (BMW), deren Unterstützung deutlich über das normale Maß der Projektarbeit reichte. Auch Oskar Benatzky (IBM) gebührt mein Dank, nicht zuletzt für seine Hilfe zu Beginn meiner Tätigkeit und die Einführung in das BMW Produktdatenmanagement.

Meiner Hauptreferentin, Frau Prof. Dr. Dr.-Ing. Jivka Ovtcharova, gilt mein ganz besonderer Dank für die wissenschaftliche Betreuung der Arbeit und ihre wertvollen Anregungen. Ihre Aufgeschlossenheit gegenüber externen Doktoranden, das mir entgegengebrachte Vertrauen und ihre unkomplizierte Abwicklung des Promotionsprozesses waren beispielhaft. Herrn Prof. Martin Eigner danke ich für sein Interesse an der Arbeit und für seine spontane und wohlwollende Bereitschaft zur Übernahme des Koreferates.

Schließlich möchte ich meiner Freundinn, meinen Eltern und Geschwistern und meinen Freunden für ihre Geduld und ihre motivierende Unterstützung danken.

Nicht zuletzt danke ich Otto Schell (GM-Powertrain) und Dr. Stefan Kohlhoff (SAP AG), die mir bei der Initiierung meiner Promotion zur Seite standen, den Kontakt zum IMI der Universität Karlsruhe sowie zur BMW AG herstellten und ohne die dieses Vorhaben nie gestartet wäre.

Hamburg, im Januar 2009

Eike Harms

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Ausgangssituation	1
1.2	Problemstellung	1
1.3	Zielsetzung, Lösungsansatz und Nutzenpotenzial	2
1.4	Aufbau der Arbeit	3
<b>2</b>	<b>Aktuelle Trends in der Automobilindustrie</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Wissenschaftliche Grundlagen und Analyse bestehender Ansätze</b>	<b>9</b>
3.1	Grundlagen der Modellierung	9
3.2	Verarbeitung von Produktinformationen	11
3.2.1	Produktdaten	12
3.2.2	Produktmerkmale und Produktvarianz	19
3.2.3	Organisation von Produktdaten	21
3.2.3.1	Klassifizierung	21
3.2.3.2	Strukturdaten	24
3.2.3.3	Objekt- und Produktmodell	26
3.2.3.4	Austausch von Produktdaten über STEP	30
3.2.4	Systeme der Produktinformationsverarbeitung	31
3.2.4.1	CAD-Systeme	32
3.2.4.2	PDM-Systeme	33
3.2.4.3	ERP-Systeme	37
3.2.5	Managementmethoden zur Verarbeitung von Produktdaten	38
3.2.5.1	Grundlagen des Variantenmanagements	38
3.2.5.2	Die Variantensystematik im Fahrzeugbau	41
3.2.5.3	Variantenkostenrechnung	42
3.2.5.4	Konzepte des Variantenmanagements	45
3.2.5.5	Komplexitätsmanagement	47
3.3	Produktentstehungsprozess	50
3.4	Produktentwicklungsprozess	54
3.4.1	Konstruktion	55
3.4.1.1	Funktionsorientierte Gestaltung von Fahrzeugkonzepten	57
3.4.1.2	Konstruktion im Produktkontext	60
3.4.2	Produktabstimmung	63
3.4.3	Produktentwicklung als Regelkreis	66
3.4.4	Ablauf eines Entwicklungsprojektes in der Automobilindustrie	67
3.4.5	Metadaten zur Steuerung von Dokumenten im Entwicklungsprozess	69
3.4.6	Integration der Entwicklungsprozesse in die Unternehmensabläufe	72
3.4.6.1	Integrierte Produktentwicklung	72
3.4.6.2	Simultaneous, Concurrent und Collaborative Engineering	73
3.4.6.3	Freigabe- und Änderungsmanagement	74
3.4.6.4	Konfigurationsmanagement	80
3.5	Integration von Produkt und Prozess	88
3.5.1	Integrative Produkt und Prozess Modelle	89
3.5.1.1	PPR-Hub	91
3.5.1.2	Teamcenter	91
3.5.1.3	SAP iPPE	92
3.5.1.4	DC iPDM	94
3.5.2	Ansätze zur Systemintegration	96

3.5.3	Integrationsbestrebungen am Beispiel der BMW AG.....	101
3.5.4	Integrationsansatz: Produkt-Lebenszyklus-Management.....	105
3.5.4.1	Produktlebenszyklus in der Automobilindustrie .....	105
3.5.4.2	PLM als Integrationsansatz .....	106
3.5.4.3	PLM Einführung.....	108
3.6	Resümee und Handlungsbedarf .....	109
<b>4</b>	<b>Anforderungen an das Lösungskonzept.....</b>	<b>112</b>
4.1	Anforderungen an die Verwaltung verwendungsspezifischer Bauteilinformationen	112
4.2	Anforderungen an die Produktstrukturverwaltung .....	115
4.3	Anforderungen an die Methoden in der Produktentwicklung.....	116
<b>5</b>	<b>Methodenentwicklung für das Management von Verwendungsinstanzen .....</b>	<b>119</b>
5.1	Einführung von Verwendungsinstanz und Instanzenmanagement .....	119
5.2	Absolute oder relative Koordinatenangaben.....	122
5.3	Bauraumsuche und Kontextaktualisierung .....	124
5.4	Management der instanzenabhängigen Variantenvielfalt.....	126
5.5	Variantenmanagement über Variantentabellen.....	127
5.5.1	Definition der Produktmerkmale .....	127
5.5.2	Merkmalssteuerung in der Variantentabelle.....	129
5.5.3	Verwendung der Variantentabelle .....	130
5.6	Aufbauen der Produktstruktur.....	132
5.7	Gültigkeits- und Zustandsänderung .....	135
5.7.1	Gültigkeitsdimensionen und ihre Abbildung in der Produktstruktur .....	135
5.7.2	Dokumentation der Gültigkeiten über Änderungsnummern .....	138
5.7.3	Änderungsvorgänge.....	139
5.8	Reifegradbestimmung von Bauteilen.....	142
5.9	Operatives Arbeiten mit der Produktstruktur.....	145
5.9.1	Veröffentlichungsprozesse .....	146
5.9.2	Geometrie verändern oder ersetzen .....	148
5.9.3	Geometrie verwerfen und Attribute ändern.....	150
5.9.4	Konzept der Team-Änderungsnummern .....	151
5.9.5	Ausleitung von Fahrzeugumfängen.....	152
5.10	Konsistenzprüfung der Produktvariantenstruktur .....	156
5.10.1	Strukturqualität .....	156
5.10.2	Lokale Konsistenz am Strukturknoten .....	157
5.10.3	Konsistenz zwischen Konfigurationsebenen .....	159
5.10.3.1	Startbedingungen .....	159
5.10.3.2	Konsistenzfälle .....	161
5.10.3.3	Berechnung von Konsistenzfällen.....	162
5.10.3.4	Bewertung der Konsistenzfälle.....	165
5.10.3.5	Gestaltungsmöglichkeiten der Konsistenzprüfung.....	168
5.10.3.6	Darstellung der Prüfungsergebnisse .....	169
5.10.4	Probleme beim Aufbau des Konfigurationswissens.....	170
5.10.5	Allgemeingültiges Beziehungswissen .....	172
5.10.6	Ablauf einer Kompletprüfung .....	179
5.11	Absicherung der Produktvarianten.....	180
5.11.1	Regelbasierte Absicherung .....	182
5.11.2	Dokumentation der Absicherungsergebnisse .....	183
<b>6</b>	<b>Informationstechnische Umsetzung der Instanzenverwaltung.....</b>	<b>184</b>
6.1	Modell zur Dokumentensteuerung.....	184
6.2	Möglichkeiten zur Abbildung der Instanzenverwaltung.....	188

6.2.1	Verknüpfung der Instanztabelle mit der Produktvariantenstruktur .....	191
6.2.2	Historische oder unhistorische Instanzenverwaltung .....	192
6.2.3	Instanztabelle .....	193
6.3	Auflösungspfad .....	196
<b>7</b>	<b>Validierung und Anwendung der Methoden .....</b>	<b>199</b>
7.1	Vorgehen zur Validierung der Lösungsansätze .....	199
7.2	Validierung des Methodeneinsatzes.....	200
7.3	Erfüllung der Anforderungen.....	210
7.4	Wirtschaftlichkeit.....	214
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>216</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>218</b>
<b>10</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>233</b>
10.1	Datenmodellierung .....	233
10.2	Geschäftsprozessmodellierung .....	236
10.3	Produktbegriff .....	238
10.4	Beziehungswissen-Syntax.....	239

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Aufbau der Arbeit	4
Abbildung 2-1:	Entwicklung der Automobilindustrie	5
Abbildung 2-2:	Mehr Segmente und Nischen	6
Abbildung 2-3:	Mehr Risikoabschätzung in FuE	7
Abbildung 2-4:	Aktuelle Veränderungen in der Automobilindustrie	8
Abbildung 3-1:	Unternehmensmodellierung	10
Abbildung 3-2:	Semiotisches Dreieck im Zusammenhang mit der Objektbeschreibung	13
Abbildung 3-3:	Die Wissenstreppe	14
Abbildung 3-4:	Das Gestaltobjekt als Träger der Geometrie	15
Abbildung 3-5:	Produktdefinition, -repräsentation, -präsentation	17
Abbildung 3-6:	Mögliche Fehler bei der Datenpflege	17
Abbildung 3-7:	Taxonomie von Qualitätsmerkmalen	18
Abbildung 3-8:	Gliederung von Merkmalen nach ihrer Bedeutung	19
Abbildung 3-9:	Der Varianzraum	20
Abbildung 3-10:	Ein- und mehrwertige Merkmale	21
Abbildung 3-11:	Veränderung der Konstruktionstätigkeit	22
Abbildung 3-12:	Aufbau eines Klassensystems	23
Abbildung 3-13:	Variantenbaumstruktur am Beispiel eines PKW	25
Abbildung 3-14:	Modellierungsstufen von technischen Objekten	27
Abbildung 3-15:	Produktmodell und Produktdatenmodell	28
Abbildung 3-16:	Sichtenbildung	29
Abbildung 3-17:	Leistungsmerkmale einiger CAD-Schnittstellen	31
Abbildung 3-18:	Entwicklung der PDM-Technologie	34
Abbildung 3-19:	Funktionen des Electronic Vault	36
Abbildung 3-20:	SAP Softwareentwicklung	37
Abbildung 3-21:	Steigerung der Variantenvielfalt	39
Abbildung 3-22:	Wirkungen der Variantenvielfalt	40
Abbildung 3-23:	Variantensystematik bei der BMW AG	41
Abbildung 3-24:	Vielfaltsinduzierte Kosten	42
Abbildung 3-25:	Ressourcenverbrauch-Kostenfunktion als Nomogramm	44
Abbildung 3-26:	„Vielfalts“-Problemfelder	47
Abbildung 3-27:	Begriffssystematik zur Komplexität	48
Abbildung 3-28:	Methoden des Komplexitätsmanagements	49
Abbildung 3-29:	Struktur des Geschäftsprozesses	51
Abbildung 3-30:	Merkmale von Geschäftsprozessen	52
Abbildung 3-31:	Phasen und Anforderungen des Produktlebenszyklus	52
Abbildung 3-32:	Zyklus von Produktentwicklung und -lebenslauf	54
Abbildung 3-33:	Vorgehen beim Konstruieren	56
Abbildung 3-34:	Zielfindung in der funktionalen Gestaltung	58
Abbildung 3-35:	Funktionale Gestaltung verbindet Konzept- & Serienkonfiguration	59
Abbildung 3-36:	Verknüpfung von Eigenschaft-, Funktions- und Produktstruktur	60
Abbildung 3-37:	Arbeitsstruktur und Digitale Referenz	62
Abbildung 3-38:	Entwicklungsregelkreis	66
Abbildung 3-39:	Meilensteinplanung bei der BMW AG	68
Abbildung 3-40:	Zusammenspiel von Versionierung, Status und Reifegrad	70
Abbildung 3-41:	Versionierung in Konstruktion und Produktion	72
Abbildung 3-42:	Simultaneous und Concurrent Engineering	74
Abbildung 3-43:	Modell des Integrierten Änderungsmanagements	77
Abbildung 3-44:	Änderungsursache, -auslöser und gründe	78

Abbildung 3-45: Analyse von Änderungsursachen, -arten und gründen	78
Abbildung 3-46: Zuordnung von Lösungsstrategien zur Änderungsklassen	79
Abbildung 3-47: Klassifizierung von Expertensysteme	83
Abbildung 3-48: Aufbau wissensbasierter Expertensysteme	84
Abbildung 3-49: Beispiel für partonomische und taxonomische Hierarchie	85
Abbildung 3-50: Ressourcenbasierte Konfiguration	88
Abbildung 3-51: Integriertes Produkt- und Prozess-Engineering (iPPE)	92
Abbildung 3-52: Beispiel einer einfachen Produktvariantenstruktur	94
Abbildung 3-53: iPDM von DaimlerChrysler	95
Abbildung 3-54: Geschäftsprozessunterstützung von PDM und ERP	96
Abbildung 3-55: CAD-Modelle als Mastergeometrie	97
Abbildung 3-56: Dokumentenstruktur aus Zeichnungen und Modellen	98
Abbildung 3-57: Dokumentenstruktur, Produktstruktur und Stückliste	98
Abbildung 3-58: PDM Integrationsszenarien	100
Abbildung 3-59: Absicherung heute und morgen	103
Abbildung 3-60: Applikationen im PEP der BMW AG	104
Abbildung 4-1: Instanzen am Variantenbaukasten	113
Abbildung 5-1: Klassendiagramm der Verwendungsinstantz	120
Abbildung 5-2: Bauteil- und Lagevarianz	121
Abbildung 5-3: Beispiel für Produkt-/Bauteilvarianz und Lagevarianz	122
Abbildung 5-4: Absolute und relative Beschreibung der Bauteillagen	123
Abbildung 5-5: Bounding-Box in Abhängigkeit der Instanz	125
Abbildung 5-6: Bounding-Box für Zusammenbauten	125
Abbildung 5-7: Beispiel einer Merkmalshierarchie	128
Abbildung 5-8: Getrennte Variantentabellen für Vertriebslogik	129
Abbildung 5-9: Beispiel für eine Variantentabelle	129
Abbildung 5-10: Variantentabelle für Sonderausstattungen	130
Abbildung 5-11: Zwang in der Ausstattungsmerkmalsliste	130
Abbildung 5-12: Verprobung des Beziehungswissens	131
Abbildung 5-13: Entstehung der Produktstruktur	133
Abbildung 5-14: Konzept- und Modulmengengerüst	134
Abbildung 5-15: Dimensionen der Gültigkeit	135
Abbildung 5-16: Ausleitung von Bauständen zur Fortschrittskontrolle	136
Abbildung 5-17: Parametergültigkeit	137
Abbildung 5-18: Gültigkeiten von Serienstand, Bauphase und Bedarfsträger	137
Abbildung 5-19: Zustands- und Gültigkeitsänderung	140
Abbildung 5-20: Änderungsvorgänge	141
Abbildung 5-21: Verantwortlichkeiten bei Änderungen an der Produktstruktur	142
Abbildung 5-22: Bewertung des Entwicklungszustandes nach Pfeifer-Silberbach	144
Abbildung 5-23: Verknüpfung der CAD-Dokumente mit der Produktstruktur	146
Abbildung 5-24: Tätigkeiten des Veröffentlichungsprozesses	147
Abbildung 5-25: Veröffentlichungsprozesse	148
Abbildung 5-26: Änderungsprozesse	149
Abbildung 5-27: Administrative Prozesse	150
Abbildung 5-28: Teamänderungsnummern	152
Abbildung 5-29: Ausleitungsstände für verschiedene virtuelle Fahrzeuge	153
Abbildung 5-30: Ausleitung: neuester konstruktiver und letzter freigegebener Stand	154
Abbildung 5-31: Änderungsnummer mit gepflegter Parametergültigkeit	155
Abbildung 5-32: Änderungsnummer mit geplantem Freigabetermin	155
Abbildung 5-33: Lokale Konsistenz an der Positionsvariante	157
Abbildung 5-34: Ebenen der Konsistenzprüfung	159

Abbildung 5-35: Varianzräume bei zwei Konfigurationsebenen	160
Abbildung 5-36: Konsistenzfälle	161
Abbildung 5-37: Varianten der Konsistenzprüfung	169
Abbildung 5-38: Darstellung der Konsistenzprüfungsergebnisse	170
Abbildung 5-39: Zielkonflikt beim Anschreiben des Beziehungswissens	171
Abbildung 5-40: Beziehungswissenspflege – Prinzip der größten Gemeinsamkeit	172
Abbildung 5-41: Veränderungen des Beziehungswissens	173
Abbildung 5-42: Veränderung von spezifischen Beziehungswissen	174
Abbildung 5-43: Veränderung von allgemeingültigem Beziehungswissen	175
Abbildung 5-44: Änderungen bei allgemeingültigem Beziehungswissen	176
Abbildung 5-45: Automatische Überführung in einen teilbestätigen Stand	178
Abbildung 5-46: Automatische Überführung in einen konsistenten Stand	179
Abbildung 5-47: Strukturausport	181
Abbildung 6-1: Zusammenspiel von Zeichnungs- (ZI) und Änderungsindex (AI)	184
Abbildung 6-2: Ersatzgeometrie	186
Abbildung 6-3: Auffinden von Ersatzgeometrien	187
Abbildung 6-4: Positionsvarianten-Split	188
Abbildung 6-5: Mehrstufige Produktvariantenstruktur	189
Abbildung 6-6: Instanzenknoten	190
Abbildung 6-7: Instanzentabelle	191
Abbildung 6-8: Verknüpfung der Instanzentabelle mit der Produktvariantenstruktur	192
Abbildung 6-9: Instanzentabelle	194
Abbildung 6-10: Vereinfachtes SAP Datenmodell der BMW AG	195
Abbildung 6-11: Einbindung der Instanzenverwaltung in die Produktstruktur	195
Abbildung 6-12: Auflösungspfad bei der Strukturfilterung	196
Abbildung 6-13: Auflösung der Änderungsnummer an der Positionsvariante	197
Abbildung 7-1: Überblick über das Validierungsszenario	200
Abbildung 7-2: Ausgangssituation Soundsystem	201
Abbildung 7-3: Vorbereitete Änderungsnummern	201
Abbildung 7-4: Veröffentlichung der Verwendungsinstanzen	202
Abbildung 7-5: Verknüpfung von Positionsvariante, Material und Dokumenteninfosatz	202
Abbildung 7-6: Positionsvarianten und Instanzen nach Erstveröffentlichung	203
Abbildung 7-7: Rückschreiben der Instanzen ID-Nummer	203
Abbildung 7-8: Instanzentabelle nach der Lageänderung	204
Abbildung 7-9: Umhängen des Dokumenteninfosatzes	204
Abbildung 7-10: Historische Lageänderung	205
Abbildung 7-11: Instanzentabelle nach Veröffentlichung der Langversion	206
Abbildung 7-12: Subwoofer Zusammenbau	207
Abbildung 7-13: Strukturaufbau für den Subwoofer	208
Abbildung 7-14: Daten am Fachbereichsknoten	209
Abbildung 8-1: Integration der CAD- und Stücklisten-Welt	217
Abbildung 10-1: ARIS-Haus mit Phasenkonzept und Sichten des ARIS-Hauses	236
Abbildung 10-2: Vereinfachter Prozess „Veröffentlichung“ als EPK	237
Abbildung 10-3: Spezialisierung von Gütern	238

## Abkürzungsverzeichnis

### Allgemeine Abkürzungen:

AI	Änderungsindex
Alt	Alternative
API	Application Programming Interface
ASP	Application Service Providing
BoM	Bill of Material (=Stückliste)
BW	Business Warehouse
CA	Computer Aided
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAQ	Computer Aided Quality Insurance
CASE	Computer Aided Software Engineering
CAX	Computer Aided ...
CGR	CATIA Graphic Representation
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CRM	Customer Relationship Management
DBMS	Datenbankmanagementsystem
DIN	Deutsches Institut für Normung
DMU	Digital Mock-Up
EAI	Enterprise Application Integration
EDM	Engineering Data Management
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
ERM	Entity Relationship Model
ERP	Enterprise Ressource Planning
ET	Einzelteil
FI	Funktionale Integration
FMEA	Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse
GUI	Graphical User Interface
iPPE	integriertes Produkt und Prozess-Engineering
ISO	International Standardization Organization
IT	Informationstechnologie
JT	Jupiter Tessellation Format
MRO	Maintenance, Repair, Overhaul
MvS	Monate vor Serie
OEM	Original Equipment Manufacturer
OMG	Object Management Group
PDM	Product Data Management
PEP	Produktentstehungsprozess
PEP PDM	Produktentstehungsprozess Produktdatenmanagement
PLM	Product Lifecycle Management
PPM	Produkt- und Produktionsmodell
PPS	Produktions- Planung und Steuerung
PS	Produktstruktur
PSN	Part Structure Navigator
PVS	Produkt-Varianten-Struktur
SA	Sonderausstattung
SCM	Supply Chain Management
SNR	Sachnummer

SOP	Start of Production (=Serienanlauf)
SQL	Structured Query Language
SRM	Supplier Relationship Management
STEP	Standard for the Exchange of Product Data (ISO-10303)
UML	Unified Modelling Language
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	Verein Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer
VM	Variantenmanagement
VPM	Virtual Product Manager
VPMA	Virtual Product Model Access
VRML	Virtual Reality Modeling Language
XML	eXtensible Markup Language
ZB	Zusammenbau
ZI	Zeichnungsindex

BMW-spezifische Abkürzungen:

AFL	Art, Farbe und Lackierung
AML	Ausstattungs-Merkmal-Liste
FLEXBT	Flexibles Bauteil
GI	Geometrische Integration
KMG	Konzeptmengengerüst
KONZ	Konzeptebene (Reifegrad)
MMG	Modulmengengerüst
PRISMA	Produktdaten Informations- System mit Archiv
PRJA	Projektstimmenebene (Reifegrad)
PRJG	Anmeldung zur Geometrieprüfung (Reifegrad)
PROF	Produktionsfreigabe (Reifegrad)
PTI	Prozesstechnische Integration
SALAPA	Sonderausstattung Länderausstattung Pakete
TAIS	Technisch-Administratives Informationssystem
VGB	Virtuelle Baugruppe
VERF	Versuchsfreigabe (Reifegrad)
VORF	Vorfreigabe (Reifegrad)

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation

Mit Konzepten wie Simultaneous Engineering oder Virtueller Produktentwicklung wurde dem Kosten- und Zeitdruck in der Automobilentwicklung begegnet. Auf die zunehmende Individualisierung der Produkte und der damit steigenden Produktvielfalt konnte in der Praxis jedoch noch nicht mit durchschlagenden Erfolgskonzepten reagiert werden. Die europäischen Fahrzeughersteller entwickeln für ihre Produkte nach wie vor eine Variantenvielfalt, die vom Markt nicht nachgefragt wird. Diese Vielfalt erhöht die Komplexität des Produktentwicklungsprozesses. Zudem bewirkt die Globalisierung der Märkte eine Dynamisierung der Produktentwicklung und resultiert damit in einer zusätzlichen Komplexitätssteigerung. Diese Komplexität führt zu zwei wesentlichen Problemen.

Zum einen wird die Bewertung von Änderungen an Bauteilen und Baugruppen, die mitunter in vielen verschiedenen Produktkonfigurationen verwendet werden, vor diesem Hintergrund erschwert. Die Änderungswirkung wird intransparent. Sowohl um unkontrollierbare Änderungsauswirkungen in der Produktentwicklung zu vermeiden als auch um überhöhte Änderungsaufwände zu reduzieren, muss die Komplexität begrenzt werden. Die Unternehmensprozesse müssen gewährleisten, dass die Komplexität beherrscht werden kann.

Zum anderen verursacht die steigende Menge der zu verwaltenden Produktdaten große Probleme. Nicht nur die wachsende Produkt- und Prozesskomplexität selbst sondern auch die Parallelisierung und Virtualisierung der Entwicklung bewirken einen signifikanten Anstieg dieser Informationsmenge. So wird es schwieriger, die richtigen Informationen in der richtigen Qualität und zur richtigen Zeit zu erstellen und an den richtigen Empfänger zu liefern. Die Fahrzeughersteller sind daher gezwungen, die Prozesse des Informationsmanagements neu zu gestalten, anzupassen und durch effizientere informationstechnische Werkzeuge zu unterstützen.

Getragen werden die Bestrebungen, einen durchgängigen Informationsfluss aufzubauen, durch die Verbesserungen der Informationssysteme und den zunehmenden Einsatz von Produktdaten-Management-Systemen. Als verbindendes Element werden integrierte Produktmodelle verwendet, die einen erheblichen Teil der im Unternehmen anfallenden Produktdaten in einer zentralen Struktur ablegen. Ziel ist es, durch die Nutzung dieser Produktmodelle eine engere Verknüpfung der dokumentengestützten Geometriewelt mit der teilebezogenen Stücklistenwelt zu erreichen. Die Konstruktions-Systeme müssen dafür stärker mit den klassischen Produktions- und Backend-Systemen vernetzt werden. Dies kann nur vor dem Hintergrund durchgängiger Methoden und Prozesse geschehen, wie sie im Rahmen des Produkt-Lebenszyklus-Managements postuliert werden. Der Lebenszyklus-Gedanke, der auf dem unternehmensweiten und phasenübergreifenden Einsatz derselben Daten basiert, hat in der Automobilindustrie inzwischen ein stärkeres Gewicht bekommen, hat aber die Unternehmen noch nicht durchdrungen. Dadurch bleiben bestehende Leistungspotenziale des Produkt-Lebenszyklus-Managements vielfach noch ungenutzt.

## 1.2 Problemstellung

Kern heutiger Produktmodelle ist die Produktvariantenstruktur, die sämtliche Varianten eines Endproduktes abbildet. Werkzeuge zur Handhabung von integrierten Produktmodellen gehören mittlerweile zur Standardsoftware und werden von einer Vielzahl von Softwarehäusern vertrieben. Arbeitsmethoden, die die Pflege und Nutzung komplexer Produktvariantenstrukturen unterstützen, sind in den Unternehmen bisher jedoch nur rudimentär vorhanden. Eine durchgängige Methodenentwicklung, die alle Prozessschritte des Produktentwicklungsprozesses

ses einbezieht, hat noch nicht stattgefunden. Erfahrungen müssen noch gesammelt werden und in die Methodenentwicklung und Softwareoptimierung einfließen. Besonders in den frühen Phasen der Produktentwicklung, in denen die Produktdefinition noch relativ instabil ist, haben die Fahrzeughersteller Schwierigkeiten beim Aufbau neuer Produktstrukturen. Die geringe Reliabilität der Entwicklungsdaten, die sehr kurzen Änderungszyklen sowie die vielfältigen Abhängigkeiten der Daten untereinander behindern den Aufbau der Strukturen.

Ein noch ungelöstes Problem im Umgang mit Produktvariantenstrukturen stellt die Verwaltung derjenigen Produktdaten dar, die von der Verwendung eines Bauteils abhängig sind. Verwendungsabhängige Daten sind neben der Transformationsmatrix, die die Lage des Bauteils in Fahrzeugkoordinaten beschreibt, zum Beispiel Ersatzgeometrien, Funktionsparameter, oder Fertigungs- und Montageparameter. Durch den Einsatz von Gleich- und Synergieteilen gewinnt zudem die konfigurationsabhängige Verwaltung dieser verwendungsspezifischen Bauteildaten an Bedeutung. Die konfigurationsabhängige Abbildung der Daten wirkt aber wiederum komplexitätssteigernd. Der zusätzliche Informationsgehalt erschwert es, alle Produktkonfigurationen während des gesamten Produktlebenszyklus konsistent in der Produktvariantenstruktur verwalten zu können. Die Notwendigkeit zur Komplexitätsoptimierung und Qualitätsprüfung der Produktdaten wächst.

Die Daten der Bauteilverwendung werden heute vornehmlich in der entwicklungsnahen Systemumgebung gepflegt und genutzt. Es gibt kaum durchgängige Prozesse und informationstechnische Werkzeuge, die eine Nutzung dieser Daten in allen relevanten Unternehmensbereichen ermöglichen. Neben der unzulänglichen systemtechnischen Handhabung fehlen entlang der gesamten Wertschöpfungskette Arbeitsmethoden, die die Verarbeitung verwendungsabhängiger Bauteildaten unterstützen. Im Änderungsmanagement wird bisher kaum auf die Unterschiedlichkeit von Änderungen an verwendungsabhängigen und verwendungsunabhängigen Daten eingegangen. Jedoch kann nur durch eine differenzierte Betrachtungsweise die aufwandsminimale Durchführung von Änderungen sicher gestellt werden.

### **1.3 Zielsetzung, Lösungsansatz und Nutzenpotenzial**

Im Rahmen dieser Dissertation soll den Problemen der steigenden Produkt- und Entwicklungskomplexität durch den methodischen Umgang mit konfigurierbaren Produktvariantenstrukturen begegnet werden. Voraussetzung für einen ganzheitlichen Arbeitsansatz ist die konfigurationsabhängige Verwaltung der verwendungsabhängigen Bauteildaten. Daher muss das Produktstrukturmanagement um diesen Aspekt erweitert werden. Es ist das Ziel, Methoden und Arbeitsweisen zur Erstellung und Nutzung von Produktvariantenstrukturen zu entwickeln, welche diese konfigurationsabhängige Verwaltung lageabhängiger Bauteildaten unterstützen. Hierfür ist eine enge Kopplung an die Systemumgebung der Konstruktion, der Produktion und der Backend-Bereiche sowie eine prozessuale Verknüpfung der Entwicklungstätigkeiten vor dem Hintergrund des Produktlebenszyklus-Gedankens erforderlich.

Die benötigten Informationen der Bauteilverwendung müssen in allen Unternehmensbereichen konsistent abgerufen und genutzt werden können. Dazu müssen die Methoden einen durchgängigen Informationsfluss garantieren und im Einklang mit den Erfordernissen komplexer werdender Produktstrukturen entwickelt werden.

Die Arbeit fokussiert auf die Probleme des Änderungs- und Konfigurationsmanagements, der Konsistenzprüfung und der Produktabsicherung.

Das heutige Änderungs- und Konfigurationsmanagement bezieht die Bauteilverwendung nur unzureichend mit ein. Aus der Verwaltung der verwendungsspezifischen Bauteildaten ergeben sich jedoch Anforderungen, die sich auf die gesamte Arbeitsweise im Änderungs- und

Konfigurationsmanagement auswirken. Der Zusammenhang zwischen der Objekt- und der Lageänderung eines Bauteils ist nicht hinreichend genau untersucht. Dies ist aber eine Voraussetzung für konsistente und transparente Änderungen an einer Produktvariantenstruktur, die auch die Daten der Bauteilverwendung verwaltet. Durch die Speicherung der verwendungsabhängigen Bauteildaten ergeben sich zusätzliche Risiken, inkonsistente Zustände in der Produktvariantenstruktur zu konfigurieren. Um diese Risiken einzuschränken, muss eine geeignete Konsistenzprüfung diese inkonsistenten Zustände identifizieren können.

Die derzeitige Produktabsicherung durch Prototyping und Digital Mock-Up (DMU) basiert vielfach auf Erfahrungswissen. Ziel muss es sein, zu einer optimierbaren Absicherung zu gelangen. Voraussetzung hierfür ist, dass das Erfahrungswissen mit in die Produktmodelle eingebracht wird. Dadurch soll zukünftig die Auswahl der abzusichernden Umfänge schneller und qualitativ besser durchgeführt werden können.

Durch die Veränderung der Wertschöpfungsketten und die steigende Bedeutung von Partnerschaften und Kooperationen gewinnt das Collaborative Engineering, das Entwickeln in einer verteilten Entwicklungsumgebung, an Bedeutung. Wenngleich die Zulieferintegration auch für die Zielsetzung dieser Arbeit einen untersuchungswürdigen Aspekt darstellen würde, soll dieser in der vorliegenden Arbeit bewusst ausgeklammert werden. Zur informationstechnischen Anbindung externer Partner wären weitreichende Betrachtungen der vorhandenen Datenaustauschformate und Techniken nötig, die den Rahmen dieser Arbeit sprengen würden.

Nutzenpotenziale für Produktvariantenstrukturen mit inkorporierten Daten der Bauteilverwendung liegen in nahezu allen Unternehmensbereichen vor. In der Konstruktion erhöht die Veröffentlichung von Bauteilen inklusive deren Lagen und Gültigkeiten die Vollständigkeit und Genauigkeit der Daten und resultiert in einer höheren Transparenz und Datenqualität. Dies ermöglicht ein schnelleres und akkurateres Arbeiten. Im Änderungsmanagement besteht der Nutzen vor allem in der Schaffung der notwendigen Datenkonsistenz und der lückenlosen Dokumentation von Änderungen. Zudem können Änderungen früher erkannt oder sogar vermieden werden. Die Absicherung profitiert durch die Verfügbarkeit aller Daten und durch die Möglichkeit, Fahrzeuge in den benötigten Konfigurationen und Sichten kurzfristig aufzubauen, darstellen und absichern zu können. Dadurch kann auf die teure Herstellung von Prototypen teilweise verzichtet werden. In der Fertigung kann die Lageinformation direkt zur Planung und Steuerung der Montage verwendet werden. Im Service können Informationen zur Bauteilverwendung bei Reparaturen oder bei der Herstellung von Reparaturanleitungen genutzt werden.

## **1.4 Aufbau der Arbeit**

Nach einem kurzen Überblick über die aktuellen Entwicklungen in der Automobilindustrie (Kapitel 2) werden zunächst die wissenschaftlichen Grundlagen der Modellierung, der Produktinformationsverwaltung und des Entwicklungsprozesses vermittelt (Kapitel 3). Vor diesem Hintergrund werden die Anforderungen an die Verwaltung von verwendungsabhängigen Produktdaten herausgearbeitet (Kapitel 4). Im darauf folgenden Abschnitt (Kapitel 5) werden Methoden zum effizienten Umgang mit lageabhängigen Bauteildaten entwickelt. Bei der Methodenentwicklung steht das Management der verwendungsabhängigen Bauteildaten im Mittelpunkt. Hierfür wird der Begriff des „Instanzenmanagements“ eingeführt. Sowohl die prozessualen als auch die datentechnischen Aspekte des Instanzenmanagements werden berücksichtigt. Die Prozesse zur Neuanlage, Änderung und Nutzung der Daten werden untersucht. Die Methoden bilden den Hintergrund für das im nachfolgenden Kapitel vorgestellte Datenmodell (Kapitel 6). Die Vor- und Nachteile der jeweiligen Lösungsansätze sollen in dieser Arbeit am Beispiel der BMW AG transparent gemacht werden. Als Ergebnis wird eine idealisierte

sierte informationstechnische Lösung dargestellt. Datenmodell und Methoden werden schlussendlich gegen die definierten Anforderungen verifiziert (Kapitel 7). Die folgende Abbildung gibt einen zusammenfassenden Überblick über den Aufbau der Arbeit.

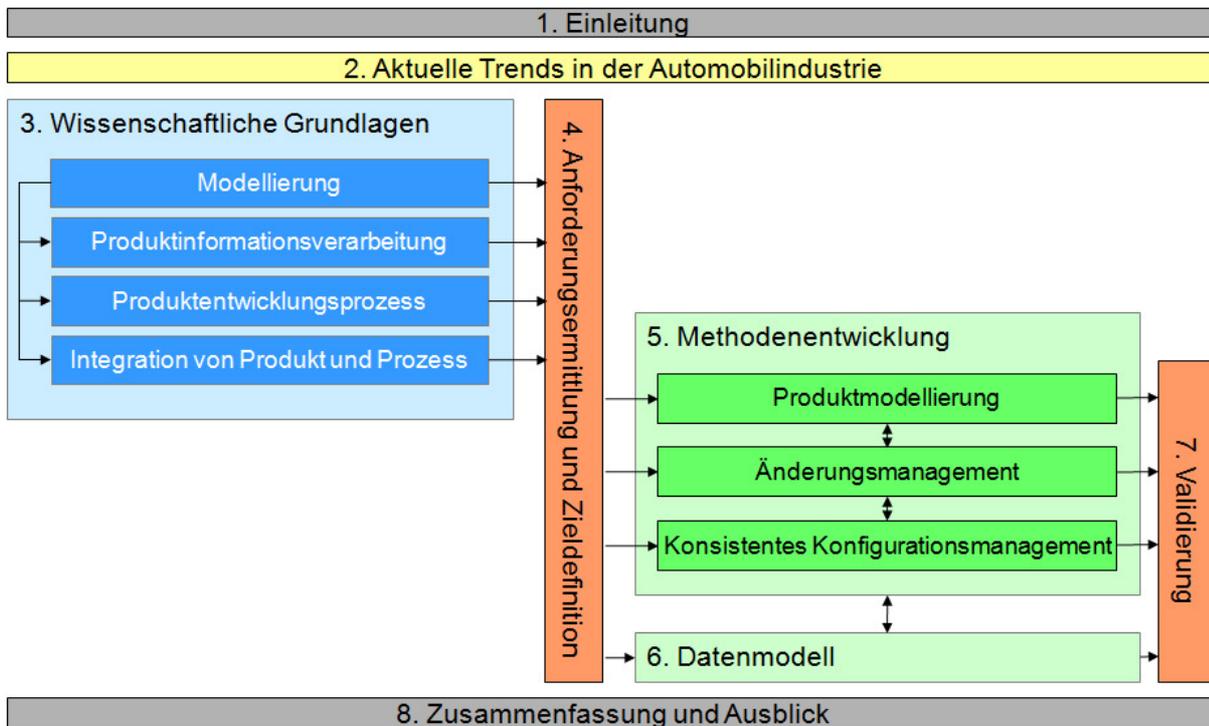


Abbildung 1-1: Aufbau der Arbeit

## 2 Aktuelle Trends in der Automobilindustrie

„Ich glaube an das Pferd. Das Automobil ist nur eine vorübergehende Erscheinung.“  
Kaiser Wilhelm II. (1859-1941)

Die Automobilindustrie trägt mit 18 Mrd. € in 2007 ein Drittel der gesamten in Deutschland getätigten F&E-Ausgaben und ist damit der wesentlichste Treiber von Innovationen im Produktentstehungsprozess [VDA-08, S.269].

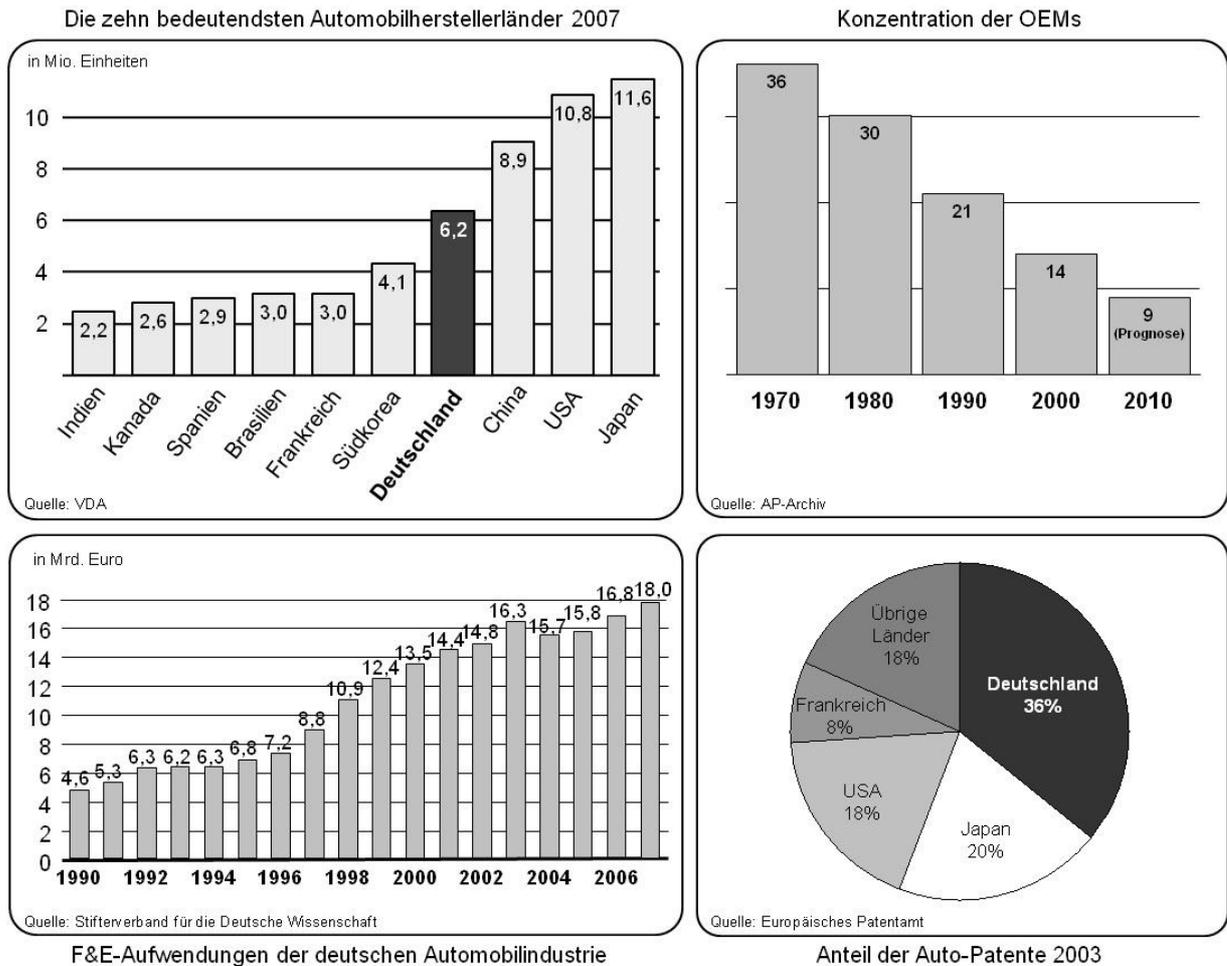


Abbildung 2-1: Entwicklung der Automobilindustrie<sup>1</sup>

Von der werkstattorientierten Konstruktion durch Versuch und Irrtum über die Normierung von Bauteilen bis hin zur rechnergestützten Modellierung von Produkten mit parametrischen 3D-CAD-Systemen, hat der Produktentstehungsprozess im Laufe der letzten 150 Jahre eine rasante Entwicklung genommen. Wo früher die Errungenschaften der Massenproduktion die Automobilindustrie prägten, sieht sie sich heute mit einer im Zuge der Globalisierung stattfindenden

- Veränderung der Wertschöpfungsketten,
- Veränderung der Nachfragestruktur und
- Vernetzung und informationstechnische Durchdringung von Strukturen und Prozessen konfrontiert.

<sup>1</sup> nach VDA-08, S. 269 / AP-02a / VDA-04, S. 13

Die Folgen der Globalisierung und der Wettbewerb von Nationalstaaten um Produktionsstandorte zwingen die OEMs zum Handeln. Nur durch Verlagerungen und Nutzung von Kostenvorteilen im internationalen Umfeld können die Fahrzeughersteller am Markt bestehen. Besonders die osteuropäischen Staaten sowie China und Indien stehen bei der Verlagerung von Produktionsstandorten im Fokus. Vor diesem Hintergrund gewinnen die höchstqualifizierten Tätigkeiten in Deutschland an Bedeutung und verstärken die Konzentration auf den Produktentstehungsprozess, wo umfangreiches Expertenwissen, Spezialisierung und Innovationsfähigkeit gefordert sind [vgl. VDA-05, S. 15].

Neben der Verlagerung von Produktionstätigkeiten in Billiglohnländer wurden in den letzten Jahren auch viele Kompetenzen an die Zulieferindustrie abgegeben. Einer Studie von MERCER zufolge wird sich dieser Trend weiter fortsetzen [AP-04, S. 6]. Die Automobilindustrie ist zwar bemüht, den Outsourcing Trend zu stoppen und strebt eine Fertigungstiefe von 50% an [Geda-05], aber auch in den letzten Jahren lag die Fertigungstiefe in der deutschen Automobilindustrie mit 23% weit unter diesem Zielwert [VDA-08, S. 78]. Die Verlagerung von Kompetenzen an die Zulieferindustrie hat schon heute zu einer nachhaltigen Veränderung der Wertschöpfungsketten geführt. Die Optimierungsbemühungen müssen verstärkt auf die gesamte Wertschöpfungskette und nicht auf diskrete Prozesskettenglieder zielen. Das einzelne Unternehmen an sich verliert vor diesen Entwicklungen an Bedeutung, während strategische Partnerschaften immer wichtiger werden.

Der Wettbewerb zwischen den OEMs fokussiert sich inzwischen stärker auf diversifizierte Fahrzeugangebote. Nischenmodelle sollen Antworten auf die individuellen und sich schnell ändernden Kundenwünsche geben. Die Fahrzeughersteller in Europa sehen sich darüber hinaus einer wachsenden Regulierungsdichte gegenüber, die zusätzliche Ländervarianten nach sich ziehen kann. Die Produktvielfalt steigt. Beschleunigte Entwicklungszeiten und flexiblere Fertigungen sollen zur Umsatzsicherung beitragen. Lag der durchschnittliche Lebenszyklus eines Modells in Europa 1990 noch bei neun Jahren, sank er 1999 erstmals unter die Sieben-Jahr-Grenze. Und der Trend setzt sich laut Prognose von Magna Steyr auch in den kommenden Jahren fort [vgl. AP-02b]. Heute liegt das Durchschnittsalter eines Benzin-PKWs bei 9 Jahren, das eines Diesel-PKWs nur noch bei 5,4 Jahren [VDA-07, S. 230].

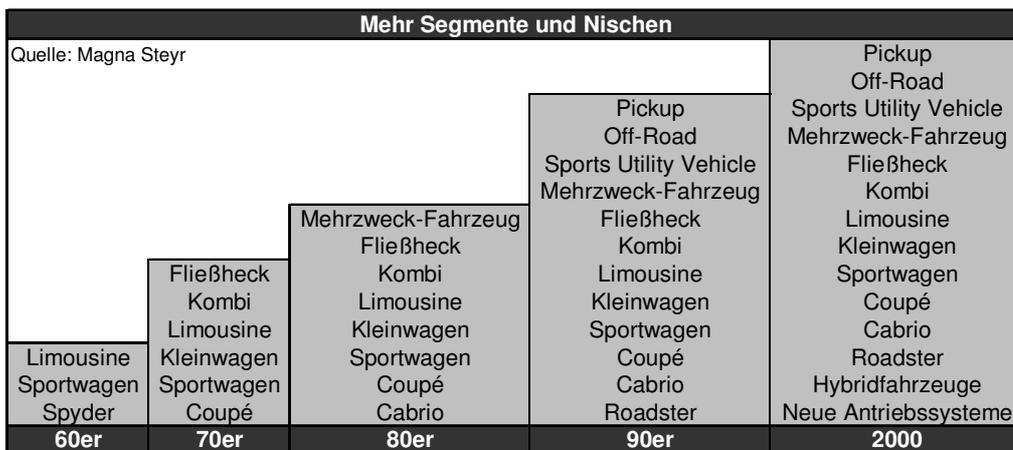


Abbildung 2-2: Mehr Segmente und Nischen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> nach [AP-02b]

Anhand der Innovationsrate<sup>1</sup> lässt sich bei verschiedenen Produktklassen nachvollziehen, dass mit heute eingeführten Produkten nicht mehr die Umsätze erzielt werden können wie vor einigen Jahren. Die Unternehmen müssen die Balance zwischen umsatzsteigernder Variantenvielfalt und den damit einhergehenden Komplexitätskosten finden. Das Varianten- und Komplexitätsmanagement nimmt vor diesem Hintergrund eine zentrale Bedeutung ein. Das Ziel muss es sein, Vielfalt zu bieten, ohne die Komplexität im Unternehmen zu erhöhen. Um die große Variantenvielfalt beherrschbar zu halten, wurden verschiedene Konzepte entwickelt. Zu den Methoden, die direkt am Produkt wirken, gehört die Verwendung von Baukästen, Baugruppen, Modulen und Plattformen. Zusätzlich wird versucht, über geeignete Tools die Variantenvielfalt planbarer zu machen. Hierbei werden die Daten in geeigneter Weise erfasst, dargestellt und bewertet. Dabei stehen neben den eigentlichen Produktdaten besonders die Kosten im Fokus. Die Effekte der Komplexitätskosten sind zwar hinreichend bekannt, in der Praxis stellt die Analyse beziehungsweise die Voraussage der Kosten jedoch nach wie vor eine anspruchsvolle Fragestellung dar.

Im Vergleich mit anderen Branchen weist die Automobilindustrie bereits mit den höchsten Digitalisierungsgrad in Produktentwicklung und Produktionsplanung auf und schreibt ihr auch weiterhin eine hohe Priorität zu [vgl. WaPS-03, S. 15&61]. In Zukunft wird mit weiteren Entwicklungen der Informationstechnologie eine zunehmende Virtualisierung des Konstruktionsprozesses erwartet. Hiermit einher geht die Verbreitung des Front Loading, in dessen Zuge die Automobilhersteller weitere Tätigkeiten in die frühen Entwicklungsphasen verlagern. Es wird unter anderem versucht, die Absicherung über Prototypen so weit wie möglich durch die virtuelle Absicherung zu ersetzen beziehungsweise sinnvoll zu verlagern oder zu ergänzen.

Mehr virtuell Produktabsicherung in FuE		
Bereich	2002 [%]	Erreichbar bis 2008 [%]
Styling	40	60
Aerodynamik	60	90
Konstruktion	90	99
Ergonomie	80	85
Festigkeit	85	95
Haptik	30	50
Noise/ Vibration/ Harshness	60	90
Elektronik	80	95
Sicherheitstechnik	70	80
Fahrdynamik	70	85
Komfort	70	85
Thermik/ Kühlung	70	80
Heizung/ Klima	70	80
Fertigung	75	95
Anteil der Entwicklungsabsicherung durch virtuelle Methoden und Simulation [Quelle: Magna Steyr]		

Abbildung 2-3: Mehr Risikoabschätzung in FuE<sup>2</sup>

Außerdem wird durch die konsequente Fortführung der Integration aller im Produktlebenszyklus entstehenden Daten der Grundgedanke des Produkt-Lebenszyklus-Managements (PLM) an Bedeutung gewinnen. Um alle produkt-, prozess- und projektbezogenen Daten über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg zu verwalten, müssen außer den Kernfunktionen des PDM weitere Komponenten (z.B. SRM, CRM) integriert werden [PLM-05]. Die Frage,

<sup>1</sup> Die Innovationsrate stellt den Quotienten aus „Umsatz mit in den letzten n-Jahren neu eingeführten Produkten“ und dem „Gesamtumsatz“ dar [Meff-00, S. 348].

<sup>2</sup> nach [AP-02c]

ob sich PDM oder ERP-Systeme zur Umsetzung des PLM-Gedankens besser eignen oder sich bei der Umsetzung sinnvoll ergänzen müssen, hat in den letzten Jahren an Brisanz gewonnen. Die Notwendigkeit zur Vernetzung dieser Systeme ist aber unbestritten.

Die folgende Abbildung fasst die aktuellen Veränderungen im Umfeld der Automobilindustrie zusammen.

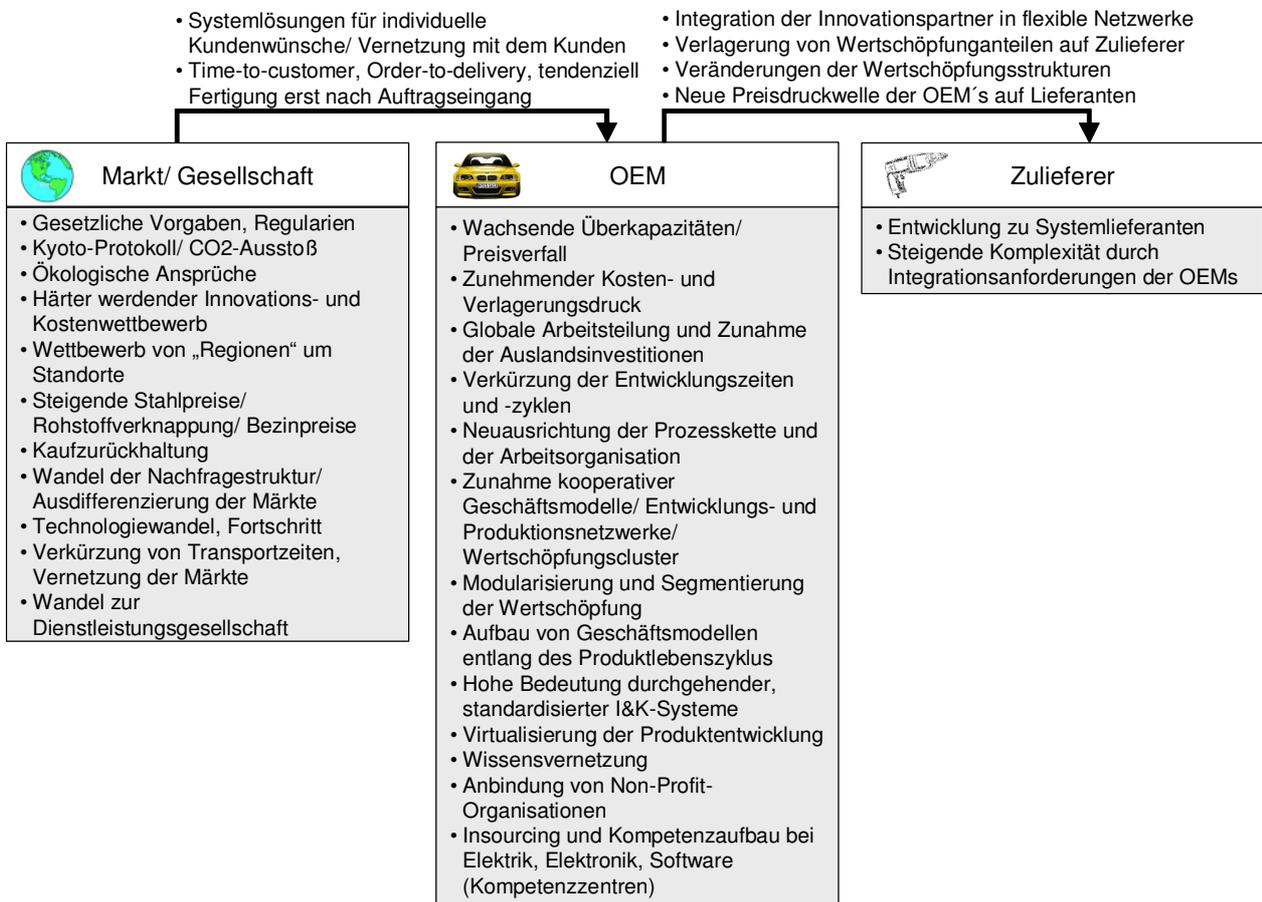


Abbildung 2-4: Aktuelle Veränderungen in der Automobilindustrie

## 3 Wissenschaftliche Grundlagen und Analyse bestehender Ansätze

"Wer hohe Türme bauen will, muss lange beim Fundament verweilen."  
*Anton Bruckner (österreichischer Komponist, 1824-1896)*

Im Zuge von Individualisierung und Technisierung und dem damit wachsenden Informationsaufkommen in der Produktentwicklung gestaltet sich der effiziente Umgang mit Produktinformationen zunehmend schwieriger. Optimierungsbestrebungen zielen auf die Vermeidung von Schnittstellen und die Integration von Produkt- und Prozessentwicklung ab. Basis der Integrationsbestrebungen stellen integrierte Produkt- und Prozessmodelle dar. Sie schaffen neue Möglichkeiten zur Systemintegration und zur Umsetzung integrationsfördernder Managementmethoden. Im diesem Kapitel werden die Grundlagen der Produktinformationsverarbeitung, des Produktstehungsprozesses und der Integrationsansätze von Produkt- und Prozessentwicklung behandelt. Als wesentliches Hilfsmittel zur Komplexitätsreduzierung soll zunächst auf die Grundlagen der Modellierung eingegangen werden.

### 3.1 Grundlagen der Modellierung

Aufgrund der Komplexität heutiger Automobilunternehmen und ihrer Produkte kann eine Analyse und Optimierung der Unternehmung nur mit Hilfe der Modellierung und komplexitätsreduzierter Modelle erreicht werden. Die Grundlagen der Modellierung schuf Herbert Stachowiak 1973 mit der Veröffentlichung der „Allgemeinen Modelltheorie“. Demnach ist ein **Modell** durch Abbildung, Verkürzung<sup>1</sup> und Pragmatismus<sup>2</sup> gekennzeichnet [vgl. Stac-73]. Es ist ein durch Abstraktion (Reduzierung und Verallgemeinerung) gewonnenes Abbild eines bestimmten Ausschnitts der Realität. Das Modell wird zu dem Zweck entworfen, den für die Lösung eines bestimmten Problems relevanten Teil der Wirklichkeit für den Menschen oder eine Maschine (Computer) überschaubar und operationalisierbar zu machen [RoSe-94]. Obwohl die Modellbildung von den Vorstellungen des Erzeugers abhängt, ist eines der wichtigsten Ziele der Modellbildung die Schaffung einer Grundlage für ein gemeinsames Verständnis des realen Objektes<sup>3</sup>.

Generell werden Modelle in **informale**, **semiformale** und **formale** Modelle unterschieden. Informale Modelle in textueller Beschreibungen dienen zur Erläuterung des Modellierungsobjektes, semiformale graphische Darstellungen zur Visualisierung und formalsprachliche Darstellungen zur Unterstützung von Simulation und zur Übertragung in ausführbaren Code [vgl. Jani-04, S. 37]

---

<sup>1</sup> Das Modell reduziert die reale Welt und stellt nur die relevant erscheinenden Attribute des realen Objektes dar.

<sup>2</sup> Pragmatismus bedeutet hier eine Orientierung am Nützlichen. Das Modell wird zu einem bestimmten Zweck für das Original eingesetzt. Die Modellierung orientiert sich an dieser Zweckerfüllung.

<sup>3</sup> Die Modellierung ist selbst ein Prozess, der sich in mehreren Teilschritten bzw. Phasen vollzieht. Bei der Beschreibung dieses Modellierungsprozesses gibt es unterschiedliche Ansätze, die Vorgehens- oder Phasenmodelle, von denen die bekanntesten wohl das Wasserfallmodell, das V-Modell und das Spiralmodell sind. Eine Klassifizierung und Beschreibung der Vorgehensmodelle findet sich bei [GuSo-06, S. 796ff]. Eine Zusammenstellung der wesentlichen Phasenmodelle findet sich im Anhang A. Die Vielfältigkeit der Vorgehensmodelle ist groß, steht aber keineswegs im Mittelpunkt dieser Arbeit. Auf eine detaillierte Analyse der Phasenmodelle kann daher verzichtet werden.

Bis in die 90er Jahre waren die Unternehmen funktional gegliedert und die Softwareentwicklungen daher speziell auf die Unterstützung einzelner Funktionsbereiche einer Unternehmung zugeschnitten. Methoden und Werkzeuge wurden vor dem Hintergrund der Datenmodellierung entwickelt. Als Richtschnur der Unternehmensgestaltung hat sich inzwischen jedoch die Prozessorientierung etabliert. Sie hat die funktionale Zergliederung der Unternehmensaktivitäten abgelöst, welche bei wachsender Unternehmenskomplexität aufgrund von auftretenden Schnittstellenproblemen, Zeitverlusten, Intransparenz und Ineffizienz zunehmend kontraproduktive Wirkungen zeigte [vgl. Meff-00, S. 26]. Die Geschäftsprozesse eines Unternehmens stellen die Vorgehensweisen zur Befriedigung der Kundenbedürfnisse dar. Über die optimale Ausgestaltung der Prozesse kann sich ein Unternehmen von der Konkurrenz differenzieren und am Markt erfolgreich agieren [vgl. MaSc-97, S. 5]. Organisation, Systeme und Daten müssen sich den Anforderungen der Geschäftsprozesse unterordnen. Als Konsequenz der zunehmenden Prozessorientierung verschob sich der Fokus der Informationsverarbeitung von der Unterstützung einzelner Unternehmensfunktionen zur Unterstützung von Geschäftsprozessen. Die Methodenentwicklung wurde auf die Prozessmodellierung ausgeweitet. Heute ist die Geschäftsprozessmodellierung nicht mehr nur Bestandteil der Softwareentwicklung, sondern wird auch unabhängig davon zur Erhöhung der Unternehmenstransparenz, zur Erleichterung der Kommunikation, zur Darstellung und Bewertung von Geschäftsabläufen und zur Vorbereitung der Standardisierung eingesetzt [DoHB-02, S. 201; vgl. Sche-02, S. 1].

In der Unternehmensmodellierung werden die Abläufe zumeist graphisch dargestellt und verschiedene Modelle wie Organisationsmodelle, Prozessmodelle, Produktmodelle, Ressourcenmodelle und Objektmodelle in einem Gesamtzusammenhang kombiniert [vgl. DoHB-02, S. 203; vgl. Arno-05, S. 132].

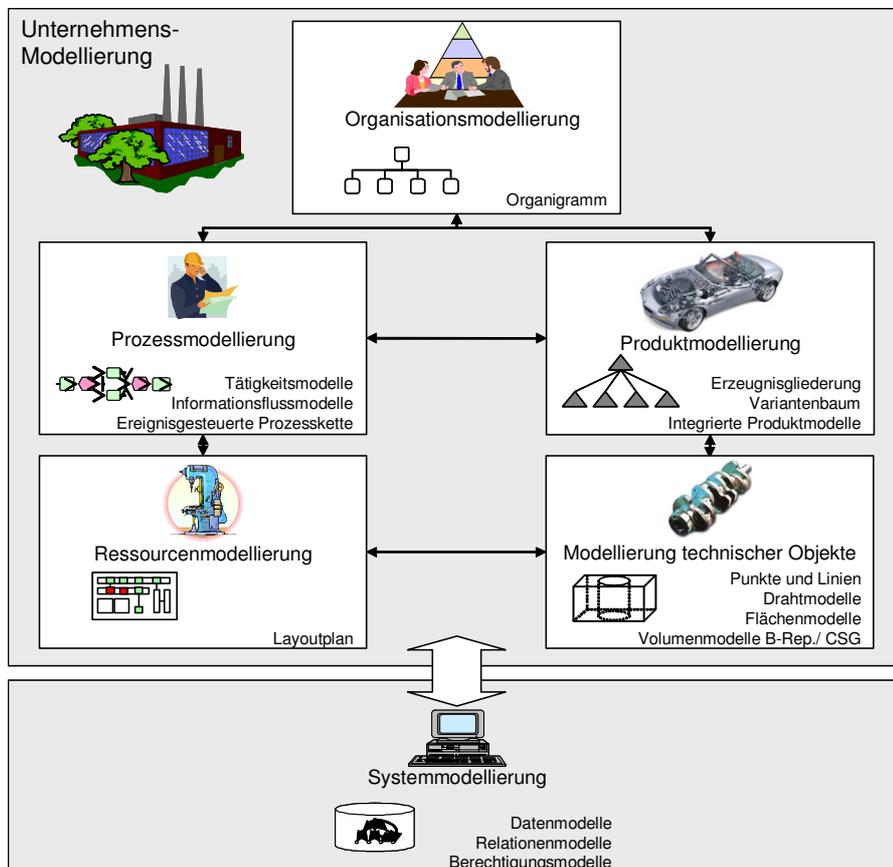


Abbildung 3-1: Unternehmensmodellierung

Das Unternehmensmodell stellt die zur Anpassung von informationstechnischen Systemen benötigten Informationen zur Verfügung. Anhand dieser werden die systeminternen Abläufe des Informationssystems gestaltet. Hierzu werden weitere Modelle wie z.B. Datenmodelle, Relationenmodelle oder Berechtigungsmodelle verwendet [vgl. Arno-05, S. 132]. Das modellierte und implementierte System dient dann wiederum zur Unterstützung der Unternehmensabläufe indem es die nötige Transparenz schafft und als Datenspeicher und –verteiler dient.

Im Rahmen der Systemmodellierung stellt das Datenmodell das Kernelement dar. Ein **Datenmodell** bezeichnet eine formale Beschreibung der Struktur von Daten und ist das Ergebnis eines Modellierungsprozesses, welcher unter Einsatz bestimmter Techniken und Methoden auf systematische Art vollzogen wird [vgl. Heeg-05, S. 13]. Die Speicherung des Datenmodells erfolgt in Datenbanksystemen. Diese bestehen aus der eigentlichen Datenbank und dem Datenbankmanagementsystem [vgl. Wien-05, S. 181]. Die Datenbank enthält eine Beschreibung der Datenbankstruktur und der Struktur der Datensätze sowie die Daten selbst. Das Datenbankmanagementsystem (DBMS) organisiert und schützt die Daten und erlaubt, sie nach bestimmten Kriterien auszuwerten [Schö-01, S. 233]. Es stellt Beziehungen zwischen den Daten her und dient zur Definition und Manipulation der Daten. Anwendungsprogramme liefern weitere logische Funktionen mit denen die Daten der Datenbank verarbeitet werden.

Die **Strukturierung einer Datenbank** kann theoretisch auf vier unterschiedliche Weisen erfolgen [vgl. Wien-05, S. 181]: in hierarchischen Modellen, in Netzmodellen, in relationalen Modellen oder in objektorientierten Modellen. Sobald durch die fortschreitende technologische Entwicklung ein interaktiver Betrieb von Datenbanken ermöglicht wurde, setzte sich aufgrund der Marktanforderungen das relationale Datenbankmodell in der Praxis durch [Schö-01, S. 63ff.]. Objektorientierte Datenbanken erlangen erst allmählich die notwendige Stabilität für Anwendungen in der Praxis [Wien-05, S. 184]. Zudem erhielten objektorientierte Datenbanken erst mit der Verbreitung des Internets einen breiten Markt [vgl. Schö-01, S. 65]. Die Objektorientierung allgemein stellt jedoch nach Expertenmeinung die Schlüsseltechnologie der Zukunft für Multimediaanwendungen, verteilte Systeme und komplexere Strukturen in CAD-Systemen dar [vgl. Wien-05, S. 184].

Allgemein vollzieht sich die Einführung einer Datenbankanwendung in den Phasen: Analyse, Definition, Entwurf, Implementierung, Abnahme/ Einführung und Wartung. Die Entwicklung von Softwarekomponenten und Anwendungsprogrammen wird dabei rechnergestützt durchgeführt. Das **Computer Aided Software Engineering** bedient sich zahlloser Softwaretools (CASE-Tools), die sich in der Verwendung der Modellierungsmethoden und Phasenmodellen unterscheiden.

### 3.2 Verarbeitung von Produktinformationen

Nachfolgend werden die Möglichkeiten zur Beschreibung von Produkten dargelegt. Dabei wird im ersten Schritt auf die Begrifflichkeiten und die Arten der produktbeschreibenden Daten, im zweiten Schritt auf die Beschreibung von Produkten über Merkmale und dann auf Möglichkeiten zur Organisation der Produktdaten eingegangen. Ferner werden die wesentlichen Systemtypen dargestellt, die zur Verarbeitung von Produktinformationen eingesetzt werden. Das Kapitel schließt mit der Darstellung und Untersuchung von Managementmethoden zur Produktinformationsverarbeitung.

### 3.2.1 Produktdaten

„Der Mensch ist nicht das Produkt seiner Umgebung.  
Vielmehr ist seine Umgebung ein Produkt des Menschen.“  
*Benjamin Disraeli (britischer Premierminister, 1804-1881)*

Der Begriff **Produkt**<sup>1</sup> wird in dieser Arbeit synonym mit dem Begriff Erzeugnis verwendet. In DIN 199 [DIN-199] beziehungsweise DIN 6789 [DIN-6789] findet sich die Definition des Begriffs **Erzeugnis**: "Ein Erzeugnis ist ein durch Produktion entstandener gebrauchsfähiger beziehungsweise verkaufsfähiger Gegenstand“. Wirtschaftsgüter, die in einen Produktionsprozess eingehen, werden in dieser Sichtweise als Produktionsfaktoren oder Vorleistungen bezeichnet.

Eine **Produktfamilie** ist eine Menge von Produkten mit ähnlichen Merkmalen oder ähnlicher Form und einem hohen Prozentsatz an gleichen Komponenten. Ein spezifisches Produkt einer Produktfamilie wird als **Variante** bezeichnet [Schö-01, S. 554]. Varianten sind zeitlich parallel existierende „Gegenstände ähnlicher Form und/oder Funktion mit in der Regel hohem Anteil identischer Gruppen oder Teile“ und damit potenziell gegeneinander austauschbar [DIN-199, Arno-05, S. 70]. Die Variante wird durch ein oder mehrere Merkmale charakterisiert, wobei sich zwei Varianten mindestens in einem Merkmal unterscheiden [vgl. Arno-05, S. 70]. Der Begriff der **Version** bezeichnet im Gegensatz zur Variante zeitlich nacheinander entstehende Arbeitsergebnisse bzw. Entwicklungsstufen eines Produktes. Eine neuere Version ersetzt meistens eine ältere Version, geht durch Veränderung oder Weiterentwicklung aus dieser hervor und stellt in der Regel eine Verbesserung dar [vgl. Arno-05, S.72].

Anders als in der Betriebswirtschaft, wo der Handel mit Produkten und die damit beabsichtigte Bedürfnisbefriedigung im Vordergrund stehen, ist das Produktverständnis in der Konstruktionswissenschaft durch die Fokussierung auf die Funktion und das Produkt als **technisches System** geprägt.

Ein **System**<sup>2</sup> besteht aus einer Menge von Elementen (Teilsystemen), die Eigenschaften besitzen und durch Beziehungen miteinander verknüpft sind. Ein System wird durch eine Systemgrenze von der Umgebung abgegrenzt und steht mit ihr durch Ein- und Ausgangsgrößen in Beziehung (offenes System) [Ehrl-03, S. 15f]. Wendet man die Systemtechnik auf ein Produktionsunternehmen an, so entspricht die Ausgangsgröße (Output) dem Produkt.

**Technische Systeme** sind künstlich erzeugte geometrisch-stoffliche Gebilde, die einen bestimmten Zweck erfüllen, also Operationen bewirken [Ehrl-03, S. 22]. Dies kann ein Energie-, Stoff- oder Signalumsatz sein. Diese Umwandlung einer Eingangs- in eine Ausgangsgröße ist im Rahmen der Aufgabenerfüllung des Systems gewollt und ergibt die Funktion des Systems. Die Funktion oder Teilfunktion werden in der Regel durch physikalische Effekte ermöglicht. Diese stellen das Wirkprinzip der Teilfunktion dar und sind die Grundlage der Baustruktur, die bei weiterer Konkretisierung einer Konstruktion erarbeitet werden muss. Der Bauzusammenhang berücksichtigt dabei die Notwendigkeiten u. a. der Fertigung und Montage. Das Enderzeugnis wird schlussendlich in einen Systemzusammenhang gesetzt, der üblicherweise den Menschen als Verwender mit einschließt. [vgl. Dubb-95, S. F1ff]. Die Unterteilung in den Funktions-, Wirk- und Bauzusammenhang findet sich in der allgemeine Vorgehensweise beim Entwickeln und Konstruieren wieder.

---

<sup>1</sup> Im Anhang findet sich die dieser Arbeit zu Grunde liegende Begriffssystematik und Begriffserklärung. Begriffsdefinitionen finden sich in DIN ISO 8402 [DIN-8402] und DIN EN ISO 9001 [vgl. DIN-9001].

<sup>2</sup> Eine umfassende Diskussion des Systembegriffs findet sich bei [Pulm-04]

Das „Denken in Systemen“ erleichtert die Planung, Entwicklung und Konstruktion wobei besonders die Definition klarer Systemgrenzen hilfreich ist. Es unterstützt die Analyse und Simulation der Produkteigenschaften und trägt zu einer Reduktion der Betrachtung auf das Wesentliche bei [vgl. Ehrl-03, S. 22]. Auch die Konstruktionsmethodik des Systems Engineering gründet auf der Systemtechnik [vgl. Schön-01, S.89ff, Ehrl-03, S. 13ff]. Weiterhin ist bei der Betrachtung des Komplexitätsmanagements der Systemcharakter eines Produktes von entscheidender Bedeutung, da über Systemparameter wie „Anzahl der Systemelemente“, „Beziehungen der Elemente untereinander“ und „Dynamik des Systems“ die Komplexität beeinflusst wird [vgl. Schu-05, S. 5f].

Den Zusammenhang zwischen einem realen technischen Objekt, dem Symbol als Bezeichnung des Objektes und dem mentalen Bild dieses Objektes erklärt das Semiotische Dreieck.

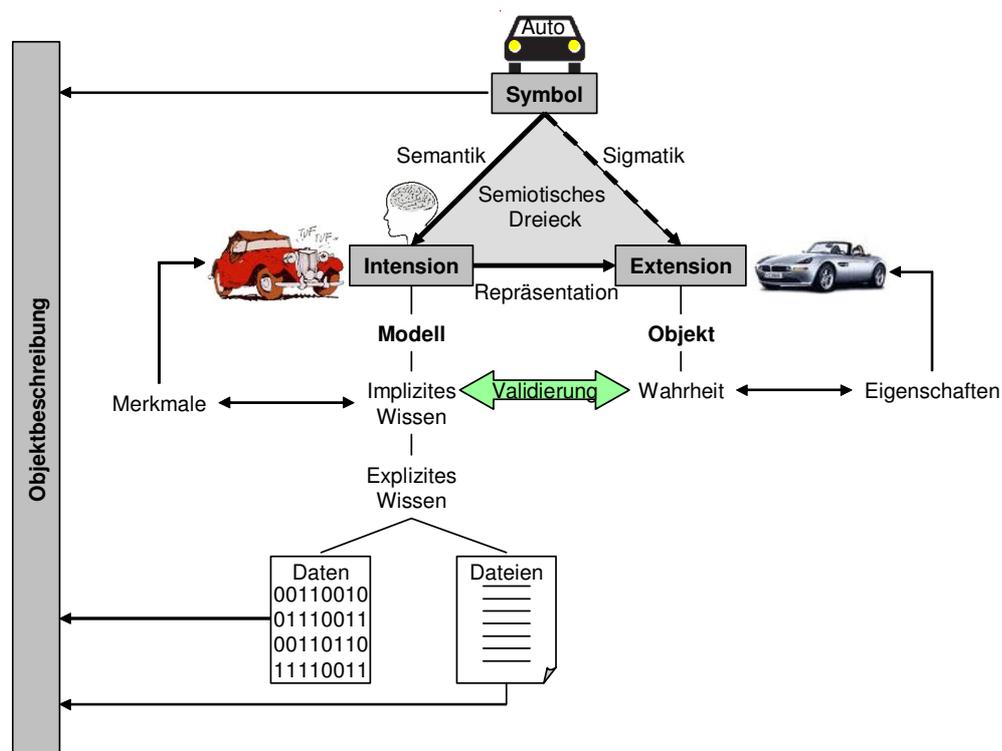


Abbildung 3-2: Semiotisches Dreieck im Zusammenhang mit der Objektbeschreibung

Die **Extension** bezeichnet einen Gegenstand oder Sachverhalt der realen Welt. Die Beziehung zwischen einem Zeichen, Wort oder **Symbol** und dem entsprechenden Objekt ist indirekt. Sie verläuft über eine mentale Repräsentation – die **Intension** – des Objektes. Das reale Objekt wird durch Wahrheiten beschrieben, die auch außerhalb der menschlichen Begriffsbildung gelten. Sie äußern sich durch die Eigenschaften des Objektes. Das Wissen über die realen Objekte erschließt sich jedoch nur über die Intension und muss daher am realen Objekt z.B. durch den wissenschaftlichen Versuch validiert werden. Beschrieben werden kann das Modell durch seine Merkmale. Erst durch das festschreiben des impliziten Wissens, kann Wissen durch andere nutzbar vorgehalten werden.

Nach der Art der Datenablage lassen sich Produktdaten in **Daten** und **Dateien** (Dokumente) unterscheiden. Daten werden in Datenbanken direkt verwaltet. Typische Daten sind z.B. die Benennung, die Teilenummer, das letzte Änderungsdatum oder andere klassifizierende oder beschreibende Attribute [vgl. Köhl-02, S. 178].

Der Datenbegriff lässt sich durch die Wissenstreppe nach NORTH von den Begriffen Information und Wissen abgrenzen [vgl. Nort-99, S. 40ff]. Danach werden **Daten** als Einträge bezeichnet, deren Typ oder syntaktische Struktur bekannt ist, die aber noch ohne Zusammenhang sind z.B. ein Durchmesser. Information setzt Daten in einen Zusammenhang z.B. der Durchmesser einer Zylinderkopfdichtung. Sie haben neben der Syntaktik auch eine Semantik. Wissen bezeichnet die Gesamtheit aller organisierten Informationen mitsamt ihrer wechselseitigen Zusammenhänge, auf deren Grundlage ein (vernunftbegabtes) System handeln kann: z.B. Einbau der konstruktiv richtigen Dichtung in einen Zylinderkopf [vgl. Nort-99, S. 40ff].

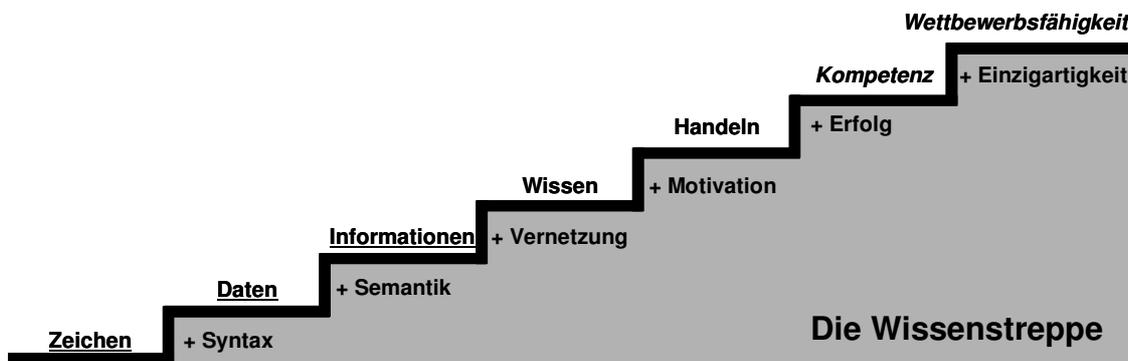


Abbildung 3-3: Die Wissenstreppe<sup>1</sup>

Die nächsten Stufen der Wissenstreppe, Handeln, Kompetenz und Wettbewerbsfähigkeit, sind Gegenstand des Kompetenzmanagements und für den Zusammenhang in dieser Arbeit zweitrangig.

**Metadaten** sind Daten über Daten. Es handelt sich um Daten, die andere Daten, beispielsweise Nutzdaten beschreiben. Metadaten werden für die Verwaltung und das Management von in Datenbanken gespeicherten Nutzdaten eingesetzt. So können Metadaten beispielsweise Informationen über die Struktur, Größe, das Format u. a. der gespeicherten Nutzdaten beinhalten und erleichtern den Zugriff auf Nutzdaten [vgl. ITWi-06]<sup>2</sup>.

Zu bemerken ist, dass die Unterscheidung zwischen Metadaten und Daten eine Frage des Standpunkts ist: Für den Verwender eines Bauteils ist die Sachnummer dieses Bauteils lediglich ein Metadatum das zum Auffinden des physischen Objektes dient, für den Hersteller eines Sachnummernkataloges ist die Sachnummer dagegen innerhalb des Kataloges Bestandteil der Nutzdaten.<sup>3</sup>

Eine **Datei** ist ein Bestand inhaltlich zusammengehöriger Daten. Wenngleich dieser Datenbestand eine Struktur aufweist, so ist diese jedoch nur unter Nutzung des jeweiligen Anwendungsprogramms erkennbar. Dateien können entweder im Datenformat des erzeugenden Programms vorliegen oder in ein neutrales Datenformat konvertiert werden. Beispiele für beschreibende Dateien sind CAD Modelle, technische Zeichnungen, Berechnungsdateien, Dateien für die NC-Bearbeitung, technische Informationen oder Text- und Bilddokumente [vgl. Köhl-02, S. 178].

<sup>1</sup> nach [Nort-99, S. 41]

<sup>2</sup> Eines der ältesten Anwendungsbeispiele für Metadaten findet sich in der bibliothekarischen Praxis. In der Literaturverwaltung subsumieren Metadaten die Ordnungskriterien der Literatur. Heute gibt es in diesem Gebiet wie auch in der Geo-Informatik und anderen Bereichen, Bestrebungen Standards für die verwendeten Metadaten zu vereinbaren.

<sup>3</sup> Weitere Ausführungen zum Metadatenbegriff finden sich bei [Kord-04], [Quix-03] und [Schr-02]

Die im Rahmen der Produktentwicklung konstruierten Komponenten existieren zunächst nur virtuell und werden im Entwicklungsumfeld auch als **Gestaltobjekte** bezeichnet. Das Gestaltobjekt ist Träger der **Geometrie** und wird über Metadaten verwaltet. Die Geometrie des Gestaltobjekts im Konstruktionszustand wird über Dokumente beschrieben.

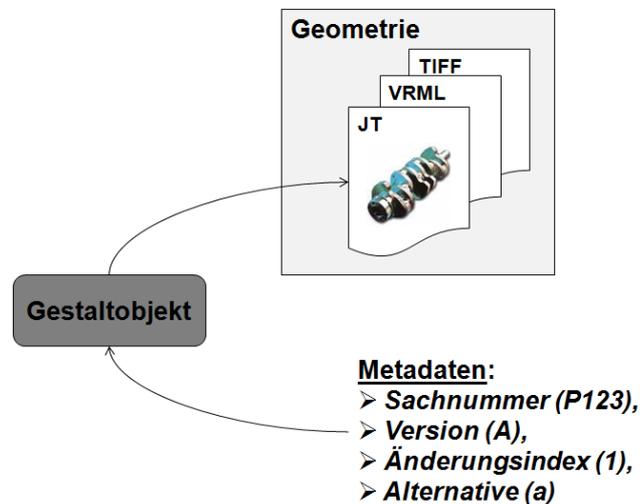


Abbildung 3-4: Das Gestaltobjekt als Träger der Geometrie

Für das Gestaltobjekt werden zur Lösung der jeweiligen Konstruktionsaufgabe **Alternativen** erdacht. Im Produkt kann letztendlich nur eine Alternative verwendet werden. Ausnahmen stellen Alternativen dar, die bewusst als Ausweichteile konzipiert werden. Ansonsten muss spätestens zum Zeitpunkt der Freigabe eine Alternative als die bevorzugte gekennzeichnet und für den weiteren Entwicklungsverlauf vorgesehen werden. Auch für die Alternativen des Gestaltobjektes werden im Zuge der Entwicklung verschiedene Versionen erzeugt, denen dann jeweils ein unterschiedlicher Satz an beschreibenden Dokumenten zugeordnet wird. Eine Version der bevorzugten Alternative des Gestaltobjektes wird nach der Produktionsfreigabe im Endprodukt verbaut.

Produktdaten lassen sich nach dem Inhalt untergliedern in [vgl. Pahl-05, S. 537, vgl. SeWa-05, S. 57f]:

- geometrische Daten,
- Stammdaten,
- Bewegungsdaten und
- Strukturdaten.

**Geometrische Daten** werden als Dokumente verwaltet. Hierbei handelt es sich um graphische Darstellungen des Produktes, wie z.B. Zeichnungen, 2D-Modelle, 3D-Modelle. Heute werden die geometrischen Daten üblicherweise in Computer-Aided-Design (CAD) Systemen erzeugt und zur elektronischen Speicherung als Dateien abgelegt [vgl. Köhl-02, S. 178]. Dabei werden verschiedene Dateiformate verwendet. Gängige 2D-Formate sind beispielsweise CGM, JPEG, BMP oder TIFF; gängige 3D-Formate sind CGR, JT oder VRML. Nicht alle Formate können durch jede Anwendersoftware gelesen werden. Um CAD-Files auch nach Systemwechseln lesen oder um Dokumente zwischen verschiedenen Systemen austauschen zu können, gibt es eine Reihe von unabhängigen Formaten [vgl. SeWa-05, S. 63]. Für 3D-Modelle ist dies z.B. VRML, für Zeichnungen z.B. TIFF oder PDF [vgl. SeWa-05, S. 63]. Zusätzlich werden die geometrischen Daten nicht immer mit allen origiären Inhalten dargestellt. Sowohl um die Dateigröße zu reduzieren als auch um Wissen zu schützen, werden die Geometriedaten vereinfacht (Tesselierung in primitive Flächen z.B. Dreiecke).

Unter **Ersatzformaten** sollen in ein anderes Datenformat umgewandelte „CA-Originale“ verstanden werden. Das heißt, dass in diesen Datenformaten Geometrien existieren, die identisch (bis auf Konvertierungsabweichungen) mit der Ausgangsgeometrie aus dem Erzeugersystem sind. **Ersatzgeometrien** kennzeichnen besondere Zustände des eigentlichen Bauteils wie beispielsweise Verbauzustände, Bewegungshüllen oder Extremlagen.

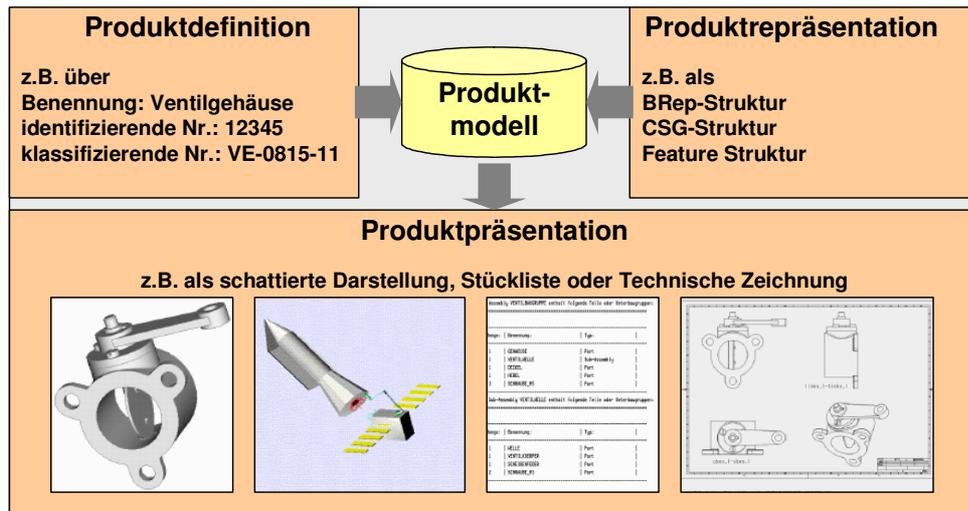
**Stammdaten**, sind Daten, die ohne die Beziehung zu anderen Daten aussagekräftig sind. Stammdaten zeichnen sich durch Langlebigkeit aus und sind versionsunabhängig [Schi-02, S. 49]. Stammdaten lassen sich in eine Vielzahl von Kategorien gliedern (z.B. Identifikationsdaten, Ordnungsdaten, Konstruktionsdaten, Beschaffungsdaten, Produktionsdaten, Kalkulationsdaten) und für verschiedenen Objekte führen (z.B. Kundenstamm, Materialstamm, Lieferantenstamm, Dokumentenstamm) [vgl. HaSc-04, S. 93f und S. 200]. Jeder Geschäftsprozess verlangt nach einem unterschiedlichen Dateninhalt und so müssen die Stammdaten den jeweiligen Anforderungen des Unternehmensprozesses genügen. Stammdaten werden direkt in Datenbanken gespeichert [vgl. Köhl-02, S. 178].

**Bewegungsdaten** sind Daten mit einer zeitlich begrenzten Lebensdauer. Sie entstehen im Zusammenhang betrieblicher Transaktionen und stellen eine Beziehung zwischen Daten her z.B. Bestellung eines Unternehmens A bei Zulieferer B über das Material C. Beispiele für Bewegungsdaten sind Bestellanforderungen, Bestellungen, Reservierungen, Wareneingangsbuchungen, Rückmeldungen oder Gutschriften.

**Strukturdaten** stellen Beziehungen zwischen den verschiedenen Ausprägungen der Stammdaten dar. Stücklisten sind ein klassisches Beispiel für Strukturdaten. Strukturdaten beantworten Fragen wie z.B.: besteht aus, ist verbaut in, enthält [vgl. Pahl-05, S. 537].

Um ein Objekt eindeutig zu identifizieren, wird dem Objekt eine **Sachnummer** zugeordnet. Sie stellt im Sinne des Semiotischen Dreiecks das Symbol des Objektes dar. Geometrische Daten, Stammdaten und Strukturdaten werden über die Sachnummer miteinander verknüpft. Die Systematik zum Bilden, Erteilen, Verwalten und Anwenden von Sachnummern wird durch **Sachnummernsysteme** nach DIN 6763 beschrieben. Dabei kann das Sachnummernsystem lediglich zur Identifikation verwendet werden oder aber auch eine auftragsunabhängige Verschlüsselung ausgewählter Sachmerkmale der Objekte, eine Klassifizierung, enthalten [vgl. Köhl-02, S. 35]. Je nach Aufbau des Nummernsystems in klassifizierende und identifizierende Bestandteile unterscheidet man zwischen dem Klassifizierungssystem, dem Verbundnummernsystem und dem Parallelnummernsystem [vgl. Conr-05, S. 255]. Der Vorteil einer Parallelverschlüsselung liegt nach [GrFe-05, S. F37] in der großen Flexibilität und Erweiterungsmöglichkeit und ist daher für die Mehrzahl von Einsatzfällen anzustreben.

Produktdaten entstehen nicht in einem "luftleeren Raum", sondern werden immer im Kontext von Prozessen erzeugt und verändert [vgl. Schi-02, S. 17]. Sie müssen den unterschiedlichen Prozessanforderungen gerecht werden. In den Anfängen der systemgestützten Konstruktion wurden Produktdaten jedoch lediglich als digitale Präsentation (z.B. technische Zeichnung, Ansichten und Schnitte) des Produktes verstanden. Erst mit dem Ansatz, Produktdaten insbesondere auch als produktdefinierende (z.B. Sachnummer, Bezeichnung, Klassifizierung) und produktrepräsentierende Daten (z.B. Flächenmodelle, Volumenmodelle, Feature-Struktur, FEM-Modell, Kinematikmodell) zu verstehen, entstand eine Grundlage, um Produktdaten für einen digitalen Informationsfluss in Prozessketten zu nutzen. Damit nimmt nicht nur die Bedeutung der produktrepräsentierenden Daten und der CAD-Systeme zu, sondern auch deren Verwaltung und Steuerung z.B. durch Produkt-Daten-Management (PDM) Systeme [AnTr-00, S. 16].

Abbildung 3-5: Produktdefinition, -repräsentation, -präsentation<sup>1</sup>

Bei der Ablage und Speicherung von Produktdaten in Informationssystemen können verschieden Fehler auftreten, die die Qualität der Daten und somit deren Gebrauchstauglichkeit mindern:

Kunde		KNr	Name	Geb.datum	Alter	Geschlecht	Telefon	PLZ
		1234	Pren, Leo	18.2.80	37	M	999-9999	98693
		1234	Ann Joy	32.2.70	34	F	768-4511	55555
		1235	Leo Pren	18.2.80	24	m	567-3211	98693

Adresse		PLZ	Ort
		98693	Ilmenau
		98684	Illmenauh
		98766	BRD

Die Abbildung zeigt verschiedene Fehlerarten in den Daten:

- Repräsentation:** Bezieht sich auf die Darstellung der Daten.
- Widersprüche:** Bezieht sich auf Inkonsistenzen in den Daten.
- Ref. Integrität:** Bezieht sich auf die Referenzintegrität der Daten.
- Eindeutigkeit:** Bezieht sich auf die Eindeutigkeit der Daten.
- Fehlende Werte:** Bezieht sich auf fehlende Werte in den Daten.
- Duplikate:** Bezieht sich auf doppelte Datensätze.
- Falsche Werte:** Bezieht sich auf falsche Werte in den Daten.
- Schreibfehler:** Bezieht sich auf Schreibfehler in den Daten.

Abbildung 3-6: Mögliche Fehler bei der Datenpflege

Qualität wird nach DIN EN ISO 9000:2000 als „Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale Anforderungen erfüllt“, definiert. Die Datenqualität gibt an, in welchem Maße ein Datum bestehende Anforderungen eines Datennutzers entspricht. Richard Wang<sup>2</sup> definiert daher Informationsqualität als: "fitness for use".

Die **Datenqualität** von Produktdaten kann über verschiedene Merkmale beurteilt werden. Eine von vielen Taxonomien von Qualitätsmerkmalen findet sich bei [Hir-02, S. 29]:

<sup>1</sup> nach [Ande-05, Skript-A S. 26]

<sup>2</sup> Begründer des Total Data Quality Management (TQM)

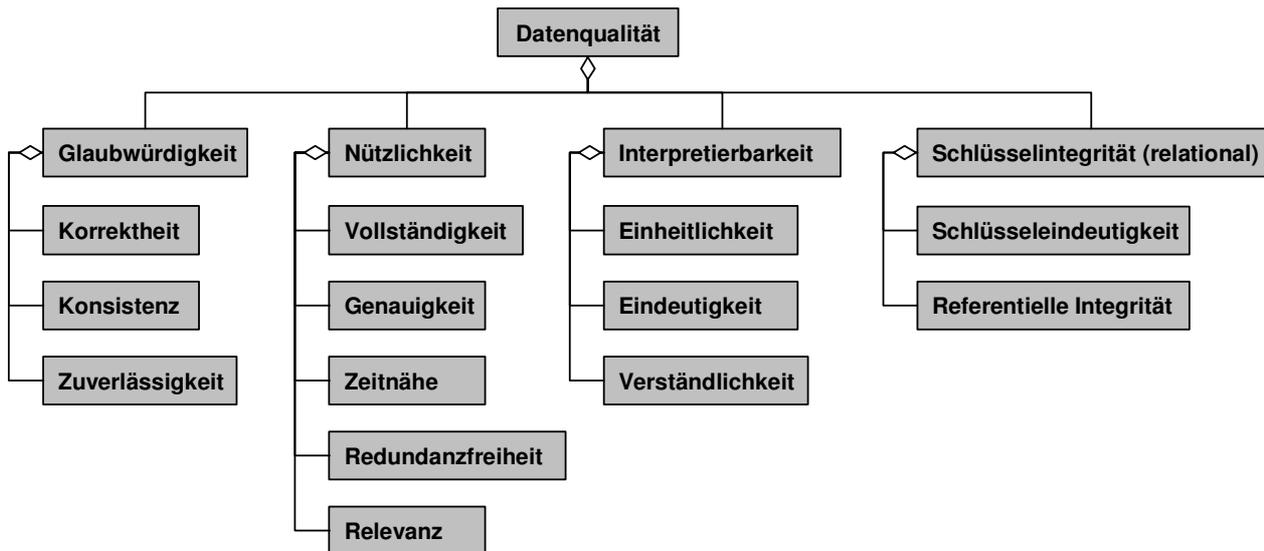


Abbildung 3-7: Taxonomie von Qualitätsmerkmalen

Diese Qualitätsmerkmale werden wie folgt definiert:

- *Korrektheit*: die Eigenschaft, dass die Attributwerte eines Datenprodukts (im Informationssystem) denen der modellierten Entität (in der Diskurswelt) entsprechen.
- *Konsistenz*: die Eigenschaft, dass die Attributwerte eines Datenproduktes keine logischen Widersprüche aufweisen.
- *Zuverlässigkeit*: die Eigenschaft, dass die Attributwerte nicht mit einem Unsicherheitsfaktor belegt, d.h. nicht vage oder unsicher sind.
- *Genauigkeit*: die Eigenschaft, dass die Attributwerte eines Datenproduktes in dem jeweils „optimalen“ Detaillierungsgrad (abhängig vom Anwendungskontext) vorliegen.
- *Vollständigkeit*: die Eigenschaft, dass die Attribute eines Datenproduktes mit Werten belegt sind, die semantisch vom Wert NULL abweichen.
- *Zeitnähe*: die Eigenschaft, dass die Attributwerte bzw. Tupel eines Datenproduktes jeweils den aktuellen Diskursweltzustand entsprechen, d.h. nicht veraltet sind.
- *Redundanzfreiheit*: die Eigenschaft, dass innerhalb eines Datenproduktes keine Duplikate vorkommen.
- *Relevanz*: die Eigenschaft, dass sich der Informationsgehalt eines Datenproduktes bzgl. eines gegebenen Kontextes mit dem Informationsbedarf einer Anfrage deckt.
- *Einheitlichkeit*: die Eigenschaft, dass ein Datenprodukt eine einheitliche Repräsentationsstruktur aufweist.
- *Eindeutigkeit*: die Eigenschaft, dass ein Datenprodukt eindeutig interpretiert werden kann, d.h. zum Datenprodukt Metadaten hoher Qualität vorliegen, die dessen Semantik festschreiben.
- *Verständlichkeit*: die Eigenschaft, dass ein Datenprodukt so repräsentiert ist, dass es in seiner Begrifflichkeit und Struktur mit der Vorstellungswelt eines Fachexperten übereinstimmt bzw. (im weiteren Sinn) maschinell verarbeitet werden kann.
- *Schlüsseleindeutigkeit*: die Eigenschaft, dass der Primärschlüssel einer Relation eindeutig ist.
- *Referentielle Integrität*: die Eigenschaft, dass zu jedem Fremdschlüssel ein Primärschlüssel in der referenzierten Relation existiert und dass die im Schema spezifizierte Multiplizität der Beziehung eingehalten wird.

### 3.2.2 Produktmerkmale und Produktvarianz

Das Sammeln, Systematisieren und geordnete Ablegen bzw. Darstellen von Teilen basiert auf den signifikanten Merkmalen der Teile. Als **Merkmal** wird nach DIN 4000 eine Eigenschaft einer Sache bezeichnet, die diese auszeichnet. An ihr kann die Sache erkannt, beschrieben und von anderen, die diese Ausprägung nicht bzw. anders haben, unterschieden werden [vgl. DIN 4000]. Ein Merkmal hat eine Bedeutung (Semantik, Qualität) und eine Ausprägung (Quantität) [Ehrl-03, S.24]. Ein **Attribut** wird gemeinhin als die Zuordnung eines Merkmals zu einem konkreten Objekt verstanden.

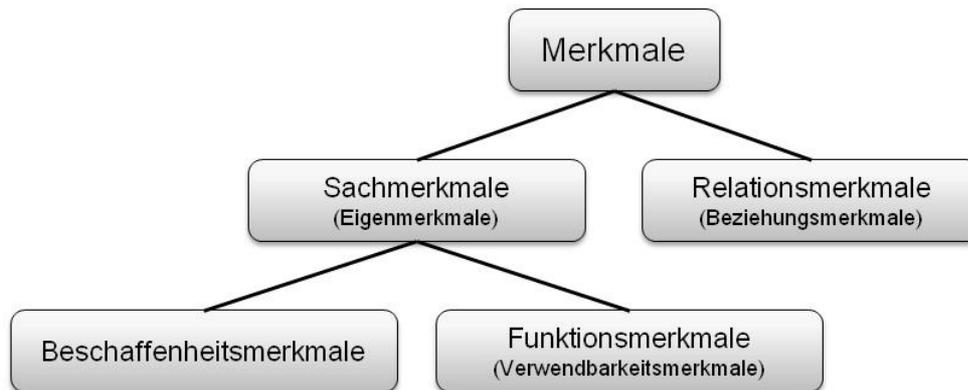


Abbildung 3-8: Gliederung von Merkmalen nach ihrer Bedeutung<sup>1</sup>

Bei der Klassifizierung von Bauteilen werden überwiegend Sachmerkmale (Eigenmerkmale) verwendet. Kennzeichen eines **Sachmerkmals** ist, dass es im Gegensatz zum Relationsmerkmal vom Umfeld des Gegenstandes unabhängig ist [vgl. DIN-4000]. Sachmerkmale gliedern sich in Beschaffenheitsmerkmale und Funktionsmerkmale (Verwendbarkeits-/Eignungsmerkmale):

- **Beschaffenheitsmerkmale** sind Merkmale, die am Produkt selbst festgestellt werden können. Auf diese Merkmale lassen sich alle Eigenschaften zurückführen. Beispiel: Form, Abmessung, Werkstoff, Farbe.
- **Funktionsmerkmale** bezeichnen den gewollten Zweck eines Produktes. Beispiel: Drehmoment übertragen, Radialversatz ausgleichen.

**Relationsmerkmale** sind Eigenschaften eines Produktes, die erst im Zusammenhang mit anderen Systemen bzw. dem Umfeld von Bedeutung sind [vgl. Ehrl-03, S. 24]. Eine Änderung der Merkmalsausprägung ergibt keinen anderen Gegenstand [Conr-05, S.260]. Beispiel: Herstellkosten, Lagerort.

Die variantendefinierenden Merkmale eines Produktes spielen bei der Definition und Handhabung der Produktvarianz eine wichtige Rolle. Jedes Merkmal hat einen Wertebereich von zulässigen diskreten Werten. Die Merkmale spannen einen multidimensionalen Varianzraum auf, der durch das kartesische Produkt der Merkmalswertemengen gebildet wird. Ein Produkt, welches durch 2 Merkmale beschrieben werden kann, hat einen 2-dimensionalen Varianzraum, ein Bauteil oder Produkt mit  $n$  Merkmalen einen  $n$ -dimensionalen Varianzraum. Die Anzahl der Merkmalswerte bestimmt die Ausdehnung des Varianzraums in der jeweiligen Dimension. Der Varianzraum umfasst alle theoretisch möglichen Ausprägungen und bestimmt die maximale Varianz des Produktes. Durch die Festschreibung aller Merkmale mit diskreten Merkmalswerten wird eine Produktvariante vollständig definiert.

<sup>1</sup> nach [Conr-05, S. 260]

Sei  $M$  eine Menge von Merkmalen und  $m_i$  jeweils ein konkretes Merkmal:

$$M = \{ m_1, m_2, m_3, \dots \}$$

Sei  $W$  eine Menge von Merkmalswerten und  $w_i$  jeweils ein konkreter Merkmalswert:

$$W = \{ w_1, w_2, w_3, \dots \}$$

Dann ist  $W_{m_1}$  die Menge aller Merkmalswerte zu einem bestimmten Merkmal  $m_1 \in M$  und weiterhin gilt somit  $W_{m_1} \subseteq W$ .

Bei drei Merkmalen  $m_1, m_2$  und  $m_3$  mit den zulässigen Wertebereichen  $W_{m_1} = \{W11 \dots W14\}$ ,  $W_{m_2} = \{W21 \dots W24\}$  und  $W_{m_3} = \{W31 \dots W34\}$  ergibt sich die Größe des Varianzraumes VR aus:

$$VR = W_{m_1} \times W_{m_2} \times W_{m_3} = \{ (w_1, w_2, w_3) \mid w_1 \in W_{m_1}, w_2 \in W_{m_2}, w_3 \in W_{m_3} \}$$

Im diesem Beispiel handelt es sich um einen 3-dimensionalen Varianzraum mit  $VR = 4 \times 4 \times 4 = 64$  möglichen Ausprägungen. Eine konkrete Belegung dieses Varianzraumes entspricht einer Produktvariante.

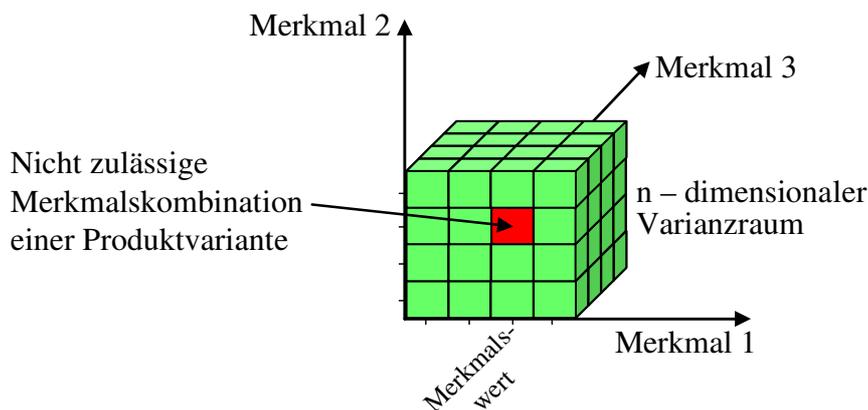


Abbildung 3-9: Der Varianzraum

Für die Kombinatorik im Varianzraum ergeben sich hierbei erstaunlich viele Möglichkeiten. Da jedes Feld des Varianzraumes entweder unzulässig=0 oder zulässig=1 sein kann, ergeben sich in diesem Beispiel  $K = 2^{(4 \times 4 \times 4)} = 2^{64} = 18.446.744.073.709.600.000$  Kombination zur Konfiguration des Produktes. Dieses einfache Beispiel zeigt bereits deutlich wie wichtig es ist die Anzahl der Merkmale und Merkmalswerte und deren zulässige Kombinationen klein zu halten, um die Produktvarianz handhabbar zu machen.

Die hohe Anzahl möglicher Kombinationen resultiert im obigen Beispiel aus der Verwendung von Merkmalen, bei denen die Werte gleichzeitig für eine einzige Produktkonfiguration gültig sein können (z.B. Merkmal Land mit den Merkmalswerten ECE, USA,...). Es sind „**mehrwertige**“ Merkmale. Bei Merkmalen mit nur einer zulässigen Ausprägung je Produktkonfiguration, „**einwertigen**“ Merkmalen, ist die Varianz gleich der Menge der unterschiedlichen Merkmalswerte (z.B. kann ein Motor nur entweder 4-Zylinder, 6-Zylinder usw. sein).

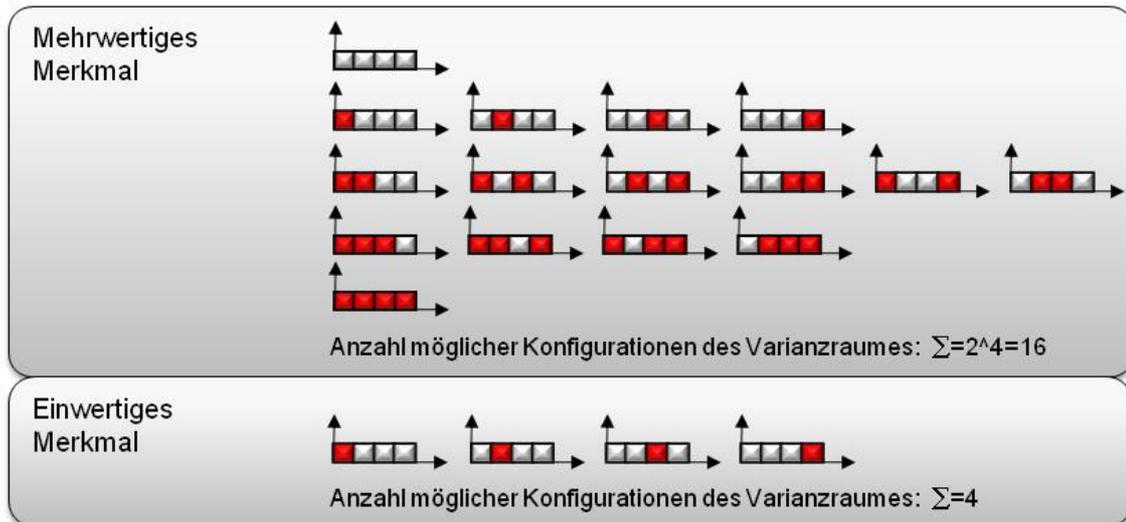


Abbildung 3-10: Ein- und mehrwertige Merkmale

Aus den möglichen Konfigurationen können über Kombinationsregeln entweder die zulässigen und/oder die unzulässigen Zustände der Produktkonfiguration definiert werden. Über den Ausschluss ganzer Zeilen des Varianzraumes kann dieser stark eingeschränkt werden. Auch die Abhängigkeiten von Merkmalen untereinander kann zur Reduktion des Varianzraumes verwendet werden. So ist beispielsweise das Merkmal „Lenker“ vom Merkmal „Land“ abhängig. Diese Abhängigkeit kann als Regel systemseitig abgelegt werden. Das Merkmal „Lenker“ könnte damit eliminiert werden [vgl. Schi-02, Kapitel 2.1.8], es ist jedoch zur Beschreibung der konstruktiven Varianz häufig leichter verständlich.

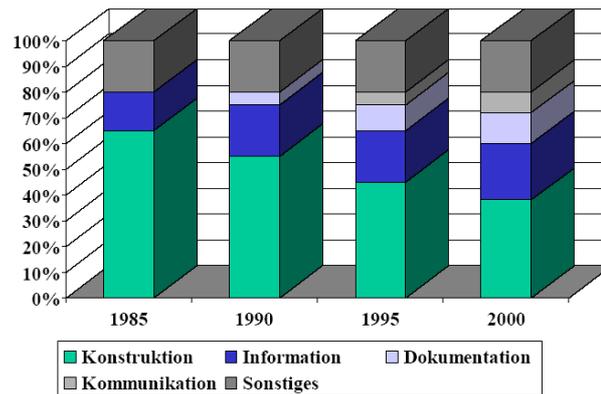
Weiterhin können auch wirtschaftliche Kriterien zur Einschränkung der Produktvarianz herangezogen werden. So können z.B. Daten der Marktforschung frühzeitig genutzt werden, um die Produktvarianz gering zu halten. Über die Analyse der Vertriebsdaten können im Laufe des Produktlebenszyklus unwirtschaftliche Varianten ausgegrenzt oder für wirtschaftliche Varianten spezielle Angebote offeriert werden.

### 3.2.3 Organisation von Produktdaten

#### 3.2.3.1 Klassifizierung

„Wenn man der Natur freien Lauf lässt, arbeitet sie gegen die Gleichheit.“  
*Jean Paul Getty (amerik. Ölindustrieller u. Milliardär, 1892-1976)*

Die steigende Komplexität der Produkte wirkt sich nicht nur auf die Produktdaten und deren Management sondern auch auf die Tätigkeiten im Unternehmen aus. Ein Konstrukteur verbringt heute einen größeren Prozentsatz seiner Arbeitszeit mit der Suche nach Wiederhol- und Normteilen als jemals zuvor. Nach VDMA von 1997 bleiben einem Konstrukteur nur noch ca. 30% seiner Arbeitszeit für reine Konstruktionstätigkeiten [Conr-05, S. 343].

Abbildung 3-11: Veränderung der Konstruktionstätigkeit<sup>1</sup>

Daher stellt das effiziente Auffinden und Verwenden von Wiederhol-, Synergie- oder Alternativeilen heute ein wesentliches Kriterium der Wettbewerbsfähigkeit dar. Hierfür werden über Ordnungsschemata und Sachmerkmaleisten Hilfestellungen angeboten, aber besonders Klassifizierungssysteme unterstützen die schnelle Verfügbarkeit von Informationen und das Auffinden von Teilen.

Die **Klassifikation** ordnet Objekte nach angemessenen Kriterien in verschiedene Gruppen und Untergruppen ein und strukturiert sie dadurch. Den Objekten einer Klasse können gemeinsame Eigenschaften und Verhaltensweisen zugewiesen werden, wobei die Eigenschaften durch Attribute und ggf. Beziehungen zu anderen Objekten definiert werden [vgl. Schi-02, S. 156]. Bei der Klassenbildung werden die Gruppen bzw. Klassen erst noch gesucht und definiert. Die Anzahl, Homogenität und Zuordnung der Objekte zu den Klassen ist noch nicht bekannt [vgl. Grab-02, S.15]. Das Ergebnis der Klassenbildung ist ein **Klassensystem**. Klassensysteme folgen dem Paradigma der Objektorientierung, d.h. alle Merkmale einer übergeordneten Klasse werden an nachfolgende Klassen vererbt [Guld-05, S.22].

Die Aufgabe vorgegebene Gruppen voneinander optimal abzugrenzen, wird als **Diskriminationsproblem** bezeichnet. Die Zuordnung von Objekten in vordefinierte Klassen wird im allgemeinen Sprachgebrauch als **Klassieren** bezeichnet, auch wenn es sich eigentlich um ein Diskriminationsproblem handelt [vgl. Grab-02, S.15].

Aus der Notwendigkeit heraus, Sachverhalte möglichst kurz zu beschreiben, entstanden eine Vielzahl von Klassifikationssystemen [Grab-02, S.18]. **Klassifikationssysteme** sind Nummernsysteme, deren Nummern nur Klassifizieren und nicht Identifizieren. Man unterscheidet **hierarchische**, **nicht-hierarchische** (parallele) und **hybride** Klassifikationssysteme [Grab-02, S.18ff]<sup>2</sup>.

Klassifikationssysteme sollen nach ARNOLD et. al. folgende Aufgaben unterstützen [Arno-05, S. 109]:

- Strukturierung großer Datenmengen
- Umfangreiche Suchmöglichkeiten zur Verfügung stellen

<sup>1</sup> nach [Knoc-95]

<sup>2</sup>Bei hierarchischen Systemen sind die Stellen des Klassifizierungsschlüssels voneinander abhängig, d.h. die Codierung der zweiten Stelle ist von der Codierung der ersten Stelle abhängig. Bei nicht-hierarchischen Klassifikationssystemen sind die einzelnen Stellen voneinander unabhängig. Hybride Systeme verbinden beide Konzepte in einem Schlüssel [vgl. Arno-05, S.117f].

- Standardisierung der Beschreibung von Gegenständen
- Reduzierung der Teilevielfalt

Da sich im heutigen Unternehmen die Anforderungen an Produkte schnell ändern und die Produktpaletten einem andauernden Wandel unterworfen sind, müssen auch Klassensysteme bzw. Klassifikationssysteme dynamisch veränderbar sein [Arno-05, S. 117]. Hierfür können Teilgruppen abgespalten und neue Unterteilgruppen geschaffen werden (Spezialisierung) oder umgekehrt mehrere Teilgruppen zusammengefasst werden (Generalisierung).

Die Einführung eines Klassifikationssystems umfasst im Allgemeinen die folgenden Schritte [Arno-05, S.121]:

- Analyse der produktbeschreibenden Datenbestände
- Erarbeitung der klassifikationsrelevanten Merkmale
- Strukturierung der Merkmale und Aufbau eines angepassten Klassifikationssystems
- Einordnung der Datenbestände in das Klassifikationssystem

Es werden bei der Klassifizierung nicht alle sondern nur die signifikanten Merkmale eines Bauteils herangezogen. Die Wahl der Merkmale ist entscheidend für die Wirksamkeit eines Klassensystems und das Management der Bauteilvarianz. Der grobe Aufbau eines Klassensystems sollte sich an den Konstruktions- bzw. Lebenszyklusphasen orientieren [Guld-05, S.23]. Die Klassen im oberen Bereich der Klassenhierarchie werden durch organisatorische Merkmale beschrieben. Es folgen Merkmale der Funktion und Wirkprinzipien, der Grobgeometrie und der Feingeometrie.

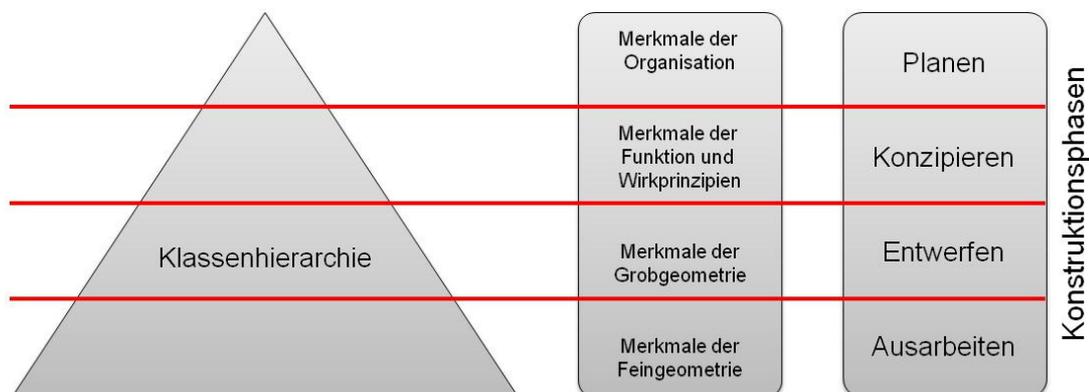


Abbildung 3-12: Aufbau eines Klassensystems<sup>1</sup>

Als Hilfestellung wohlstrukturierter Klassensysteme definiert die ISO 13584 PLIB acht Regeln zur Strukturierung von Klassen, die dem Anwender eine schnelle Validierung des eigenen Ergebnisses erlauben [Guld-05, S.25].

Um die aufwendige manuelle Pflege der Klassifizierung zu vermeiden und diese zu automatisieren, wurden unterschiedliche wissenschaftliche Methoden untersucht und entwickelt. Hierzu gehören unter anderem genetische Algorithmen, Fuzzy Logik, Fourier-Transformationen, die Shape-Indexing-Technologie der Firma PTC, Neuronale Netze und die Cluster-Analyse. In den Projekten PAK (Produkte Automatisch Klassifizieren) und KLAUSTER (Klassifikationssysteme automatisch erstellen) wurden Konzepte zur automatischen Klassifizierung entwickelt und prototypisch umgesetzt. Neben der Erweiterung der automatischen Klassifizie-

<sup>1</sup> nach [vgl. Guld-05, S.24]

rung um funktionale Merkmale stellt die Überführung von manuell gepflegten Klassifikationsystemen in automatische Systeme einen weiteren Forschungsbedarf dar [vgl. Guld05, S156 und Grab-02, S223f].

### 3.2.3.2 Strukturdaten

Aus Gründen der Übersichtlichkeit und Eindeutigkeit ist eine Gliederung des Produktes in seine Haupt- und Untergruppen bis hin zu den Einzelteilen erforderlich [Wien-05]. Grundlage für eine solche Strukturierung und die Ordnung der Fertigungsunterlagen ist die in DIN 199 beziehungsweise VDI 2215 benannte **Erzeugnisstruktur** beziehungsweise **Erzeugnisgliederung**. Sie teilt ein Erzeugnis nach Funktions-, Fertigungs- oder Montagegesichtspunkten in kleinere Einheiten (Einzelteile, Baugruppen, Normteile, Rohmaterial,...) ein. Kennzeichnend für die Erzeugnisgliederung sind das Vorhandensein von nicht weiter zerlegbaren Einzelteilen und das Zusammenfassen solcher Teile zu Gruppen. Die so erzeugten Strukturebenen der Erzeugnisgliederung werden als Stufen oder Ordnung bezeichnet und ausgehend vom Erzeugnis auf der Strukturstufe Null stufenweise hoch gezählt [vgl. Pahl-05, S. 525; Conr-05, S. 227]. Entsprechend der Erzeugnisgliederung wird die technische Dokumentation aus Zeichnungen und Stücklisten im Unternehmen zusammengestellt.

Ziele einer Erzeugnisgliederung sind nach VDI 2215:

- Förderung der Wiederverwendung von Baugruppen,
- Förderung der Normung,
- Vereinheitlichung von Zeichnungs- und Stücklistenaufbau für alle Produkte,
- Erleichterung der Angebotskalkulation,
- Vereinfachung der Auftragsabwicklung,
- Beschleunigung der Materialdisposition,
- Verbesserung der Fertigung, Montage und Terminsteuerung.

Stücklisten lassen sich als eine analytische Betrachtung der Erzeugnisgliederung interpretieren [Wien-05, S. 160]. Die **Stückliste** ist ein für einen bestimmten Zweck vollständiges, formal aufgebautes Verzeichnis für ein Produkt, das alle Teile oder Gruppen mit Angabe von Benennung, Sachnummer, Menge und Einheit enthält. Stücklisten sollen die Erzeugnisgliederung erkennen lassen und können, gemäß der Art wie diese Erzeugnisgliederung dargestellt ist, in Stücklistenarten unterteilt werden.

Nach der Darstellungsform unterscheidet man dabei zwischen<sup>1</sup>:

- Mengenübersichts-Stückliste:  
enthält für das Erzeugnis nur die Auflistung der Einzelteile mit Identifikationsnummern und Mengenangaben. Die Erzeugnisstruktur wird nicht wiedergegeben.
- Struktur-Stückliste:  
bildet die Erzeugnisstruktur mit allen Gruppen und Teilen ab. Jede Gruppe ist bis zur höchsten Stufe aufgegliedert.
- Baukasten-Stückliste:  
ist die einstufige Auflösung eines Erzeugnisses. Sie enthält nur Gruppen und Teile der nächst- tieferen Stufe. Mengenangaben beziehen sich auf die im Kopf genannte Gruppe. Der Stücklistensatz des Erzeugnisses setzt sich im Allgemeinen aus mehreren Baukasten-Stücklisten und ggf. anderen Stücklisten zusammen.
- Varianten-Stückliste:  
enthält alle Teile jeder möglichen Produktvariante. Durch die Festlegung der auftrags-

---

<sup>1</sup> Mit dem steigenden Einsatz von Stücklistenprogrammen haben sich noch viele weitere verwendungsspezifische Stücklistenarten gebildet [vgl. Conr-05, S. 245]. Folgende verwendungsbezogene Stücklistenarten sind erwähnenswert [vgl. Voeg-99, S. 114]: Konstruktions-/ Funktions-Stückliste, Fertigungs-/Montage-Stückliste, Dispositions-Stückliste, Kalkulations-Stückliste, Ersatzteil-Stücklisten.

spezifischen Produkt-Eigenschaften und Ausführungen werden die Komponenten ausgewählt [Voeg-99, S. 116].

Da Varianten-Erzeugnisse in zunehmendem Maße vom Markt gefordert werden, erhalten Variantenstücklisten eine besondere Bedeutung. Variantenstücklisten unterscheiden sich in Gleichteilstücklisten und Plus-/Minus-Stücklisten. Die Gleichteilstücklisten dienen der Verringerung der Datenredundanz. Sie unterteilt das Produkt in kundenanonyme Gleichteilgruppen und varianten-(kunden-)spezifische Variantengruppen. Plus-/Minus-Stücklisten sind von allen Stücklistensystemen die flexibelsten aber auch die kostenintensivsten. Eine Produktvariante wird hierbei als Grunderzeugnis definiert. Die Unterschiede zu anderen Varianten werden durch Plus- bzw. Minusteile ausgedrückt. Je mehr Baugruppen durch Kundenvarianten geändert werden desto eher bietet sich diese Form der Stückliste an, je mehr Gleichteile vorhanden sind, desto besser eignet sich die Gleichteilstückliste [vgl. Schu05, S.144].

Eine Sonderform der Variantenstückliste ist die von SCHUH entwickelte **Variantenbaumstruktur**. Die Basis bildet ein Grund- oder Trägerbauteil. Alle weiteren Anbauteile sind entsprechend ihrer Montager Reihenfolge durch Linien mit dem Trägerbauteil verbunden. Durch Darstellung der nach jedem Teilvorgang erreichten Baugruppenvielfalt, gelangt man zu dem von SCHUH definierten Variantenbaum [vgl. Schu-05, S 146ff].

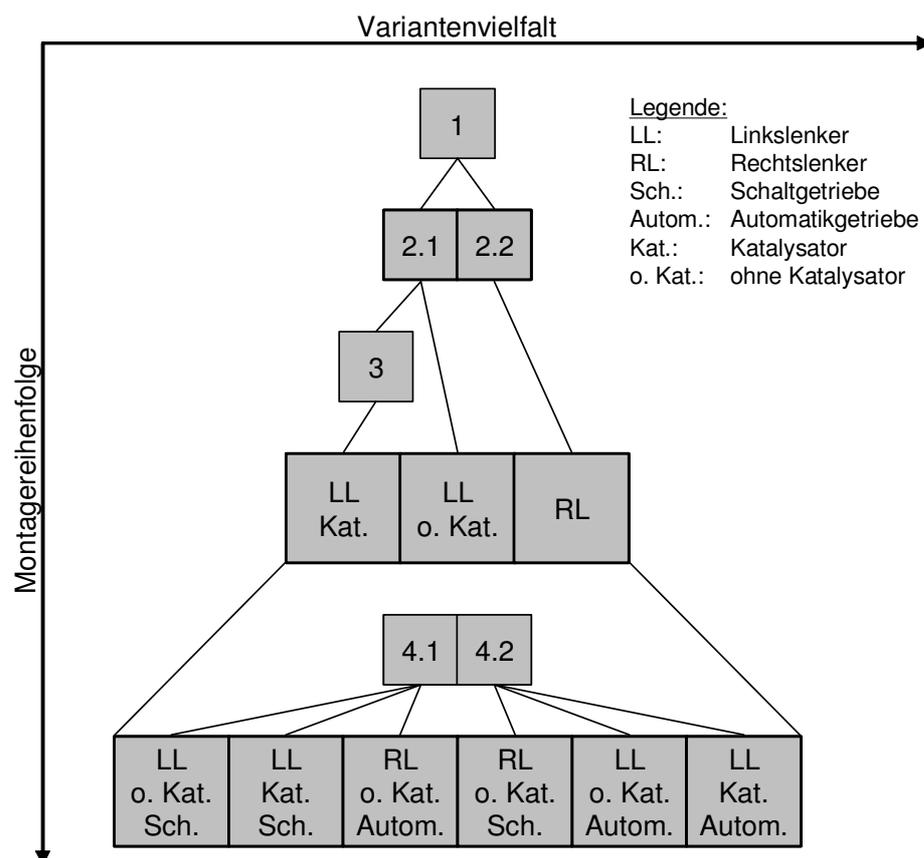


Abbildung 3-13: Variantenbaumstruktur am Beispiel eines PKW<sup>1</sup>

<sup>1</sup> nach [Schu-05, S. 147]

SCHUH kombiniert somit eine fertigungsbezogene Sichtweise auf die Erzeugnisstruktur mit einer variantenbezogenen Sichtweise mit dem Ziel, die Variantenvielfalt darzustellen und zu optimieren.

Im Gegensatz zu Stücklisten stellen Verwendungsnachweise eine synthetische Betrachtung der Erzeugnisstruktur dar [Wien-05, S. 160]. Die Aufgabe des **Verwendungsnachweises** ist es Antwort auf die Frage zu geben, in welchen Gruppen ein Teil enthalten ist [Voeg-99, S. 117]. Der Verwendungsnachweis gibt die Verwendung eines Teils in einer Baugruppe oder einem Erzeugnis als Liste an und ist für Änderungen in der Konstruktion und die Beschaffung im Materialwesen nützlich. Mit dem Einsatz von Stücklistenprogrammen können Verwendungsverweise automatisch aus den Stücklisten abgeleitet werden [Wien-05, S.166].

Die Detaillierung der Erzeugnisgliederung mit konkreten Komponenten bildet die **Produktstruktur**. Die Erzeugnisgliederung mit den strukturierten Gruppen bildet dabei das feste Gerüst der Produktstruktur [vgl. Schi-02, S. 106]. Die Einzelteile oder Zusammenbauten, die sich unterhalb dieser Gruppen in der Produktstruktur befinden, sind dagegen variabel (Austauschteile, Variantenteile). Die Reduzierung einer Produktstruktur auf die festen Gruppen ergibt demnach die Erzeugnisgliederung. Durch die Beschränkung auf die Erzeugnisgliederung wird die Komplexität einer Produktstruktur deutlich reduziert, was sich besonders hilfreich bei der ersten Planung eines Produkts erweist [vgl. Schi-02, S. 106].

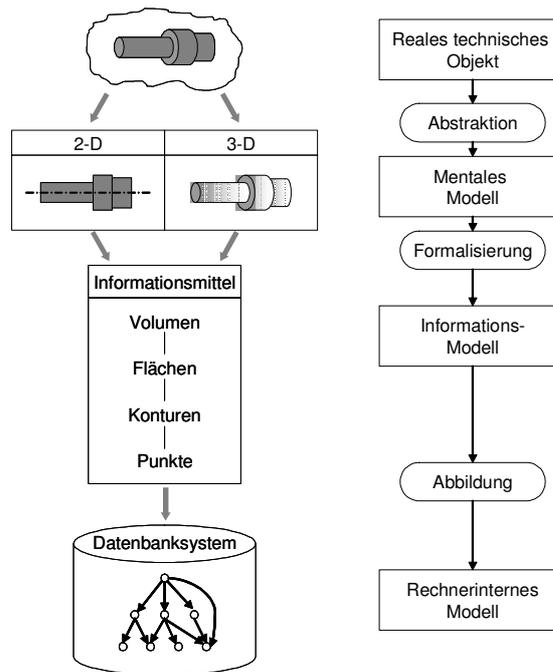
Die Produktstruktur gliedert nicht nur das Produkt und dokumentiert die Beziehungen zwischen den Bauteilen, sondern kann über Attribute weitere Produkt- und Metadaten abbilden. Auch die CAD-Dokumente der Bauteile werden in die Produktstruktur verknüpft. Zur Abbildung variantenreicher Produkte werden die Variantenteile mit in der Produktstruktur abgelegt und mit Auswahlregeln versehen. Die Ausleitung eines konkreten Produktes erfolgt durch die Auswertung der Auswahlregeln. Produktstrukturen bilden den wesentlichen Bestandteil heutiger Produktmodelle.

### 3.2.3.3 Objekt- und Produktmodell

„A picture is a model of reality.“

*Ludwig Wittgenstein (österreichisch-englischer Philosoph, 1889 – 1951)*

Mit der Ablösung der zeichnungsgestützten durch die rechnergestützte Konstruktion müssen technische Objekte zum Zweck einer effizienteren Informationsverarbeitung und Ablage der Daten in Datenbanksystemen modelliert werden. Dazu wird das reale technische Objekt zunächst durch Abstraktion in ein mentales Modell überführt. Im Rahmen der Produktentwicklung existiert das reale Objekt zunächst nur als mentales Modell in der Vorstellung des Konstrukteurs. Durch Formalisierung kann das mentale Modell in ein Informationsmodell transformiert werden. Es beschreibt die Objekte durch Punkte, Linien, Konturelemente, Flächen und Volumen. Der Prozess der Formalisierung wird durch CAD-Systeme unterstützt. Die Art und Weise der Formalisierung hängen von den verfügbaren Informationsmitteln des jeweiligen Systems und dessen Programmierung ab. Je nach Verwendung der Informationsmittel entstehen unterschiedliche Informationsmodelle wie beispielsweise Draht-, Flächen- oder Volumenmodelle. Das Informationsmodell kann als rechnerinternes Datenmodell (RIM) mit einem konkreten Datenbanksystem in einer Datenbank abgelegt werden [vgl. Wien-05, S. 186, vgl. Stau-05, S. 5].

Abbildung 3-14: Modellierungsstufen von technischen Objekten<sup>1</sup>

Im Produktlebenslauf wird eine Fülle von einzelnen technischen Bauteilen modelliert mit Informationen angereichert und zum Endprodukt strukturiert. Um mit dieser Fülle an Informationen effizient arbeiten zu können, ist eine strukturierte rechnerverarbeitbare Darstellung dieser Informationen nötig. Das hierfür verwendete formale Abbild des Produktes wird als Produktmodell bezeichnet.

### Produktmodell

Ein **Produktmodell** ist die Abbildung eines Produktes in ein formales Modell. Es ist das Resultat des Produktentwicklungsprozesses, in dem alle relevanten Eigenschaften eines Produktes herausgearbeitet und im Produktmodell dokumentiert werden. Das Produktmodell entsteht durch Instanziierung des Produktdatenmodells [Spec-98, S. 10].

Im Rahmen der Produktentwicklung werden alle relevanten internen und externen Daten, Vorgänge, Informationen und Ergebnisse, die für einen Auftrag von der Angebotsbearbeitung über die Fertigung und Auslieferung bis zum Ablauf der Produktverantwortung anfallen, im Produktmodell dokumentiert [Ever-98, S. 148]. Über das Produktmodell werden die Daten für die jeweiligen Nutzer zugänglich gemacht. Ein solches Produktmodell enthält somit nicht nur geometrische Informationen, sondern auch technisch-funktionale, technologische und baustrukturelle Informationen sowie auch solche zum Konstruktions- und Fertigungsprozess. Der abbildbare Informationsgehalt soll dabei das reale Produkt hinreichend genau repräsentieren, um Rückschlüsse auf die realen Produkteigenschaften ziehen zu können [Suhm-93, in Polly-96, S. 11].

Der Begriff des Produktmodells ist von dem Begriff des Produktdatenmodells abzugrenzen.

<sup>1</sup> [nach Wien-05, S. 187]

### Produktdatenmodell

Ein **Produktdatenmodell** ist die Abbildung der Daten, die für eine Beschreibung eines Produktes relevant sind, in ein formales Modell. Es ist das Resultat des Produktdatenmodellentwicklungsprozesses [Spec-98, S. 10].

Gegenstand der **Produktdatenmodellierung** ist somit die Bereitstellung eines formalen Modells mit dem alle relevanten Produktdaten und ihre strukturellen und funktionalen Beziehungen, die im Verlauf des Produktlebenszyklus zur Zielerreichung des Unternehmens benötigt werden, abgebildet werden können. Im Rahmen der Produktdatenmodellierung wird das Schema ausgearbeitet, wie diese Daten abgelegt werden. Folgendes Bild veranschaulicht den Zusammenhang der unterschiedlichen Begrifflichkeiten:

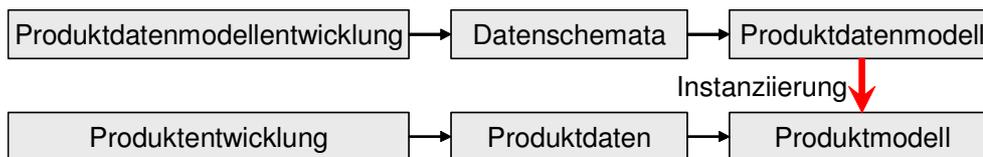


Abbildung 3-15: Produktmodell und Produktdatenmodell

Produktmodelle lassen sich nach den durch sie unterstützten Aspekten in strukturorientierte, geometrieorientierte, feature-orientierte und wissensbasierte Produktmodelle unterscheiden. Bei strukturorientierten Produktmodellen bildet die Baugruppenstruktur den Kern des Produktmodells. Bei geometrieorientierten Produktmodellen steht dagegen das Gestaltmodell im Mittelpunkt, bei feature-orientierten Produktmodellen das wiederverwendbare Gestaltmuster und bei wissensbasierten Produktmodellen die regelbasierte objektorientierte Darstellung [vgl. Wasm-98, S. 25]. Eine Sonderrolle nehmen die integrierten Produktmodelle ein. Sie vereinen Eigenschaften der vorhergenannten Modellausprägungen [vgl. Wasm-98, S. 25]. Auf sie soll nach der Betrachtung des Produktentwicklungsprozesses näher eingegangen werden.

Den Produktmodellen gemeinsam ist, dass sie versuchen die Beziehungen zwischen den einzelnen Bauteilen und Baugruppen eines Produktes darzustellen. Für diese Beziehungen lassen sich vier elementare **Beziehungsausprägungen** unterscheiden [Lesz-00, S. 9ff]:

- **Aggregationen** beschreiben hierarchische Beziehungen zwischen Objekten und Objektklassen und verwenden hierfür Ebenen zunehmender Abstraktion beziehungsweise Konkretisierung.
- **Assoziationen** stellen gerichtete, ungerichtete, uni- oder bidirektionale Zusammenhänge zwischen Objekten oder Klassen dar. Die Aggregation ist ein Sonderfall der Assoziation. Assoziationen erhalten gewöhnlich einen Namen und eine Kardinalität. Geometrische Assoziationen zwischen Bauteilen können beispielsweise durch Begriffe wie konzentrisch, rechtwinklig, drehgelenkig, verschraubt usw. ausgedrückt werden und auch komplizierte Netzwerkstrukturen (z.B. über Constraints) abbilden.
- **Variationen** werden durch UND, ODER und NICHT-Operatoren auf unterschiedlichen Hierarchieebenen einer Produktstruktur gebildet. Bei Bauteilvariationen werden in derselben Produktstruktur unterschiedliche Bauteilvarianten verwendet. Bei Strukturvarianten werden Bauteile durch Baugruppen ersetzt, Bauteile unter einer Hierarchiestufe zusammengefasst oder auf andere Hierarchiestufen verschoben.
- **Änderungen** beschreiben die Zustände der Produktstruktur über die Zeit. Die verschiedenen Änderungsstände erhalten hierbei zeitliche Gültigkeiten.

LESZINSKI bewertet vor dem Hintergrund der Visualisierungsmöglichkeiten verschiedene methodische, PDM-orientierte und geometrieorientierte Produktmodelle hinsichtlich ihrer Unterstützung dieser Beziehungsausprägungen. Das für diese Arbeit besonders relevante

„Strukturmanagement variantenreicher Produkte“ wie es in der Produktvariantenstruktur der SAP AG realisiert ist, hat besondere Stärken in der Abbildung von Produktvarianten, unterstützt jedoch nicht die Abbildung von Assoziationen zwischen Bauteilen [Lesz-00, S. 55].

Abhängig von der Produktphase oder der Disziplin kann ein Produktdatenmodell unterschiedliche Strukturierungen des Produktes ermöglichen. Diese Darstellung unterschiedlicher Strukturen des gleichen Produktes zur zielgerichteten Unterstützung von bestimmten Prozessen oder Aufgaben wird als Modellsicht oder **Sicht** bezeichnet [Arno-05, S. 209]. Aus der Menge an akkumulierten Produktdaten werden dabei genau die Daten herausgefiltert, die ein bestimmter Produktdatenkonsument benötigt. Zugleich wird sichergestellt, dass alle anderen Daten ausgeblendet sind [Schi-02, S. 97].

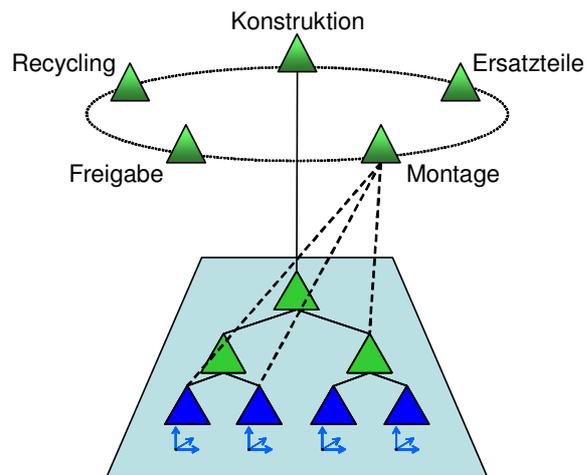


Abbildung 3-16: Sichtenbildung<sup>1</sup>

Sichten bilden nur spezifische Teilmengen der Produktdaten ab. Entscheidend für das Produktdatenmanagement ist nun, dass die Produktdatenmodellierung diesen Anforderungen Rechnung trägt und das Prinzip der Sichten berücksichtigt. Es lassen sich drei Spielarten von Sichten unterscheiden [vgl. Schi-02, S. 100ff]:

- die Attributsichten: Sie entstehen durch die Gruppierung von Produktattributen, z.B. eine Konstruktionssicht mit den Attributen Geometrie, Gewicht und Werkstoff oder eine Produktionssicht mit den Attributen Herstellkosten, Gewicht, Arbeitszeit.
- die Struktursichten: Sie zeigen die Strukturierung eines Zusammenbaus einer Produktkomponente oder eines Dokuments je nach Gesichtspunkt (as designed, as assembled, as maintained, as shipped, usw.)
- die Aggregationssichten: Sie sind Sichten auf einen bestimmten Untersuchungsumfang „zone of interest“, z.B. einen Bauraum.

Eine Aggregationssicht zeichnet sich dadurch aus, dass sie ad hoc gebildet wird, während Attribut- und Struktursichten von vornherein vorgegeben werden [Schi-02, S. 102].

Die Strukturbeziehungen eines Strukturelements multiplizieren sich bei Struktursichten mit der Anzahl der verwendeten Sichten. Daher ist das Verwalten von Struktursichten sehr komplex und ihre Pflege entsprechend aufwendig, so dass nur die notwendigen Struktursichten eingeführt werden [Arno-05, S. 209].

Sichten auf die Produktstruktur können auch auf Grund des Freigabestatus definiert werden. Während in der globalen Sicht alle Komponenten sichtbar sind, sieht man beispielsweise in der Produktionssicht nur die für die Produktion freigegebenen Artikel [PLM-05].

<sup>1</sup> nach [HaSc-04, S. 286]

Die Hauptgründe für Definition von Sichten sind Übersichtlichkeit und Sicherheit. Der große Vorteil bei der Benutzung von Sichten in der Produktstruktur ist das Repräsentieren und das Verwalten von gleichen Stammdaten für verschiedene Anwendungsfälle. Änderungen dieser Stammsätze werden automatisch für alle Sichten übernommen. Das ermöglicht nicht nur die Reduzierung der Datenbestände, sondern sichert auch die Konsistenz der Daten [PLM-05].

#### 3.2.3.4 Austausch von Produktdaten über STEP

Standards zur Produktdatenmodellierung sind für den Austausch von Produktdaten vor dem Hintergrund der zunehmenden Vernetzung und Virtualisierung von Unternehmen unerlässlich [vgl. Schi-02, S. 158]. STEP wurde mit der Intention entwickelt, diesen Austausch von Produktdaten und speziell von CAD-Geometrie Daten zu standardisieren [vgl. Schi-02, S. 161] und war somit die konsequente Fortsetzung der Standardisierungsbestrebungen, die mit der Initial Graphics Exchange Specification (IGES) in den 70er Jahren begann. STEP wurde in internationalen Bestrebungen unter Federführung der ISO (International Organization for Standardization) und in Zusammenarbeit mit dem TC 184 (Technical Committee "Industrial Automation Systems and Integration") und dem SC 4 (Subcommittee "Industrial Data") entwickelt und ist ein griffiger Jargon für die offizielle Bezeichnung **ISO 10303** "Industrial automation systems and integration Product data representation and exchange" geworden [vgl. Schi-02, S. 161]. STEP (STandard for the Exchange of Product Data) hat sich inzwischen zum wichtigsten internationalen Standard zur Beschreibung physikalischer und funktionaler Merkmale von Produktdaten entwickelt.

Durch STEP wird eine einheitliche Beschreibung von Produktdaten vorgegeben, welche wegen der phasen- und anwendungsübergreifenden Bedeutung zu den integrierten Produktmodellen zu zählen ist. STEP liefert mit dem integrierten Produktmodell die Grundlage zur Entwicklung von einheitlichen Funktionen zur Verarbeitung von Produktdaten. Zu diesen Funktionen gehören: der Produktdatenaustausch, die Produktdatenspeicherung, die Produktdatenarchivierung und die Produktdatentransformation [AnTr-00, S. 10].

Der Datenaustausch mit STEP basiert auf objektorientierten Datenmodellen, so genannten Schemata. Zur Beschreibung der Datenmodelle wurde die objektorientierte Modellierungssprache **EXPRESS** entwickelt, die auch Bestandteil der ISO Norm 10303 ist. EXPRESS erlaubt es, nicht nur Daten in objektorientierter Form zu beschreiben, sondern darüber hinaus auch den Daten durch die Formulierung von Regeln eine Semantik zu geben. Jede STEP-Datei kann man als Instanziierung eines gegebenen Datenschemas ansehen, auf dem der Datenaustausch beruht. Es gibt in STEP nicht das **Eine** Datenschema, sondern für verschiedene Anwendungsbereiche zugeschnittene Schemata. Ein Datenschema, welches einen bestimmten Anwendungsbereich abdeckt, z.B. den Automobilbau, nennt man ein Applikationsprotokoll. Dabei gibt es Grundbausteine (Integrated Resources), die über alle Applikationsprotokolle gleich sind und einen modularen Aufbau von STEP ergeben [vgl. Schi-02, S. 162].

STEP enthält neben den eigentlichen

- Modellen zur Beschreibung von Produktdaten (Integrated Resources, Anwendungsprotokolle) auch
- Beschreibungsmethoden (Description Methods),
- Implementierungsmethoden (Implementation Methods) und
- Methoden zum Konformitätstest (Conformance Testing Methodology and Framework) [ProS-04a].

STEP-Prozessoren arbeiten heute auf einem so hohen Qualitätsniveau, dass der CAD-Datenaustausch in der Industrie in rasch steigendem Maße von älteren Standards auf STEP umgestellt wird [vgl. Schi-02, S. 164].

Interpretierbare Produktdaten	IGES	SET	VDA-FS	PDDI	CAD*I	STEP
Geometrie & Topologie (2D/3D)	X	X	X	X	X	X
Zeichnungen mit Bemaßung	X	X	X	X	X	X
Produktkonfiguration (Produktversion, Stückliste)	-	-	-	-	-	X
Produkteigenschaften (Material, Gewicht,...)	-	-	-	-	-	X
Oberflächeneigenschaften (Beschichtung, Rauheit,...)	-	-	-	-	-	X
Toleranzen (Form, Lage, Maß, Passung)	-	-	-	X	-	X
Externe Referenzen	-	-	-	-	-	X
Finite-Elemente-Daten	-	-	-	-	X	X
Kinematik (Gelenkinformationen, Verfahrestrecken)	-	-	-	-	-	X
Formelemente (Tasche, Nut,...)	-	-	-	X	-	X
Arbeitsplan (Werkzeuge, Prüffhinweise)	-	-	-	-	-	X

Abbildung 3-17: Leistungsmerkmale einiger CAD-Schnittstellen<sup>1</sup>

Zurzeit wird mit Hochdruck daran gearbeitet, auch nichtgeometrische Produktdaten zusätzlich zusammen mit den CAD-Geometrien auszutauschen, um damit vor allem auch eine Kopplung der CAD-Systeme mit den PDM-Systemen zu erreichen [vgl. Schi-02, S. 164].

### 3.2.4 Systeme der Produktinformationsverarbeitung

Die Eingangs dargestellten veränderten Anforderungen des Marktes schlagen sich bis auf die Produkte und die Produktdaten durch. Der Umfang der beschreibenden Produktdaten nimmt mit der Komplexität der Produkte drastisch zu. Zudem entstehen immer komplexere Verflechtungen zwischen den produktbeschreibenden Daten und Dokumenten. Diese Veränderung der Produkte und der Produktlebenszyklen macht eine Anpassung der Datenverwaltung erforderlich. Mit verstärktem Systemeinsatz wächst die Vielfalt der Daten (2D, 3D, Bitmap, Simulationsergebnisse usw.). Durch die Veränderung der Werkschöpfungsketten hin zu Netzwerken, Kooperationen und Wertschöpfungsklustern, verteilen sich die Produktdaten stärker. Dies und der verstärkte Systemeinsatz bewirken eine Zunahme der informationstragenden Medien (z. B. Papier, Mikrofiche, elektronische Datenträger wie Bänder, CD, HDD). Damit wird die Verwaltung, Steuerung und Verteilung von Produkten durch ihre beschreibenden Produktdaten in Zukunft ohne einen effizienten und strukturierten Einsatz von Datenmanagement-Systemen nicht mehr möglich sein. Die Datenmanagement-Systeme müssen sowohl die Speicherung und Verwaltung aller relevanten Produktdaten übernehmen und organisieren, als auch deren Zugriff, Kontrolle und Steuerung effizient ermöglichen.

Heutige Großkonzerne, aber auch kleinere Unternehmen setzen die Informationstechnologie vielfältig ein. Es gibt nicht ein Datenverwaltungs-System im Unternehmen sondern viele. Diese Systeme sind auf definierte Aufgaben speziell zugeschnitten. Die Anzahl von gebräuchlichen Systemabkürzungen wie PDM, ERP, PPS, CRM, SRM, CAD, CAE usw. belegen die Systemvielfalt, die mit dem Aufkommen der Datenverwaltung entwickelt wurden. Dabei geben obige Akronyme nur eine Einordnung der gängigen Anwendungen wieder. Die Vielzahl von informationstechnischen Anwendungen im Unternehmen wird hierbei keineswegs deutlich. Sie unterstützen die Arbeit in jedem erdenklichen Aufgabengebiet. Hinzu kommt die Neigung, viele Daten in eigenen Datenbanken auf Excel, Access oder ähnlichen Anwender-

<sup>1</sup> nach [Köhl-02]. Eine ähnliche Gegenüberstellung, welche in Anwendungsgebiete und Merkmale der Spezifikation unterscheidet, findet sich bei [EvSc-96, S. 17-37]

programmen zu halten. Ein Großteil all dieser Anwendungen wird heute in ERP-Systeme eingegliedert, um den Wildwuchs an Systemen zu stoppen. Die zentralen Datenobjekte verändern sich jedoch entlang des Produktherstellungsprozesses. In der Entwicklung werden neu konstruierte Teile in CAD-Files abgelegt. Im Fertigungsprozess ist das zentrale Datenobjekt dagegen die Stückliste mit den einzelnen Artikelstämmen. Dieser unterschiedliche Fokus spiegelt sich in dem Systemeinsatz wieder. Nachfolgend werden die CAD-, PDM- und ERP-Systeme kurz umrissen.

### 3.2.4.1 CAD-Systeme

**Computer Aided Design (CAD)** bezeichnet alle Entwicklungs- und Konstruktionstätigkeiten bei denen die EDV zur graphisch-interaktiven Erzeugung und Manipulation einer digitalen Objektdarstellung eingesetzt wird [vgl. Conr-05, S. 314]. CAD-Systemen werden dabei sowohl zur Zeichnungserstellung als auch zur 2- oder 3-dimensionalen Produktmodellierung verwendet [vgl. GrFe-05, S. Y22]. Die Funktionalitäten heutiger CAD-Systeme gehen jedoch über die bloße Möglichkeit zur 3-D Modellierung hinaus. Sie sind durch folgende Funktionserweiterungen gekennzeichnet [vgl. Wien-05, S. 129]:

- Unterstützung der parametrischen Konstruktion (parametric design),
- Unterstützung der Konstruktion mit Zwangsbedingungen (constraint modeling),
- Unterstützung der variablen Konstruktion ausschließlich über Gleichungssysteme (variational design),
- Unterstützung der Konstruktion mit technischen Elementen (feature-based design).

Während die ersten 2D-Systeme die Konstruktions-Ausarbeitung als digitale Zeichnungsbretter unterstützten, eignen sich 3D-Systeme besser für die Konstruktionsphase des Entwerfens. Für die Tätigkeiten des Planens und Konzipierens sind heute dagegen noch keine CAD-Systemmodule bekannt [Conr-05, S. 318]. Die Möglichkeiten für Handskizzeneingabe und -verarbeitung sowie Symboliken zur Beschreibung von Funktionen, Funktionsstrukturen und Wirkprinzipien müssen zur Unterstützung dieser kreativ-schöpferischen Tätigkeiten erst noch verbessert werden [vgl. Phal-05, S. 731].

Zu den bekanntesten CAD-Systemen gehören heute AUTOCAD, CATIA, UNIGRAPHICS, IDEAS und PRO/ENGINEER. Durch die große Breite an Funktionalitäten und Einsatzmöglichkeiten der CAD-Systeme wird eine umfassende Gegenüberstellung und Bewertung der Systeme erschwert. In der Literatur finden sich daher zumeist nur Vergleiche, die sich auf ausgewählte Funktionalitäten beschränken.

Im Rahmen der Produktmodellierung setzt die Verwendung von CAD-Systemen nach der Formalisierung mentaler Objektmodelle ein und bilden diese mit formalisierten Informationsmitteln als rechnerinterne Informationsmodelle ab [vgl. Pahl-05, S. 80]. 2D-CAD-Systeme verwenden bei der Abbildung des Objektmodells nur Punkte und Linien. Die Ansichten, Teilansichten und Schnitte sind nicht assoziativ. Eventuell müssen daher Änderungen in einer Ansicht in anderen Sichten manuell nachgezogen werden. Trotz des Mangels an automatischer Kontrollmöglichkeit werden 2D-CAD-Systeme vorteilhaft zur Erstellung von Schaltplänen, Leiterplatten u. a. eingesetzt [vgl. Pahl-05, S. 80].

3D-CAD-Systeme verwenden bei der Abbildung des Objektmodells nicht nur Punkte und Linien, sondern auch Flächen und Volumen. Je nach Anwendung dieser Elemente können **Linienmodelle** (Drahtmodelle), **Flächenmodelle** und **Volumenmodelle** erzeugt werden [vgl. Pahl-05, S. 81]. Linien- und Flächenmodelle sind materiallos. Flächenmodelle werden besonders für nicht analytisch beschreibbare Flächen z.B. Karoserie- und Flugzeuoberflächen verwendet. Häufig werden diese Modelle als Grundlage für weitere konstruktive Entwicklungen verwendet. Volumenmodelle sind in der Lage, Körper inklusive einer Materialkennung zu beschreiben. Man unterscheidet die Volumenmodelle in körperorientierte (Constructive Solids

Geometry Model (CSG)) und flächenorientiert (Boundary Representation Model (B-Rep)) Modelle. Das CSG-Modell wird aus einzelnen einfachen Grundkörpern zusammengesetzt. Das B-Rep-Modell geht von verknüpften Flächen aus, die ein Volumen einschließen. Im Gegensatz zu einem geschlossenen Flächenmodell lässt das B-Rep-Modell eine Materialkennung in Form eines gerichteten Vektors auf der Fläche zu. CSG-Modell und B-Rep-Modell unterscheiden sich im benötigten Speicherbedarf, in den möglichen Prüf- und Korrekturalgorithmen sowie in der Vorgehensweise beim Entwurf [vgl. Pahl-05, S. 81f].

Neben den obigen Informationsmodellen werden in zunehmendem Maß so genannte „**Features**“ verwendet. Diese sind technische Elemente (Formelemente), welche aus einer geometrischen Beschreibung und einer zugeordneten technischen Bedeutung hinsichtlich Abmessung, Technologie und Funktion bestehen. Standardelemente wie beispielsweise Fasen, Rundungen, Nuten, Gewinde, Verzahnungen oder Schraubverbindungen können damit in einem Schritt erzeugt werden [vgl. Wien-05, S. 129]. Zweckmäßiger Weise werden die Features standardisiert in Feature-Bibliotheken vorgehalten, um von dort einfach aufgerufen und in das Produktmodell übernommen werden zu können [vgl. Pahl-05, S. 729].

Als Ergebnis der Modellierung liegen die geometrischen Daten als Dokumente vor. Diese wurden in den Anfängen des CAD noch manuell auf File-Servern abgelegt und Zeichnungen in Papierform archiviert. Das Dokumentenmanagement ermöglichte später eine elektronische Verwaltung der CAD-Daten und stellt heute eine der umfangreichen Funktionalitäten von Produktdatenmanagement-Systemen dar, mit der die Produktentwicklung unterstützt wird. Die Dokumente werden in den nativen Datenformaten der CAD-Anwendungssoftware erstellt und gespeichert. Für Austausch und Weiterbearbeitung wird eine Ausgangskonvertierung des nativen Formates in ein Transferformat wie z.B. STEP und eine Eingangskonvertierung in das native Format des Empfängersystems verwendet. Eine vollständige Übergabe der Strukturen und Abhängigkeiten des nativen Formates ist bei keinem bekannten Format möglich. Zur Analyse und Betrachtung der Modelle können spezielle Viewer verwendet werden. Eine Weiterentwicklung der Teile ist in diesen Formaten jedoch nicht möglich.

Die Anbieter von CAD-Systemen erweitern ihre Produkte um immer weitere Funktionalitäten. Daneben wird aus Anwendersicht die Forderung zur stärkeren Integration der CAD-Systeme in die Systemumgebung der Produktentwicklung lauter. Die erstellten Geometrien müssen ohne Informationsverluste in allen Phasen des Produktlebenszyklus durch die jeweiligen IT-Systeme genutzt werden können. Hier gibt es noch Potentiale für Produktivitätssteigerungen im Produktentwicklungsprozess.

### 3.2.4.2 PDM-Systeme

„An seinen Vorfahren kann man nichts ändern, aber man kann mitbestimmen was aus den Nachkommen wird.“  
*Francois La Rouchefoucauld (französischer Schriftsteller, 1613 – 1680)*

Eine Fortführung der technischen und organisatorischen Integrationsbestrebungen des CIM-Konzepts<sup>1</sup> findet sich heute im **Produkt Daten Management (PDM)** wieder [vgl. Kurb-99,

---

<sup>1</sup> Mit dem Konzept des **Computer Integrated Manufacturing (CIM)** wurde die Integration der technischen und betriebswirtschaftlichen Funktionen der Produktherstellung angestrebt. CAx-Systeme und PPS-Systemen sollten im CIM-Konzept enger miteinander verbunden werden. Gleichzeitig sollten sie als Datenlieferant für die Systeme der Finanzbuchhaltung und Kostenrechnung dienen [vgl. Sche-90, S. 2]. Die Bestrebungen alle Daten in einer Datenbank zu halten und hierüber eine automatisierte Prozesskette zu implementieren, führten jedoch zur Lähmung der Unternehmen. Es fehlte an leistungsfähigen Datenbanken, zuverlässigen Schnittstellen, stabilen Applikationen und brauchbaren Netzwerken [Otto-03, S.55]. Hohe Kosten, lange Einführungsduern und

S. 317ff, vgl. Schö01, S. 529]. Durch die wachsende Anzahl von technischen Informationen, Konstruktionszeichnungen und Dokumenten und den damit steigenden Anforderungen an die Datenverwaltung stieß die papiergestützte Datenverwaltung an ihre Grenzen. Es entstand die Notwendigkeit zur Schaffung des **Dokumentenmanagements (DM)**. Das Produkt Daten Management (PDM), in der englischsprachigen Literatur synonym auch **Engineering Data Management (EDM)**, ging durch Funktionserweiterungen aus diesem hervor. Die Rahmenbedingungen haben sich seit dem CIM-Konzept zum Besseren gewandelt. Die Software-Anwendungen wurden massiv weiterentwickelt und der Vernetzungsgrad der informationstechnischen Strukturen in den Unternehmen ist erheblich gestiegen.

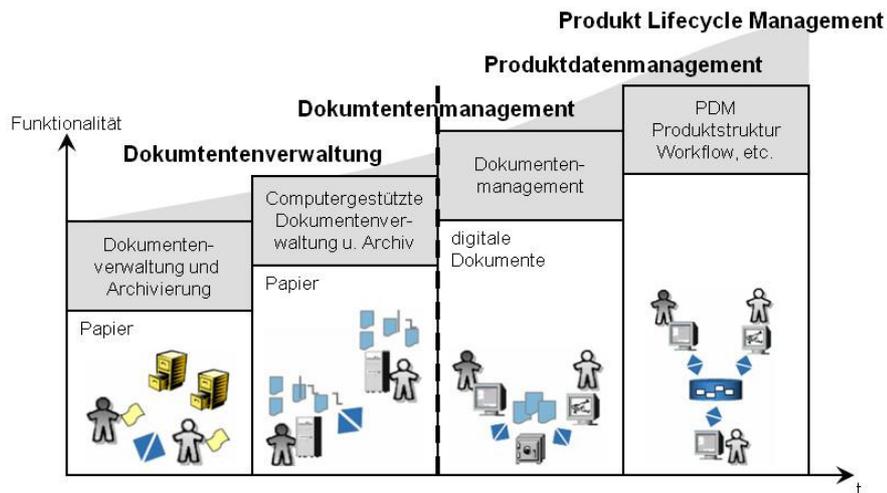


Abbildung 3-18: Entwicklung der PDM-Technologie<sup>1</sup>

Ziel des PDM ist es alle mit der Entstehung von Produkten verbundenen Informationen im Produktlebenszyklus konsistent zu speichern, zu verwalten und bedarfsgerecht allen Unternehmensbereichen zur Verfügung zu stellen [AbGe-96, S. E11f]. EIGNER und STELZER sehen die Zielsetzung des PDM in der eindeutigen und reproduzierbaren Konfiguration von Produkten und betonen dabei die Verwendung eines Produkt- und Prozessmodells [EiSt-01, S. 21]. Nach ANDERL verfolgt das PDM drei wesentliche Managementziele: Erhöhung der Produktqualität, Reduzierung der Produktentstehungskosten (bzw. Einhaltung des Kostenrahmens für die Produktentstehung) und Verringerung der Produktentstehungszeit [Ande-05, S. 6].

Abzugrenzen ist das PDM von den Begriffen **Team Data Management (TDM)** und **Produkt-Lebenszyklus-Management (PLM)**<sup>2</sup>.

Nach ANDERL bezeichnen **Team-Data-Management**-Systeme eine Systemklasse von PDM-Systemen, die sich durch eine enge Kopplung an 3D-CAD-Systeme auszeichnen [Ande-05, S. 3]. Laut DUBBEL unterstützt TDM besonders Projektteams und kooperative Pro-

vielfältige technische Probleme führten in Folge zu vermehrter Kritik am CIM-Konzept und zur sinkenden Attraktivität des Begriffs [Kurb-99, S. 317].

<sup>1</sup> nach [Ande-05]

<sup>2</sup> Zusätzlich findet sich in der Literatur auch der Begriff des Produktinformationsmanagements (PIM). IBM versteht unter dem Begriff PIM ein zentrales Produkt-Daten-Bestandssystem, welches einen konsistenten Blick auf alle verfügbaren Produktinformationen im Unternehmen erlaubt. Anders als beim PDM steht dabei die Bereitstellung der Informationen in verschiedenen Formaten über verschiedenste Medien, Schnittstellen und Standorte hinweg im Vordergrund. Produkt-, Preis- und Marketing-Informationen sollen tagesaktuell zu Vertriebs- bzw. Einkaufszwecken verfügbar gehalten werden [IBM-06].

duktentwicklung, meist vor der Freigabe von Produktdaten, wohingegen PDM das Management von Produktdaten nach der Freigabe unterstützt [GrFe-05, Y23].

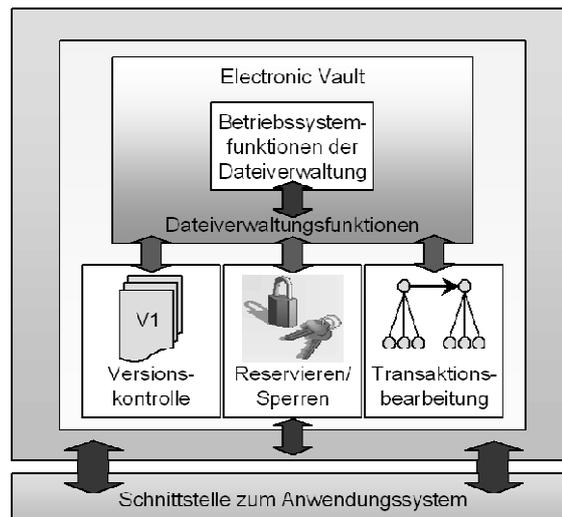
**Produkt-Lebenszyklus-Management** wird als eine Erweiterung des PDMs über den Produktentwicklungsprozess hinaus auf alle Produktlebensphase verstanden [GrFe-05; S. Y23]. Einigkeit herrscht darüber, dass PLM im Gegensatz zum PDM kein IT-System, sondern ein Sammelbegriff für die Integration verschiedener Management-Ansätze und IT-Systeme im Engineering-Bereich ist [AbSc-05a, Kapitel 3.3]

Nach ABRAMOVICI kann die Funktionalität integrierter PDM-Systeme in fünf anwendungsbezogene und einige anwendungsübergreifende Funktionsgebiete unterteilt werden [AbGe-96, S. E11f]:

- **Dokumentenmanagement**  
Zugriffsrechteverwaltung, Check-In/Check-Out Funktionalität, Versionskontrolle, Management der verschiedenen Dateitypen, Bereitstellung der Kopplung zu den jeweiligen Erzeugersystemen.
- **Struktur/Konfigurationsmanagement**  
Erstellung von Produktstrukturen, Generierung von Stücklisten bzw. Teileverwendungsnachweisen, Management von Varianten und Produktkonfigurationen.
- **Klassifizierung**  
Klassifizierung von Teilen und Teilefamilien, Bereitstellung effizienter Such- und Retrieval-Mechanismen (z.B. über Sachmerkmalleisten).
- **Prozess- und Workflowmanagement**  
Beschreibung von Arbeitsabläufen, Kontrolle von Informationsflüssen und Prozessabläufen (z.B. Freigabe-, Änderungsprozesse), Bereitstellen von Statusinformationen über Arbeitsfortschritte.
- **Projektmanagement**  
Planung und Verwaltung von Aktivitäten, Abhängigkeiten und Zeitplänen, Verwaltung von Projektmanagement-Informationen.

Die wichtigsten anwendungsübergreifenden Funktionen, die in PDM-Systemen integriert sind, sind Kommunikationstools (z.B. E-Mail), Viewingtools, Datensicherungs- und Archivierungsfunktionen sowie Module zur Datengewinnung (z.B. Scanning) und zum Datentransport.

Die Integrität der vom PDM-System verwalteten Datenbasis wird durch den sog. elektronischen Aktenschrank - **Electronic Vault** - sichergestellt. Er besteht aus geschützten Arbeitsbereichen, welche auf dem jeweiligen Speichermedium für das PDM-System reserviert sind und erlaubt anderen Applikationen keine Einsicht und keinen Zugriff auf die Daten. Über die Dateiverwaltungsfunktionen des PDM-Systems werden dem Benutzer für das Ablegen und Aufrufen von Dateien aus den geschützten Bereichen vom PDM-System die Funktionen Check-In und Check-Out zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus regelt der Dateiverwaltungsmechanismus des PDM-Systems die Versionskontrolle, das Sperren von Dateien und die Transaktionsbearbeitung [vgl. Ande-05, S100ff].

Abbildung 3-19: Funktionen des Electronic Vault<sup>1</sup>

Die VDI Richtlinie 2219 „Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung - Einführung und Wirtschaftlichkeit von EDM/PDM-Systemen“ unterscheidet die folgenden drei Systemklassen [VDI 2219]:

- Erzeugersystemorientierte Systeme: Teil- oder Zusatzmodul eines Erzeugersystems (CAD-Systems).
- Funktionsorientierte erzeugersystemübergreifende Systeme: System ohne Bindung an spezielle Erzeugersysteme mit Unterstützung bestimmter Einzelfunktionen wie Dokumenten-, Workflowmanagement oder Archivierung.
- Integrierte und übergreifende Systeme: Erzeugersystemunabhängige Systeme mit lebenszyklusübergreifenden Funktionsumfang wie Dokumenten-, Produktstruktur- und Konfigurationsmanagement.

Analog unterscheiden EIGNER und STELZER beim Zugriff eines PDM-Systems auf CAD-Daten zwischen dem Launching, der Kopplung und der Integration. Das Launching unterstützt lediglich das Starten ausgewählter Dokumente im Erzeugersystem. Die Kopplung ermöglicht es durch die Nutzung des Application Program Interface (API) des Erzeugersystems, Zugriff auf die internen Informationen der CAD-Dokumente zu erhalten. Die Integration lässt einen beidseitigen steuernden Einfluss auf das jeweils andere System zu. Dabei kann der CAD-Nutzer die Funktionalitäten des PDM-Systems in seiner vertrauten CAD-Benutzeroberfläche nutzen [EiSt-01, S. 179ff]. Die Realisierung der CAD-PDM-Schnittstelle erfolgt über Schnittstellenformate wie beispielsweise dem bereits vorgestellten STEP-Format.

Wenngleich sich PDM-Systeme aus der Dokumentenverwaltung von CAD-Systemen entwickelt haben, gibt es heute auch Beispiele für PDM-Systeme, die aus ERP-Systemen erwachsen sind. Bekanntestes Beispiel hierfür ist der Softwareanbieter SAP. SAP hat das Produkt R/3 ab dem Release 4.0 zum PDM-System weiterentwickelt. Mit dem Release 4.6C wurden die Funktionalitäten zur Unterstützung der Produktentwicklung nochmals weiter ausgebaut und werden seitdem unter dem Namen mySAP PLM geführt [vgl. HaSc-04, Einleitung]. Neben der SAP gehören IBM, Eigner und Partner und Parametric Technologie zu den bekanntesten Anbietern von PDM-Systemen.

<sup>1</sup> nach [Ande-05, S.1001]

### 3.2.4.3 ERP-Systeme

SCHÖNSLEBEN definiert **Enterprise Resource Planning (ERP)** wie folgt [Schö-02; S. 173]: „ERP umfasst eine Menge von Prozessen, Methoden und Techniken zur effektiven Planung und Steuerung aller Ressourcen, die zur Beschaffung, zur Herstellung, zum Vertrieb und zur Abrechnung von Kundenaufträgen in einem Produktions-, Handels- oder Dienstleistungsunternehmen nötig sind.“ Das Enterprise Resource Planning kann in gewisser Weise als Fortführung des Materials Requirements Planning (MRP) und des Manufacturing Resource Planning (MRP II) bzw. als eine Erweiterung der **Produktionsplanung und -steuerung (PPS)** verstanden werden [vgl. Kurb-99, S. 325, vgl. SeWa-05, S.35, vgl. KrFG-02, S.461]. Es erweitert die Sicht auf alle notwendigen Ressourcen des Unternehmens [Kurb-99, S. 325]. Dies zeigte sich auch am Beispiel des bekanntesten ERP-Anbieters SAP, welcher in seiner ERP-Software R/3 die Produktionsplanung und Steuerung (PP) lediglich als eines von vielen Modulen anbietet.

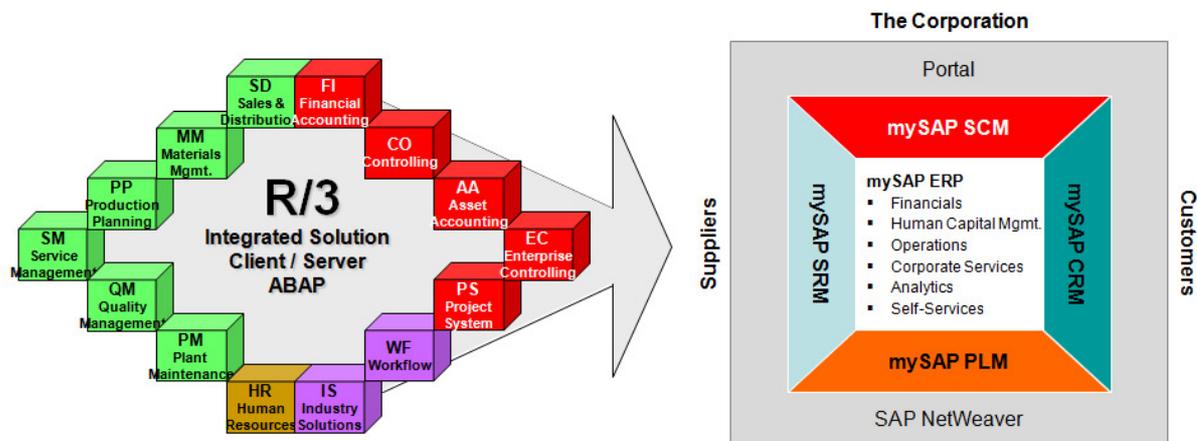


Abbildung 3-20: SAP Softwareentwicklung<sup>1</sup>

Das ERP-Konzept wurde in den 90er Jahren durch die Einbeziehung von Lieferanten und Kunden und dem Aufkommen von Customer Relationship Management (CRM) und Supplier Relationship Management (SRM) erweitert. Auch die Produktionsplanung entwickelte sich weiter und wurde zum Advanced Planning and Scheduling (APS). Am Beispiel der SAP AG lässt sich mit der Erweiterung des Produktportfolios um den Advanced Planner und Optimizer (APO) auch diese Entwicklung konkretisieren. Resultierend aus den wachsenden Anforderungen zur „Kollaboration“, der Erweiterung des e-Business zum c-Business und der einhergehenden verstärkten Nutzung der Internettechnologie für die bisherigen Anwendungen wurde von der Gartner Group nach dem Begriff ERP nun der Begriff **ERP II** geprägt. ERP II zeichnet sich durch seine "Designed-to-integrate"-Architektur, die branchenspezifische Ausrichtung des ERP-Kerns und die Öffnung der Anwendungsarchitektur zum Internet aus. Die Integration wird durch vorkonfigurierte Adapter und eine Integrationsplattform auf Basis von Enterprise Application Integration (EAI) Lösungen ermöglicht [WeSc-03, S. 12]. Gartner definiert ERP II als: "...a business strategy and a set of collaborative operational and financial processes internally and beyond the enterprise" [Zrim-02].

<sup>1</sup> in Anlehnung an SAP AG

Die wichtigsten Trends auf dem ERP-Markt können wie folgt zusammengefasst werden [vgl. Gumb-05, S. 9ff]:

- Einfachheit – insbesondere für den Endanwender
- Architektur für das Internet
- Service Oriented Architecture
- Plattformunabhängigkeit
- Skalierbarkeit
- Unterstützung der unternehmerischen Flexibilität
- Unterstützung für virtuelle Unternehmen
- Offenheit für Integration und Standards
- Möglichkeit für funktionale Erweiterungen
- Branchenlösungen
- Eignung zum Application Service Providing (ASP)
- Cost of Ownership
- Offenes Lizenzmodell
- Middleware Toleranz

Am Erfüllungsgrad dieser Trends müssen sich heutige ERP-Systeme messen lassen.

### **3.2.5 Managementmethoden zur Verarbeitung von Produktdaten**

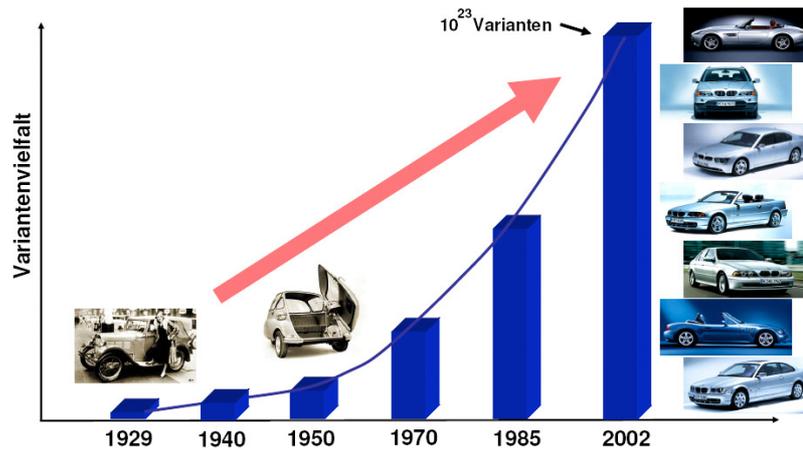
Nachfolgend werden die wesentlichen Managementmethoden zur Verarbeitung von Produktdaten untersucht. Während im Variantenmanagement die intern und extern verursachte Produktvarianz optimiert werden sollen, erweitert das Komplexitätsmanagement den Blickwinkel auch auf Organisationen und Geschäftsprozesse.

#### **3.2.5.1 Grundlagen des Variantenmanagements**

„Mit viel Weibern zeugt man viel Kinder.“  
*unbekannt*

Der Anstieg der Produktvielfalt zeigt sich an der starken Zunahme von Nischenprodukten, aber auch auf Teileebene belegen zahlreiche Beispiele diesen Trend:

- für den 3er BMW werden 18 für den 5er BMW 16 Scheinwerfervarianten produziert [EvSW-98, S. 29]
- der Audi A6 bietet 18819 Möglichkeiten eine Türverkleidung - 30mal so viel wie beim Vorgängermodell - und 152 Varianten für den Handschuhkasten [Rose-05, S. 17]
- beim Audi A4 finden sich 24 unterschiedliche Varianten eines Scheibenwaschbehälters [Rose-05, S. 17]
- Das Mercedes-Benz-Werk Rastatt lieferte innerhalb von zwei Jahren 1,1 Mio. A-Klasse aus, von denen zwei identisch waren [Auto-05b, S. 38].
- 1996 wurden mehr als 70 Milliarden mögliche Varianten des VW-Golf angeboten, von denen tatsächlich nur etwa 150000 Varianten nachgefragt wurden [Fran-02, S. 29].

Abbildung 3-21: Steigerung der Variantenvielfalt<sup>1</sup>

Der Anstieg der Variantenvielfalt war dramatisch [vgl. Ever-88, S. 45ff; vgl. EhKL-05, S. 283]. Nach IAO ist die Produktkomplexität in der Automobil- und Zulieferindustrie sowie im Maschinen- und Anlagenbau zwischen 1999 und 2003 um ca. 55% gestiegen. In der Elektrotechnik waren es sogar ca. 75% [WaPS-03, S. 13]. Nach KERSTEN hat die Variantenvielfalt bis 2002 stark zugenommen, ist in den letzten Jahren aber auf dem erreichten hohen Niveau konstant geblieben. Dabei sind mehr als drei Viertel aller Produkt- und Teilevarianten nach Unternehmensbefragungen nicht erforderlich [Kers-02, S. 1ff].

Die interne Vielfalt ergibt sich aus unternehmenseigenen technischen oder organisatorischen Defiziten [Ever-92, S. 47ff, EhKL-05, S. 287], die zum Einsatz von unterschiedlichen Teilen oder Baugruppen führen. Generelles Ziel des Variantenmanagements ist die Minimierung der **internen Vielfalt** bei gleichzeitiger Bereitstellung der vom Markt geforderten **externen Vielfalt** [Fran-02, S. 13, Ehrl-03, S. 636]. Die externe Vielfalt muss für den Kunden erkennbar sein, damit sie umsatzwirksam werden kann [vgl. Fran-02, S. 13].

Neben der Unterscheidung in interne und externe Varianten können die Varianten auch nach technischen, strukturellen oder merkmalsabhängigen Gesichtspunkten unterschieden werden. Bei **technischen Varianten** unterscheiden sich die Varianten durch unterschiedliche Geometrien, die Verwendung unterschiedlicher Materialien oder unterschiedlicher Produktionstechnologien. Bei **strukturellen Varianten** lässt sich eine Untergliederung in additive Varianten und alternative Varianten treffen. Bei alternativen Varianten muss oder kann zwischen Alternativen gewählt werden. Bei **merkmalsabhängigen Varianten** wird durch eine technische, logische oder verordnete Abhängigkeit eines Merkmals von einem oder mehreren andern Merkmalen die Variante weiter bestimmt. Beispiele für logische Abhängigkeiten ist der Verbau einer Sitzheizung bei Lederausstattung und für eine verordnete Abhängigkeit der Verbau einer Scheinwerferwaschanlage, welcher bei Xenon-Licht in Deutschland Vorschrift ist. Eine weitere Kategorisierung von Varianten kann nach dem Entstehungsgrund gebildet werden und unterscheidet dann beispielsweise zwischen Kundenvariante und Herstellungsvariante.

Das Variantenmanagement untersucht die Entstehung der Produktvarianz und versucht, mit geeigneten Mitteln die Varianz zu optimieren. Baukastensysteme, Modulentwicklungen und unternehmensübergreifende Plattformstrategien sind das Ergebnis. Definiert wird das **Variantenmanagement**<sup>2</sup> als die Entwicklung, Gestaltung und Strukturierung von Produkten und Dienstleistungen mit dem Ziel, die vom Produkt ausgehende und auf das Produkt einwirkende

<sup>1</sup> nach [BMW Group]

<sup>2</sup> Synonym wird auch der Begriff Vielfaltsmanagement verwendet.

Komplexität zu bewältigen [Schu-05, S. 37]. Eine andere Definition findet sich bei [Meng-01, S. 27]: Variantenmanagement umfasst alle Steuerungsvorgänge zur Optimierung der Variantenvielfalt und zur Beherrschung der Auswirkungen variantenreicher Produktspektren. In beiden Definitionen ist zu erkennen, dass im Mittelpunkt des Variantenmanagements das Produkt steht. Die Fokussierung auf das Produkt grenzt das Variantenmanagement von dem eng verwandten Begriff des Komplexitätsmanagements ab.

Die strategische Produktprogrammplanung befasst sich mit der Analyse des Produktlebenszyklus, untersucht ob neue Märkte erschlossen oder neue Produkte entwickelt werden müssen und definiert Marktleistungsangebote [Wien-05, S. 94]. Das operative Variantenmanagement stellt einen kontinuierlichen Prozess zur Überwachung und Steuerung des Produktprogramms dar [Hein-99, S. 41]. Die Variantenvielfalt wird dabei über den gesamten Produktlebenszyklus betrachtet und optimiert. Potenziale des Variantenmanagements liegen nicht nur in der Produktentwicklung, sondern auch in der Beschaffung, der Auftragsabwicklung und Fertigung, dem Vertrieb und der Entsorgung.

Während in den frühen Phasen der Produktentstehung Strategien der **Variantenvermeidung** Anwendung finden, rückt die **Variantenreduzierung** und **Variantenbeherrschung** in den späteren Phasen der Produktentstehung in den Vordergrund [Hein-99, S. 42]. Trotz der zu hohen Anzahl an Varianten wird der Beherrschung der vorhandenen Variantenvielfalt eine höhere Bedeutung beigemessen als den Strategien der Reduzierung oder der Vermeidung von Varianten. KERSTEN sieht die Gründe hierfür in konzeptionellen Defiziten der Methoden des Variantenmanagements, die punktuell greifen und keine permanente Steuerung der Vielfalt ermöglichen [Kers-02, S. 3f, vgl. Wild-98, S. 32].

Dem Variantenmanagement ist deswegen eine hohe Bedeutung beizumessen, weil die Variantenvielfalt auf der einen Seite eine Vielzahl marktwirksamer Nutzenfaktoren birgt, auf der anderen Seite aber auch signifikante negative Wirkungen auf die Unternehmenseffizienz haben kann [vgl. Kers-02, S. 17f]. Folgende Abbildung fasst diese Effekte zusammen:

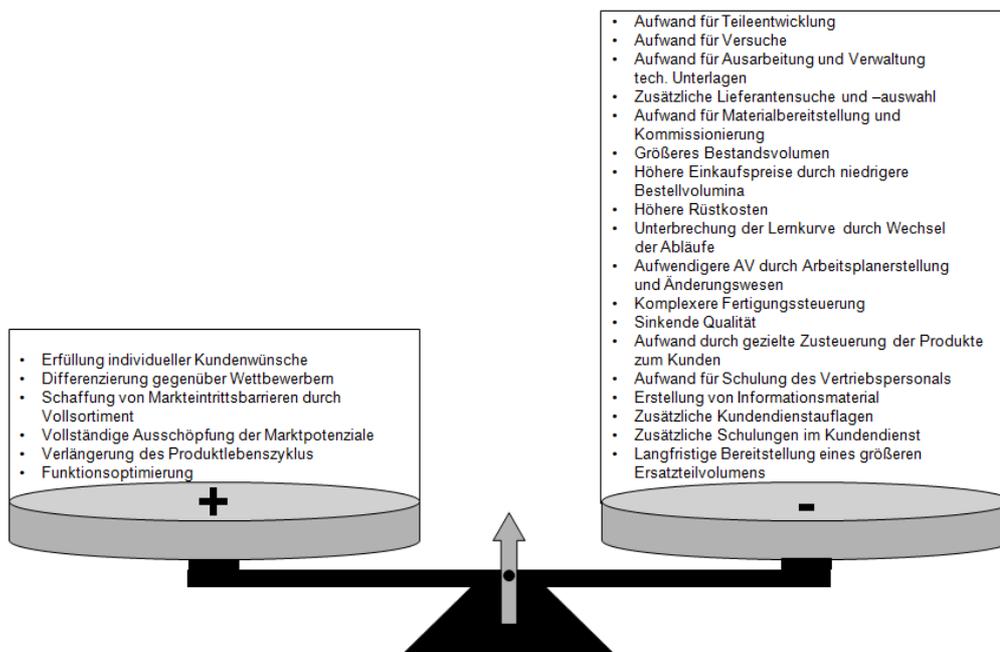


Abbildung 3-22: Wirkungen der Variantenvielfalt<sup>1</sup>

<sup>1</sup> nach [vgl. Kers-02, S. 17f]

### 3.2.5.2 Die Variantensystematik im Fahrzeugbau

Die Planung der Produktvarianten basiert auf der Variantensystematik des Produktes. Die Variantensystematik wird durch die Merkmale des Fahrzeuges beschrieben und gliedert diese zu einer hierarchischen Sichtweise. Es wird versucht, ähnliche Fahrzeugumfänge in Gruppen zu klassieren beziehungsweise gegen unähnliche abzugrenzen. Hierdurch sollen gemeinsame Umfänge auch gemeinsam geplant und entwickelt werden können. Zudem wird der sprachliche Umgang mit der Produktvarianz erleichtert.

Bei BMW wird in drei wesentliche Gruppen untergliedert: die Typmerkmale, die SALAPA- (Sonderausstattung, Länderausführung, Pakete) Merkmale und die AFL- (Art, Farbe Lackierung) Merkmale. Die Grundlage der Variantensystematik und somit auch für die Variantenplanung bilden die Fahrzeugtypen. Sie werden durch die Typmerkmale definiert. SALAPA- und AFL-Merkmale werden je Fahrzeugtyp vergeben.

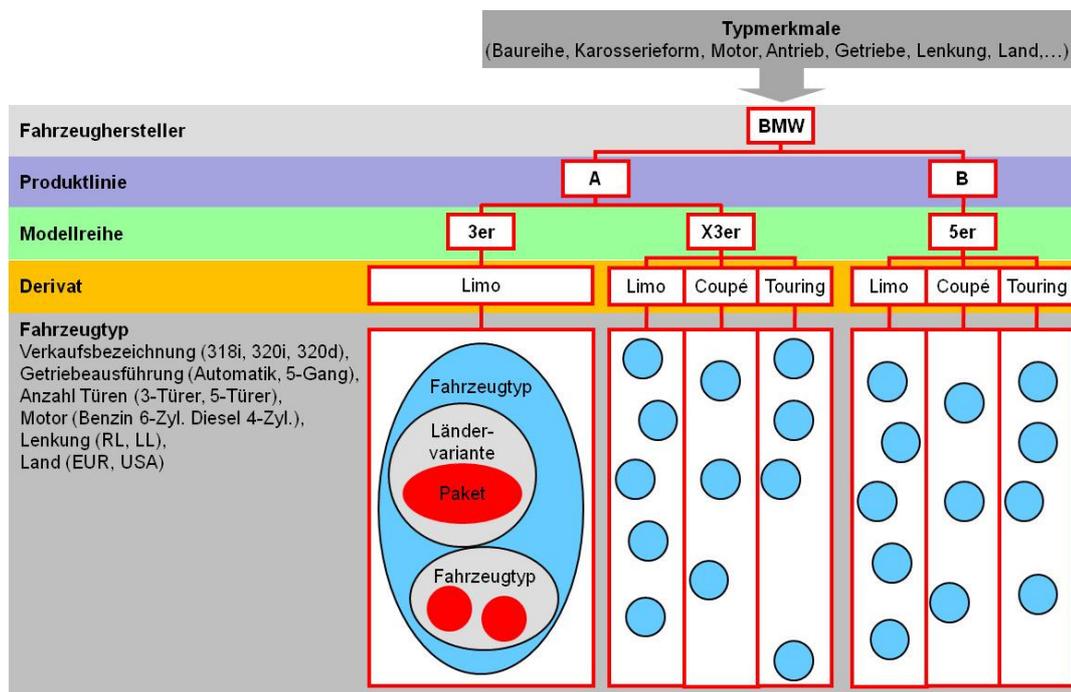


Abbildung 3-23: Variantensystematik bei der BMW AG

An der Spitze der Variantensystematik steht die **Produktlinie**. Die Untergliederung in Produktlinien basiert zumeist auf der Verwendung unterschiedlicher Bodengruppen und Plattformen. Bei Mercedes sind dies beispielsweise die Plattform W203 für die C-Klasse, W211 für die E-Klasse und W221 für die S-Klasse. Auf dieser Ebene der Variantensystematik wird damit bereits ein wesentlicher Teil des späteren Fahrzeugumfanges vorgegeben. Unterhalb der Produktlinie werden die **Modellreihen** abgebildet. Bei BMW sind dies beispielsweise 3er, 5er und 7er. Die nächste Ebene bildet das **Fahrzeugderivat**. Es wird hauptsächlich entsprechend der Karosserieformen nach DIN 70011 gebildet und beispielsweise in Schrägheck, Stufenheck und Kombi untergliedert. Dabei ist die Karosserie oftmals bis zur B-Säule identisch. Derivate sind bei BMW beispielsweise 3er Limousine, 3er Touring oder 3er Cabriolet. Ein **Fahrzeugtyp** beschreibt eine bestimmte Ausprägung eines Derivates. Er wird durch Festlegung weiterer Typmerkmale definiert. Bei BMW gehen hier die Verkaufsbezeichnung (z.B. 318i, 320i, 320d), die Getriebeausführung, die Anzahl der Türen, der Motor und die Lenkung mit ein. Unterhalb des Fahrzeugtyps werden verschiedenen **Ländervarianten** gebildet. Sie definieren diejenigen technischen Veränderungen, welche für die Zulassung des Fahrzeugtyps im jeweiligen Land erforderlich

sind, also landesspezifischen Anforderungen an Sicherheit, Abgasnormen und ähnliches. **Pakete** stellen gängige Kombinationen gefragter Sonderausstattungen dar. Sie werden unterhalb der Ländervarianten geschnürt, um attraktive Angebote für den Kunden anbieten zu können.

Während die produktbeschreibenden Merkmale permanent den sich wandelnden Kundenanforderungen angepasst werden müssen, sollte die Variantensystematik selbst (Produktlinie->Baureihe->Derivat->Fahrzeugtyp->Ländervariante->Paket) stabil bleiben. Sie ist die Grundlage vieler Abstimm- und Steuerungsprozesse, im Unternehmen stark verwurzelt und durch die Mitarbeiter verinnerlicht. Änderungen dieser Variantensystematik erfordert daher einen aufwendigen Change-Management-Prozess und eine effektive Kommunikation im Unternehmen.

### 3.2.5.3 Variantenkostenrechnung

Eine zu hohe Variantenvielfalt führt zu einem Anstieg der Komplexität und einer nicht-optimale Ressourcennutzung. Dadurch können dem Unternehmen erhebliche Opportunitätskosten entstehen. Sie werden als Ablaufstörungen in der Fertigung, Markteintrittsverzögerungen bei Neuprodukten oder Lieferschwierigkeiten und mangelnde Termintreue wahrgenommen [Kers-02, S.20f]. Die kostenerhöhende Wirkung der Variantenvielfalt schlägt sich in Kapazitätsanpassungen z.B. durch die Schaffung neuer Fertigungsstrukturen oder die Implementierung aufwendigerer EDV-Systeme schrittweise in den Gemeinkosten nieder. Da die Kostenwirkungen meist irreversibel sind, können sie nur mit erheblichem Zeitverzug wieder abgebaut werden. Diese Kostenremanenz führt dann zu einer Ertragslücke<sup>1</sup> [Fran-02, S. 28f]. Wird der Variantenvielfalt nicht entgegengesteuert, laufen Unternehmen Gefahr, in einen Teufelskreis von Variantenvielfalt und Wettbewerbsnachteilen zu gelangen, bei dem die Ertragslücke durch die Erweiterung des Produktspektrums in Nischenmärkte und die Schaffung weiterer Varianten geschlossen werden soll [vgl. Rath-93, S.52f; vgl. Fran-02, S. 1f].

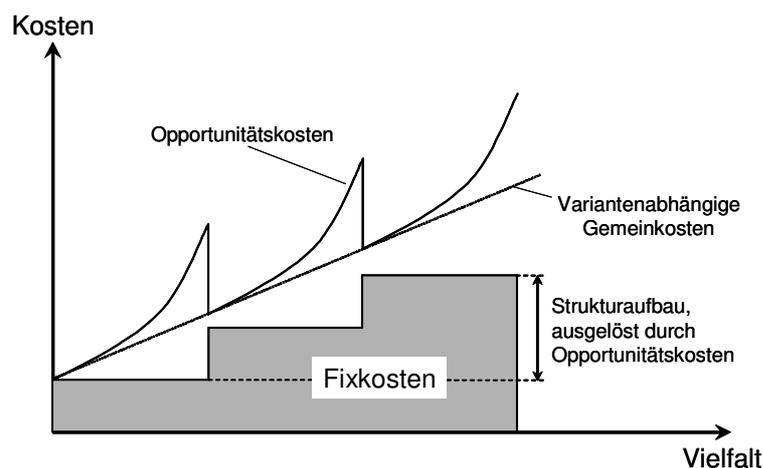


Abbildung 3-24: Vielfaltsinduzierte Kosten<sup>2</sup>

Eine der Ursachen dafür, dass unnötige Variantenvielfalt in Unternehmen nicht erkannt wird, liegt in den Defiziten konventioneller Kostenrechnungssysteme. Zuschlagskalkulation und Deckungsbeitragsrechnung sind nicht in der Lage, durch Variantenvielfalt induzierte Kosten

<sup>1</sup> Dieser Sachverhalt wird auch als Hysterese-Effekt bezeichnet.

<sup>2</sup> nach [Kers-02, S. 22]

zu ermitteln und verursachungsgerecht zuzuweisen [Kers-02, S. 23]. Allokationseffekte, Degressionseffekte, Komplexitätseffekte und der als Hystereseeffekt bekannte Sachverhalt der Kostenremanenz verfälschen die Kostenanalysen und führen zu falschen Schlussfolgerungen. Diese Effekte muss eine Variantenkalkulation berücksichtigen. Ferner stellt die Anzahl der Kalkulationsobjekte ein zu lösendes Problem dar. Die Enderzeugnisse können bei hoher Variantenvielfalt nicht mehr als eigenständige Kostenträger behandelt werden [Fran-02, 26ff]. Die Aufgaben der Variantenkostenrechnung lassen sich in vier wesentliche Punkte gliedern [Fran-02, S. 30]:

- Variantenkalkulation: Bei der Variantenkalkulation empfiehlt FRANKE et al. die merkmalsbezogene Plankalkulation. Gegenüber der enderzeugnisorientierten Kalkulation kommt sie mit deutlich weniger Kalkulationseinheiten aus, da die Variantenmerkmale nur additiv und nicht multiplikativ kombiniert werden [Fran-02, S. 33]. Für eine Grobplanung und Bestandsbewertung kann auch eine Variantenkalkulation über Standardproduktvarianten und Planherstellkosten für die Ausstattungsvarianten herangezogen werden [Fran-02, S. 31].
- Analyse der Kostenstruktur: Ein Schwerpunkt der Kostenstrukturanalyse liegt in der Flexibilität bzw. Abbaufähigkeit der Kostenstruktur. Hierfür ist eine mehrstufige Fixkostendeckungsrechnung geeignet. Dabei werden die Fixkosten in diskreten Abbauezeitintervallen auf Fixkostenstufen verrechnet. Als Fixkostenstufen sind neben Produktarten und –gruppen auch Kundengruppen, Kostenstellen, Absatzgebiete usw. möglich [Fran-02, S. 34].
- Bereitstellung von Kennzahlen zur Steuerung der Variantenvielfalt: Neben Umsatz, Selbstkosten, Gewinn und Deckungsbeitrag sind speziell die relativen Kosten/ Nutzen von Merkmalsausprägungen und die sich daraus ergebende Variantenausprägungskennzahl für die Steuerung von Produktvarianten relevant [Fran-02, S36]. Relative Kosten/ Nutzen ergeben sich aus dem Quotienten zwischen Kosten/ Nutzwert einer Ausprägung und Kosten/ Nutzwert der Standardausprägung. Die Kosten müssen dabei verursachungsgerecht ermittelt werden. Hierfür bietet sich die Prozesskostenrechnung an. Die Nutzwerte können über die relative Vorziehungswürdigkeit einer Alternative im Rahmen einer Conjoint Analyse ermittelt werden. Die Variantenausprägungskennzahl ergibt sich aus dem Verhältnis von relativem Nutzen und relativen Kosten [Fran-02, S. 35ff].
- frühzeitige Kostenschätzung: Zur Kostenabschätzung schlägt FRANKE et al. für die auftragsbezogene Kleinserienfertigung die prozessanaloge Angebotskalkulation<sup>1</sup> vor. Basierend auf einem Stücklistenvergleich mit einer bekannten Basisvariante werden die Zeitaufwände für eine konstruktive Umsetzung einer Variante und darauf basierend die Selbstkosten abgeschätzt. Für einen Fahrzeughersteller ist eine auftragsbezogene Kalkulation aus Aufwandsgründen abwegig. Hier finden Verfahren der konstruktionsbegleitenden Kalkulation immer mehr Verbreitung. Ausgehend von den CAD-Daten oder Arbeitsplänen werden die nötigen Fertigungsschritte und die dabei anfallenden Kosten überschlagen. Bei [Reis-02, S. 24ff] findet sich eine detaillierte Darstellung bekannter Systeme zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation.

Durch den Wandel zum Käufermarkt sind die Unternehmen gezwungen, ihre Produkte stärker an den Kundenwünschen auszurichten. Damit gewinnt die Frage nach dem Preis, den eine Kunde für ein bestimmtes Produktmerkmal zu zahlen bereit ist, in der Produktplanung mehr an Bedeutung. Unterstützt werden die Bestrebungen, ein Produkt an die Bedürfnisse des Marktes auszurichten, durch das Zielkostenmanagement (Target Costing).

---

<sup>1</sup> Entwickelt im Rahmen des EVAPRO (Methoden und Werkzeuge zur Kostenreduktion variantenreicher Produktspektren in der Einzel und Kleinserienfertigung) Projektes

Dabei werden die Plankosten nicht vergangenheitsbezogen ermittelt, sondern aus dem am Markt voraussichtlich erzielbaren Preisen abgeleitet. Ausgehend von den Kundenerwartungen und der angestrebten Zielrendite werden die erlaubten Kosten auf die Produktkomponenten herunter gebrochen und den entsprechenden Stufen im Entwicklungsprozess zugeordnet [vgl. KaBr-03, S. 200]. EHRENSPIEL et al. sieht drei Hauptgründe für den dauerhaften Erfolg des Target Costing [vgl. EhKL-05, S. 51f]:

- Es wird die genaue Analyse der Marktsituation und der Marktentwicklung erzwungen.
- Bei mitlaufender Kontrolle der a priori festgelegten Teilzielkosten können eventuelle Abweichungen zum frühest möglichen Zeitpunkt erkannt und korrigiert werden.
- Target Costing berücksichtigt in der Produktentwicklung alle mit dem Produktlebenslauf verbundenen Prozesse entsprechend ihrer Vernetzung und Wichtigkeit.

Das Target Costing unterstützt besonders die frühen Phasen der Produktentwicklung, wird aber auch bei Rationalisierungsmaßnahmen, der Planung des Produktionsprozesses und in der Effizienzsteigerung der indirekten Unternehmensbereiche angewendet [vgl. HoNW-93, S. 4f].

Mit der **Ressourcenorientierten Prozesskostenrechnung (RPK)** hat SCHUH ein Kostenrechnungssystem entwickelt, welches die Probleme der konventionellen Kostenrechnungssysteme lösen soll. Es basiert auf der Prozesskostenrechnung, verzichtet jedoch auf die Aggregation von Prozessketten zu Hauptprozessen und operiert stattdessen mit einer Ressource pro Teilprozess als kleinster Einheit. Diese wird in einem Nomogramm dargestellt, welches für die Ressource einen Verbrauchsfunktion und eine Kostenfunktion abbildet.

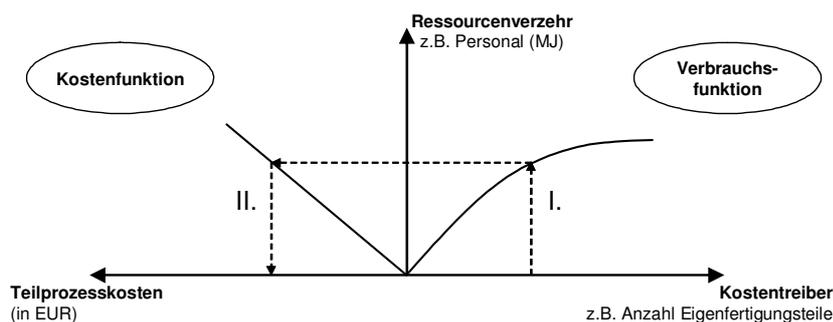


Abbildung 3-25: Ressourcenverbrauch-Kostenfunktion als Nomogramm<sup>1</sup>

Durch die Trennung von Verbrauchs- und Kostenfunktion auf einer hohen Detaillierungsstufe will SCHUH eine getrennte Analyse von Produkt-, Prozess- und Kostenveränderungen erreichen. Die RPK soll den Anforderungen des Komplexitätsmanagements entsprechend prognosefähig, verursachungsgerecht je Kostenträger, einfach in der Anwendung und integrierbar in das Rechnungswesen sein. SCHUH weist dies in [SCHU-05, S. 205ff] nach. Da die RPK auf der Prozesskostenrechnung basiert, müssen jedoch auch kritische Hinweise auf den fehlenden Wirtschaftlichkeitsnachweis und den hohen Aufwand der Prozesskostenrechnung für die RPK wahrgenommen werden [vgl. Reis-2002, S. 50].

In der Optimierung der Variantenvielfalt liegt ein Schlüssel zur Sicherung des langfristigen Unternehmenserfolges. Um die Variantenvielfalt zu beurteilen, ist neben der Kostenbetrachtung eine detaillierte Analyse des Produktspektrums unerlässlich. Methoden und Vorgehensweisen zur Analyse gibt es viele, genannt sein beispielhaft die ABC-Analyse, Zeitreihenanalyse, Clusteranalyse, Conjoint-Analyse, Variantenbaum und die Variant Mode and Effects Analysis (VMEA).

<sup>1</sup> nach [Schu-05, S. 202]

### 3.2.5.4 Konzepte des Variantenmanagements

In der Produktentwicklung ist der Variantenbildung auf operativer Ebene durch konstruktive Maßnahmen zu begegnen. Zu den Konzepten der Variantenvermeidung gehört zunächst die **variantengerechte Gestaltung** von Bauteilen, bei der die voneinander unabhängige Kombinierbarkeit von Merkmalen und Funktionen Zielsetzung der Gestaltung ist. Dies bedeutet nach Baustrukturen zu suchen, die Merkmale und Funktionen möglichst in einzelnen Baueinheiten beinhalten. Symmetrie und Überdimensionierung sind gängige Mittel, die Variantenbildung im Zuge der Gestaltung einzuschränken [vgl. Fran-02, S. 57ff]. Eine eigenständige Methodik zur Unterstützung der variantengerechten Produktgestaltung ist die Variant Mode and Effects Analysis (VMEA). Sie hilft Konstrukteuren gezielt bei der Variation von Teilen und Baugruppen und der Auswahl kostengünstiger Alternativen [vgl. Fran-05, S. 81].

**Standardisierung** und ein umfassendes **Gleichteilkonzept** stellen weitere Ansätze zur Variantenvermeidung und Reduzierung dar. Erreichbar ist dies durch Konstruktionskataloge und rechnerunterstützte Systeme zur Wissensverarbeitung. Integriert in CAD-Systeme erleichtert es dem Konstrukteur die Wiederhol- bzw. Ähnlichteilsuche [Kers-02, S. 32f].

Weitere Mittel der Variantenvermeidung liegen in der variantengerechten Anwendung der Differential-/ Integralbauweise sowie in der Anwendung von Modularisierung, Baukästen, Plattformen, Paketen und Baureihen.

Unter **Differentialbauweise** versteht man die Zerlegung eines Funktionsteils in mehrere meist fertigungstechnisch und kostenmäßig günstigere Werkstücke. Die **Integralbauweise** vereinigt dagegen mehrere Einzelteile zu einem komplexeren Werkstück [vgl. CzHe-04, S. K25]. Die Differentialbauweise begünstigt zum einen die Schaffung von Gleichteilumfängen, bedeutet jedoch auch mehr Teile und somit höhere Vielfalt. Die Differentialbauweise verschiebt die Entstehung der Varianz aus der Fertigung in die Montage und wirkt bei entsprechender Wiederholhäufigkeit positiv auf die Kostensituation [vgl. Schu-05, S. 125f]. Die Integralbauweise kommt jedoch in der Regel mit geringerem Aufwand in Fertigung und Montage aus und setzt sich mit Hilfe neuer computergesteuerter Fertigungsverfahren immer mehr durch [vgl. GrFe-05, S. F21]. Der Einsatz der Differential- und Integralbauweise ist abhängig von der Stückzahl, den Instandhaltungsanforderungen, den verwendeten Werkstoffen, den Fertigungsgegebenheiten und Montagemöglichkeiten und ist daher fallweise zu prüfen [vgl. CzHe-04, S. K25]. Bei hohen Stückzahlen empfiehlt sich wegen zu erwartender Skaleneffekte die Integralbauweise, während bei niedrigen Stückzahlen die Differentialbauweise eine größere Flexibilität gewährleistet [vgl. Fran-02, S. 72].

Unter **Modularisierung** versteht man die geeignete Gliederung eines Produktes, indem die Abhängigkeiten zwischen den Elementen (Modulen) verringert bzw. die Schnittstellenvarianten reduziert werden [Schu-05, S. 130]. Sie hilft, die Aufgaben des Konstrukteurs weg von der Konstruktion hin zur Konfiguration zu verschieben. Die Produktmodularisierung durchbricht durch Nutzung des Kombinatorikeffektes die positive Korrelation zwischen äußerer und innerer Vielfalt [Kers-02, S. 58]. Eine potenzielle Gefahr der Modularisierung ist die Anpassung der Organisation an Erfordernisse der Modulfertigung. Hiermit wird die Architektur des Produktes statisch festgeschrieben. Auch erleichtert die Modularisierung das Kopieren des Produktes durch Konkurrenten. Sie kann zudem zu einer zu geringen Ähnlichkeit von Produktvarianten führen, wodurch die Variantenvielfalt für den Kunden nicht mehr erkennbar bleibt [vgl. Kers-02, S. 76f].

Unter einem **Baukasten** versteht man Maschinen, Baugruppen und Einzelteile, die als Bausteine mit oft unterschiedlichen Lösungen durch Kombination entstehen und verschiedene Gesamtfunktionen erfüllen. Je nachdem, ob ein Baustein in allen Funktionsvarianten eines Bausteinsystems vorkommen muss oder nur kann, spricht man von Muss- oder Kann-Bausteinen

[GrFe-05, S. F29]. Synonym für den Begriff des Baukastens wird der Begriff des Zusammenbaus verwendet. Man unterscheidet zwischen Einfach-, Mehrfach- und Variantenbaukasten. Der Einfachbaukasten ist eine feste Zerlegung eines Bauteils, wohingegen der Mehrfachbaukasten werksspezifische alternative Zerlegungen beinhaltet. Der Variantenbaukasten besitzt je nach Wahl der Variante verschiedene Zerlegungen [vgl. Kohl-05, S. 238].

Werden die gleichen Bauteile über mehrere Produkte hinweg gezielt geplant und standardisiert, so spricht man von **Plattformen**. Als Plattformen können spezifische Einzelteile oder komplexe Baugruppen wie die Bodenbaugruppe von Pkw-Karosserien oder komplexe Teilsysteme wie Pkw-Sitze definiert werden [vgl. EhKL-05, S. 348]. Das Plattformkonzept sucht den Produktstrukturlebenszyklus vom Produktlebenszyklus zu entkoppeln. Gleichteilkonzepte werden über mehrere Produktlebenszyklen, Produktreihen und Firmengrenzen hinweg eingesetzt. Das Plattformenkonzept stellt einen Spezialfall der Modularisierung dar [vgl. Schu-05, S. 132]. Die Bodenbaugruppe ist der typischste Fall einer Plattform im Automobilbau. Zu dieser werden je nach Fahrzeughersteller unterschiedliche Baugruppen und Teile gezählt. Üblicherweise lassen sich neben Vorderwagen, Stirnwand, Mittelboden und Hinterwagen auch die Aggregate, Achsen, Lenkung, Bremsanlagen, Kraftstoffbehälter und Abgasanlagen zur Plattform hinzu rechnen.

**Pakete** bündeln verschiedene Anbauteile für verschiedene Funktionen bzw. Ausstattungen. Sie schränkt die Konfigurationsmöglichkeit des Endproduktes ein. Besonders in der Automobilindustrie wird mit Ausstattungspaketen gearbeitet, um den Aufwand in Entwicklung und Disposition zu reduzieren [vgl. Schu-05, S. 128f].

Unter einer **Baureihe** versteht man eine Gruppe technischer Produkte, die dieselbe Funktion mit der gleichen Lösung in mehreren Größenstufen mit weitgehend gleicher Fertigung erfüllen. Ausgehend von einem Grundentwurf werden weitere Baugrößen von dem Grundentwurf nach Normzahlreihen und Ähnlichkeitsgesetzen abgeleitet [CzHe-04, S. K24]. Baureihen sind das wirkungsvollste Mittel, ein Produkt über einen bestimmten Größenbereich zu standardisieren, um dadurch die Teilevielfalt drastisch einzuschränken [EhKL-05, S. 320].

In der Produktion liegt der Schwerpunkt auf der Variantenbeherrschung. Dabei wird das Variantenangebot nicht weiter beeinflusst, sondern man fokussiert sich auf die kosteneffiziente Bereitstellung der Variantenvielfalt. Verfolgt werden vor allen Dingen organisatorische und fertigungstechnische Maßnahmen. Einhergehend mit der Modularisierung von Produkten kommt es zu einer Fertigungssegmentierung und zur Bildung von Fertigungsinseln. Im Zuge dieser Dezentralisierung der Produktion werden Verantwortungen aus zentralen Bereichen verlagert. Der Anteil der Gruppenarbeit nimmt zu [vgl. Wien-05, S. 33ff, EvSW-98, S. 29ff]. Die Extremform der Dezentralisierung gipfelt im Begriff der „Fraktalen Fabrik“<sup>1</sup>. Auch die Flexibilisierung der Fertigungsanlagen an sich stellt einen Baustein zur kosteneffizienten Variantenbeherrschung dar. Mit flexiblen Fertigungszellen, Fertigungssystemen und Transferstraßen gelingt es heute, das Dilemma zwischen Produktivität und Flexibilität besser zu bewältigen und einer hohen Variantenvielfalt Rechnung zu tragen [SCHUH-05, S. 265]. Durch die Verlagerung der Variantenentstehung an das Ende der Wertschöpfungskette kann die Fertigung effizienter gestaltet werden [Fran-02, S. 15]. Durch Outsourcing und Fremdbezug von Teilen kann die interne Vielfalt und somit die Kostensituation im Einzelfall positiv beeinflusst werden. Weitere Potenziale liegen in der Optimierung der Beschaffung und der optimalen Steuerung der Auftragsabwicklung.

---

<sup>1</sup> Unternehmensorganisation bestehend aus weitgehend eigenständig agierenden Einheiten (Fraktalen), die eine dynamische Organisationsstruktur bilden [vgl. Wien-05, S. 51f]

Ziel der Variantenreduzierung ist es, unrentable bzw. nicht nachgefragte Produktvarianten zum optimalen Zeitpunkt vom Markt zu nehmen. Dabei ist sowohl die Bestimmung der entsprechenden Varianten als auch die Bestimmung des optimalen Zeitpunktes nicht einfach.

### 3.2.5.5 Komplexitätsmanagement

„Zuviel ist gerade so falsch wie zu wenig“  
Konfuzius (chinesischer Philosoph, 551 v. Chr. – 429 v. Chr.)

Im Fokus des Variantenmanagements steht die Produkt- bzw. Teilevielfalt. Sie hat eine enge Wechselwirkung mit weiteren „Vielfalts“-Problemfeldern<sup>1</sup>. Produktvielfalt, Kundenvielfalt, Auftragsvielfalt, Teilevielfalt und Lieferantenvielfalt bedingen sich in starkem Umfang gegenseitig. Eine hohe Teilevielfalt führt z.B. zu einer hohen Lieferantenvielfalt und führt damit nicht nur zu höherer Komplexität in Entwicklung, Lagerhaltung und Fertigung, sondern auch in Beschaffung, Service, Ersatzteilmanagement usw. [EhKL-05, S. 285]. Auch bei [Fran-02, S.12] wird darauf hingewiesen, dass die Variantenvielfalt des Produktes nur einer von vielen Komplexitätstreibern im Unternehmen ist. Das Komplexitätsmanagement erweitert den Blickwinkel auf alle Vielfaltsfelder.

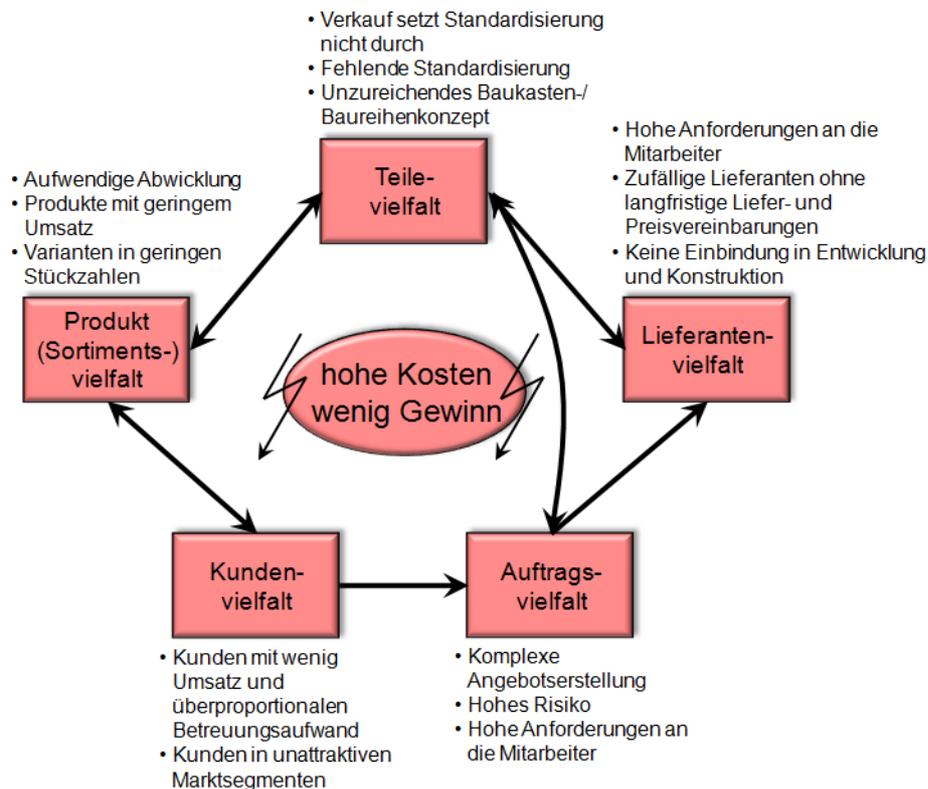


Abbildung 3-26: „Vielfalts“-Problemfelder<sup>2</sup>

Die Begriffe Vielfalt und Komplexität sind keine Synonyme. **Vielfalt** stellt vielmehr einen Faktor der Komplexität dar. Zusätzliche Komplexitätsfaktoren sind die **Vielzahl**, die **Vieldeutigkeit** und die **Veränderlichkeit** [Reiß-93, S. 54ff]. Die Vielzahl stellt dabei auf die Anzahl der Elemente und Relationen ab, während die Vielfalt ihre Unterschiedlichkeit bzw. Heterogenität zum Ausdruck bringt [WEST-00, S. 20, vgl. Fran-02, S. 8f]. Vieldeutigkeit bezeichnet

<sup>1</sup> „Vielfalt“ schließt hier „Vielzahl“ mit ein (vgl. unten)

<sup>2</sup> nach [EhKL-05, S. 285]

die Schwierigkeit sich ein klares Bild vom betreffenden System zu machen und basiert auf Wissensdefiziten. Veränderlichkeit beschreibt das Verhalten eines Systems über den Zeitverlauf. Die vier Komplexitätsfaktoren lassen sich zu einem statischen Komplexitätstreiber „Masse“ (Vielfalt + Vielzahl) und einem dynamischen Komplexitätstreiber „Dynamik“ (Vieldeutigkeit + Veränderlichkeit) zusammenfassen [vgl. Reiß-93, S. 57]. Das folgende Bild veranschaulicht diese Begriffssystematik:

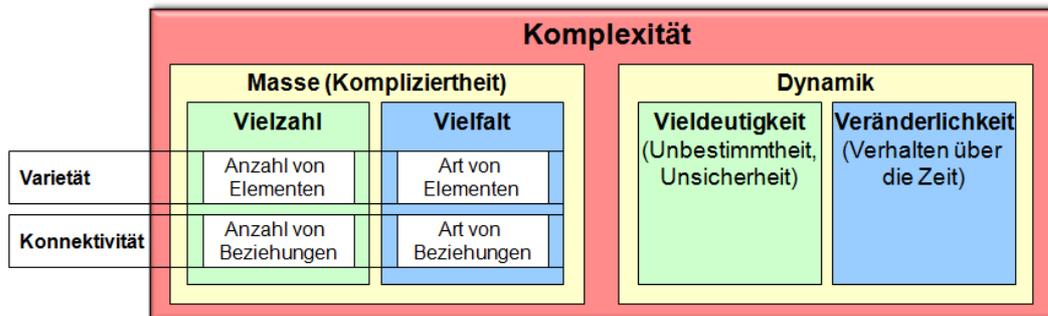


Abbildung 3-27: Begriffssystematik zur Komplexität

Der **Komplexitätsbegriff** beschreibt die Fähigkeit eines Systems, in einer gegebenen Zeitspanne eine große Zahl von unterscheidbaren Zuständen annehmen zu können [vgl. West-00, S. 19]. Hiernach verlangt Komplexität auch ein dynamisches Verhalten [vgl. Schu-05, S. 6]. Ein statisches System kann kompliziert sein aber nicht komplex, da es kein Systemverhalten aufweist. Die Kompliziertheit als Eigenschaft gibt an, dass ein System aus einer Vielzahl und Vielfalt von Teilen besteht, die miteinander vielfältig verbunden sind.

Das **Komplexitätsmanagement** bezieht Prozesse und Ressourcen mit ein und strebt die Beherrschung der Vielfalt in allen Wertschöpfungsstufen bei gleichzeitiger Maximierung des Kundennutzen und der Wirtschaftlichkeit an [Schu-05, S. 36]. Komplexitätsmanagement umfasst dabei die Gestaltung, Steuerung und Entwicklung der Vielfalt des Leistungsspektrums (Produkte, Prozesse und Ressourcen) im Unternehmen. Durch die Verstärkung und Dämpfung der Komplexität wird die Fähigkeit angestrebt, die Vielfalt in allen Wertschöpfungsstufen so zu beherrschen, dass ein maximaler Beitrag zum Kundennutzen bei gleichzeitig hoher Wirtschaftlichkeit des Leistungserstellers erzielt werden kann [Schu-05, S. 36]. Das Komplexitätsmanagement bezieht also Prozesse und Ressourcen ausdrücklich mit ein. Die Notwendigkeit auch Prozesse und Ressourcen mit in die Komplexitätsbetrachtung zu integrieren, lässt sich besonders anschaulich am Beispiel eines einfachen Produktes aufzeigen. Eine Beißzange kann durch einen Facharbeiter in wenigen Stunden hergestellt werden. Die nötige Produkt- und Prozesskomplexität kann er ohne weiteres beherrschen. Sollen dagegen 10.000 Beißzangen im gleichen Zeitraum hergestellt werden, steigt die Komplexität des Produkterstellungsprozesses – nicht des Produktes – erheblich an. Zur wirtschaftlichen Bewältigung des Prozesses müssen Maßnahmen der Komplexitätsbeherrschung, wie Artenteilung und Mengenteilung, ergriffen werden. **Artenteilung** bedeutet die Einführung von Zwischenständen im Arbeitsablauf (z.B. Produktzeichnung, Arbeitsplan, Schmiederohrteil, Fertigteile, Montage, Verpackung). **Mengenteilung** bedeutet die Aufteilung der Arbeit auf parallele Prozesse und Ressourcen [vgl. Ehl-03, S. 149ff].

Methoden des Komplexitätsmanagement wurden im BMBF-Leitprojekt „Innovative Technologien und Systeme für die virtuelle Produktentstehung (iViP)“ entsprechend dieser Strategien entlang des Produktlebenszyklus zugeordnet [Ehin-02, S. 106ff]. Die Zuordnung basiert wesentlich auf den bei der Volkswagen AG eingesetzten Methoden und kann daher keinen Ans-

pruch auf Vollständigkeit erheben. Sie ließe sich durch weitere Methoden wie die Design Structure Matrix, Simultaneous Engineering, Quality Function Deployment, Fehlermöglichkeits und Einfluss Analyse, Design for Manufacturing, Design for Assembly usw. ergänzen. Diese Methoden wurden dabei nicht alle für das Komplexitätsmanagement entworfen, aber dennoch kann mit diesen Methoden die Komplexität im Sinne des Komplexitätsmanagements beeinflusst werden.

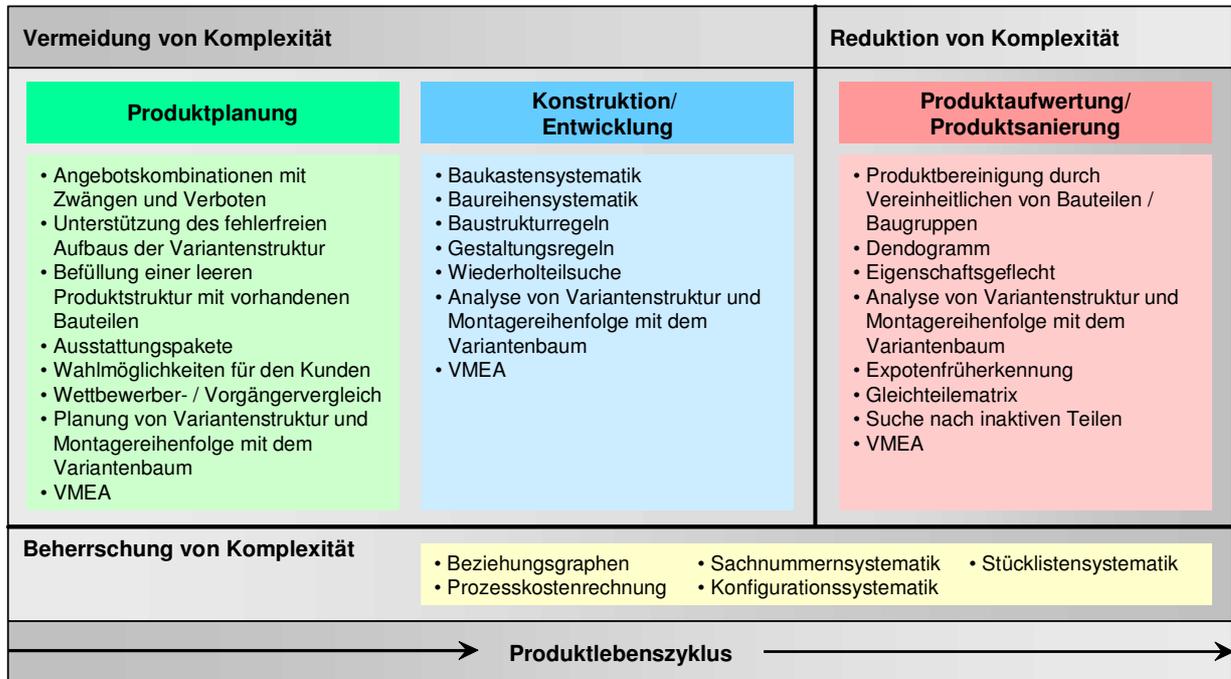


Abbildung 3-28: Methoden des Komplexitätsmanagements

In Analogie zum Variantenmanagement greift das Komplexitätsmanagement auf drei wesentliche Strategien zurück [Wil98]:

- die Komplexitätsvermeidung
- die Komplexitätsreduzierung und
- die Komplexitätsbeherrschung.

Komplexitätsmanagementkonzepte, die alle Strategien des Komplexitätsmanagements abdecken, liefern beispielsweise WILDEMANN [Wild-00] und SCHUH [Schu-05].

WILDEMANNs Ansatz beruht zunächst auf der Identifizierung der Komplexitätskostenverursacher. Hierfür spezifiziert er eine Reihe von internen (strukturelle, informations- und kommunikationsbezogene, individuelle) und externen kundenbezogenen Kostentreibern [vgl. Wild-98, S. 48]. Weil diese Komplexitätstreiber in unterschiedlicher Stärke auf alle Unternehmensbereiche wirken, ist der Komplexität mit punktuellen Maßnahmen nicht beizukommen [vgl. Wild-99, S. 32]. Um eine schrittweise Optimierung der unternehmensbezogenen Komplexität zu ermöglichen, ist es nötig, durch die Separierung in prozeßinhärente und produktinduzierte Komplexitätskosten die mit Kosten bewertenden Ursachen der Komplexität zu identifizieren. Auf Grundlage der priorisierten Ursachen und Einflußgrößen lassen sich dann folgende Aufgabenfelder zur Komplexitätsoptimierung bearbeiten:

- die prozeßorientierte Produktgestaltung durch Variantenmanagement,
- der Aufbau einer modular ausgerichteten Organisation,
- eine objektfokussierte Prozessorientierung und
- die Entwicklung einer lernenden Organisation [vgl. Wild-98, S. 54].

Diese Aufgabenfelder finden Eingang in alle unternehmerischen Prozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Das integrierte Komplexitätsmanagement nach SCHUH/SCHWENK basiert auf dem St. Galler Managementkonzept. Es schließt damit eine normative, eine strategische und eine operative Sichtweise auf die Strukturen, die Aktivitäten und das Verhalten im Komplexitätsmanagement mit ein. Auf dieser Basis und vor dem Hintergrund der strategischen Unternehmensausrichtung sowie der Unternehmenstypologie zwischen Variantenoptimierer, kundenindividueller Massenproduktion und Variantenkonfigurierer sind unterschiedliche Aktivitäten des Komplexitätsmanagements zu beherrschen. Diese Aktivitäten teilen SCHUH/SCHWENK in die folgenden vier großen Handlingscluster ein:

1. Produktvielfalt entwickeln: Im Zentrum des Handlingsclusters stehen Methoden zur Produktstrukturierung und generische Strukturierungsstrategien. Sie dienen dazu eine große Produktvielfalt nach Planung und Optimierung über Variantenbaum und VMEA wirtschaftliche anbieten zu können.
2. Produktvielfalt bewerten: behandelt die Bewertung von Gestaltungsalternativen, das Zielkostenmanagement sowie die entwicklungsbegleitende Kalkulation mit der bereits dargestellten ressourcenorientierten Prozesskostenrechnung (RPK).
3. Kommunikation und Vertrieb variantenreicher Produkte: zielt auf die verbesserte Dokumentation und Bereitstellung der Produktdaten durch Produkt-Lebenszyklus-Management und vertriebsseitige Produkt-Konfiguratoren.
4. Produktvielfalt produzieren: behandelt die Gestaltung der Leistungsprozessgestaltung unter Betrachtung der Interdependenzen zwischen Produkt und Prozess sowie die Ausrichtung der Disposition am Produktstrukturtyp.

Darüber hinaus vermittelt SCHUH/SCHWENK Grundlagen zur Einführung und Einbindung des Komplexitätsmanagements ins Unternehmen.

Vor dem Hintergrund der fortschreitenden Globalisierung der Märkte und der zunehmenden Individualisierung der Produkte darf angenommen werden, dass das Thema Komplexität in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen wird [vgl. KrFG-07, S.29]. Transparenz und die Verfügbarkeit des unternehmensweiten Wissens sowie ein effizientes Variantenmanagement werden als zentrale Aspekte zum Management der Komplexität angesehen. Die heute verfügbaren Werkzeuge und Methoden stehen in der Kritik, mehr Komplexität zu erzeugen als die vorhandene Komplexität zu verringern [vgl. KrFG-07, S.29f]. Hier herrscht weitere Forschungsbedarf.

### 3.3 Produktentstehungsprozess

„If you can't describe what you are doing as a process, you don't know what you're doing.“  
*W. Edwards Deming (amerikanischer Gelehrter, 1900 - 1993)*

Aufgrund der Vielfältigkeit und Unterschiedlichkeit wissenschaftlicher Definitionen des Prozessbegriffs leiten SCHWICKERT und FISCHER den Begriff des Geschäftsprozesses aus der Informatik ab und reichern ihn mit den wesentlichen Aspekten wirtschaftswissenschaftlicher Definitionen an<sup>1</sup>. Sie kommen so zu einer relativ allgemeingültigen Definition des Geschäftsprozessbegriffs [ScFi-96, S. 10f]:

„Ein **Geschäftsprozess** ist eine zusammenhängende Kette von Teilprozessen, die auf das Erreichen eines bestimmten Zieles ausgerichtet ist. Ausgelöst durch ein definiertes Ereignis wird

---

<sup>1</sup> weitere Quellen zur Prozessbegriffsdefinition finden sich in [ScFi-96], ausgewählte Definitionen bei [KrFG-02]

ein Input durch den Einsatz materieller und immaterieller Güter unter Beachtung bestimmter **Regeln** und der verschiedenen unternehmensinternen und externen Faktoren zu einem Output transformiert. Der Prozess ist in einem System von umliegenden Prozessen eingegliedert, kann jedoch als selbständige, von anderen Prozessen isolierte Einheit, die unabhängig von Abteilungs- und Funktionsgrenzen ist, betrachtet werden“.

Ein Prozess stellt demnach eine Menge von Teilprozessen dar, die im Sinne eines zielorientierten Vorgehens in ganz bestimmter Reihenfolge ausgeführt werden. Teilprozesse ihrerseits bilden sich wiederum aus einer Zahl von Tätigkeiten, die in einer logischen Abfolge zueinander stehen. Für diese Arbeit bilden die Tätigkeiten den analytisch kleinsten Teil eines Prozess ab.

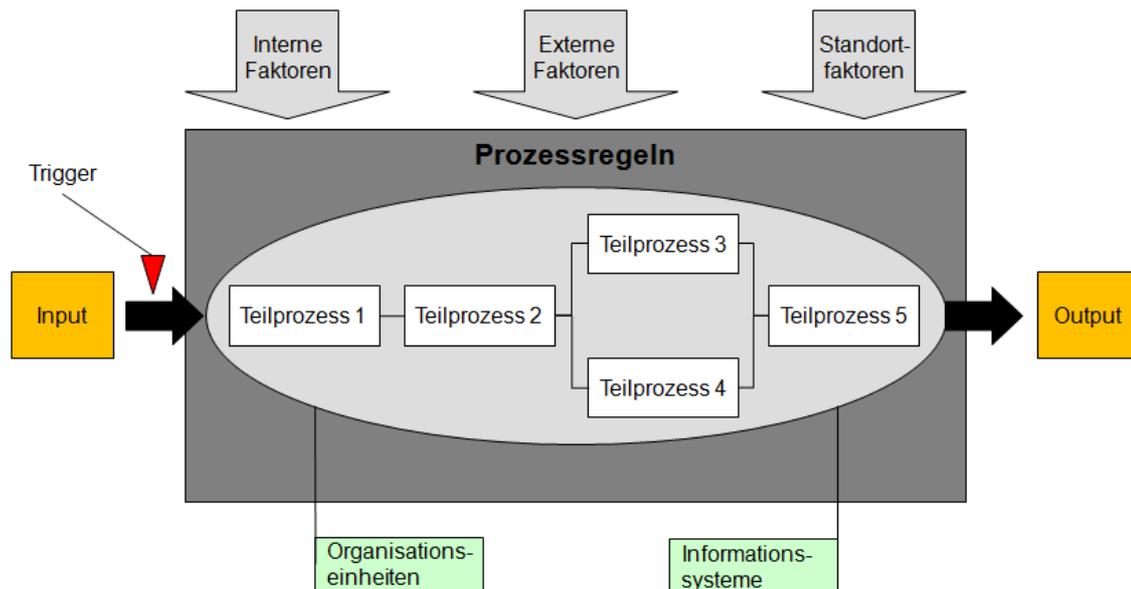


Abbildung 3-29: Struktur des Geschäftsprozesses<sup>1</sup>

Die Definition dessen, was unter einem Prozess zu verstehen ist, hängt von der subjektiven Problemsicht des Analysten ab. Seine Identifizierung ist ein kreativer und konstruktiver Akt, der nicht immer aus Beobachtungen realer Vorgänge ableitbar ist [Gait-83, S. 65].

Wesentlich für die spätere Betrachtung sind die Prozessregeln. Speziell in der Produktentwicklung nimmt ein wirksames Regelwerk zum effektiven und effizienten Umgang mit Änderungen eine wichtige Rolle ein. Ein gutes Prozessverständnis der Produktentstehung ist für die Gestaltung des Änderungs- und Freigabemanagements unerlässlich.

Anhand der nachfolgend gelisteten Merkmale können Prozesse typologisiert<sup>2</sup> werden [KrFG-02, S. 252]. Im Fokus dieser Arbeit steht der Produktentwicklungsprozess. Er ist heute speziell in der Automobilindustrie und vor dem Hintergrund der Globalisierung durch die fett markierten Merkmalsausprägungen der Tabelle gekennzeichnet.

<sup>1</sup> nach [KrFG-02, S. 251]

<sup>2</sup> Krallmann et al merken an, dass eine Typologisierung im Gegensatz zur Klassifizierung keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt [KrFG-02, S. 253].

Geschäftsprozesse	
Merkmal	Ausprägung
Auflösungsgrad	<b>Unternehmensprozess</b> – Gesamtprozess – Teilprozess – Prozesskette – Prozess – Vorgang – Aktivität
Wertschöpfung	<b>unmittelbar</b> – mittelbar – bedingt – nicht wertschöpfend
Objekt	<b>Idee</b> – Information – Material
Zeitliche Anordnung	sequentiell – <b>parallel</b> – optional
Bestimmtheit	determiniert – <b>variabel</b>
Ausführungshäufigkeit	repetitiv – <b>innovativ</b>
Struktur	analytisch – <b>synthetisch</b>
Komplexität	gering – <b>hoch</b>
Reichweite	<b>unternehmensübergreifend</b> – unternehmensweit – stellenübergreifend

Abbildung 3-30: Merkmale von Geschäftsprozessen

Zur Unterstützung der Begriffsabgrenzung soll an dieser Stelle zunächst ein didaktisches Modell des Produktentstehungsprozesses dienen, wie es beispielsweise in DUBBEL oder HÜTTE beschrieben wird [Dubb-05, S. Y14; Hütt-04, S. K1]. Der **Produktentstehungsprozess** ist hier Teil des Produktlebenszyklus und umfasst die Produktlebensphasen Produktplanung, Produktentwicklung und Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, und Produktherstellung. Im Produktlebenszyklus folgen der Vertrieb und die Produktnutzung durch den Kunden. Mit dem Produktrecycling bzw. der -entsorgung endet der Produktlebenszyklus [vgl. Dubb-05, S. Y14].

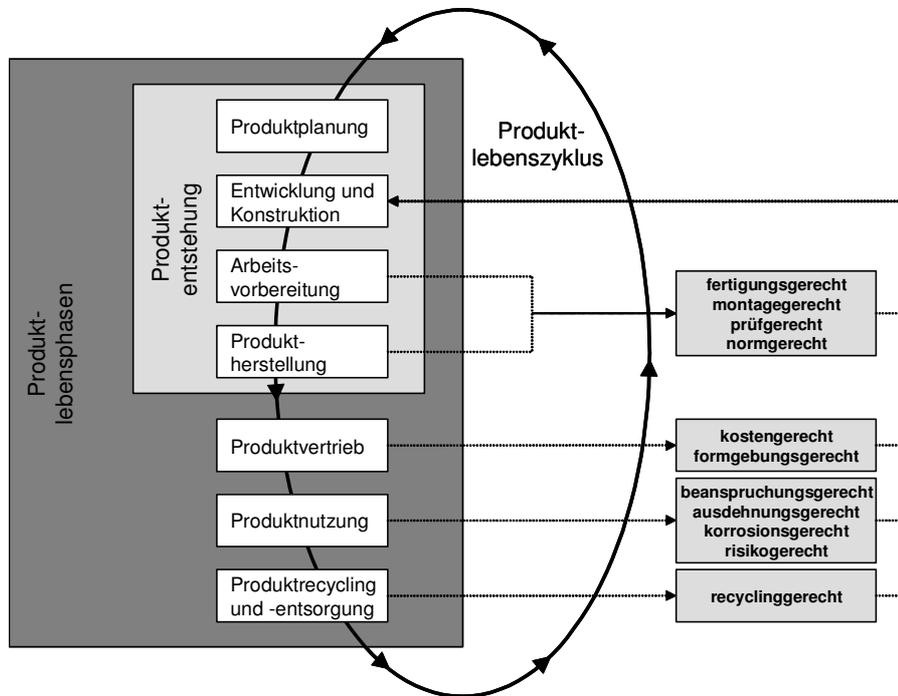


Abbildung 3-31: Phasen und Anforderungen des Produktlebenszyklus<sup>1</sup>

<sup>1</sup> nach [Ande-05, S. 5]

Die verwendeten Begrifflichkeiten sollen wie folgt definiert werden:

- Die **Produktplanung** ist die systematische Suche und Auswahl zukunftssträchtiger Produktideen und deren Verfolgung auf der Grundlage der Unternehmensziele [Conr-05, S. 67].
- Die **Konstruktion** umfasst alle Tätigkeiten zur Darstellung und eindeutigen Beschreibung von gedanklich realisierten technischen Gebilden als Lösung technischer Aufgaben [Conr-05, S. 11]. EHRELSPIEL sieht die Konstruktion als eine Funktion des übergeordneten Begriffs der **Entwicklung**. Zur Entwicklung gehören auch die Funktionen Berechnung und Versuch [Ehrl-03, S. 6].
- Die **Arbeitsvorbereitung** umfasst die Gesamtheit aller Maßnahmen einschließlich der Erstellung aller erforderlichen Unterlagen und Betriebsmittel, die durch Planung, Steuerung und Überwachung die Fertigung von Erzeugnissen entsprechend der Produktionsstrategie gewährleisten [Dubb-05, S. S105].
- Die **Produktion** (bzw. Produktherstellung) ist die Erzeugung von Sachgütern und nutzbarer Energie sowie die Erbringung von Dienstleistungen durch Kombination von Produktionsfaktoren (z.B. Güter, Dienste) [Hütt-04, S. L1]. Die Produktion wird in Fertigung und Montage untergliedert. **Fertigung** bezeichnet dabei die Herstellung von Werkstücken geometrisch bestimmter Gestalt [Dubb-05, S. S3]. **Montage** bezeichnet die Gesamtheit aller Vorgänge, die dem Zusammenbau von geometrisch bestimmten Körpern dienen [Dubb-05, S. S96].
- Der **Vertrieb** umfasst alle technischen Abläufe, die den Verkauf von Produkten oder Dienstleistungen betreffen, also den Transport von Produkten und Dienstleistungen in den Markt und zum Kunden.
- Unter **Nutzung** versteht man die Verwendung eines Betriebsmittels zur Erfüllung einer Arbeitsaufgabe [REFA-78, S. 29ff].
- Mit dem Begriff **Recycling** wird der Vorgang bezeichnet, bei dem aus Abfall ein Sekundärrohstoff wird. Die rechtlichen Vorgaben sind in Deutschland im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz niedergelegt.

Im obigen Modell des Produktentstehungsprozesses ist die Produktentwicklung in den Produktlebenslauf integriert worden. Eine andere Sichtweise bietet das Prozessmodell des Sonderforschungsbereiches „SFB392 - Entwicklung umweltgerechter Produkte“. Hier wurde bewusst auf die Integration der Produktentwicklung in den Produktlebenslauf verzichtet. Der Fokus der Produktentwicklung ist die virtuelle Definition des Produktes, während die Prozesskette des Produktlebenslaufs die Stoff- und Energieströme im Produktleben betrachtet [vgl. Daum-01, S. 16]. Auch das PLM Forum der Universität Karlsruhe greift diese Darstellung auf [vgl. PLM-05]. Der Produktentwicklungsprozess wird orthogonal zum Produktlebenslauf mit der Fertigung und Montage als gemeinsamen Schnittpunkt dieser Prozessketten dargestellt. In der Darstellung des SFB392 sind Produktentwicklung und Produktlebenslauf als lineare Prozessketten dargestellt. Beide Prozessketten sind jedoch stark durch ein zyklisches Vorgehen charakterisiert. Das folgende Prozessmodell greift die Grundidee des SFB392 auf, betont jedoch den zyklischen Charakter der Entwicklung und die Notwendigkeit zur Integration des PLM- und ERP-Ansatzes<sup>1</sup>. Die Darstellung dient als Orientierung für diese Dissertation.

---

<sup>1</sup> Es ist ausdrücklich die Integration der Konzepte und nicht die der Systeme gefordert. Die Systemintegration kann eine mögliche Konsequenz sein. Es ist dann jedoch die Integration von PDM- (nicht PLM) und ERP-System gemeint. PLM bezeichnet heute ausschließlich ein Konzept und kein System. PLM-Systeme gibt es heute noch nicht.

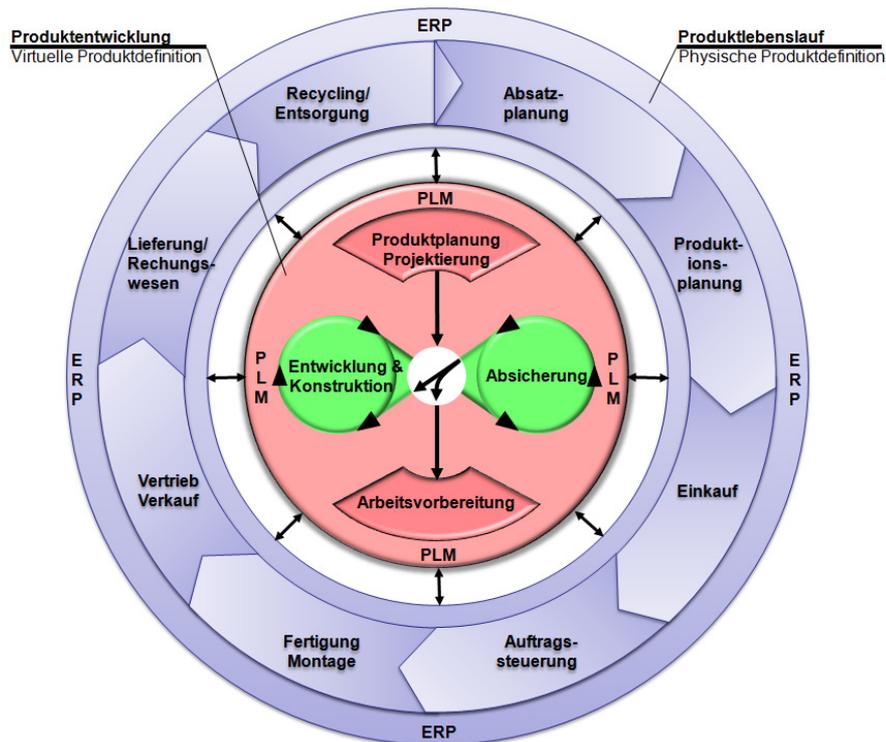


Abbildung 3-32: Zyklus von Produktentwicklung und -lebenslauf

Wesentliches Merkmal des obigen Modells sind die Schleifen zwischen Konstruktion und Absicherung. Sie stehen entsprechend des Schwerpunktes dieser Arbeit im Zentrum des Modells. Diese Entwicklungsschleifen werden solange durchlaufen bis die Entwicklungsanforderungen soweit erfüllt werden, dass die Ergebnisse für die nächste Entwicklungsphase im Freigabeprozess freigezeichnet werden können. Mit der Freigabe findet ein signifikanter Wechsel von Iterationen innerhalb des Konstruktionsprozesses hin zu einem genehmigendem Änderungsmanagement statt, welcher an späterer Stelle eingehender betrachtet werden soll. Erst mit der Freigabe kann die Konstruktionsphase in die Phase der Arbeitsvorbereitung übergehen. Das Modell macht weiterhin deutlich, dass eine enge Verzahnung zwischen virtueller und physischer Produktdefinition und somit auch der jeweiligen unterstützenden Systeme nötig ist. Diese enge System-Verzahnung dient dem reibungsfreien Ablauf beider Zyklen.

### 3.4 Produktentwicklungsprozess

Der Produktentwicklungsprozess kann auf verschiedenen Detaillierungsstufen betrachtet werden. Die mikroskopische Betrachtung führt zu Modellen elementarer Denk- und Handlungsprozesse, wie sie insbesondere für die systematische Bearbeitung kritischer Situationen in Entwicklung und Konstruktion hilfreich sein können [vgl. Lind-07, VO\_2 S. 7]. Hier sind das TOTE-Schema [Mill-1969], der Deming-Kreis bzw. PDCA-Zyklus [Demi-86] und das Münchner-Vorgehens-Modell [Lind-06] zu nennen. Sie erklären den Tätigkeitsablauf im Detail und zeichnen sich neben ihrem iterativen Charakter auch durch ihre rekursive Anwendbarkeit aus.

Da die mikroskopische Betrachtung wenig Hilfe für betriebliche Handlungsorganisation bietet, wurden Modelle entworfen, die sich zwischen mikroskopischer und makroskopischer Betrachtungsweise auf den Arbeitsablauf zur Lösung von Entwicklungsproblemen konzentrieren. Ein Beispiel ist der Vorgehenszyklus nach EHRENSPIEL. Dieser stellt eine zielgerichtete Anwendung des TOTE-Schemas dar und strukturiert die einzelnen Arbeitsschritte in die

Problemklärung, die Lösungssuche und die Lösungsauswahl [vgl. Ehrl-03, S79ff]. Ab der Phase Systemrealisierung erfolgt die materielle Umsetzung der Lösung in einem vierten Arbeitsabschnitt, der Lösungsverwirklichung [vgl. Ehrl-03, S88]<sup>1</sup>.

Auf der makroskopischen Ebene steht die Planung des Entwicklungsprojektes, deren Phasen und Meilensteine im Fokus. Aus der Analyse des Produktentwicklungsprozesses auf makroskopischer Ebene wurde eine Vielzahl von Modellen der Produktentwicklung entwickelt. Diese lassen sich nach ihrem Ziel in normative (bzw. präskriptive), deskriptive und didaktische Modelle unterscheiden [vgl. VeHe-00, S. 2ff]:

- **normative** als Handlungsempfehlung und Ergebnis erfolgreicher Projekte,
- **deskriptive** zur Abbildung und Beschreibung der Praxis und
- **didaktische** zur Veranschaulichung des Innovationsprozesses im Rahmen der Lehre.

Normative Modelle werden häufig auch zur Prozessoptimierung herangezogen und als Management Tool eingesetzt [vgl. VeHe-02, S. 2f].

Weiterhin gliedern sich die Modelle in phasenorientierte und gateorientierte Modelle. Die gateorientierten Ansätze wurden in der englischsprachigen Literatur besonders durch COOPER geprägt. Hierbei werden die Prozesse durch definierte Entscheidungspunkte („Gates“) strukturiert. In der deutschsprachigen Literatur überwiegen die phasenorientierten Modelle. Sie gliedern den Innovationsprozess in sequentielle Abläufe zunehmender Konkretisierung. Die Innovationstätigkeit im deutschsprachigen Raum ist weiterhin durch die Verwendung von Lasten- und Pflichtenheften ausgezeichnet [vgl. VeHe-00, S. 11]. Nachfolgend wird das Modell der VDI Richtlinien 2221 und 2222 dem Produktentwicklungsprozess zugrundegelegt. Weitere bedeutende Phasenmodelle wurden beispielsweise durch ROTH, PAHL/BEITZ, EHRENSPIEL, HANSEN, KOLLER, RUGENSTEIN, STRNAD/VORATH und RODENACKER entwickelt<sup>2</sup>.

In den nächsten Jahren wird mit einer zunehmenden methodischen Unterstützung und einer Flexibilisierung der Produktentwicklung gerechnet. Zudem gewinnt die Betrachtung des gesamten Produktlebenszyklus, die Unterstützung der geographisch verteilten Entwicklung und der multidisziplinären Zusammenarbeit an Bedeutung [vgl. KrFG-07, S.93f]. Auch auf die zunehmende Produktindividualisierung muss mit einer Anpassung des Entwicklungsprozesses reagiert werden. Eine Möglichkeit bietet das Vorziehen der Strukturplanung. In der Strukturplanung erfolgt dann die anfängliche Planung möglicher Individualisierungsszenarien des Produktes, die dann jedoch erst später, im Falle der individuellen Auftragsabwicklung, umgesetzt werden [vgl. KrFG-07, S.107ff].

### 3.4.1 Konstruktion

„Confidence in nonsense is a requirement for the creative process.“  
*Unbekannt*

**Konstruieren** ist das vorwiegend schöpferische, auf Wissen und Erfahrung gegründete und optimale Lösungen anstrebende Vorausdenken technischer Erzeugnisse, Ermitteln ihres funktionellen und strukturellen Aufbaus und Schaffung fertigungsreifer Unterlagen [VDI2223]. Entsprechend der mikroskopischen Betrachtung der Produktentwicklung kann der Konstruktionsprozess in allen Phasen als ein zyklischer Ablauf aus Problemkonfrontation, Lösungsfindung, Lösungsdarstellung, Lösungsbewertung und Entscheidung (Lösungsfreigabe) aufgefasst werden [vgl. Ever-96, S. 56].

<sup>1</sup> Darstellungen weiterer Modelle finden sich bei [Lind-07]

<sup>2</sup> Eine Gegenüberstellung findet sich in [EvSc-99, S. 7-29] und [Voeg-99, S. 557ff]

Der **Konstruktionsprozess** vollzieht sich in den Phasen Planen, Konzipieren, Entwerfen, Ausarbeiten [VDI2222]. Die VDI2221 definiert die Arbeitsschritte und Ergebnisse im Detail. In der **Planungsphase** des Konstruktionsprozesses werden nach der Klärung und Präzisierung der Aufgabenstellung die Produkthanforderungen bestimmt und in Lasten- und Pflichtenheften oder Anforderungslisten niedergeschrieben [vgl. EvSc99, S. 7-28ff; vgl. Pahl-05, S. 187ff]. In der **Konzeptionsphase** wird die Gesamtfunktion des zu realisierenden Produktes in Teilfunktion zerlegt und über Funktionsstrukturen und Wirkstrukturen prinzipielle Lösungsvarianten bestimmt. Die Bewertung der Varianten erfolgt aufgrund der gestellten Produkthanforderung [vgl. Pahl-05, S. 203ff]. In der **Entwurfsphase** werden die favorisierten Lösungsvarianten entsprechend den Gestaltungsrichtlinien (Design for X)<sup>1</sup> ausdetailliert und hinsichtlich ihrer Funktion, Haltbarkeit, technischer Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit in Berechnungs- oder Simulationsverfahren überprüft [vgl. EvSc99, S. 7-28ff; vgl. Pahl-05, S. 187ff]. In der **Ausarbeitungsphase** werden die Einzelkomponenten im Detail gestaltet und optimiert. Es werden die Herstellungsmöglichkeiten geprüft, die Fertigungsunterlagen angefertigt und die Kosten bestimmt. Ergebnis muss eine vollständige Produktdokumentation sein [vgl. EvSc-99, S. 7-28ff].

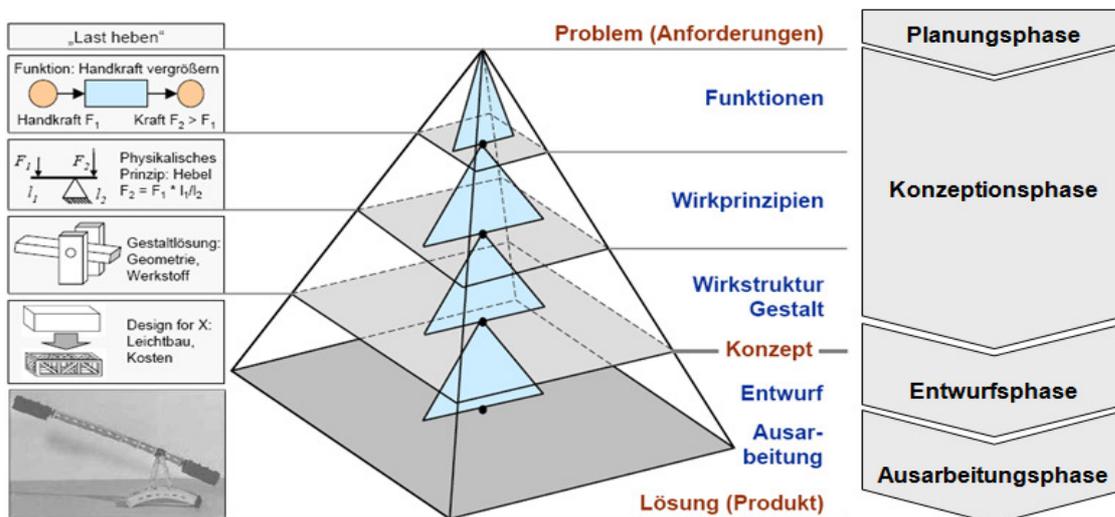


Abbildung 3-33: Vorgehen beim Konstruieren

Bei der Planung technischer Produkte müssen nicht immer sämtliche Konstruktionsphasen durchlaufen werden. Im Abhängigkeit vom Arbeitsumfang unterscheidet man zwischen

- Neukonstruktion (neue funktionale Zusammenhänge und Lösungsprinzipien),
- Anpassungskonstruktion (gleiche Funktionsstruktur mit veränderten Randbedingungen),
- Variantenkonstruktion (neue Variation von Gestalt und Dimension) und
- Prinzipkonstruktion (neue Dimensionierung der Einzelteile) [Ever-98, S. 80f].

Der Informationstechnologie kommt mit dem Einsatz von CAx- und PLM-Anwendungen, Virtual und Augmented Reality bei der Entwicklung komplexer Produkte eine wesentliche Unterstützungsfunktion zu. Ohne diese wäre die Komplexität der Entwicklung heute nicht mehr beherrschbar. **Virtualisierung** nennt man die methodische Überführung eines Konstruktionsprozesses in einen rechnerintegrierten Ablauf mit gleichzeitiger Darstellungsmöglichkeit des wirklichen Verhaltens der zu entwickelnden Objekte [Conr-05, S. 353]. Im Zentrum der Virtualisierung steht das Virtuelle Produkt; im Fahrzeugbau somit das **Virtuelle Fahrzeug**.

<sup>1</sup> z.B. korrosionsgerecht, verschleißgerecht, ergonomiegerecht, fertigungsgerecht, montagegerecht, recyclinggerecht, normgerecht usw. [vgl. Pahl-05, S. 366ff]

Es ist das in digitalisierter Form in einem Rechnersystem manipulierbar gespeicherte Produktmodell, welches im Zuge des Konstruktionsprozesses als Rückrat der Entwicklung und als allgemeine Informationsbasis dient [Conr-05, S. 352].

In der frühen Entwicklungsphase besteht das Virtuelle Fahrzeug aus weniger als 150 Komponenten, bis zur Serienfreigabe wächst die Datenmenge auf mehr als 3.000 Teile an. Dann verknüpft das virtuelle Fahrzeug alle wesentlichen CAD-Modelle zum Gesamtfahrzeug. Die Bauteile werden in ihrer Größe, Form und ihrer exakten Position im Fahrzeug erfasst [vgl. BMW-03a, S. 12ff].

Die Rechnerunterstützung in der Konstruktion macht eine Anpassung der konventionellen Vorgehensweise beim Konstruieren nötig. Die Veränderung geht dabei über die bloße Notwendigkeit zur Nutzung eines CAD-Programms hinaus. Durch Einführung der Volumenmodellierung ist es möglich, in Baugruppenstrukturen zu arbeiten. Die Konstruktion kann damit „top-down“ und muss nicht mehr „bottom-up“ vom Einzelteil zur Zusammenbauzeichnung arbeiten [SeWa-05, S. 70]. Ein weiteres Gestaltungsprinzip der rechnerunterstützten Konstruktion ist die Konstruktion „vom Groben ins Feine“. Die Feingestalt einer Gestaltungszone kann direkt aus der Grobgestalt herausgearbeitet werden. Anders als bisher muss der Konstrukteur nun frühzeitig entscheiden, ob er grundkörper- oder flächenorientiert vorgehen will. Dabei kann er Wirklinien und Wirkflächen als Hilfsgeometrien für den Aufbau von Bauteilmodellen nutzen. MENDGEN hat in seiner Arbeit die wesentlichen methodischen Vorgehensweisen der parametrischen und feature-basierten Konstruktion herausgearbeitet [vgl. Mend-99]. Dabei führt er in Ergänzung der obigen Gestaltungsprinzipien eine methodische und vorausschauende Parametrisierung im Hinblick auf spätere Bauteilvariationen an, weiterhin die flache Strukturierung innerhalb der Erzeugungslogik zur Reduzierung der Modellkomplexität sowie die grundkörperorientierte Strukturierung von Modellelementen. Letztere dient der Vermeidung von Abhängigkeiten zwischen Gestaltungszone, denen unterschiedliche Haupt- und Nebenfunktionen zugeordnet wurden. Hiermit können spätere Änderungsaufwände reduziert werden. Weiterhin erfordert die rechnerunterstützte Konstruktion besonders im Zusammenhang mit einer verteilten Produktentwicklung ein transparentes Modellierungsvorgehen. Dies schließt eine sinnvolle Strukturierung des Modells, eine funktionsorientierte Benennung und benannte Bemaßungen mit ein. Um Teile eindeutig identifizieren und automatisch in eine Baustruktur übernehmen zu können muss der Konstrukteur die entworfenen Teile frühzeitig benennen. Auch die Bemaßung und Positionierung der Teile erfolgt deutlich früher im Konstruktionsprozess. Beim Arbeiten kann der Konstrukteur besser durch Norm- und Wiederholteildatenbanken unterstützt werden und aufgrund der Assoziativität in verschiedenen Ansichten arbeiten oder zwischen 2-D und 3-D Darstellungen wechseln. Die Zeichnungserstellung erfolgt bei der rechnerunterstützten Konstruktion erst am Ende der konstruktiven Gestaltung und findet nur noch zweckspezifisch statt [vgl. Pahl-05, S 732f].

#### **3.4.1.1 Funktionsorientierte Gestaltung von Fahrzeugkonzepten**

Eine Strategie zur Effizienzsteigerung in der Konstruktion ist die funktionsorientierten Gestaltung. Die Funktionale Gestaltung umfasst das Sammeln und Strukturieren von Anforderungen, das Übersetzen von Gesamtfahrzeugzielen in technische Ziele und Anforderungen, das Plausibilisieren der Anforderungen und Aufzeigen funktionaler Wirkzusammenhänge sowie das Erarbeiten von fachspezifischen, aber aus Sicht der Gesamtfahrzeuge stimmigen funktionalen Lösungskonzepten. Damit hat funktionsorientiertes Gestalten den Charakter einer Optimierungsaufgabe (Minimierung eines oder mehrerer Zielkonflikte) unter Berücksichtigung von Nebenbedingungen (Beispiel: Auslegung einer Achslagerung: Steife Lagerung = bessere Fahrdynamik vs. weiche Lagerung = bessere Akustik). Ein zentraler Aspekt im funktionsorientierten Gestaltungsprozess ist das rechtzeitige Erkennen und Einschätzen von Wechsel-

wirkungen zwischen fachlichen Anforderungen und ihrer Auswirkung auf das Gesamtsystem [vgl. BMW-05b, S. 5ff].

Der Ausgangspunkt für die funktionsorientierte Gestaltung liegt in der Initialphase der Produktentwicklung. In dieser Phase werden kundenwahrnehmbare Produkteigenschaften formuliert und mit den angestrebten Produkteigenschaften ergänzt, die aus einer Stärken/Schwächen-Analyse sowie aus Vergleichen mit Wettbewerbsfahrzeugen abgeleitet werden. In weiteren Vorgängen erfolgt die Zuweisung von mit diesen Eigenschaften verbundenen Zielwerten. In den einzelnen Entwicklungs-Fachprozessen erfolgt das Ableiten von Anforderungen an die technischen Systeme und Subsysteme.

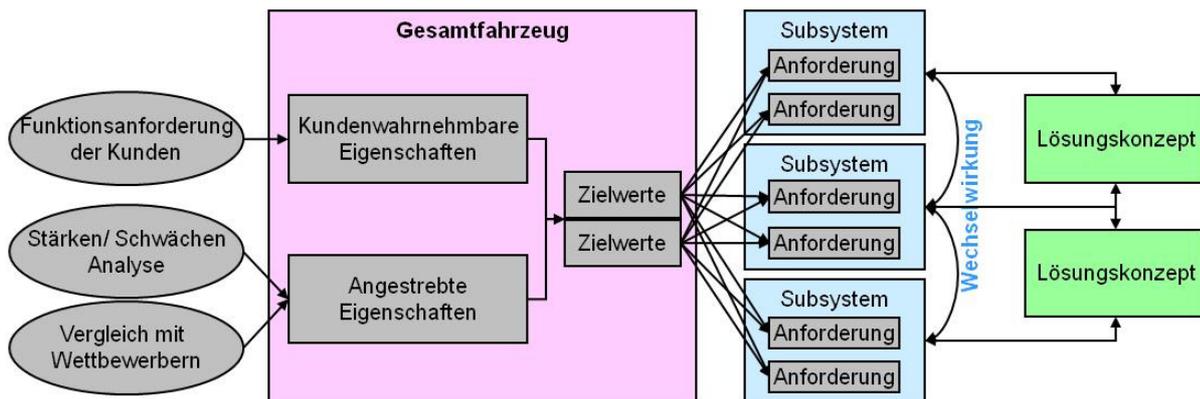


Abbildung 3-34: Zielfindung in der funktionalen Gestaltung

Dabei werden die Produkteigenschaften mit technischen Fahrzeugsubstrukturen in Verbindung gesetzt und zwar mit denen, die im Sinne einer Wirkkette den Hauptanteil an der Erfüllung dieser Eigenschaften tragen. Die Mehrzahl der kundenwahrnehmbaren Fahrzeugeigenschaften haben mehr als eine Grundlage. Sie entstehen durch Wechselwirkung der Eigenschaften einzelner Komponenten und/oder Substrukturen. Bei diesen Wechselwirkungen handelt es sich im Allgemeinen um nichtlineare Abhängigkeiten, was zur Folge hat, dass eine vollständige, rekursive Auflösung der Wirkkette „Gesamtfahrzeugeigenschaft – Komponenteneigenschaft“ in der Regel nicht gelingt. Das gilt insbesondere für die Aufteilung von Eigenschaftszielwerten des Gesamtfahrzeugs auf technisch physikalische Hilfsziele, die bei der Auslegung von Komponenten und Substrukturen zu berücksichtigen sind.

Die Ziele werden nicht in der Produktvariantenstruktur sondern in einer eigenen Struktur hinterlegt. Dieses Zielsystem enthält eigenschaftsbeschreibende Daten und kann daher auch als Eigenschaftsstruktur bezeichnet werden. Ebenso wie die Produktvariantenstruktur handelt es sich um eine hierarchische Struktur, die durch Knoten und Varianten aufgebaut wird.

An diesem Punkt beginnt das funktionsorientierte Gestalten als ein Prozess erfahrungsgeleiteter Arbeit, bei dem die Entwickler aufgrund ihres Erfahrungswissens die Überleitung von Zielen (gewünschten Produkteigenschaften) zu dazu passenden konstruktiven Lösungsgestaltungen (Entwicklungsauftrag) vornehmen. Für die einzelnen Wirkzusammenhänge werden dabei Funktionskonzepte erarbeitet und im Funktionssystem hinterlegt. Ein Funktionssystem ist die konfigurationsabhängige Formulierung eines Wirkzusammenhangs von eigenschaftsbeschreibenden und produktbeschreibenden Datenelementen bezüglich einer kundenwahrnehmbaren Gesamtfahrzeugeigenschaft. Die Datenelemente sind mit Merkmalen versehen. Das Funktionssystem stellt die Brücke zwischen Zielen und Eigenschaften einerseits und der Produktstruktur andererseits dar. Über die Funktionssicht soll eine freiere Konfiguration erreicht werden, da keine vorgedachten technischen Lösungen den kreativen Ent-

wicklungsprozess beschränken [vgl. BMW-02, S. 5-9]. Die Varianz der zu entwickelnden Komponenten und Baukästen kann durch die Funktionssicht bereits bei der Konzeptkonfiguration berücksichtigt werden.

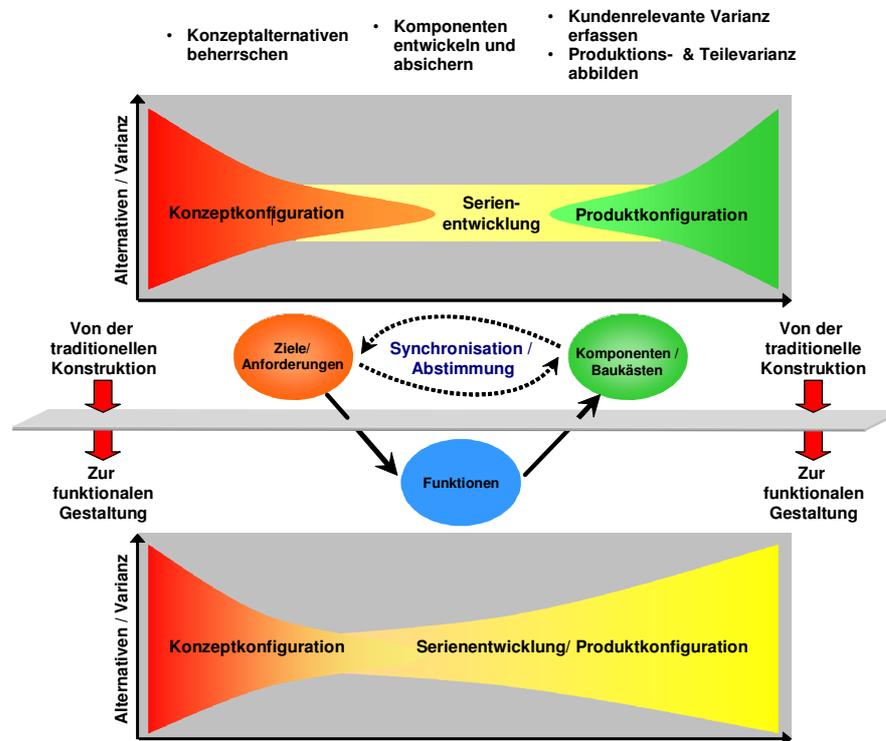


Abbildung 3-35: Funktionale Gestaltung verbindet Konzept- & Serienkonfiguration

Um die Ziele-/ Eigenschaftsstruktur mit der Produktstruktur zu verknüpfen, muss die Funktionssystemstruktur die in diesen Systemen vorhandenen Elemente referenzieren können. Auch müssen für die Strukturen gleiche Konfigurationsregeln und –mechanismen gelten, damit Eigenschafts-, Funktions- und Produktstruktur nach den selben Kriterien z.B. Berichtstypen oder virtuellen Fahrzeugen ausgewertet werden können.

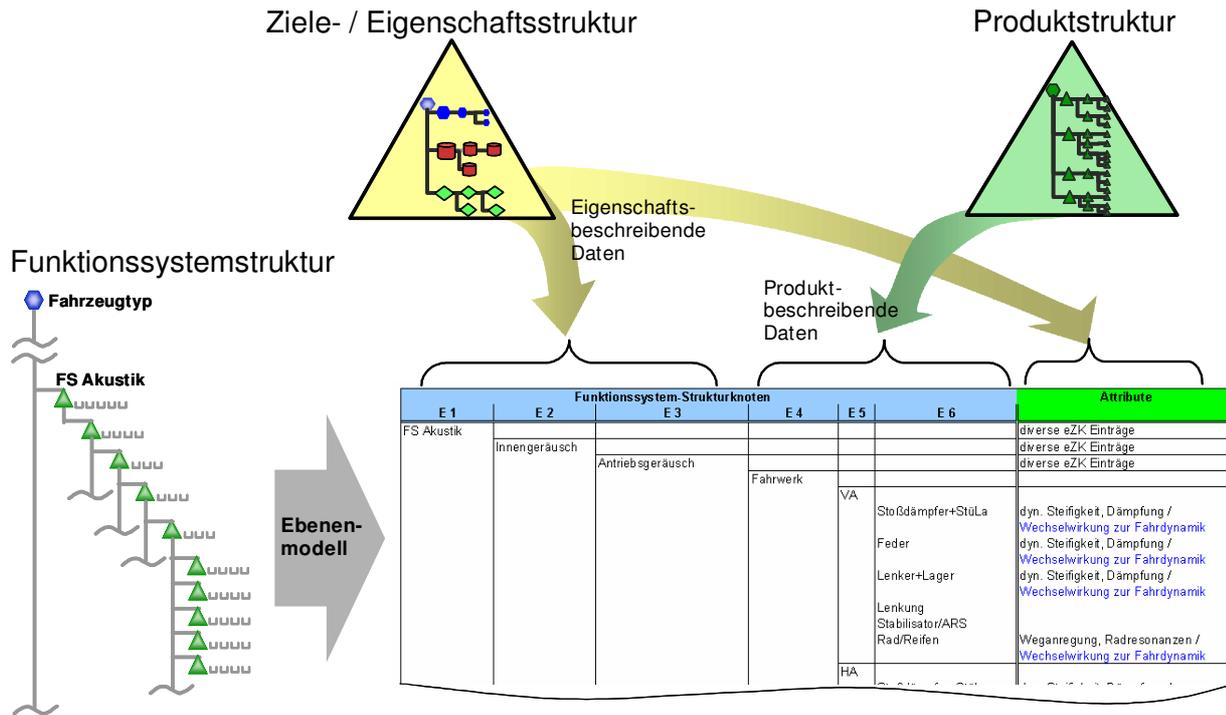


Abbildung 3-36: Verknüpfung von Eigenschaft-, Funktions- und Produktstruktur<sup>1</sup>

Die funktionale Gestaltung ist in der Theorie als ein wichtiges Instrument zur Aufwandsreduzierung in der Konstruktion erkannt [vgl. z.B. Leem-05, S. 19ff; MaKO-07, S. 84ff; BaKL-02, S. 84ff]. Sie kann sich aufgrund der starken Geometrieorientierung der Konstruktionsabteilungen in der Praxis aber nur schwer durchsetzen. Fahrzeugkonzepte werden heute bevorzugt geometrisch ausgearbeitet und gestaltet (Package), bevor sie anschließend funktional bewertet werden (Auslegung, Berechnung). Die Rolle des funktionalen Gestalters wird hauptsächlich reagierend/ bewertend und wenig agierend/ gestaltend wahrgenommen. Will man das Kräfteverhältnis im Rollenspiel zwischen Geometrie- und Funktionsorientierung zu Gunsten einer aktiveren Rolle der Funktionsorientierung verändern, muss man von zwei Seiten ansetzen. Erstens: konzeptbeschreibende Geometrie mit zunächst geringem, aber für Auslegungsfragestellungen ausreichendem, Detaillierungsgrad bereitstellen. Zweitens: Geometriegestaltung und funktionale Bewertung so eng verzahnen, dass beides als ganzheitlicher Vorgang wahrgenommen wird [vgl. BMW-05b, S. 9].

### 3.4.1.2 Konstruktion im Produktkontext

Beim Arbeiten mit CATIA V5 und anderen CAD-Programmen werden die konstruierten Umfänge sowohl graphisch als auch in Form eines Spezifikationsbaumes<sup>2</sup> dargestellt. Der Spezifikationsbaum zeigt die Sequenz der zur Erstellung einer Geometrie verwendeten PartBodies und Features. Der PartBody stellt dabei einen einfachen Grundkörper dar, der mittels der Features wie z.B. Bohrung, Verrundung, Aussparung usw. auskonstruiert wird. CATIA bietet durch den parametrisch-assoziativen Modellaufbau ein großes Potenzial zur Optimierung von Entwicklungsprozessen. Mit Anwendung der richtigen Konstruktionsmethode können diese Potenziale effektiv, strukturiert und einheitlich genutzt werden. Hierzu

<sup>1</sup> nach [BMW-05b]

<sup>2</sup> Synonym werden auch die Begriffe Strukturbaum oder Modellbaum verwendet.

gehört unter anderem der methodisch sinnvolle Aufbau des Spezifikationsbaumes. Durch die Anlage von entsprechenden Vorlagen wird der sinnvolle Aufbau des Spezifikationsbaumes unterstützt.

Das Ergebnis dieser sinnvollen Strukturierung des Spezifikationsbaumes ist die Arbeitsstruktur. Sie stellt die persönliche Arbeitsumgebung eines Konstrukteurs oder einer kleinen Gruppe von Konstrukteuren dar.

Die Komponenten des Fahrzeugs stehen auf Grund geometrischer, funktionaler, thermischer, und anderer Wechselwirkungen zueinander in Beziehung. Konstruktionsaufgaben erfordern daher die Betrachtung von umgebenden Komponenten, dem Kontext des Designs. Dieser Konstruktionskontext muss dem Konstrukteur über die Arbeitsstruktur zur Verfügung gestellt werden, damit der Konstrukteur seine Bauteile im Kontext des Fahrzeuges konstruieren kann. Die Arbeitsstruktur bietet somit den Rahmen zur Anwendung abgestimmter Methoden und unterstützt einen strukturierten und einheitlichen Modellaufbau. Das methodische Arbeiten mit der Arbeitsstruktur im Kontext des Fahrzeuges wird „*Design in Context*“ genannt.

Die Methode **Design in Context** bezeichnet den Prozess des Konstruierens im gemeinsamen Kontext des Gesamtprojektes [vgl. Mark-03, S. 87]. Sie erleichtert es, einen ganzheitlichen Überblick über den aktuellen Konstruktionsstand zu bekommen und unterstützt die permanente Abstimmung der Entwicklungsergebnisse im Projekt. Bei der BMW AG versteht man unter *Design in Context* eine verbindliche Vereinbarung, die virtuellen Teile in der geforderten Datenqualität ständig aktuell zu halten und sich eigenständig mit den Partnern im Bauraum abzustimmen. Dabei gilt der Grundsatz: Aktualität vor Reifegrad [vgl. BMW03a, S. 28]. Die BMW AG stellt nicht die IT-technische Infrastruktur, welche das Konstruieren in aktuellen Bauräumen ermöglicht, in den Mittelpunkt der Methode, sondern die Eigenverantwortlichkeit der Konstrukteure zur zeitnahen Abstimmung im Projektteam. Diese Verantwortlichkeit kann dabei jedoch nur effizient wahrgenommen werden, wenn die IT-technische Infrastruktur die gemeinsame Pflege und Bereitstellung aktueller Bauräume ermöglicht. Ohne die strukturierte Verwaltung der Entwicklungsdaten in einer gemeinsamen Produktvariantenstruktur ist die Methode nicht umsetzbar.

Um das *Design in Context* erfolgreich zu praktizieren, müssen alle relevanten Bauteile in der richtigen Konfiguration frühzeitig bereitgestellt werden. Das bedeutet, dass Daten auch unreif bereitgestellt werden können. Die Konstrukteure müssen sich dessen bewusst sein und mit der Tatsache umgehen, dass ihr Bauraumumfeld einer ständigen Änderung und Detaillierung unterliegt. Um die Abstimmung zu erleichtern, müssen Änderungen, die das Umfeld betreffen, rechtzeitig angekündigt und eine Aktualisierung der Bauraumdaten ermöglicht werden. Daten dürfen nur in den Freigabeprozess eingesteuert werden, wenn sie vorher mit den Projektpartnern abgestimmt wurden. Sollte eine Abstimmung bilateral nicht zu den erwünschten Ergebnissen kommen oder sind übergeordnete Projektziele betroffen, so muss das Problem an das nächst höhere Abstimmungsgremium eskaliert werden können.

Wenn diese Bedingungen für das *Design in Context* erfüllt werden, sind durch die Methode folgende Vorteile zu erzielen [vgl. BMW03a, S. 28]:

- Kürzere Entwicklungszeiten durch parallele gemeinsame Entwicklung
- Aktuelle Daten für alle jederzeit verfügbar
- Weniger Fehlleistungen sparen Zeit und Geld
- Rechtzeitige virtuelle Absicherungen verhindern kostspielige Änderungen
- Änderungen in der Serienentwicklung oder in der Hardware werden vermieden

Die Arbeitsstruktur enthält neben dem Bauraum, in dem die Konstruktionsaufgabe zu bearbeiten ist, auch die vollständige Parametrik des Designs, Links zu Adaptern und Bauteilen, Hilfsmittel und Informationen wie z.B. Hilfsgeometrien oder Parametertabellen

und die Historie bzw. Strukturierung der Konstruktion. Die Arbeitsstruktur stellt daher das „Intellectual Property“ der Konstruktion dar. Sie enthält das Know-how, welches in den konstruierten Komponenten steckt. Daher sind die Arbeitsstrukturen vor unbefugten Zugriffen zu schützen.

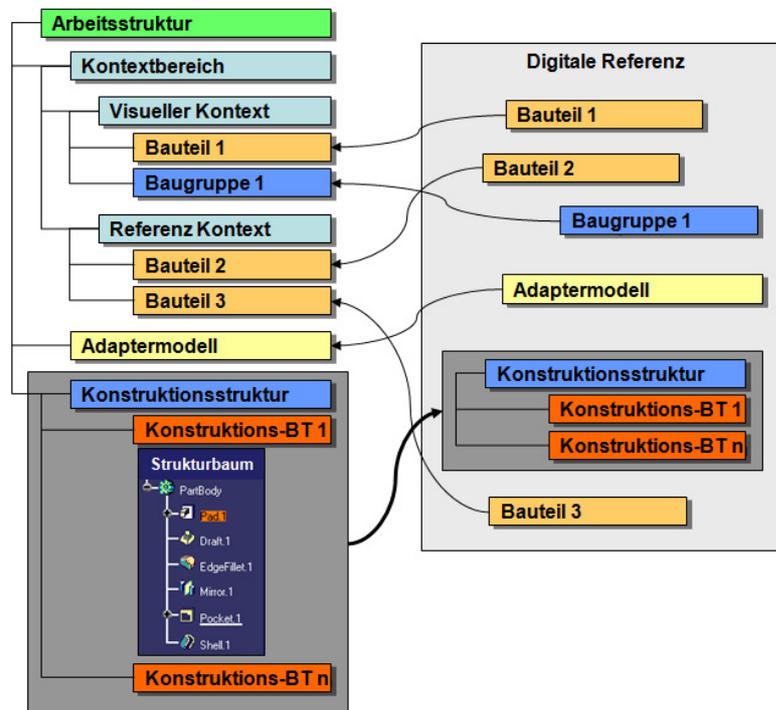


Abbildung 3-37: Arbeitsstruktur und Digitale Referenz<sup>1</sup>

Da an den Komponenten im Verlauf des Entwicklungsprozesses immer wieder Änderungen vorgenommen oder Alternativen ausgearbeitet werden, ist es sinnvoll, nicht nur die auskonstruierten Komponenten selbst sondern auch die gesamte Arbeitsstruktur mit dem Kontext der Konstruktion und allen Hilfsgeometrien und weiteren Informationen zu speichern. Die Speicherung, Klassifizierung und Verwaltung dieser Daten wird durch PDM-Systeme unterstützt, welche die Daten in Form von Arbeitsverzeichnissen im Vault verwaltet. In diesen Arbeitsverzeichnissen werden die CAD-Dokumente abgelegt und sind so über die Berechtigungssteuerung vor unberechtigten Zugriffen sicher.

Für die Stücklistenwelt sind schlussendlich nur die Komponenten, die einzelnen Sachnummern, relevant. Nur diese werden in der digitalen Referenzstruktur veröffentlicht. Als digitale Referenzstruktur werden heute integrierte Produktmodelle verwendet, die das Produkt in der Produktstruktur abbilden. Die Produktstruktur stellt dabei das Ergebnis aller Konstruktionsumfänge zusammen. Sie verwaltet diese mit ihren strukturellen und terminlichen Zusammenhängen, aber ohne Links zu weiteren Bauteilen. Die Produktstruktur gliedert die Komponenten und verwaltet sie über ihre beschreibenden Metadaten. Bei den OEMs lässt sich die Produktstruktur üblicherweise grob in die Bereiche Antriebsstrang, Elektrik, Fahrwerk und Karosserie aufteilen. Die CAD-Dokumente sind mit der Produktstruktur verknüpft, so dass sowohl die CAD-Files der einzelnen Komponente als auch die der Arbeitsstruktur, in der diese Komponente erstellt wurde, in der Dokumentenverwaltung aufgefunden werden kann.

<sup>1</sup> in Anlehnung an [BMW-03b]

Die Produktstruktur ist Quelle für den Aufbau der Konstruktionskontexte und wird daher von einer Vielzahl von internen und externen Nutzern verwendet. Daher muss es möglich sein, die Daten der Produktstruktur ohne schützenswertes Wissen auszulesen. Die Daten sollen nach Wahl nicht den „Source Code“, sondern nur die „kompilierten binärischen Code“ der Konstruktion enthalten. Für den Aufbau von virtuellen Test und Simulationen stellt die Produktstruktur die digitale Referenzstruktur und Datenquelle dar. Sie muss daher über die Komponenten hinaus auch noch auf Hüllen oder Kinematiken verweisen können, die im Rahmen der Produktabsicherung nötig sind.

Die Verknüpfung der Arbeitsstruktur, der Arbeitsverzeichnisse und der Produktstruktur ist für einen Produktentstehungsprozess im Sinne des PLM wesentlich. Die Art und Weise dieser Verknüpfung muss den Anforderungen des Produktentstehungsprozesses genügen. Hierin liegt eine der großen Herausforderungen bei der Gestaltung eines durchgängigen Änderungsmanagements und bei der Sicherstellung der durchgängigen Datenqualität.

### 3.4.2 Produktabsicherung

Die Produktabsicherung durch Berechnung, Versuch und Simulationen ist ein Bestandteil der Entwurfsphase des Entwicklungsprozesses [vgl. EvSc99, S. 7-28ff; vgl. Pahl-05, S. 187ff]. Aus der Sicht des Qualitätsmanagements ist zwischen den **qualitätsplanenden** und den **qualitätssichernden** Funktionen der Produktabsicherung zu unterscheiden.

- **Qualitätsplanende Funktion:** Als eine wesentliche Plan- und Steuergröße muss die Produktreife für das Management eines Entwicklungsprojektes jederzeit transparent sein. Voraussetzung für ein effizientes korrigierendes Eingreifen ist die frühzeitige Erkennung von Abweichungen der Produktreife gegenüber den Planwerten. Diese Prüfung der Anforderungserfüllung ist eine der Hauptaufgaben der Produktabsicherung. Weiterhin zählen auch die kontinuierliche Verbesserung des Produktes und die Prüfung der Realisierbarkeit zu den Aufgaben der Produktabsicherung [vgl. Segh-96, S. 56]. Zu qualitätsplanenden Zwecken werden Bauteile, Baugruppen und Module oder auch das Gesamtfahrzeug virtuell geprüft.
- **Qualitätssichernde Funktion:** Qualitätsplanung (und -lenkung) sind jedoch für die Sicherstellung der Qualität nicht ausreichend. Die Fahrzeughersteller können es sich in einem kritischen Kundenmarkt nicht leisten, mangelhafte Produkte anzubieten. Nicht nur die Kosten für Garantie, Haftpflichtfälle und Rückrufaktionen, sondern auch das sinkende Vertrauen der Kunden in die eigenen Produkte sowie dauerhafte Imageschäden können zu Verkaufseinbußen und Marktanteilsverlusten führen. Qualitätsfehler müssen daher im Rahmen der Qualitätssicherung vermieden und negative Folgen vermindert werden [vgl. Segh-96, S. 95f]. Für qualitätssichernde Prüfungen werden seriennahe Prototypen des Endproduktes verwendet. Diese werden unter erschwerten Nutzungsbedingungen an die Grenzen der Belastbarkeit geführt und getestet.

Im Rahmen der Absicherung werden somit sowohl Verfahren der physischen Überprüfung als auch der virtuellen Produktverifikation verwendet. Virtuelle Prototypen dienen der digitalen Überprüfung von Produkt- und Prozesseigenschaften. Für den Begriff des „virtuellen Prototypen“ hat sich auch im deutschsprachigen Raum der Begriff „Digital Mock-Up (DMU)“ durchgesetzt. „Mock-Up“ ist die Englische Vokabel für „Attrappe“; „Digital Mock-Up“ ist somit die „digitale Attrappe“. Der Begriff wurde von der europäischen Forschungsinitiative

AIT<sup>1</sup> (Advanced Information Technology in Design and Manufacture) geprägt. **Digital Mock-Up** (DMU) stellt die realistische Computersimulation eines Produktes dar und dient als Plattform zur Produkt und Prozessentwicklung, zur Kommunikation und zur Entscheidungsfindung vom ersten Produktkonzept bis hin zu Kundendienst- und Recyclinguntersuchungen [vgl. Prau-02, S. 12]. Das Digital Mock-Up wird beispielsweise zur Kollisionsprüfung oder zur Verifikation von Montageabläufen verwendet. Ein entscheidender Vorteil des Digital Mock-Up gegenüber physischen Prototypen ist der geringere Kosten- und Zeitaufwand. Der DMU-Einsatz wird durch die folgenden Zielsetzungen begründet [Freu-04, S. 13; vgl. auch WaPS-03, S. 25]:

- Ablösung der physischen Prototypen,
- Verringerung der Änderungskonstruktionsschleifen,
- Absicherung der Konstruktionsergebnisse aus fertigungstechnischer Sicht,
- Qualitätsverbesserung und hoher Reifegrad zu einem frühen Zeitpunkt,
- Verbesserung der Kommunikation aller an der Entwicklung beteiligten Personen.

Die wichtigsten Voraussetzungen für den Einsatz des DMU sind [Freu-04, S. 15]:

- Die geometrischen Daten müssen vollständig vorliegen.
- Die geometrischen Modelle müssen in 3D-CAD-System beschrieben sein. Für weitergehende DMU-Anwendungen müssen noch andere Parameter beschrieben werden (Kinematiken, Materialeigenschaften, etc.).
- Die geometrischen Modelle müssen richtig positioniert sein.
- Die Daten müssen strukturiert abgelegt werden.
- Auf die Daten muss jederzeit zugegriffen werden können.

Das statische DMU entwickelt sich inzwischen zum Functional Digital Mock-Up (FMU). Das FMU ermöglicht durch die integrierte Modellierung und Simulation von Funktionen, Vorhersagen zum Verhalten und den Gebrauchseigenschaften eines Produktes zu treffen. FMU-Modelle verwenden neben den Daten der Produkt- bzw. Funktionsstruktur auch Daten aus Simulationsmodellen, Simulationsergebnissen und realen Messdaten. Die Durchführung des FMU muss ebenfalls durch entsprechende Simulationswerkzeuge unterstützt werden [KrFG-07, S 119]. Einzelaspekte zur Untersuchung mechanischer Produkte, wie Verformungsrechnungen, Spannungsberechnung oder Strömungssimulation können bereits heute zur Analyse der Produktfunktionalität im Sinne des FMU durchgeführt werden. Weitere Felder für den Einsatz des FMU liegen in der Analyse der Akustik, Vibration, Lebensdauer, Sicherheit und Ergonomie [KrFG-07, S 119ff]. In der Verknüpfung von PDM-Systemen und Simulationswerkzeugen herrscht noch erheblicher Entwicklungsbedarf [KrFG-07, S 125].

Für Absicherungszwecke werden neben Einzelprüfungen an Bauteilen und Baugruppen für jedes Fahrzeugprojekt mehrere virtuelle Fahrzeuge definiert und im DMU analysiert. Sie bilden die typischen Motor- und Getriebevarianten oder Länderversionen und somit eine spezielle Konfiguration eines Fahrzeugmodells ab. Nur ein sehr geringer Prozentsatz der Produktvarianz eines Fahrzeugprojektes wird heute durch virtuelle Gesamtfahrzeuge abgedeckt. Zumeist beschränkt man sich dabei auf die kritischen Fahrzeugkonfigurationen.

Die Vorteile physischer Prototypen (Physical Mock-Up (PMU)) zeigen sich besonders bei Fragen der menschlichen Rezeption oder auch der Überprüfung serienidentischer Eigenschaften. Der Übergang von der Nutzung des PMU zur verstärkten Nutzung des DMU ist eine direkte Konsequenz und Notwendigkeit, die sich aus der steigenden Produktkomplexität und Varianz ergibt. Mit teuren physischen Prototypen lassen sich die vielfältigen Fahrzeugkonfi-

---

<sup>1</sup> 1993 gegründete Forschungsinitiative der bedeutendsten europäischen Automobilhersteller, Luft- und Raumfahrtunternehmen und deren Zulieferern

gurationen nur noch bedingt testen. Die Einhaltung der Produkthanforderungen in Sicherheit, Steifigkeit, Festigkeit, Strukturmechanik, Heiz- und Klimakomfort, Aerodynamik, Fahrverhalten, Akustik und Schwingungen, Elektronik und Bordnetz, Fahrleistungen, Verbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoß müssen miteinander in wenigen Prototypen getestet werden. Die Konfiguration der Fahrzeuge muss daher so gewählt werden, dass die kritischen Fahrzeugzustände mit ihnen getestet und abgesichert werden können. Da dabei viele verschiedenartige Aspekte zu berücksichtigen sind, die vielfach gegensätzliche Zielkriterien haben, stellt die Definition der physischen Prototypen einen schwierigen funktions- und abteilungsübergreifenden Abstimmungsprozess dar, bei dem vielfach Kompromisse eingegangen werden müssen. Hierdurch wächst das Risiko, Fehler nicht zu entdecken. Mit den Möglichkeiten des DMU kann dieses Risiko minimiert werden – zum einen durch den virtuellen Test an sich und zum anderen durch die Unterstützung bei der Definition physischer Prototypen.

Mit dem verstärkten Einsatz der virtuellen Absicherung vollzieht sich ein Paradigmenwechsel in der Absicherung. Nicht mehr die Prüfung einiger weniger Fahrzeugvarianten, sondern die Prüfung aller notwendigen Fahrzeugkonfigurationen ist das Ziel. Hierzu muss es möglich sein, definierte und in sich konsistente Konfigurationen aus der Produktstruktur auszuleiten und ohne Informations- und Zeitverluste im DMU/ FMU zu testen. Die Testergebnisse müssen wiederum als Feedback für alle einsehbar in der Produktstruktur abgelegt werden.

Die Absicherung im Gesamtzusammenhang des Endproduktes stellt für die auf bestimmte Funktionen spezialisierten Fachbereiche der Konstruktionsabteilung (z.B. Rohkarosserie, Ausstattung, Elektrik, Fahrwerk, Antrieb) eine sehr komplexe Aufgabe dar. Daher wird die Gesamtfahrzeugintegration wie beispielsweise bei der BMW-Group durch Integrationsfunktionen wahrgenommen. Bei der BMW-Group sind dies die Integrationsfunktionen der [BMW-03, S. 50]

- Geometrische Integration (GI): stellt ein geometrisch stimmiges virtuelles Gesamtfahrzeug über alle Fachbereiche hinweg sicher.
- Funktionale Integration (FI): analysiert und bewertet die funktionalen Eigenschaften des Gesamtfahrzeugs.
- Produktionstechnische Integration (PTI): stellt einen durchführbaren, robusten und kostengünstigen Produktionsprozess des Gesamtfahrzeugs sicher.

Die Integrationsaufgaben werden dabei in Bauraumteams wahrgenommen. Hierzu wird das Fahrzeug in technisch beherrschbare Zonen – Bauräume – aufgeteilt. Typisch ist die Unterteilung in Vorderwagen, Stirnwand, Innenraum, Unterflur und Heck. Die Prüfungen der Integrationsfunktionen werden sowohl entwicklungsbegleitend als auch für Freizeichnung und Freigabe durchgeführt [BMW-03, S.50f].

Aufgrund qualitätssichernder Aspekte wird man um Test mit physischen Prototypen nicht herum kommen. Trotz der wachsenden Bedeutung virtueller Prototypen wird daher gleichzeitig kein signifikanter Rückgang bei der Nutzung physischer Prototypen erwartet [vgl. WaPS-03, S. 23f]. Bei der Herstellung der physischen Prototypen werden in der Automobilindustrie jedoch mit wachsender Tendenz Verfahren des **Rapid Prototyping**<sup>1</sup> eingesetzt [vgl. WaPS-03, S. 26f]. Das Problem, die besten Konfigurationen für physische Prototypen zu finden, bleibt damit nach wie vor bestehen, kann mit dem sinnvollen DMU Einsatz jedoch entschärft werden. Heute stützt sich diese Problemlösung wesentlich auf Expertenwissen. Mit Hilfe des vir-

---

<sup>1</sup> Unter den Sammelbegriff Rapid Prototyping fallen sämtliche generativen Verfahren, mit deren Hilfe aus einem 3D-CAD-Modell durch das schichtweise übereinander fügen von Volumenelementen aus Kunststoff, Wachs oder Harz Modelle von Bauteilen für Prototypen oder Werkzeuge zur Herstellung von Bauteilen für Prototypen erzeugt werden können. Der große Vorteil der verschiedenen Verfahren liegt darin, dass physische Modelle schnell erzeugt und an beliebiger Stelle im Entwicklungsprozess eingesetzt werden können [ScRe-05, S. 6].

tuellen Produktes als konsistente und aktuelle Datenbasis und einem erweiterten Wissensmanagement liegen Ansätze vor, diese Problemlösung zu systematisieren.

### 3.4.3 Produktentwicklung als Regelkreis

Das Ziel, den Prozentsatz der durch virtuelle Fahrzeuge abgesicherten Produktkonfigurationen zu erhöhen, kann nur erreicht werden, wenn der Aufwand zur Erstellung eines virtuellen Fahrzeuges reduziert wird. Mit der Abbildung des virtuellen Fahrzeuges in einer konfigurierbaren Produktvariantenstruktur will man sich diesem Ziel nähern.

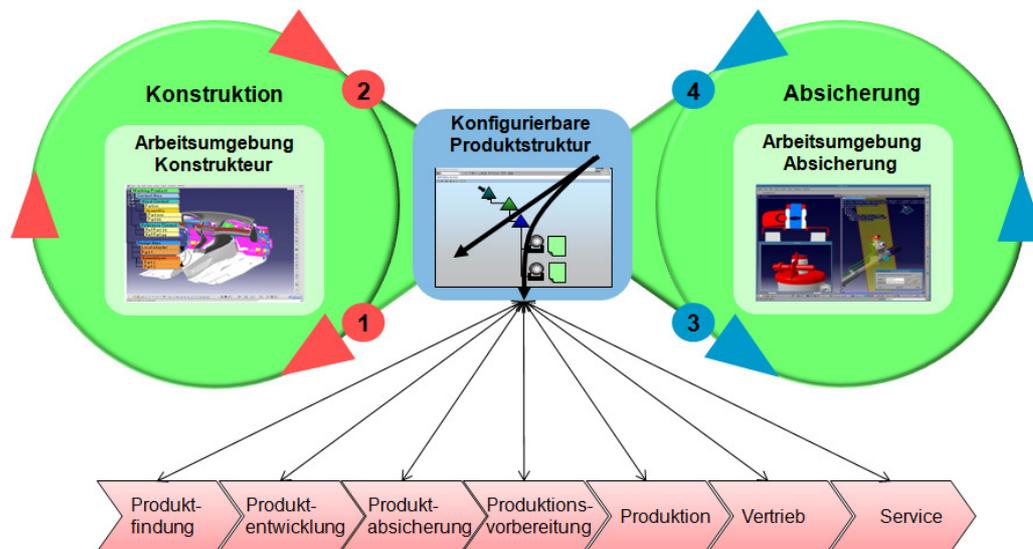


Abbildung 3-38: Entwicklungsregelkreis

Der Produktentwicklungsprozess erfolgt in einem Regelkreis, in welchem die Konstruktion die Regelstrecke darstellt und die Absicherung als Regler fungiert.

Aus der digitalen Referenzstruktur stellt sich der Konstrukteur seine Arbeitsumgebungen über eine Bauraum- oder Nachbarschaftssuche zusammen (vgl. Schritt 1). Da die zu konstruierenden Komponente wahrscheinlich nicht nur in einer Fahrzeugkonfiguration sondern in mehreren verwendet werden sollen, kann der Bauraum aus verschiedenen Fahrzeugen aufgebaut werden, um alle geometrischen Restriktionen darzustellen. Die Such- und Filterkriterien sollten gespeichert werden, damit eine Aktualisierung des Kontextes möglich ist. Alle für den Konstruktionskontext benötigten Informationen (Adapter, Strack, usw.) müssen in der Referenz vorhanden sein. Die Konstruktion soll Bauteile der Struktur lagerichtig als Referenz bzw. Hilfsgeometrie verwenden können. Die Bauteildaten werden direkt in die Arbeitsumgebung geladen bzw. referenziert.

Hat eine Konstruktion eine gewisse Reife erreicht, schreibt der Konstrukteur das Ergebnis seiner Arbeit wieder in die Referenzstruktur zurück (vgl. Schritt 2). Er veröffentlicht seine Ergebnisse, welche dadurch auch Dritten zugänglich gemacht werden. Zur vollständigen Definition der jeweiligen Konfigurationen sollte dabei sowohl das entsprechende Beziehungswissen als auch die verwendungsspezifischen Bauteilinformationen mit gepflegt werden. Der Konstrukteur arbeitet in definierte Änderungsstände hinein, so dass neben der geometrischen Struktur auch eine zeitliche Struktur entsteht.

Die Ausleitung des virtuellen Fahrzeuges für Untersuchungen der Absicherung erfolgt wiederum über die Filterung der Produktstruktur (vgl. Schritt 3). Die Daten werden über einen Strukturausport in den Arbeitsbereich der Absicherung geladen.

Die Absicherungsergebnisse werden dokumentiert und kommuniziert, d.h. in die Produktstruktur referenziert (vgl. Schritt 4). Hierzu sollte ein Empfängerelement für die Bewertung vorhanden sein.

Die Ergebnisse der Absicherung gehen als Änderungsanforderungen wieder in die Konstruktion ein. Da sich Änderungen an einer Konstruktion auch auf die benachbarten Teile auswirken können, und durch die permanente Abstimmung von Komponenten und Kontexten entsteht zwischen Konstruktion und Absicherung ein Regelkreis, bei dem die Qualität und Stimmigkeit der Referenzstruktur bzw. des Endproduktes nach und nach verbessert wird. Dieser Regelkreis wird solange durchlaufen bis die geprüften Umfänge die Absicherung erfolgreich bestanden haben und freigegeben werden können. Damit sind die Teile zur Beschaffung und Produktion genehmigt und können in die Fahrzeugstücklisten übernommen werden. Die Produktstruktur dient allen nachgelagerten Bereichen als Quelle für Bauteil- und Strukturinformationen.

Die Ausprägung dieser Regelkreise ist stark von den Gegebenheiten der IT-Bebauung abhängig. Je mehr Systembrüche in den Regelkreisen vorhanden sind desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass durch Schnittstellenprobleme die Effektivität und Effizienz des Regelkreises abnimmt und sich schlussendlich negativ auf die Datenqualität und Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens auswirkt.

#### **3.4.4 Ablauf eines Entwicklungsprojektes in der Automobilindustrie**

Die Lösungskonzepte werden vor dem spezifischen Hintergrund der Automobilindustrie entwickelt. Zum bessern Verständnis dieses Hintergrunds und zur weiteren Detaillierung des Produktentwicklungsprozess soll dieser näher dargestellt werden. Als Beispiel dient hier der Produktentwicklungsprozess der BMW AG.

Im Vorfeld eines neuen Entwicklungsprojektes steht die Strategieentwicklung. Sie ist ein kontinuierlicher, fachbereichs- und produktlinienübergreifender Prozess in dem neue Projektideen generiert werden.

Nach der Entscheidung für ein Fahrzeugprojekt markiert der Strategie-Input den Beginn eines neuen Entwicklungsprojektes und findet heute etwa 5 Jahre vor der Serienproduktion statt. Die Taktung der Projekte wird von diesem Zeitpunkt an nach einem standardisierten **Meilensteinplan** im Sinne eines Stage-Gate-Prozesses durchgeführt. Der Meilensteinplan gibt den zeitlichen Rahmen für die Entwicklungsphasen vor und legt diejenigen Synchronisationspunkte fest, an denen produkt- und prozessspezifische Inhalte zur Überprüfung des Projektfortschrittes und Steuerung des Projektes auf ihren Zielerfüllungsgrad hin beurteilt werden. Unter anderem legt der Meilensteinplan dabei auch die Zeitpunkte der virtuelle Absicherungen fest und wann der Prototypenbau für welche Versuchsfahrzeuge beginnt.

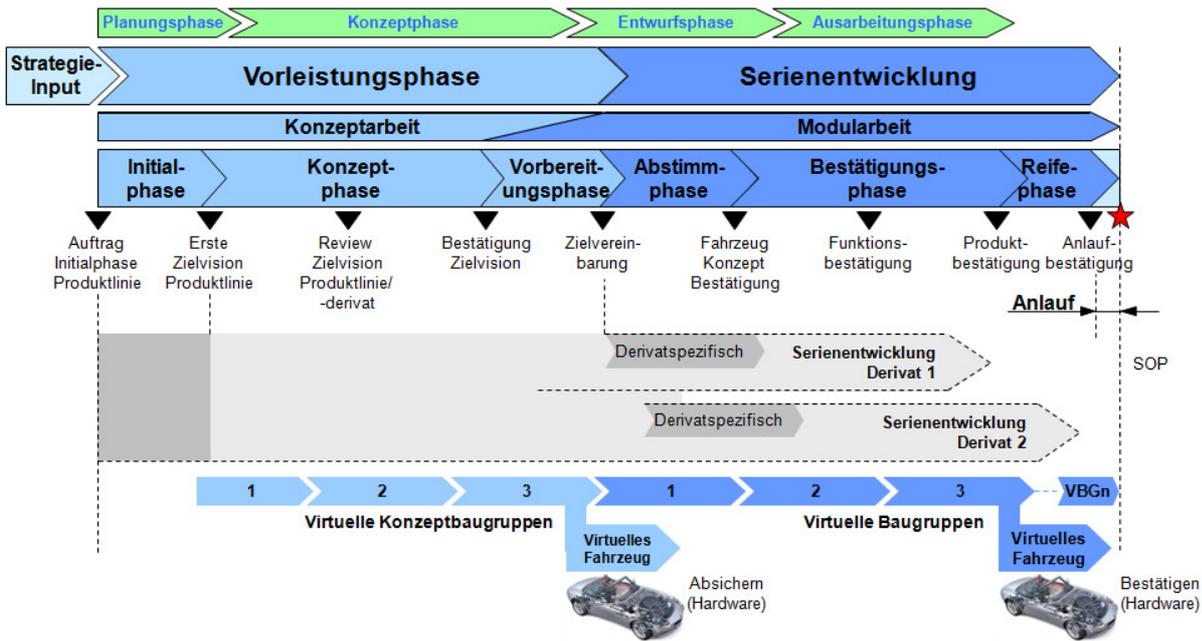


Abbildung 3-39: Meilensteinplanung bei der BMW AG

Nach dem Strategie-Input startet die **Vorleistungsphase**. Gegenstand der Vorleistungsphase ist die Klärung der Marktanforderungen, Abstimmungen zu Technik und Kommunalität sowie zum Serienstart der unterschiedlichen Fahrzeugprojekte. Die Vorleistungsphase ist durch die Erarbeitung des Fahrzeugkonzeptes gekennzeichnet und gliedert sich in die Initial-, die Konzept- und die Vorbereitungsphase.

- Die **Initialphase** beginnt für alle Modelle einer Produktlinie zum gleichen Zeitpunkt. In dieser Phase steht die Definition und Abstimmung des Zielsystems hinsichtlich Eigenschaften, Kosten und Gewicht sowie des technisch-wirtschaftlichen Rahmens im Vordergrund der Aktivitäten. Unter anderem wird das Basisfahrzeug sowie die Produktlinienderivate inklusive zu realisierender Innovationen definiert.
- Zu Beginn der nachfolgenden **Konzeptphase** wird die Zielvision weiter ausdetailliert und bezüglich ihrer Risikobehaftung beurteilt. Die Absicherungsplanung wird sowohl für virtuelle Anteile als auch für physische Prototypen abgeschlossen. Des Weiteren werden das Ersteinsatzfahrzeug detailliert und Baukastenumfänge der Produktlinie spezifiziert.
- Die **Vorbereitungsphase** startet nach der Bestätigung der Zielvision und endet mit einer konkreten Zielvereinbarung. Nach der Vorbereitungsphase liegen die Produktziele des Ersteinsatzfahrzeuges sowie die Baukastenumfänge abgestimmt und vereinbart vor, das Designmodell und Innovationskonzept ist bestätigt und die Absicherungsplanung ist inklusive Absicherungskosten vereinbart. Die Konzeptarbeit wird nun in Entwicklungsmodule herunter gebrochen. Diese Module werden beauftragt und im Rahmen der Modularbeit bearbeitet. Erste Module werden bereits mit Beginn der Vorbereitungsphase in die Modularbeit eingesteuert. Mit dem Ende der Vorbereitungsphase werden dann alle Module durch Modulteam ausdetailliert.

Die anschließende **Serienentwicklung** findet derivatspezifisch statt. Während die Vorleistungsphase zur Konzeptabsicherung der Fahrzeuge dient, hat die Serienentwicklung die Erfüllung der Zielvereinbarung und damit „baubare“ Fahrzeuge zum Ziel.

- Die Serienentwicklung beginnt mit der **Abstimmphase**. Sie beinhaltet die Absicherung der geometrischen, funktionalen und produkttechnischen Fahrzeugintegration. Hierzu werden Berechnungsmodelle verwendet, virtuelle Prototypen in Versuch und Simulation abgesichert und bedarfsorientiert auch Hardwaremodelle genutzt. Erste Er-

probungsfahrzeuge werden zu Beginn der Serienentwicklung aufgebaut, um die produktspezifische Integrationsfähigkeit von vorentwickelten Komponenten und Technologien abzusichern. Zudem fällt in die Abstimmphase die Designbestätigung mit dem finalen Designfreeze. Die Abstimmphase endet mit der Konzeptbestätigung des Gesamtfahrzeuges und der Freizeichnung des Konzeptes.

- Die **Bestätigungsphase** gliedert sich in die Funktionsbestätigung und Produktbestätigung. Während der Funktionsbestätigung werden das Produkt und der Produktionsprozess weiter abgesichert. Zudem werden erste Serienwerkzeuge erstellt und hiermit Prototypenteile hergestellt. In der Produktbestätigung werden Prototypen unter seriennahen Fertigungsbedingungen aufgebaut und erprobt. Weiterhin findet die Dauererprobung des Gesamtfahrzeuges statt und wird freigezeichnet. Parallel erfolgt bereits die Installation der Fertigungsanlagen.
- Die letzte Phase der Serienentwicklung, die **Reifephase**, endet mit der Anlaufbestätigung. In dieser Phase steht die Prozesssicherheit des Fertigungsprozesses im Mittelpunkt der Aktivitäten. Die Anlaufbestätigung erfolgt auf Basis der Erstmusterfreigabe.

Während der **Anlaufphase** wird das Fahrzeugprojekt in die Verantwortung des Werkes überführt. Die Optimierung der Logistikprozesse und Sicherstellung der Qualität stehen im Vordergrund. Im Rahmen der Anlaufphase werden die Vorserie 1, die Vorserie 2, die Anlaufproduktion und schließlich die Händlerausstattung produziert. Mit der Übergabe des Fahrzeugprojektes an die **Serienproduktion** endet die Anlaufphase.

### **3.4.5 Metadaten zur Steuerung von Dokumenten im Entwicklungsprozess**

Die Identifizierung und Steuerung der Gestaltobjekte im Entwicklungsverlauf erfolgt über Metadaten. Sie werden unternehmensspezifisch ausgeprägt und dokumentieren den Entwicklungsfortschritt. Neben der bereits erläuterten Metadaten Sachnummer, Alternative und Version, stellen Status und Reifegrad die wesentlichen Metadaten dar. Während Sachnummer und Alternative ausschließlich der Identifizierung eines Gestaltobjektes dienen, haben Reifegrad und Status ausschließlich steuernden Charakter. Die Version stellt eine Mischform dar, die sowohl zur Identifizierung als auch zur Steuerung verwendet wird.

Als **Version** wird der Zustand eines Datenobjektes zu einem bestimmten Zeitpunkt bezeichnet. **Versionierung** ist das Erzeugen einer neuen Version durch Veränderung des Zustandes eines Datenobjektes. Die **Versionsverwaltung** administriert und archiviert die zeitliche Zustandsveränderung, also die Entwicklungshistorie, von Datenobjekten. Durch die Versionsverwaltung können diese Zustandsänderungen aufgezeichnet, analysiert und wiederhergestellt werden. Damit dient die Versionierung der Vermeidung von Informationsverlusten, wie sie durch vorschnelles Verwerfen von Teilen eines Datenobjektes entstehen können. Die Wahrscheinlichkeit für einen Informationsverlust kann über die Granularität der Versionierung gesteuert werden. Je mehr Versionen eines Dokumentes im Entwicklungsverlauf festgehalten werden, d.h. je feiner die Granularität der Versionierung ist, desto niedriger ist auch die Gefahr eines Informationsverlustes.

Bis auf die Urversion basieren in der Regel neue auf vorherigen Versionen. Der Entwicklungsverlauf lässt sich auf zwei grundsätzliche Arten abbilden [vgl. Schi-02, Kap. 2.1.5].

- Lineare Versionierung (Revisionierung): Bei der linearen Versionierung hat jede Version nur einen Vorgänger und Nachfolger.
- Verzweigte (Hierarchische) Versionierung: bei der verzweigten Versionierung ist die Bildung von Alternativen erlaubt. Dadurch kann jede Version jeweils mehrere Vorgänger und Nachfolger haben. Es entsteht ein Versionsbaum bzw. -graph.

Die Versionsbildung kann entweder kontinuierlich mit jeder Änderung oder diskret durch das explizite Anlegen einer neuen Version durch den Benutzer erfolgen. Weiterhin kann jeweils eine vollständige neue Version oder nur das entsprechende Delta zur vorherigen Version abgelegt werden. Zur Unterscheidung der Version dient entweder eine Versionsnummer oder eine Zeitstempel, der die Änderung markiert. Der Zugriff auf Objektversionen kann ebenfalls auf zwei grundsätzliche Arten erfolgen:

- Pessimistischer Zugriff: Um Versionskonflikte zu vermeiden, wird konkurrierendes Bearbeiten durch eine Zugriffssperre verhindert.
- Optimistischer Zugriff: Konkurrierendes Bearbeiten wird erlaubt. Eine Prüfung auf Versionskonflikte erfolgt erst beim Einspielen der Änderung.

Schwerpunkt bei der Versionierung von CAD-Daten ist die Bildung von Szenarios, um verschiedene Entwicklungsalternativen miteinander vergleichen zu können. Daneben werden mit der Versionierung auch folgende Ziele verfolgt:

- Protokollierung von Änderungen und Archivierung von Ständen
- Gleichzeitige Entwicklung mehrere Entwicklungszweige
- Möglichkeit zur Wiederherstellung von alten Zuständen
- Zugriffskontrolle und -koordinierung

Die Versionierung dokumentiert die Veränderung eines Dokumentes in diskreten Schritten. Zur Steuerung des Dokumentes innerhalb des Entwicklungsprozesses dienen weiterhin der Status und der Reifegrad eines Dokumentes [vgl. Ande-05, PDTB S. 68ff]:

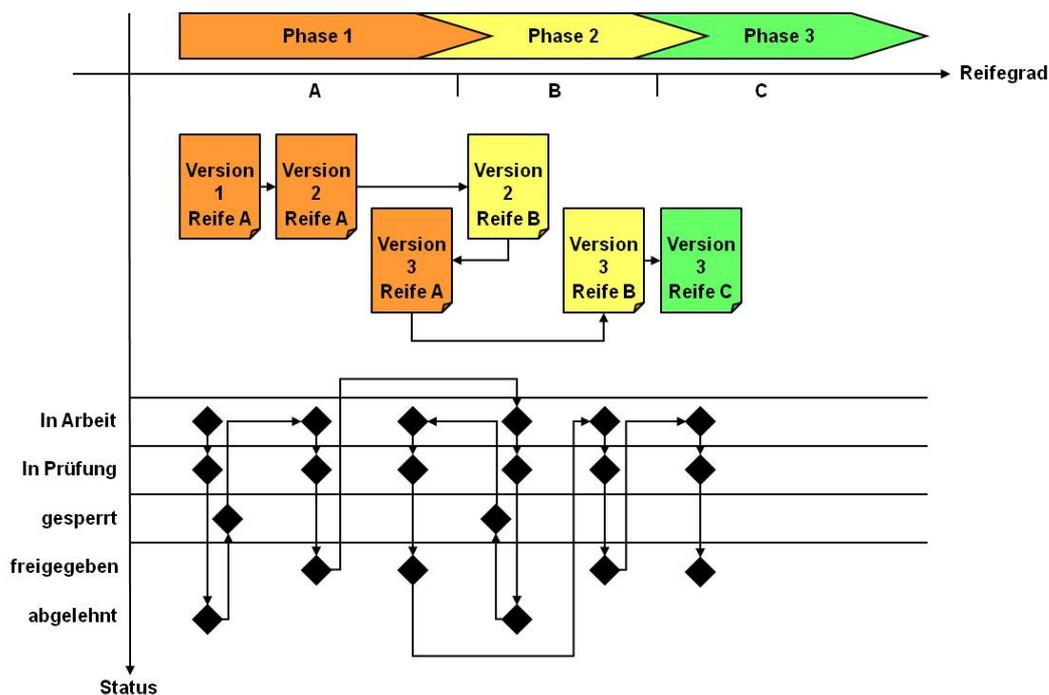


Abbildung 3-40: Zusammenspiel von Versionierung, Status und Reifegrad

Der **Status** kann sowohl den allgemeinen Bearbeitungszustand als auch im Rahmen der Dokumentenfreigabe den speziellen Freigabezustand bezeichnen, den eine Dokumentenversion innerhalb einer Entwicklungsphase besitzt. Die Art des Zustandes hängt von der Festlegung des Bearbeitungsablaufs bzw. Freigabeablaufs im Unternehmen ab [vgl. Ande-05, PDTB S. 68ff].

Der **Reifegrad** bezeichnet die Phasen der Produktentwicklung, die ein Objekt, repräsentiert durch eine Dokumentenversion, durchläuft. KOHLHOFF gibt für eine zweckmäßige Unterteilung des Reifegrades die folgenden Entwicklungsstände an [Kohl-05, S. 260f]:

- Konstruktionsstand: Bauteil liegt als veröffentlichter CAD-Datensatz vor und kann für Teilabsicherungen einzelner Baugruppen verwendet werden.
- Erprobungswürdiges Bauteil: das Bauteil erfüllt die Anforderungen für eine physische Absicherung im Versuch. Als Repräsentation des Bauteils wird ein Materialstamm angelegt, der mit dem jeweils aktuellen CAD-Datensatz verknüpft wird.
- Baustand: das Bauteil erfüllt die Anforderungen zur Absicherung eines abgestimmten Konstruktionsstandes eines Gesamtfahrzeuges. Dieser Stand wird auch Hardwarestufe genannt, obwohl hiermit auch Überprüfungen im DMU durchgeführt werden können. Der Baustand sollte über eine Konfigurationssimulation aus der Gesamtdokumentation extrahiert werden können.

Bereits vor dem „Start of Production (SOP)“ aber auch im Rahmen der Produktpflege werden Bauteile optimiert, zu diesem Zweck wiederholt geändert und freigegeben. In Folge kann es notwendig werden, die Montageprozesse in der Produktion anzupassen. Trotz der Bauteilaktualisierung ist es häufig zweckmäßig, das Bauteil nach wie vor unter derselben Sachnummer zu führen, beispielsweise dann, wenn das Bauteil in der neuen Version die alte Version ersetzen soll. Wann eine neue Sachnummer angelegt wird, hängt im starken Maße von der Änderung selbst und der Einschätzung des jeweiligen Konstrukteurs ab. Üblicherweise wird eine neue Sachnummer dann vergeben wenn die Rückwärtskompatibilität eines Bauteils nicht mehr gegeben ist. In dem Fall wo keine neue Sachnummer vergeben wird, ist es dennoch nötig die Gültigkeiten der verschiedenen Bauteilversionen detailliert in die Produktion einsteuern zu können. Ohne eine zusätzliche Versionierung ist die Sachnummer als Identifikator hierfür nicht ausreichend. Die freigegebenen Bauteilversionen für die Produktion sollen nachfolgend zur Abgrenzung von nicht freigegeben Bauteilversionen und in Anlehnung an SAP als **Materialversionen** bezeichnet werden.

Während in der Produktion nur mit diesen Materialversionen gearbeitet wird, werden in der Konstruktion auch viele Bauteilversionen erzeugt, die nicht bis zur Freigabe gelangen. Um die Versionierung in der Produktion nicht durch die Zählung der nicht freigegebenen Stände lückenhaft zu gestalten, ist es sinnvoll die Versionierung des Bauteils hierarchisch anzulegen – mit einem Versionsindikator für die Konstruktion und einem für die Produktion. So kann die Versionierung für beide Bereiche übersichtlicher gestaltet werden. In Anlehnung an die Versionierung von Konstruktionszeichnungen soll der Versionsindex der Konstruktion als **Zeichnungsindex (ZI)** bezeichnet werden. Da der Versionsindikator der Produktion die Anzahl der Änderungsschleifen zählt wird er als **Änderungsindex (AI)** bezeichnet. Der Änderungsindex identifiziert die Materialversionen, versioniert also im Gegensatz zum Zeichnungsindex nicht Dokumente sondern Bauteile.



EHRENSPIEL entwickelt zur Unterstützung des Ansatzes die integrierte Produkterstellungsmethodik (IPE-Methodik), welche die Zielsetzung der Produkterstellung und die Zusammenarbeit der beteiligten Menschen in den Mittelpunkt stellt. Die Methodik definiert mehrere Teilsysteme, welche zur Problemlösung gleichzeitig betrachtet werden müssen. Diese Teilsysteme sind die Sachsysteme Produkt und Produktion sowie die Ziel- und Handlungssysteme Mensch, Entwicklung und Kunde. Weitere Handlungssysteme sind unternehmensspezifisch zu definieren [vgl. Ehrl-03, S. 284ff]. Die IPE-Methodik ist ein Methodensystem, welches eine Vielzahl von Elementen zur Optimierung der Produkterstellung bereitstellt, die sich folgendermaßen gruppieren lassen [vgl. Ehrl-03, S. 185ff]:

- persönliche Integration: Integration der Leistungsbereitschaft, Integration der Ziele, Integratives Wissen,
- informatorische Integration: Integration der Kunden, Aufgabenintegration, Methodenintegration, Integrative Eigenschaftsfrüherkennung, Datenintegration,
- organisatorische Integration: Aufbauintegration, Ablaufintegration, Örtliche Integration.

Dabei stellt nach EHRENSPIEL die persönliche Integration die wichtigste dar.

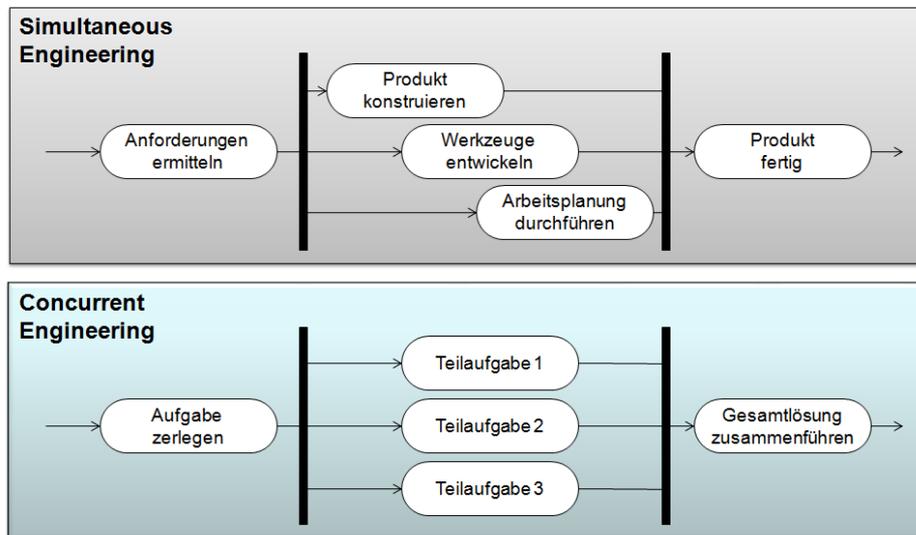
### 3.4.6.2 Simultaneous, Concurrent und Collaborative Engineering

Unter dem Begriff **Simultaneous Engineering** wird die integrierte und zeitliche parallele Produkt- und Prozessgestaltung verstanden [Ever-98, S. 240]. Der Schwerpunkt des Simultaneous Engineering lag in der Vergangenheit auf der Abstimmung zwischen Produktentwicklung und Produktionsmittelplanung, wohingegen heute jedoch die gesamte Produktentstehung betrachtet wird [EvSc-99, S. 7-124]. Ziel des Simultaneous Engineering ist es, durch eine vertikale und horizontale Aufgabenintegration die organisatorischen Schnittstellen im Unternehmen zu optimieren. Unter horizontaler Aufgabenintegration ist dabei die prozessorientierte Zusammenführung von Aufgaben der Produktentstehung zu verstehen, unter vertikaler Aufgabenintegration die Abstimmung direkter und indirekter Unternehmensbereiche [EvSc-99, S. 7-124]. Neben dem primären Ziel der Verkürzung von Entwicklungszeiten werden mit Simultaneous Engineering unter anderem auch die Reduzierung der Fertigungskosten sowie die Erhöhung der Qualität und der Kundenzufriedenheit angestrebt. Trotz nachweisbarer Erfolge des Simultaneous Engineering ergab eine Studie des Fraunhofer IAO, dass die integrierte Produktentwicklung in der parallele Entwicklungsschritte getätigt werden, insgesamt in der Automobil und Zulieferindustrie mit ca. 34% nur wenig angewendet wird [vgl. IAO-03, S. 34f]. Hier gibt es nach wie vor Optimierungspotential.

Beim **Concurrent Engineering** wird eine Aufgabe in mehrere Teilaufgaben zerlegt<sup>1</sup>, die dann parallel abgearbeitet werden. Die Ergebnisse werden abschließend zum Gesamtergebnis zusammengeführt [vgl. Pfei-05, S. 8]. Somit stellt Concurrent Engineering eine Form der kooperativen Produktentwicklung dar. Simultaneous und Concurrent Engineering treten in der Praxis häufig in Kombination auf und sind heute kaum noch zu unterscheiden [vgl. EvSc-99, S. 7-125].

---

<sup>1</sup> Beim Concurrent Design (CD) wird dementsprechend die Konstruktionsaufgabe in kleinere parallel zu bearbeitende Teilaufgaben unterteilt.

Abbildung 3-42: Simultaneous und Concurrent Engineering<sup>1</sup>

In dem Maße wie durch die Parallelisierung von Aufgaben Durchlaufzeiten verringert werden können, steigen durch Simultaneous Engineering die Abstimmungs- und Koordinierungsaufwände. Dieses gilt umso mehr für verteilte Entwicklungen, bei denen die Beteiligten nicht mehr an einem Ort oder sogar nicht mehr in einer Zeitzone zusammenarbeiten [vgl. Ever-98, S. 247]. An diesem Problem setzt das **Collaborative Engineering** an. Unter diesem Begriff lassen sich Ansätze subsumieren, deren Bestrebung es ist, weltweit verteilte Zusammenarbeit im Engineering Bereich durch entsprechende Strategien und Arbeitsabläufe zu etablieren. Hierbei spielt die softwaretechnische Unterstützung zur performanten, zeitnahen Bereitstellung aktueller Produktdaten an verteilten Lokationen, aber besonders die effiziente Organisation der Interaktion zwischen getrennten Entwicklungspartnern eine entscheidende Rolle [vgl. Horn-04, S. 51ff]. Produktdatenmanagementsysteme auf Basis von Web-Technologie<sup>2</sup> bilden dabei das technologische Rückgrat des Collaborative Engineering. Typische Funktionen solcher Systeme sind [Soft-06, S. 1]:

- Web-basiertes PDM
- Viewing & Markup
- Online Meetings
- Diskussionsforen
- Web-basiertes Projektmanagement

### 3.4.6.3 Freigabe- und Änderungsmanagement

„A man cannot be comfortable without his own approval.“  
Mark Twain (amerikanischer Schriftsteller, 1835 - 1910)

Der Änderungsbegriff wird in der DIN Norm 6789 Teil 3 definiert. Demnach ist eine **Änderung** die vereinbarte Festlegung eines neuen anstelle des bisherigen Zustandes [DIN6789-3, S. 1]. Eine **technische Änderung** betrifft der Norm zufolge stets ein partiell oder generell freigegebenes technisches Dokument; als Folge kann – aber muss nicht – sich der mit dem Dokument beschriebene Gegenstand ändern [DIN6789-3, S. 2]. Eine technische Änderung

<sup>1</sup> nach [Pfei-05, S. 7]

<sup>2</sup> bzw. collaborative Product Definition Management (cPDM) oder Computer Supported Cooperative Work Systems (CSCW-Systems)

greift dieser Definition folgend erst nach einer relevanten Freigabe. Die **Freigabe** ist die Genehmigung zur Nutzung von Dokumenten (Unterlagen, Produktdaten, Stamm- und Strukturdaten) nach einer abschließenden Prüfung [vgl. DIN6789-5/7]. Die DIN 6789 sieht dabei eine Stufung von Freigaben vor, um Erkenntnisprozesse vor zu verlagern und die Parallelisierung von Prozessen im Sinne des Simultaneous Engineering zu unterstützen. Weiterhin ist die Freigabe üblicherweise Auslöser zur Beschaffung und leitet somit einen wesentlichen Anteil der Kostenentstehung ein.

Weiteres Definitionsmerkmal der technischen Änderung ist die Dokumentenänderung. Hiermit wird außerbetrieblichen Anforderungen Rechnung getragen. Gesetzgeberische oder normative Festlegungen wie z.B. die ISO Normen der Reihe 9000 verlangen vom Hersteller eine passende technische Dokumentation [DIN6789-3, S. 2]. Weiterhin muss nach EG 85/374, Artikel 11, der Konstruktionsstand sowie die dazugehörigen Änderungsvorgänge mindestens 10 Jahre nach Inverkehrbringen des Erzeugnisses zurückverfolgt werden können, um bei möglichen Produkthaftungsfällen den Entlastungsbeweis führen zu können [DIN6789-3, S. 2]. Von technischen Änderungen können neben den technischen Dokumenten auch materielle Gegenstände, Betriebsmittel, Kosten, Menschen [vgl. Pfli-89, S. 10] und vor allen Dingen auch Prozesse betroffen sein.

CONRAT arbeitet eine Reihe von Problemen des Änderungsbegriffes heraus, die hier in Kurzform gelistet werden sollen [Conr-97, S. 45ff]:

1. Die Definition der technischen Änderung macht unterschiedliche Begriffe für Änderungen vor und nach einer Freigabe nötig.
2. Die Definition enthält keine Festlegung des *relevanten* Freigabezeitpunktes, ab dem Änderungen als „technische Änderungen“ zu behandeln sind.
3. Änderungen vor dem relevanten Freigabezeitpunkt entziehen sich dem Formalismus technischer Änderungen. Sie werden nicht entsprechend analysiert, geprüft und dokumentiert. Simultaneous Engineering verschärft diesen Effekt.
4. Es existiert keine eindeutige Abgrenzung zwischen technischen Änderungen einerseits und neuen Produktkonfigurationen oder Änderungen im Rahmen der Produktpflege andererseits. Neue Konfigurationen bzw. Änderungen im Rahmen der Produktpflege entsprechen häufig eher erstmaligen Freigaben.
5. Prüfungs- und Genehmigungsprozeduren des Änderungsmanagements werden in der Praxis umgangen, indem nachträgliche Änderungen als Neuteile ausgewiesen werden.
6. Die Begriffsdefinition trägt der Veränderung von Erzeugnissen zu höheren Software- und Dienstleistungsumfängen nicht Rechnung.
7. Die mit technischen Änderungen einhergehenden Prozessänderungen werden nicht als technische Änderung aufgefasst, sind mit dieser aber eng verwoben.
8. Vor dem Hintergrund der Virtualisierung der Produktentwicklung sollte sich die Definition einer technischen Änderung nicht nur auf technische Dokumente sondern auf freigegeben Entwicklungsergebnisse allgemein beziehen.

Einige dieser Probleme sind in der betrieblichen Praxis bereits gelöst bzw. entschärft worden. So wird die Abgrenzung zwischen einer technischen Änderung und einer Iteration im Problemlösungszyklus des Konstrukteurs bei BMW durch die Begrifflichkeit des „genehmigenden Änderungsmanagements“ umgangen. Genehmigungspflichtige Änderungen entsprechen einer technischen Änderung, wohingegen Iterationen im Entwicklungsprozess dem allgemeinen Sprachgebrauch folgend als Änderungen bezeichnet werden können.

Das genehmigende Änderungsmanagement setzt bei BMW ab ca. 30 Monaten vor Serie mit dem Beginn der Serienentwicklung ein. Wesentlicher als die zeitliche Festlegung des genehmigenden Änderungsmanagements ist dabei die prozessuale Festlegung. Ab dieser Entwicklungsphase erfolgt die Absicherung der geometrischen, funktionalen und produkttechnischen

Fahrzeugintegration. Diese muss auf stabilen Informationen aufsetzen können. Änderungen in der Entwicklung von Einzelkomponenten oder Baugruppen müssen nun entsprechend formalisiert und kommuniziert werden. Der Übergang in die Serienentwicklung markiert damit auch den Übergang von Entwicklungsiterationen zu technischen Änderungen.

Trotz der vereinfachten Produktdokumentation durch Nutzung von PDM-Systemen, hat sich dagegen das Problem der Definition freizugebender Entwicklungsergebnisse im Zuge der Virtualisierung noch verschärft. Neben der Beschreibung des Produktes und der Produktkomponenten durch Zeichnungen erhalten 3D-Modelle und digitale Dokumentationen stärkeres Gewicht. Die im Zusammenhang mit dem Front Loading stattfindende Verlagerung von Aufwand an den Anfang des Entwicklungsprozesses führt zudem zu einer wachsenden Bedeutung frühzeitig erzeugter Produktdokumentationen (wie z.B. Handskizzen). Die aufwandsreiche Entwurfsphase basiert jedoch in vielen Unternehmen nach wie vor auf Lösungsskizzen der Konzeptionsphase, die nur selten im Sinne des Freigabewesens genehmigt werden müssen und den nachfolgend den Anforderungen technischer Änderungen folgen. Die mangelnde Unterstützung und mangelnde Digitalisierung der kreativ-schöpferischen Tätigkeiten durch CAD-Systeme erschwert die Eingliederung früher Konzeptdokumente in systemgestützte Freigabeprozesse.

Das **Freigabewesen** ist verantwortlich für die Festlegung des Genehmigungszustandes (z.B. in Arbeit, vorfreigegeben, freigegeben, in Änderung, in Prüfung), der den entwickelten Bauteilen und erarbeiteten Dokumenten zugeordnet werden soll [vgl. Dubb-05, S. Y23]. Der Freigabeablauf definiert die Schritte, die dazu führen, dass ein Dokument einen bestimmten Freigabestatus zugewiesen bekommt.

Das technische Änderungswesen legt dagegen den Änderungsprozess fest. In der **klassischen** Sichtweise umfasst das **Änderungsmanagement** „...alle ablauf-organisatorischen Maßnahmen und die dazugehörigen Organisationsmittel zur Änderung von materiellen Gegenständen sowie der zugehörigen Dokumentationen“ [Pfli-89, S. 9]. Es bestimmt nach welchen Arbeitsschritten und Entscheidungsinstanzen das Ändern von Bauteilen und Dokumenten durchgeführt wird, wie Änderungen dokumentiert werden und welche Auswirkungen Änderungen haben (Mitteilungswesen) [vgl. Dubb-05, S. Y23]. Es schließt Folgeänderungen von Fertigungs-, Mess- und Prüfmitteln ein [Pfli-89, S. 9]. Der Änderungsvorgang gliedert sich dabei nach DIN 199 Teil 4 in den **Änderungsvorlauf**, in dem ein gestellter Änderungsantrag geprüft wird und die **Änderungsdurchführung**, in der ein Änderungsauftrag abgewickelt wird, Zeichnungen und Stücklisten geändert und die Änderungsdokumente verteilt bzw. die Änderung kommuniziert wird.

#### **3.4.6.3.1 Integriertes Änderungsmanagement**

Ein umfassenderer Ansatz als das klassische Änderungsmanagement ist das von REICHWALD und LINDEMANN geprägte **Integrierte Änderungsmanagement** [vgl. LiRe-98]<sup>1</sup>. Kern des Integrierten Änderungsmanagements ist die Einbeziehung des Entwicklungsprozesses als Entstehungssystem für technische Änderungen sowie die Integration von technischen und wirtschaftlichen Betrachtungen [vgl. Allm-99, S. 34]. Die Defizite des klassischen Änderungsmanagements bildeten die Grundlage zur Entwicklung des Integrierten Änderungsmanagements. Aus den Defiziten leiten sich acht Aktionsfelder ab, die mit ausgewählten Unternehmensressourcen bearbeitet werden.

---

<sup>1</sup> HILLER und CONRAT betrachteten das Änderungsmanagement vor dem Hintergrund der integrierten Produktentwicklung [vgl. Conr-97, S. 55ff]. CONRAT stützte sich dabei weitgehend auf das Modell des integrierten Entwicklungsprozesses des SFB336 (Montageautomatisierung durch Integration von Konstruktion und Planung).

	Aktionsfeld 1: Vermeidung und Vorverlagerung von Änderungen	Aktionsfeld 2: Änderungserkennung	Aktionsfeld 3: Problem- und Ursachenanalyse	Aktionsfeld 4: Synthese von Lösungsalternativen	Aktionsfeld 5: Auswirkungserfassung und Änderungsplanung	Aktionsfeld 6: Wirtschaftliche Bewertung und Entscheidung	Aktionsfeld 7: Effiziente Abwicklung	Aktionsfeld 1: Lernorientierte Auswertung von Änderungsdaten
Baustein 1: Management und Organisation								
Baustein 1: Management und Organisation								
Baustein 1: Management und Organisation								

Abbildung 3-43: Modell des Integrierten Änderungsmanagements<sup>1</sup>

Das Integrierte Änderungsmanagement wurde in einer Reihe von wissenschaftlichen Arbeiten weiter bearbeitet (z.B. Kleedörfer (1998), Riedel (2000), Aßmann (2000), Allmansberger (2001)). In diesen Arbeiten wurden vielfach verschiedene Prozessmodelle des Änderungsprozesses entwickelt und an die steigenden Anforderungen und veränderten Gegebenheiten des Entwicklungsprozesses angepasst [vgl. Aßma-00, S. 65ff].

### 3.4.6.3.2 Möglichkeiten der Effizienzsteigerung

Produktänderungen liegen im Spannungsfeld zwischen Verschwendung und Verbesserung. Zum einen stellen sie eine Störung im Produktentwicklungsprozess dar und verursachen erhebliche Kosten und Zeitverluste. Zum anderen sind sie aber auch Quelle für Innovationen und ein kontinuierlicher Lernprozess, welcher die Produktqualität positiv zu beeinflussen vermag. Schlüssel für den erfolgreichen Umgang mit Änderungen ist die effiziente Gestaltung der Änderungsprozesse. Generell können Effizienzsteigerungen dabei durch

- die Vermeidung von Änderungen,
- die Selektion von wirtschaftlichen Änderungen,
- die effiziente Bearbeitung von Änderungen und
- die Einschränkung der Änderungswirkung

erreicht werden. Wesentlich für die Untersuchung der Vermeidbarkeit von Änderungen ist nach CONRAT die Unterscheidung zwischen Änderungsursachen, –auslösern und –gründen [Conr-97, S. 50ff]:

<sup>1</sup> nach [LiRe-98, S. 55]

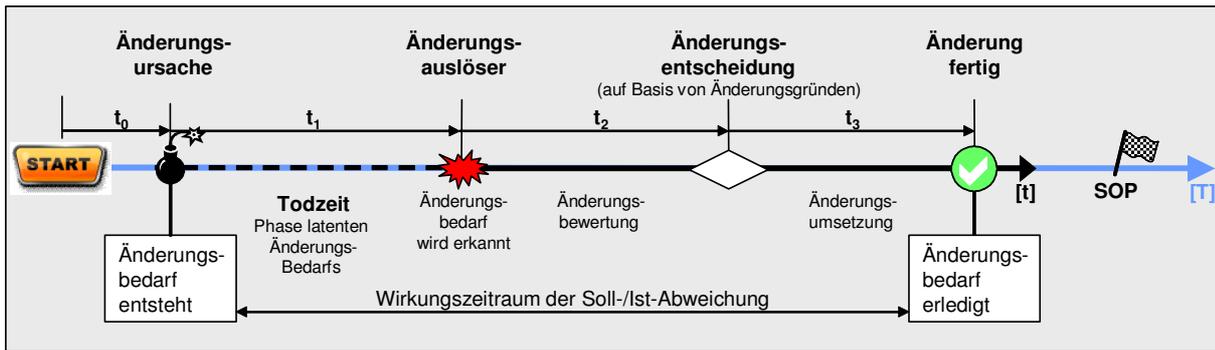


Abbildung 3-44: Änderungsursache, -auslöser und gründe1

Änderungsauslöser ist eine festgestellte Ist-Abweichung (fehlerbedingte Änderungen) oder Soll-Veränderung (neuerungsbedingte Änderung). Dies ist noch keine hinreichende Begründung für eine Änderung. Ein Änderungsgrund ergibt sich erst, wenn die Änderung als wirtschaftlich eingestuft werden kann. Sie muss entweder mindestens die Änderungskosten abdecken oder durch zwingende Anforderungen (z.B. gesetzliche Bestimmungen) notwendig werden. Aussagen über die prinzipielle Vermeidbarkeit einer Änderung ergeben sich erst nach Analyse der Ursache-/Wirkungs-Kette. Kausale Hintergründe der änderungsauslösenden Soll-/Ist-Abweichung können Fehler im Entwicklungsprozess oder Neuerungen in den Rahmenbedingungen sein [vgl. Conr-97, S. 53f].

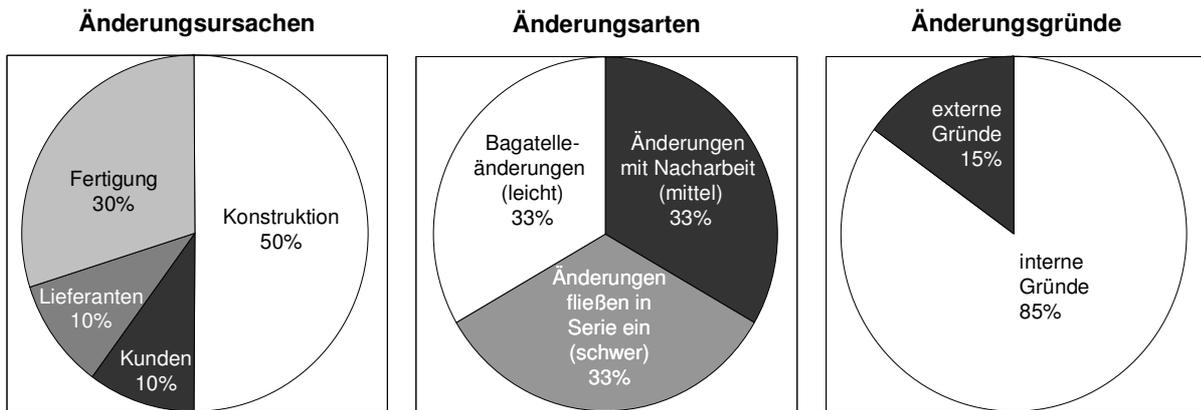


Abbildung 3-45: Analyse von Änderungsursachen, -arten und gründen2

Die klare Trennung der Begrifflichkeiten und die Analyse der Änderungsursachen helfen zur Identifizierung von Einsparpotenzialen. Die Behebung der Fehlerquellen im Entwicklungsprozess und die Erkennung von Optimierungsansätzen gelingen jedoch erst durch die Einbettung des Änderungsprozesses in die Produktentwicklung. Dabei kann das Änderungsmanagement als Regelkreis im Entwicklungsprozess modelliert werden. Das Änderungswesen stellt dabei den Regler dar, welcher anhand eines Soll-/Ist-Vergleiches Abweichungen zwischen Führungs- und Regelgröße erkennt und beseitigt [vgl. Aßma-00, S. 31]. Damit entspricht eine Änderung einer Schleife innerhalb des Entwicklungsprozesses. Diese Änderungsschleifen hat GECKLER für Fahrzeugprojekte simuliert und untersucht. Er definiert hierfür die Parameter Rücksprungwahrscheinlichkeit, Rücksprungradius, Dauer der Vorgangswiederholung und Vernetzungsgrad der Einzelvorgänge. Anhand verschiedener Projektnetzpläne

<sup>1</sup> nach [Conr-97, S. 55]

<sup>2</sup> nach [Wild-06, S. 19f] (Stichprobengröße bei Änderungsgründen n=12)

analysiert er die Auswirkungen dieser Parameter auf die Projektdurchlaufzeit [Geck-02]. Er nennt folgende fünf Ansätze zur Reduktion der Projektdauer:

- Verkürzung der Vorgänge des kritischen Pfades unter Berücksichtigung von Änderungsschleifen,
- Vorgangsüberlappung durch Simultaneous Engineering,
- Verringerung der Änderungsrate durch Risikomanagement und Steuerung der internen Änderungsmotive,
- Verkürzung der Schleifenradien durch sofortige Reaktion auf Änderungsgründe und einen effektiven Informationsfluss bis zur Änderungsgenehmigung,
- Entflechtung der Vorgangsvernetzung durch Modularisierung des Produktes.

GECKLER empfiehlt eine ausbalancierte Kombination aller fünf Ansätze, jedoch könne besonders durch die Verkürzung der Änderungsschleifen positive Effekte auf die Projektlaufzeit erzielt werden. Der Änderungszeitpunkt im Entwicklungsprozess hat dabei einen wesentlichen Einfluss auf die Länge der Änderungsschleifen. In den frühen Phasen des Entwicklungsprozess sind weniger Vorgänge von einer technischen Änderung betroffen. Der Änderungsaufwand bzw. die Änderungskosten sind daher geringer (10er Regel der Fehlerkosten). Zur Vorverlagerung von Änderungen dienen die Methoden des präventiven Qualitätsmanagements (FMEA, QFD, FTD, DfX...) [vgl. Allm-99, S. 26, vgl. LiRe-98, S. 107ff].

Ein weiterer Aspekt zur Effizienzsteigerung des Änderungsmanagements ist die Dezentralisierung. Durch die Moderation von Änderungen kann gegenüber der Steuerung von Änderungen eine Transparenzverbesserung für alle Prozessbeteiligten erreicht werden. Übergeordnete Einheiten sollten daher nur in den Änderungsprozess eingreifen, wenn dezentrale Entwicklungsteams (z.B. interdisziplinäre Teams im Rahmen der SE-Organisation) diese Aufgaben nicht selbständig erledigen können. Dies ist dann der Fall, wenn Änderungen die Schnittstellen zwischen den Entwicklungsteams überschreiten [vgl. Klee-99, S. 61ff]. Die unterschiedliche Anzahl von Schnittstellen bei Produktkomponenten, Modulen und Adaptern wirft dabei die Frage auf, ob alle Änderungen dem gleichen Änderungsprozess folgen sollten oder durch eine Klassifizierung von Änderungen eine differenziertere und schnellere Steuerung und Bearbeitung von Änderungen, als Bypassänderung, ermöglicht werden kann. ALLMANSBERGER erweitert die Konstruktionsmethodik durch einen entsprechenden Ansatz. Er ordnet unterschiedlichen Änderungsklassen verschiedene Lösungsstrategien des Ändern zu [Allm-99, S. 96ff].

		Mussänderung	Kannänderung
Standardprozess	Hohe Dringlichkeit	Korrigierend	Korrigierend
	Niedrige Dringlichkeit	Generierend und korrigierend	Generierend und korrigierend
Bypassänderung	Hohe Dringlichkeit	Korrigierend, wenn eine abgesicherte Lösungsidee vorliegt	
	Niedrige Dringlichkeit		

Abbildung 3-46: Zuordnung von Lösungsstrategien zur Änderungsklassen<sup>1</sup>

Das generierende Ändern versucht, in aufeinander aufbauenden Konkretisierungsstufen sinnvolle Lösungsvarianten zu entwickeln, zu bewerten und auszuwählen. Das korrigierende Ändern verändert dagegen eine existierende Lösung, um entweder die Änderungssymptome oder die Änderungsursachen zu beheben. Dabei kann auch die Symptombehandlung zu tragfähigen Lösungen führen (z.B. wenn die Wahrscheinlichkeit für erneuten Handlungsbedarf durch ein

<sup>1</sup> nach [Allm-99, S. 99]

bereits bekannten Lieferanten- oder Komponentenwechsel o. ä. als gering eingeschätzt werden kann).

#### 3.4.6.4 Konfigurationsmanagement

Das Konfigurationsmanagement stellt einen weiteren häufig diskutierten Ansatz zum Management von technischen Änderungen dar. Es hat sich als gesamtheitliches Projektmanagementkonzept unter der wachsenden Komplexität militärischer Entwicklungsprojekte und der Notwendigkeit für einen systematischen Umgang mit Änderungen Anfang der 60er Jahre entwickelt [vgl. Sayn-99b, S. 102]. Das Konfigurationsmanagement fasst den Produktentstehungsprozess als eine Folge von Änderungen auf. Ausgangspunkt für Änderungen ist ein gesicherter und dokumentierter Entwicklungsstand, eine Konfiguration des Produktes [vgl. Hill-97, S. 25f]. Die Produktkonfiguration steht im Konfigurationsmanagement im Zentrum des Änderungsablaufes. Das Konfigurieren von Produkten bekommt mit dem Ansatz des **Mass Customization** noch eine weitere, über das Änderungsmanagement hinausreichende Bedeutung. Diese kommt heute in den vertriebsorientierten Bereichen im Zusammenspiel mit Computer Aided Selling (CAS) und Customer Relationship Management (CRM) zur Geltung, wo sich der Einsatz von Produktkonfiguratoren etabliert hat<sup>1</sup>.

Auf Grund der stärkeren Vielfaltsbildung hat sich das Konfigurationsmanagement besonders im Software Engineering weiterentwickelt. Dabei haben sich die Begrifflichkeiten und Inhalte verändert [vgl. Sayn-99, S. 102]. Heute wird das Konfigurationsmanagement im Software Engineering auch mit den Begriffen Domain Engineering und Generative Programmierung verbunden. Entsprechend der Softwarelastigkeit entstammen wissenschaftliche Arbeiten zum Thema häufig dem Software Engineering bzw. sind Methoden des Konfigurationsmanagements häufig auf die Spezifika von Softwareprodukten zugeschnitten.

Auch im Umfeld der Automobilindustrie bekommt Software im Zusammenhang mit mechatronische Komponenten und „Eingebetteten Systemen“ (embedded Systems) eine wachsende Bedeutung. Damit stellt sich für das Konfigurationsmanagement die Herausforderung, Hard- und Softwareentwicklung miteinander verbinden zu müssen. Dementsprechend kann das Konfigurationsmanagement für Technische Systeme als Oberbegriff<sup>2</sup> für das Hardware/ Geräte Konfigurationsmanagement und das Software/ Informatik Konfigurationsmanagement verstanden werden [Sayn-99, S. 116]. In dieser Arbeit steht jedoch weniger die Verbindung von Soft- und Hardware sondern die Konfiguration von Hardware-Komponenten im Vordergrund der Betrachtungen.

Die DIN ISO 10007 definiert die **Konfiguration** als „Funktionelle und physische Merkmale eines Produktes, wie sie in seinen technischen Dokumenten beschrieben und im Produkt verwirklicht sind“ und beschreibt das **Konfigurationsmanagement** als eine „Managementdisziplin, die über die gesamte Lebensdauer eines Produktes angewandt wird, um Transparenz und Überwachung seiner funktionellen und physischen Merkmale sicherzustellen“ [DIN10007, S. 4f]. Das Konfigurationsmanagement versucht das Konsistenzproblem in der Dokumentation der Produktentwicklung zu lösen, indem es verschiedene Versionen eines Produktes, seiner Komponenten und Beschreibungen zueinander in Bezug setzt und kompatible Gesamtsysteme definiert [Klee-99, S. 43]. Hierfür beinhaltet es umfangreiche Regelungen zur Prüfung der Konsistenz der Produktdokumentation und zur Prüfung der Übereins-

---

<sup>1</sup> Produktkonfiguratoren werden bei allen großen Automobilkonzernen eingesetzt sind jedoch häufig noch reine Informations- und Marketingwerkzeuge. Eine Einbindung der Konfiguratoren in die Systemlandschaft der Automobilhersteller und eine Koppelung an Produktionssysteme oder gar Zulieferer findet heute noch wenig statt.

<sup>2</sup> Saynisch benennt diesen Sachverhalt „Schichtenmodell des Konfigurationsmanagements“.

timmung von realisierter (as-build) und geplanter Konfiguration (as-designed) [vgl. Conr-97, S.81f].

Nach SAYNISCH gliedert sich das Konfigurationsmanagement in die Managementorganisation, die drei Grundprozesse Konfigurationsidentifizierung, Konfigurationsüberwachung und Konfigurationsaudit sowie die Dokumentation der Resultate in der Konfigurationsbuchführung [Sayn-99b, S. 102].

Die **Konfigurationsmanagementorganisation** und -planung ist primär projektbezogen. Es definiert die erforderlichen Gremien zur Konfigurationsbestimmung und Änderungsdurchführung, die Verfahren und Pläne und ist für die Selektion von Unterstützungstools verantwortlich [vgl. Sayn-99a, S. 25]. Die **Konfigurationsidentifizierung** legt die relevanten Bezugskonfigurationen<sup>1</sup> fest. Hierzu gehört die sinnvolle Strukturierung des Produktes, die Festlegung der Konfigurationseinheiten<sup>2</sup> und ihrer Granularität [vgl. Sayn-99a, S. 23]. Die Unterteilung in Konfigurationseinheiten wird mittels der Produktstruktur – in diesem Zusammenhang auch Konfigurationshierarchie genannt – durchgeführt und sichtbar gemacht. Kriterien für die Zerlegung in Konfigurationseinheiten können auf logischer bzw. geometrischer Trennung beruhen, aber auch nach Gesichtspunkten wie Funktion, Montagereihenfolge, Auslieferungsstruktur, Wartung, Sicherheit, Schnittstellen zu anderen Einheiten oder Kritikalität bezüglich Risiko festgelegt werden. Auch die Festlegung der erforderlichen Unterlagen über die Definition der physischen und funktionellen Merkmale und Schnittstellen ist zur Konfigurationsidentifizierung zu zählen [vgl. Sayn-99a, S. 23]. Nachdem die Konfigurationsdokumente formell erstellt wurden, übernimmt die **Konfigurationsüberwachung** die Steuerung von Änderungen an den Konfigurationseinheiten. Dabei ist der Ablaufplan der Änderungsdurchführung weitgehend mit dem Ablauf der DIN 199 Teil 4 identisch [vgl. Allm-99, S. 24f]. Das **Konfigurationsaudit** dient der formalen Prüfung des Ausführungsstandes einer Konfigurationseinheit oder des Gesamtproduktes [vgl. Sayn-99a, S. 24]. Die **Konfigurationsbuchführung** formalisiert die Dokumentation und Berichterstattung. Sie beginnt ab der erstmaligen Erzeugung von Konfigurationsdaten und ermöglicht über die Dokumentation von Änderungsanträgen und deren Durchführungsstand die Rückverfolgbarkeit der Änderung auf die Bezugskonfiguration [vgl. Sayn-99a, S. 24].

Das Konfigurieren stellt eine Synthesaufgabe und eine besondere Form des Konstruierens dar. Der Begriff **Konfigurieren** beschreibt die schrittweise Zusammensetzung und Ausprägung (Parametrierung) von Komponenten zu einem Gesamtsystem (Konfiguration) unter Einhaltung vorgegebener Restriktionen und vorgegebener Ziele [vgl. Kühn-01, S. 3, vgl. CuGü-91, S. 37]. Dabei müssen folgende Punkte gegeben sein [GüKK-99, S. 61]:

- Eine Spezifikation der Aufgabe (Konfigurationsziele), die insbesondere angibt, welche Anforderungen die zu erzeugende Konfiguration erfüllen soll.
- Eine Menge von Objekten der Anwendungsdomäne (Domänenobjekte) und deren Eigenschaften (Parameter).
- Eine Menge von Relationen und Restriktionen zwischen den Objekten. Dabei sind für die Konfigurierung insbesondere auch die kompositionellen Beziehungen von Bedeutung.
- Wissen (Kontrollwissen) über die Vorgehensweise bei der Konfigurierung (Lösungssteuerung).

---

<sup>1</sup> Die Bezugskonfiguration entspricht in der Fahrzeugentwicklung dem sogenannten „Lead-Fahrzeug“.

<sup>2</sup> Konfigurationseinheit meint in diesem Zusammenhang eine beliebige Kombination aus Hardware, Software oder Dienstleistung.

Grundlage des Konfigurierens ist das in geeigneter Art und Weise vorhandene Domänenwissen. Zur Lösung einer Konfigurierungsaufgabe und dem Erzeugen einer Konfiguration wird dieses Wissen ausgewertet. Konfigurierungsaufgaben sind überwiegend durch die folgenden Merkmale gekennzeichnet [Runt-06, S. 10]:

- Großer Lösungsraum: Die Anzahl der prinzipiell möglichen Konfigurationen kann sehr groß sein.
- Rücknahme von Entscheidungen: Während der Konfigurierung müssen z. T. Entscheidungen getroffen werden, die später nicht mehr haltbar sind und zurückgenommen werden müssen, um zu einer annehmbaren Lösung zu gelangen.
- Hierarchisches Vorgehen: Eine Konfiguration ist in vielen Anwendungsbereichen eine Hierarchie von Komponenten, daher ist für den Konfigurierungsvorgang häufig ebenfalls eine hierarchische Gliederung zu empfehlen (z. B. top-down Vorgehen).
- Behandlung von Abhängigkeiten: Abhängigkeiten zwischen den Konfigurierungsobjekten sind von zentraler Bedeutung, denn darauf aufbauend wird die Konfigurierung durchgeführt. Eine effiziente und adäquate Repräsentation und Verarbeitung ist daher unerlässlich.

Die Produktentwicklung eines Fahrzeuges stellt im Sinne obiger Begrifflichkeiten einen Mix aus konstruktivem Entwerfen (Planen) und Konfigurieren dar. Durch die Entwurfstätigkeiten werden neue Komponenten entwickelt. Sie erweitern die Domäne mit neuen Objekten und neuem Wissen. Durch die Konfigurationstätigkeiten werden die Objekte miteinander in Zusammenhang gestellt. Beim Ausleiten einer Konfiguration werden diese Relationen ausgewertet. Um eine Konfiguration als Lösung der Gesamtmenge eindeutig zu bestimmen, muss zum einen das hinterlegte Wissen konsistent sein, zum ändern müssen die Anforderungen an die Lösung in Form von Startbedingungen zur Berechnung der Lösung definiert werden.

Mit der Virtualisierung der Produktentwicklung bekommt das Konfigurationsmanagement eine neue und grundlegende Bedeutung. Virtuelle Prototypen müssen planvoll erstellt und im DMU abgesichert werden. Es ist zwingend notwendig, Klarheit über die eingearbeiteten bzw. noch nicht eingearbeiteten Änderungen und über den für diesen Augenblick gültigen Gesamtzustand zu haben. Die wachsende Anzahl von Produktvarianten erhöht die Komplexität und die Bedeutung des Konfigurationsmanagements als Managementansatz [Sayn-99b, S. 111f]. Auch die Tätigkeiten des Konstrukteurs verändern sich durch das Konfigurationsmanagement. Anstatt zu konstruieren wird immer mehr konfiguriert. Dabei muss sich der Konstrukteur spätestens dann intensiv mit der Thematik der Konfigurationsidentifizierung, –überwachung und –buchführung beschäftigen, sobald er seinen Konstruktionsumfang in den Gesamtzusammenhang des Endproduktes einbetten will. Um nicht in negativer Weise von der kreativen Innovationstätigkeit des Konstruierens abzulenken, muss das Konfigurationsmanagement für den Konstrukteur möglichst einfach gestaltet sein. Unter dem Aspekt der Kundenintegration kommt auch den Produktkonfiguratoren des Vertriebs eine wachsende Bedeutung zu. Die Abgrenzung zwischen entwicklungsseitigen und vertriebsseitigen Produktkonfiguratoren geschieht über die Produktmerkmale. Vertriebsseitige Konfiguratoren enthalten nur diejenigen Merkmale, die zur externen Vielfalt beitragen wohingegen die entwicklungsseitigen auch Merkmale der internen Vielfalt enthalten.

### 3.4.6.4.1 Produktkonfigurationssysteme

Die zentralen theoretischen Grundlagen des Konfigurierens sind ein Schwerpunkt der Forschung auf dem Gebiet der **Künstlichen Intelligenz (KI)** [GüKK-99, S. 61]. Produktkonfigurationssysteme<sup>1</sup> (PKS) sind zu den wissensbasierten **Expertensystemen**<sup>2</sup> zu zählen [GüKK-99, S. 61]. Expertensysteme lassen sich anhand ihrer Aufgaben wie in folgender Abbildung dargestellt untergliedern [vgl. Runt-06, S. 9, vgl. Stein-05, S. 11]:

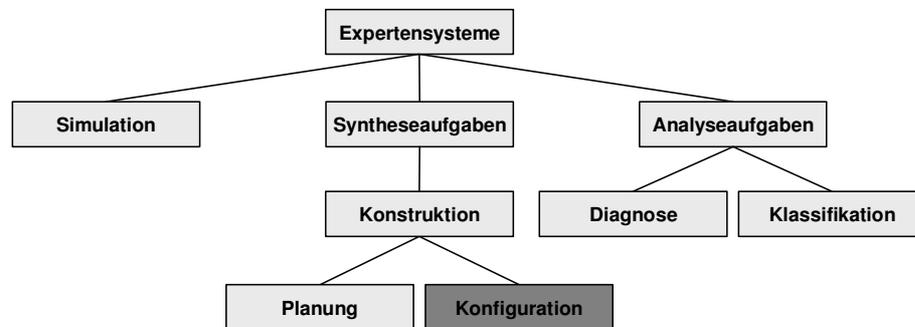


Abbildung 3-47: Klassifizierung von Expertensysteme

Durch die Verwendung von Expertensystemen wird versucht, Expertenwissen durch Wissensakquisition und die Umsetzung dieses Wissens in eine maschinenlesbare Form systemtechnisch für Anwender nutzbar zu machen. Für die Entwurfstätigkeit in der Produktentwicklung umfasst diese Unterstützung die effiziente Suche nach passenden Produktkonfigurationen in einem Suchraum. Dieser Suchraum wird durch die Kombinationsmöglichkeiten sämtlicher Produktkomponenten aufgespannt. Die Kundenanforderungen und die intendierte Funktion des Produktes unterscheiden die Menge der erlaubten Lösungen von der Menge der syntaktisch möglichen Lösungen (Suchraum). Ziel ist eine Konfiguration, welche die Kundenanforderungen abdeckt und konform zur Wissensbasis ist (d.h. diese nicht verletzt).

Die Forschung zur Künstlichen Intelligenz bietet Formalismen zur Repräsentation und Verarbeitung von benötigtem Konfigurierungswissen. Im Gegensatz zu konventionellen Programmen, die Algorithmen auf eine Datenbasis anwenden, verknüpfen Expertensysteme die Datenbasis zu Wissen und wenden auf dieses Problemlösungsstrategien an. Die Problemlösungskomponente enthält die Methoden und Logiken zur Bearbeitung der Konfigurierungsaufgabe auf Basis des hinterlegten Wissens und der hinterlegten Daten [vgl. Pup-01, S. 13, vgl. GoFH-90, S. 17]. Wesentlichstes Element dieser Daten ist bei der Fahrzeugkonfiguration die Produktstruktur.

<sup>1</sup> Synonym werden auch die Begriffe Produktkonfigurator, Variantenkonfigurator oder Konfigurator verwendet

<sup>2</sup> Definition bei [Günt-92, S. 1]

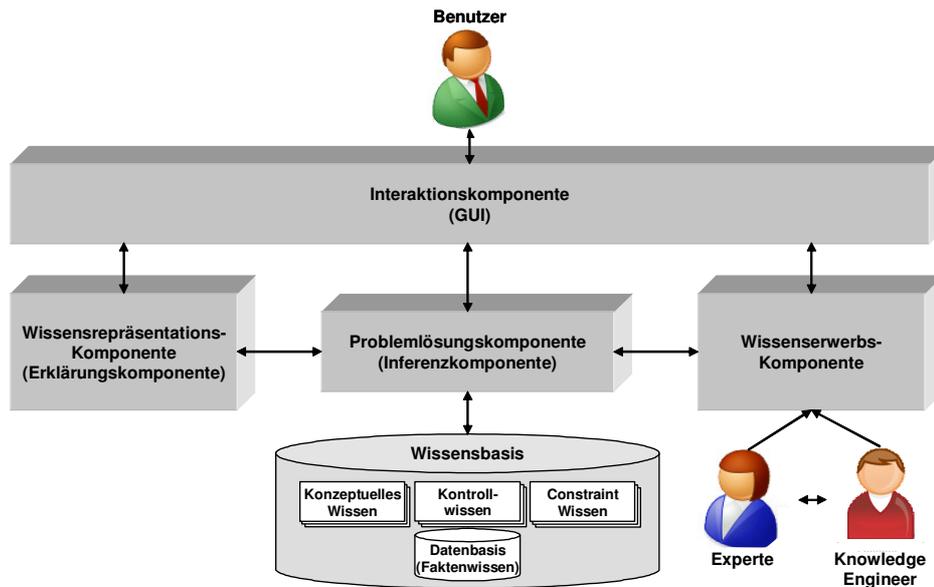


Abbildung 3-48: Aufbau wissensbasierter Expertensysteme

Die Wissenserwerbskomponente dient zur Erfassung und Modifikation des Domänenwissens. Über Ontologien, Klassifizierung, Regeln, Restriktionen u. ä. werden Beziehungen zwischen den Komponenten und deren Merkmalen und Parametern hergestellt. Das Wissen wird auch als Beziehungswissen bezeichnet. Die Repräsentationskomponente liefert die Begründung, wie es zu der jeweiligen Lösung gekommen ist und stellt Transparenz her [vgl. Li-03, S. 73ff].

Grund für den Entwurf von Konfigurationssystemen ist die hohe Zahl von Freiheitsgraden, die ein Konfigurieren von Hand nur schwer erlauben und fehlerträchtig machen. Die Kernfunktionen des Produktkonfigurationssystems ermöglichen vor allem die Unterstützung des Anwenders in den drei Bereichen Angebotserstellung, Konstruktion und Arbeitsvorbereitung [GrSc-05, S. 55]. Seit Mitte der 90er Jahre gewinnt das Konfigurationssystem im Vertrieb des Unternehmens immer mehr an Bedeutung [Li-03, S. 17]. Hier werden Konfigurationssysteme im Bereich des Computer Aided Selling (CAS) zur Angebotserstellung zumeist in Verbindung mit CRM-Anwendungen eingesetzt. Basis der Produktkonfiguration sind die Kundenanforderungen. Der Produktkonfigurator wendet auf dieser Basis Konfigurationsregeln und aktuelle Preisangaben an und ermittelt einen gültigen Lösungsvorschlag für den Kunden. Bei den vertriebsorientierten Produktkonfiguratoren wird zwischen der Produkt- und der nachfolgenden Preiskonfiguration unterschieden, welche jedoch zumeist ein eigenes technisches Modul des Konfigurators darstellt [vgl. Li-03, S. 16 u. 58]. Zusatzfunktionen der Konfiguratoren sind unter anderem die Bereitstellung von Produktinformationen und Argumentationshilfen, Kostenermittlung, Module zur Datenpflege, Stücklistenstellung sowie die Erstellung von Arbeitsplänen [GrSc-05, S. 55]. Hinzu kommen bei einigen Systemen auch die Fähigkeit zur Visualisierung der Produkte und die Möglichkeit zur Schnittstellenintegration zu PPS- und CAD-Systemen [GrSc-05, S. 55]. Automobilhersteller verwenden zunehmend Produktkonfiguratoren, um dem Kunden über das Internet ein individuell konfiguriertes Auto anbieten zu können. Aber auch im allgemeinen Maschinenbau, in der Unterhaltungselektronik oder im Textilhandel werden Produktkonfiguratoren vermehrt eingesetzt. Diese Vertriebslastigkeit spiegelt sich auch in einigen Definitionen des Begriffs Produktkonfigurationssystem wieder [vgl. Li-03, S. 12].

Das Produktkonfigurationssystem ist idealerweise in die Systemwelt eines Unternehmens eingebunden. Die Aktualität der Daten kann durch eine Integration bzw. Schnittstellen zu ERP- und PDM-Systemen sichergestellt werden. Durch die Integration mit CAD-Systemen können die konfigurierten Produkte in 3D-Visualisierung dargestellt und Zeichnungsunterlagen oder Berechnungen direkt zugeordnet werden. In diesem Zusammenhang kann zwischen „Add-On Konfiguratoren“ und „Integrierten Konfiguratoren“ unterschieden werden [vgl. Li-03, S. 95]. Während erster als „stand-alone“-System eine redundante Datenbasis zu CRM, PPS oder ERP Systeme aufbauen und sich damit besonders für den Außendienst eignen, sind letztere zumeist in ERP-Systeme integriert und nutzen deren Datenbasis [vgl. Li-03, S. 95]. Derartige Konfiguratoren sind beispielsweise der R/3-Variantenkonfigurator von SAP, der Oracle Produktkonfigurator in Oracle Applications und der BaaN Konfigurator [vgl. Li-03, S. 12]. Besonders SAP bietet einen integrierten ERP-Variantenkonfigurator an, der eng mit den Applikationen PLM, SRM und CRM verknüpft ist. Wie bereits dargestellt liegt besonders in der Integration dieser Systeme ein Schlüssel zum Erfolg. Das Konfigurationsmanagement stellt eine weitere Anwendung dar, die durch diese Integration wesentliche Potenziale ausschöpfen kann.

#### 3.4.6.4.2 Methoden der wissensbasierten Konfiguration

Methoden zur wissensbasierten Konfigurierung unterscheiden sich z. T. sowohl in der Art der Wissensmodellierung als auch in der Weise, wie Konfigurierungsentscheidungen getroffen werden.

##### Strukturbasierte Konfiguration:

Die strukturbasierte Konfiguration orientiert sich an der Struktur des Domänenmodells [Kühn-01, S. 5]. Das Domänenwissen wird durch Ontologien strukturiert. Die Struktur wird durch zwei Formen von Hierarchien gebildet. Die **Zerlegungshierarchie** (partonomische Hierarchie) stellt die kompositionelle Abhängigkeit zwischen den Objekten dar. Der strukturelle Aufbau ergibt sich durch die Zuordnung von Komponenten über „besteht aus“ bzw. „ist Teil von“ Relationen. Die **Spezialisierungshierarchie** (taxonomische Hierarchie) beschreibt und gliedert die Objekte (mit Parametern) anhand ihrer Eigenschaften über „ist ein“ Relationen [vgl. Kunt-01, S. 4f; vgl. Kühn-01, S. 4f]. Eine solche Begriffshierarchie beschreibt generisch die Menge der möglichen Lösungen, die der Konfigurationsprozess bis zum Erreichen der Lösungskonfiguration schrittweise einschränken soll [Kühn-01, S. 4f].

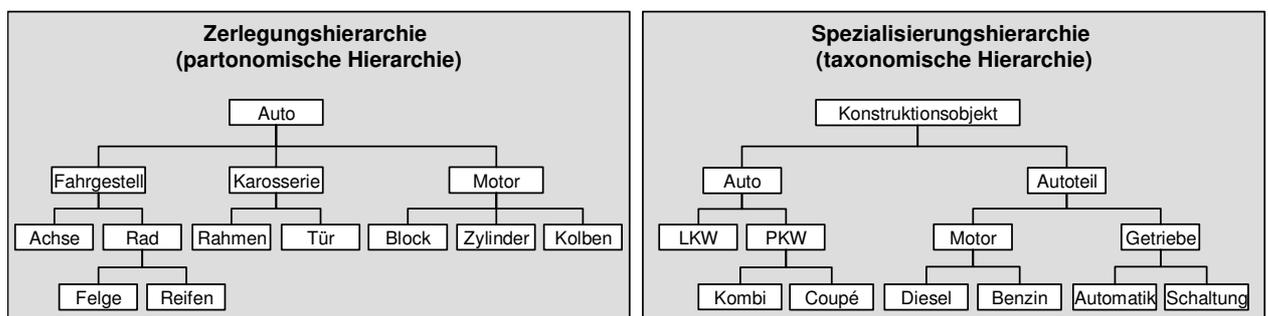


Abbildung 3-49: Beispiel für partonomische und taxonomische Hierarchie

Diese Strukturierung des Wissens ermöglicht es, auf hohem Abstraktionsniveau allgemeine Beschreibungen der Objekte und deren speziellen Ausprägungen zu spezifizieren [Runt-06, S. 13]. Für den Konfigurierungsvorgang erlaubt dies sowohl ein Top-Down- („Dekomposition von Komponenten,“) als auch ein Bottom-Up-Vorgehen („Aggregation von Komponenten“), orientiert an dem Aufbau der Komponentenstruktur [vgl. CuGü-91, S. 45]. Die

Konfigurierung selbst läuft stufenweise ab, wobei jeder Schritt eine Konfigurationsentscheidung darstellt und Testen, Simulation oder Überprüfung mit Constraint-Techniken enthalten kann [KrWH-04, S. 82].

Durch die generische Beschreibungen von Objekten entsprechend den Objektklassen und die Verwendung von Vererbungsmechanismen werden bei der strukturbasierten Konfiguration redundante Beschreibungen eingeschränkt oder gar vermieden [GüKü-99, S. 5f]. Ein Nachteil dieses Verfahrens besteht darin, dass kleine Veränderungen in der Spezifikation große Effekte haben können (Schwelleneffekt). Zusätzlich werden getroffene Fehlentscheidungen mitunter erst spät festgestellt (Horizonteffekte) [Stum-00, S. 19]. Die zentrale Voraussetzung des strukturbasierten Ansatzes ist die Strukturiertheit der Domäne.

### **Regelbasierte Konfiguration:**

Grundprinzip der regelbasierten Konfiguration ist die Formulierung von Wissen in Form von assoziativen Regeln bestehend aus Bedingungs- und Aktionsteil (wenn „Bedingung“ dann „Aktion“) [vgl. Kühn-01, S. 4]. Der Bedingungsteil spezifiziert wann eine Regel aktiviert werden soll. Sind alle Bedingungen erfüllt, so werden die Aktionen im Aktionsteil ausgeführt. Für die Auswahl einer Regel aus einer Konfliktmenge an aktuell anwendbaren Regeln existierten domänenunabhängige (z.B. Auswahl der aktuellsten oder speziellerten Regel) und auf Domänenwissen basierende (z.B. Prioritäten, Bewertungsfunktionen, Metaregeln) Vorgehensweisen [vgl. Kühn-01, S. 4].

Es wird zwischen datenorientiertem (Vorwärtsverkettung) und zielorientiertem (Rückwärtsverkettung) Inferenzmechanismus<sup>1</sup> unterschieden [vgl. Runt-06, S. 11]. Bei der Vorwärtsverkettung werden vorliegende Fakten mit dem Bedingungsteil verglichen, wobei geprüft wird, welche Regeln ausführbar sind. Bei der Rückwärtsverkettung dagegen werden die Aktionsteile erfasst und mit einem Ziel verglichen. Regeln, deren Aktionsteil das Ziel enthalten, werden in einer Menge zusammengefasst, aus der schließlich eine Regel ausgewählt wird. Der Bedingungsteil der ausgewählten Regel ist dann das neue Ziel. Regelbasierte Systeme für die Konfigurierung verwenden i.a. einen vorwärtsverkettenden, also datenorientierten Inferenzmechanismus [Kühn-01, S. 4].

Neben der Beschreibungsmöglichkeit von kausalen Abhängigkeiten zwischen Objekten liegen die Stärken des regelbasierten Ansatzes in der Repräsentation und Evaluierung von heuristischen Abhängigkeiten [Runt-06, S. 11]. Regelbasierte Systeme weisen jedoch erhebliche Unzulänglichkeiten bei der Wissensakquisition, der Sicherstellung der Konsistenz der Wissensbasis, der Modularität, der Adaptierbarkeit der Systeme, der Rücknahme von Entscheidungen bei Konflikten und der Integration von Benutzer Anweisungen auf [vgl. GüKü-99, S 3; vgl. Runt-06, S. 12]. GÜNTER und Kühn empfehlen die Verwendung der regelbasierten Konfiguration nur als Ergänzung zu anderen Methoden [vgl. GüKü-99, S 3].

### **Constraintbasierte Konfigurierung**

Constraints definieren Beschränkungen und Beziehungen zwischen Konfigurierungsobjekten bzw. zwischen den Attributen der Objekte [vgl. HoKr-03, S 3]. Sie dienen zum einen dazu, aus vorhandenen Eigenschaften spezifische Eigenschaften abzuleiten, und zum anderen zur Validierung der Konsistenz der aktuellen Konfiguration (constraint satisfaction) [Runt-06, S. 14]. Werden Constraints über ihre Variablen in Relationen gesetzt entsteht ein Constraint-Netz. Wird eine Eigenschaft in diesem Netz im Zuge der Konfiguration mit einem Wert belegt, so ergibt sich durch Anwendung des Netzes (constraint propagation) eine Einschränkung des Lösungsbereiches [vgl. HoKr-03, S. 3]. Ziel ist eine Konfiguration, in

---

<sup>1</sup> Inferenz: computergestützt gezogene Schlussfolgerung

der Eigenschaften und Zusammensetzung aller Komponenten bekannt sind und alle Constraints erfüllt werden [Kunt-01, S. 5].

Da das Constraint-Netz erst während des Konfigurierungsvorgangs inkrementell aufgebaut wird (d.h. mit dem schrittweisen Aufbau der Lösung entsteht nach und nach das Constraint-Netz), sollte ein Constraint-System dementsprechend den inkrementellen Aufbau des Constraint-Netzes erlauben. Außerdem ist es je nach Anwendungsdomäne erforderlich, dass das Constraint-System in der Lage ist, unterschiedliche Arten von Constraints (z. B. symbolische, numerische, extensionale, funktionale, usw.) zu verarbeiten [vgl. Runt-06, S. 14]. Ein wesentliches Problem ist die Komplexität von Constraint-Problemen. Sie sind teilweise nicht effizient mit einem Algorithmus zu lösen. Häufig kann daher nicht jeder einzelne Wert propagiert werden, sondern nur jeweils die Ober- und Untergrenzen eines Attributs bzw. Parameters. Das Constraint-System sollte demnach einen Kompromiss zwischen Effizienz und Qualität erlauben [vgl. Runt-06, S. 14]. Die constraintbasierte Konfiguration eignet sich besonders zur flexiblen Beschreibung von ungerichteten Abhängigkeiten und Auflösung selbiger [Kühn-01, S. 5].

### **Fallbasierte Konfigurierung**

Der fallbasierte Ansatz geht davon aus, dass Wissen über bereits gelöste Konfigurierungsaufgaben innerhalb einer Fallbibliothek vorliegt und zur Lösung neuer Aufgaben benutzt werden kann. Die Grundannahme besteht darin, dass ähnliche Probleme zu ähnlichen Lösungen führen. Dabei können auch beliebige Teillösungen in die Lösungsfindung mit einbezogen werden [vgl. GüKü-99, S. 7]. Generell lassen sich zwei Vorgehensweisen zur Auswahl von fallbasiertem Wissen aufzählen [vgl. GüKü-99, S. 7]:

- Einen hinreichend ähnlichen Fall suchen und das Ergebnis adaptieren (transformational analogy).
- Auswahl des fallbasierten Wissens in individuellen Schritten. Hierbei kann die Fallbasis als Kontrollwissen der Konfigurierung betrachtet werden (derivational analogy).

Unabhängig von der Auswahl muss eine meist umfangreiche Adaptierung des fallbasierten Wissens an das aktuelle Problem vorgenommen werden. Weiterhin sind die angebotenen Lösungen meist konservativ und i. A. nicht kausal erklärbar [vgl. GüKü-99, S. 7].

### **Ressourcenbasierte Konfigurierung**

Bei der ressourcenbasierten Konfiguration werden die Beziehungen der Komponenten nicht direkt über ihre Aufbaustruktur sondern indirekt über den Austausch von Ressourcen dargestellt [vgl. HoKr-03, S. 2]. Ressourcen sind abstrakte Leistungen, die von dem System oder einzelnen Teilen des Systems benötigt werden. Technische Ressourcen sind beispielsweise Stromverbrauch oder Speicherkapazität, wirtschaftliche Ressourcen sind beispielsweise Preis oder Wartungsaufwand [GüKü-99, S. 7]. Es wird von dem Prinzip ausgegangen, dass eine Komponente eine Menge von Ressourcen fordert bzw. anbietet. Der Problemlösungsprozess beruht auf initialen Ressourcenforderungen als Aufgabenstellung, die sukzessive in einem iterativen Prozess durch Hinzunahme weiterer Komponenten ausgeglichen werden (Bilanzierung) [vgl. Kühn-01, S. 5].

Im folgenden Beispiel wird die Resource „Personenbeförderung“ von der Komponente „Systemumgebung“ gefordert. Diese stellt die Resource „Kraftstoff“ zur Verfügung. Aus dem Komponenten-katalog kann eine Lösung entsprechend der folgenden Abbildung konfiguriert werden.

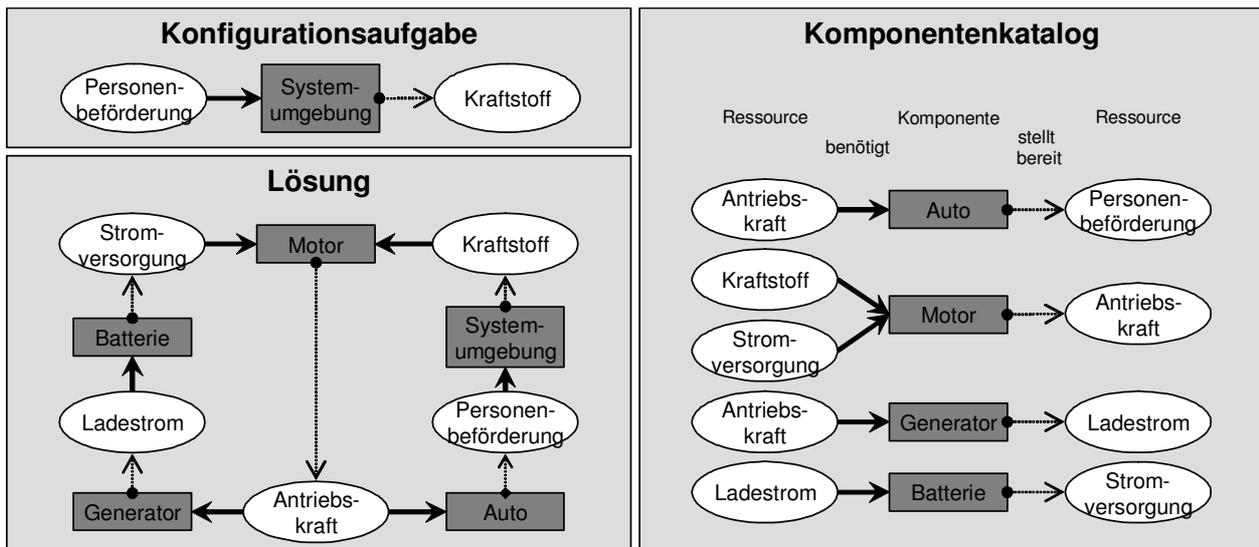


Abbildung 3-50: Ressourcenbasierte Konfiguration

Der Vorteil der ressourcenbasierten Modellierung von Konfigurationsproblemen wird in dem geringeren Wartungsaufwand gesehen, der sich ergibt, weil abstrakte Ressourcen eine längere Lebensdauer aufweisen, als konkrete Komponenten [Runt-06, S. 15].

### Verhaltensbasierte Konfigurierung

Als verhaltensbasierte Konfigurierung wird die Erweiterung der struktur-, regel-, constraint-, ressourcen- oder fallbasierten Konfigurierung um Verhaltenswissen bzgl. des zu konfigurierenden Systems bzw. der Konfigurationsobjekte bezeichnet [vgl. Runt-06, S. 16]. Dabei wird das Komponentenverhalten entsprechend als Spezifizierungshierarchie, Regel, Constraint-Netz, Ressource oder durch Zuordnung eines Verhaltensmodells zu den Lösungsfällen einer Fallbibliothek modelliert [vgl. Kühn-01, S. 5ff]. KÜHN untersucht die verschiedenen Konfigurationsmethoden auf ihre Eignung für das verhaltensbasierte Konfigurieren. Er kommt zu dem Ergebnis, dass die Integration verhaltensbasierter Methoden in die strukturbasierte, constraintbasierte und fallbasierte Konfigurationsmethodik vorteilhaft für den Konfigurationsprozess genutzt werden kann [vgl. Kühn-01, S. 5ff].

Die Eignung der dargestellten Konfigurationsmethoden ist häufig durch den Aufbau der Domäne und die Möglichkeiten zur Wissensakquisition und Darstellung beeinflusst. Die Konfiguratoren, die vielfach in Wissenschaft und Forschung entwickelt wurden, verwenden zur Lösung von Konfigurationsaufgaben zumeist eine Kombination der dargestellten Methoden. Für die Konfiguration von Fahrzeugen scheint der strukturbasierte Ansatz aufgrund der hohen Strukturiertheit der Domäne sinnvoll. Eine Ergänzung durch regelbasierte, constraintbasierte und ressourcenbasierte Ansätze sowie die verhaltensbasierte Konfiguration erscheint sinnvoll und kann sicherlich für Kontrollmechanismen genutzt werden. Die fallbasierte Konfiguration erscheint aufgrund der extrem hohen Anzahl von möglichen Konfigurationen, von denen eine große Anzahl nicht einmal durch den Kunden nachgefragt werden, wenig hilfreich.

## 3.5 Integration von Produkt und Prozess

Gleichgültig, ob man wissenschaftliche oder an Anwender gerichtete Veröffentlichungen, Forschungsprogramme oder Verlautbarungen von Anbietern betrachtet: Kaum ein anderer Begriff wird so oft genannt wie Integration, um eine wünschenswerte Eigenschaft von Informationssystemen zu artikulieren [Fran-94, S. 22]. Als Unternehmensbestandteil darf die Sys-

temintegration jedoch nicht isoliert betrachtet werden. Sie betrifft alle Bereiche des Unternehmens: Organisationen, Prozesse, Produkte und Systeme. Als Basis integrierter Geschäftsabläufe und Strukturen müssen integrative Produkt- und Prozessmodelle entwickelt werden, durch die eine informationstechnische Durchgängigkeit gewährleistet werden kann. Nur auf Basis solcher Modelle ist eine systemtechnische Integration durchführbar. Auf strategischer Ebene wird die Integration durch Ansätze wie das Produktlebenszyklusmanagement vorangetrieben.

### 3.5.1 Integrative Produkt und Prozess Modelle

„Mit den wissenschaftlichen Erklärungen der Welt verhält es sich wie mit den Automodellen: Alle paar Jahre kommt ein neues, verbessertes Modell auf den Markt. Und alle paar Jahre wird es von einem neuen, verbesserten Modell abgelöst.“

*Wolfgang J. Reus, (deutscher Fachjournalist, 1959 - 2006)*

Der heutige Einsatz von informationstechnischen Systemen im Produktentwicklungsprozess beschränkt sich in der Regel auf wenige Produktlebensphasen. Die proprietären rechnerinternen Produktmodelle dieser Systeme können dementsprechend nur Informationen des jeweils relevanten Ausschnitts des Lebenszyklus darstellen [vgl. Heeg-05, S. 2]. Bei der Koppelung dieser Systeme entstehen Informationsverluste und hohe Aufwände zur Konvertierung der Produktmodelle. Zur Behebung dieses Missstandes ist eine digitale Produktbeschreibung nötig, die über den gesamten Produktlebenszyklus und über Unternehmensgrenzen hinweg einsetzbar ist. Die Bestrebungen eine solche ganzheitliche und disziplinübergreifende digitale Produktbeschreibung zu entwickeln, entstammen dem Produkt-Lebenszyklus-Management (PLM). Sie führten zu dem von SEILER geprägten Begriff des **integrierten Produktmodells (IPM)** und in weiterer Folge zur Normung von Produktmodellen im Rahmen der ISO 10303 [Seil-85, in Polly-96, S. 11]. Dem Ansatz des integrierten Produktmodells liegen hauptsächlich die folgenden drei Forderungen zugrunde [GrAP-93, S. 6]:

- Abbildung von Produktinformationen aus allen Phasen des Produktlebenszyklus,
- Vereinigung von verschiedenen physikalischen Produkteigenschaften,
- Berücksichtigung der Sichtweise eines Anwendungsgebietes.

SEILER formuliert für das integrierte Produktmodell das Prinzip der Modellkohärenz (Ausschluss von Modelltransformation), das Datenakkumulationsprinzip (Speicherung der Ergebnisse eines Erzeugungsvorganges zur Reduzierung von Interaktionszeiten) und das Assoziationsprinzip (Informationselemente sind durch Inferenzregeln ableitbar) und schlägt zur besseren Übersichtlichkeit bereits eine Teilmengenbildung des Modells durch Partialmodelle vor [Poll-96, S. 11].

Auf dieser Grundlage baut PÄTZOLDs Definition des integrierten Produktmodells auf [Pätz-91, in Polly-96, S. 12]:

<b>PÄTZOLD 1991</b>
Ein <b>integriertes Produktmodell</b> basiert auf der Abbildung aller relevanten Produktmerkmale, die in den einzelnen Produktlebensphasen entstehen, mittels kohärenter Partialmodelle unter der Beschreibung der zugehörigen anwendungsorientierten Semantik der Produktmerkmale in Form von Produktmodellsichten.
Ein <b>Partialmodell</b> definiert eine abgeschlossene Menge von Objekttypen sowie deren semantischen Zusammenhänge als Teilmenge eines Produktmodells, die eine anwendungsunabhängige Klasse von Produktmerkmalen beschreiben. Die Objektmengen der Partialmodelle sind disjunkt, d. h. die Durchschnittsmenge zweier Partialmodelle ist die leere Menge.
Eine <b>Produktmodellsicht</b> definiert ein anwendungsorientiertes Informationsmodell unter Einbeziehung aller Produktmerkmale der relevanten Partialmodelle des integrierten Produktmodells. Die Objektmenge E der Produktmodellsichten (PS) sind konjunkt, d. h. die Durchschnittsmenge zweier Produktmodellsichten muss nicht die leere Menge sein.

Zur Vermeidung von Redundanzen in den Partialmodellen des Modells erweitert POLLY diese Definition durch die Forderung nach einer Grundstruktur [Poll-96, S. 13]:

<b>POLLY 1996</b>
Ein <b>integriertes Produktmodell</b> beinhaltet die Abbildung aller relevanten Produktmerkmale, die in den einzelnen Lebensphasen entstehen, auf der Basis einer einheitlichen, allgemeinen, lebensphasenübergreifenden und redundanzfreien Grundstruktur.
<b>Partialmodelle</b> stellen Spezialisierungen der gemeinsamen Grundstruktur zur Unterstützung einzelner Lebensphasen dar. Alle Partialmodelle erhalten durch die gemeinsame Grundstruktur eine konsistente Basis. Die Spezialisierung der Partialmodelle für einzelne Produktlebensphasen erfolgt nach einer einheitlichen und für alle Partialmodelle gültigen Methode, die die strukturelle Kohärenz aller Partialmodelle im integrierten Produktmodell sicherstellt. Die Konstruktionsmengen der einzelnen Partialmodelle sind zueinander semantisch disjunkt.

Beispiele für Partialmodelle eines integrierten Produktmodells können sein [PaSu-91, S. 3]:

- Das Technische Modell: Hier ist die Gestaltung des Entwurfsobjekts von der Baugruppe bis hin zum Einzel- und Normteil und deren Beziehungen untereinander durch die technische Objektstruktur spezifiziert.
- Das Geometrische Modell: Dieses Modell enthält alle Geometrie- und Topologieinformationen der darzustellenden Objekte bzw. die Struktur des Gesamtobjekts.
- Das Technologische Modell: In diesem Modell sind die technologischen Objekte wie Arbeitsplan, Stückliste, NC-Programme, Fertigungsaufträge usw. definiert.

Das integrierte Produktmodell muss so spezifiziert werden, dass es alle Funktionen der Produktverarbeitung unterstützt [vgl. Arno-05, S. 31ff]. Die Produktdaten werden dabei nicht nur zur Bewertung der Produktgestalt in digitaler Form aufgebaut. Sie können auch als digitale Prototypen zur Simulation des Produktverhaltens genutzt werden [AnTr-00, S. 16].

Im Zuge der Prozessorientierung und unter dem Einfluss von Konzepten wie Simultaneous Engineering, Lean Produktion, Fraktale Fabrik oder Business Prozess Reengineering wurde in der Industrie verstärkt versucht, die Ablauf- und Aufbauorganisation zu optimieren [vgl. Gros+02, S. 33]. Die Parallelisierung von Produktentwicklung und Produktionsprozessentwicklung im Sinne des Simultaneous Engineering forciert eine integrierte Betrachtung von Produkt und Prozess. So wurden Ansätze zur integrativen Modellierung von Produkten und Prozessen entwickelt und führten zur Weiterentwicklung der integrierten Produktmodelle zu **Integrativen Produkt und Prozess Modellen (IPPM)**. Die gemeinsame Betrachtung birgt besonders in der Konstruktion und Fertigungsplanung Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung

[Eigner / Stelzer 1997]. Zur gemeinsamen Modellierung von Produkten und Prozessen wurden sowohl in Wissenschaft und Forschung als auch durch Softwareanbieter Methoden und Tools entwickelt. Wichtige wissenschaftliche Beiträge lieferten die Projekte: DICAD, IMPACT, PISA, MARITIM, QCIM, sowie die Arbeiten aus den Sonderforschungsbereichen 336, 346, 361 und 396. Viele der entwickelten Ansätze und Modelle wurden auch in der ISO10303 aufgegriffen. Zusätzlich haben sich zahlreiche Dissertationen mit integrierten Produktmodellen befasst, unter anderem POLLY, BREXEL und UNGERER. Die Bandbreite an Methoden und Modellen ist entsprechend groß.

In dieser Arbeit steht der Umgang mit Produktmodellen in der Praxis der Automobilentwicklung im Vordergrund. Nachfolgend werden daher die in Softwareanwendungen eingeführten Modelle dargestellt. Sie spiegeln die Anwendbarkeit und den Nutzen heutiger Modelle wieder, zeigen aber auch deutlich die Schwachstellen und Probleme auf. Da diese Arbeit aufgrund der Detailltiefe eines praxisbezogenen Rahmens bedarf und vor dem Hintergrund des PEP-PDM Projektes der BMW AG entstand, können die firmenspezifischen Gegebenheiten der BMW AG nicht außer Acht gelassen werden. Ein Schwerpunkt wird daher nachfolgend auf die Produktvariantenstruktur der SAP AG gelegt werden müssen.

### **3.5.1.1 PPR-Hub**

Bei dem PPR-Hub handelt es sich um die digitale Fertigungslösung der Firma Delmia, einem Tochterunternehmen der französischen Dassault Systèmes. PPR steht für Produkt, Prozess, Ressource. Der PPR-Hub besteht aus drei unabhängigen Komponenten: dem Engineering-Hub, dem Manufacturing-Hub und dem Enterprise-Hub. Der Engineering-Hub ordnet das Produktwissen, der Manufacturing-Hub verwaltet Fertigungswissen. Die Integration von Unternehmensanwendungen in den Engineering-Hub und den Manufacturing-Hub erfolgt mit Hilfe des Enterprise-Hubs. Es lassen sich Standard-Software, wie z.B. PDM- oder ERP-Systeme und unternehmensspezifische Software, wie z.B. Host-Systeme, über APIs an den PPR Hub anbinden. Das Fundament des PPR Hub stellt das DELMIA-Datenmodell dar, mit den Entitäten Produkt, Prozess und Ressource sowie optional weiteren, durch den Benutzer definierbaren Sichten auf die Daten. Die Objekte des PPR Hubs können über frei konfigurierbare Attribute beschrieben werden. Der PPR Hub ist speziell für die Fertigungsplanung konzipiert. Im PPR Navigator werden die Planungsinformationen übersichtlich dargestellt und verwaltet. Ebenso steht ein ausgeklügeltes Berichtswesen zur Verfügung. Über den PPR Hub Gateway steht weiterhin eine Möglichkeit zum Datenaustausch gemäß STEP AP203 und AP214 zur Verfügung.

### **3.5.1.2 Teamcenter**

Teamcenter ist ein integriertes Programm-Paket zum Produktdatenmanagement der Siemens AG<sup>1</sup>. Es ist sowohl für das Management verschiedener CAx Dokumente als auch weiter Produktdaten konzipiert.

Teamcenter lässt sich in die folgenden Komponenten gliedern:

- Community Collaboration
- Compliance Management
- Engineering Process Management
- Enterprise Knowledge Management
- Maintenance, Repair and Overhaul
- Manufacturing Process Management
- Program and Project Management

---

<sup>1</sup> Teamcenter war ein Produkt des US Softwareherstellers Unigraphics Solutions GmbH, welche 2007 durch die Siemens AG übernommen wurde.

- Systems Engineering
- Sourcing Management
- Lifecycle Visualization

Das Engineering Process Management verwaltet Geometriedaten, Produktstrukturen, die für die Entwicklung relevanten Dokumente sowie alle während der Produktentwicklung, -fertigung und -pflege ablaufenden Prozesse. Neben den grundlegenden PDM-Funktionen stellt Teamcenter einen Produktstruktureditor zur Konfiguration der Produkte zur Verfügung. Die Produktstruktur ist hierarchisch aufgebaut. Mit ihr können:

- Produktkonfigurationen mit all ihren Veränderungen während des ganzen Lebenszyklus definiert, geändert und verwaltet werden.
- leistungsfähige Suchfunktionen zur Orientierung in großen Stücklisten verwendet werden.
- Alternativteile in Stücklisten definiert werden.
- komplexe logische Zusammenstellungsvarianten (z. B.: Ausstattungsvarianten, unterschiedliche Reifegrade) erstellt werden.
- beliebige Ansichten von Stücklisten (Fertigungsstücklisten, Einkaufsstücklisten, etc.) erzeugt und grafisch verglichen werden.

Ergänzt werden diese Funktionalitäten durch das Änderungsmanagement und Möglichkeiten zur standortübergreifenden Zusammenarbeit und Datenverteilung.

### 3.5.1.3 SAP iPPE

Das Integrierte **Produkt- und Prozess-Engineering** (iPPE) wurde von der SAP zur Unterstützung des integrierten Produktentstehungsprozesses für variantenreiche Produkte entwickelt [vgl. SAP-01a, S. 14]. Es schafft die Möglichkeit, **Produktstruktur, Prozesstruktur und Fabrikstruktur** in einem gemeinsamen Modell dokumentieren zu können [vgl. Kohl-05, S. 227]. Das iPPE Modell umfasst die **Objekttypen „Knoten“** und **„Beziehung“** sowie Objekte zur weiteren Detaillierung der Knoten (Varianten, Alternativen, Konzepte) [Kohl-05, S. 228]. Knoten und Beziehungen werden für die Anwendungsbereiche Produktstruktur, Prozesstruktur und Fabrikstruktur unterschiedlich ausgeprägt [Kohl-05, S. 229].

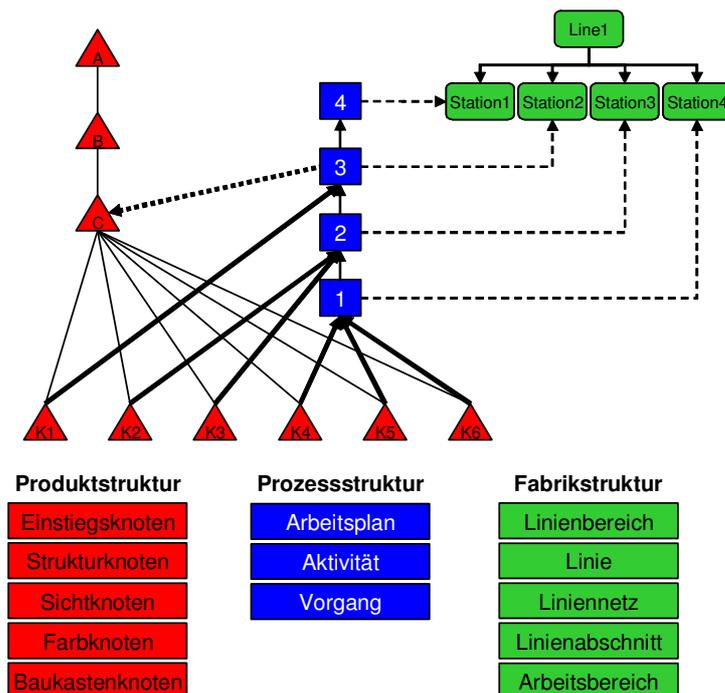


Abbildung 3-51: Integriertes Produkt- und Prozess-Engineering (iPPE)

Die Knoten werden über die **Beziehungen** zu einer Struktur verbunden. Die Art der Beziehung können kundenspezifisch angepasst werden und werden durch das System anhand der beteiligten Objekte definiert [vgl. Kohl-05, S. 230]:

- „Part of“ Beziehung: zwischen Knoten der Produktstruktur
- „Sequenzbeziehung: Zwischen Knoten eines Arbeitsplans
- „Zuordnung“: zwischen Knoten unterschiedlicher Anwendungsbereiche.

Die iPPE-Produktstruktur ist in die drei Ebenen **Produktklassen**, **Produktvariantenstruktur** (PVS) und **Baukästen** gegliedert [vgl. Kohl-05, S. 232]:

- Das Klassensystem dient der Beschreibung eines Produktes. Zur Abbildung von Produktfamilien, Produktlinien, Modellreihen usw. können Klassenhierarchien und Vererbungsmechanismen genutzt werden [vgl. Kohl-05, S. 233].
- Die Produktvariantenstruktur (PVS) umfasst die eigentliche Produktdokumentation. Sie wurde auf Basis des Standards STEP AP214 entwickelt [vgl. SAP-01a, S. 14] und kann im Gegensatz zur Stückliste auch Varianten einer Einzelkomponente abbilden und zu verschiedenen Produktkonfigurationen zusammenführen [vgl. Kohl-05, S. 233].
- Baukästen bilden nicht konfigurierbare Produktteile ab, welche zum Zweck der Wiederverwendbarkeit im Rahmen des Variantenmanagements gebildet werden [vgl. Kohl-05, S. 233]. Dabei können jedoch auch werkspezifische Zerlegungen (Mehrfachbaukasten) und variantenabhängige Zerlegungen (Variantenbaukasten) einer Komponente angelegt werden.

Da diese Arbeit auf der Produktvariantenstruktur der SAP AG aufsetzt und sich an deren Nomenklatur anlehnt, soll an dieser Stelle näher auf die wesentlichen **Knotentypen** eingegangen werden:

Als Einstieg in die Produktstruktur dienen **Einstiegsknoten** (🏠). Sie verfügen über Varianten (Einstiegsvarianten) und Alternativen. Unter dem Einstiegs-knoten wird einstufig oder mehrstufig die Produktstruktur mit den Strukturknoten und dem dazugehörigen Varianten gepflegt. **Sichtknoten** (🏠) dienen der Gliederung der Produktstruktur. Über sie kann die Erzeugnisstruktur abgebildet werden. Um die Struktur verständlich zu gestalten, erhalten die Knoten üblicherweise sprechende Namen, welche die Strukturstufen sinnvoll benennen. Für bestimmte Verwendungen können auch verschiedene Sichten auf ein Produkt oder bestimmte Teile davon aufgebaut werden. Sichtknoten haben keine Varianten und Alternativen.

- Sichten können Einstiegsknoten untergeordnet sein.
- Sichten können untergeordnete Sichten haben.
- Den Sichten können Strukturknoten untergeordnet werden.

Die **Strukturknoten** (🏠) stehen für die Funktionen des Produktes bzw. Bauteils, deren konkrete Ausprägung die Varianten sind. Strukturknoten haben Positionsvarianten (PV) und Alternativen. An den Positionsvarianten stehen die konkreten Materialien oder die Kopfmateriale einer Baugruppe bzw. eines Baukastens. Die Detaildaten der Positionsvarianten untergliedern sich in:

- Grunddaten: Angaben zum Material an der Variante, Farbschema, Rohmaßdaten zum Material, Beziehungswissen, Administrationsdaten.
- Einstiege: werkspezifische alternative Auflösung.
- Produktklassen: Differenzierungen, falls die Variante in verschiedenen baubaren Klassen verwendet wird und pro Klasse das Beziehungswissen, die Konfiguration oder das Kennzeichen Standardvariante variiert.

- Klassifizierung: Möglichkeit, die Varianten nach bestimmten Kategorien zu bewerten, zu suchen und zu sortieren, unabhängig von der Zuordnung des Knotens zu einer Produktklasse.
- Dokumente: Dokumente zur Variante.
- Texte: Langtexte zur Variante.
- Status: Statuswerte, die die Variante erreichen kann, Zieldatum, Verantwortlicher.

**Baukastennoten** (🔧) dienen als Einstieg in einen Baukasten und dienen technisch dazu, alle zusammengehörigen Baugruppen zu sammeln.

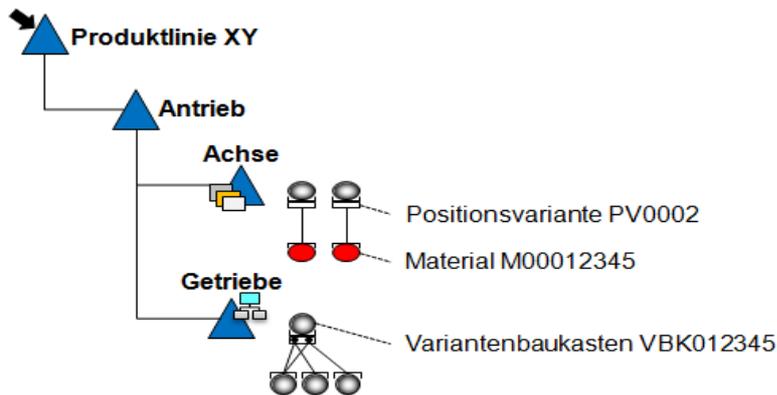


Abbildung 3-52: Beispiel einer einfachen Produktvariantenstruktur

Die Variantenkonfiguration wird in der PVS über das Beziehungswissen beschrieben. Dieses wird am Strukturknoten der PVS hinterlegt. Das Beziehungswissen wird durch Auswahlbedingungen und Constraints gebildet [vgl. Kohl-05, S. 243]. Die Auswahlbedingungen werden durch die Kennzeichen Musskomponente, Mehrfache Auswahl und Priorität definiert. Zur Pflege von Constraints werden die Klassenmerkmale des Produktes verwendet. Sie können am Knoten auf ein für diesen Knoten gültiges Varianzschema beschränkt werden. Die Pflege des Beziehungswissens kann in der SAP Syntax oder in einer Kundensyntax erfolgen [vgl. Kohl-05, S. 244]. Über die Merkmale wird definiert bzw. ausgeschlossen, wann eine Variante gültig sein soll. Bei Filterung der PVS wird das hinterlegte Beziehungswissen gegen die im Filter gesetzten Merkmale ausgewertet. Im Anhang B findet sich eine Aufstellung der in dieser Arbeit verwendeten Syntax.

### 3.5.1.4 DC iPDM

Der wesentliche Unterschied zwischen dem integrierten Produkt- und Prozess-Engineering (iPPE) und dem bei der DaimlerChrysler AG entwickelten integrierten Prozess und Datenmodell (iPDM) ist eine neue Art der zugrunde gelegten Produktstruktur bzw. -dokumentation, die sog. Verbindungsdokumentation [vgl. Jani-04, S. 52]. Durch die Verknüpfung von Bauteilen über Verbindungspositionen können die Bauteilinformation so zur Verfügung gestellt werden, dass kein Informationsverlust durch Aggregation, wie er in einem Stücklistenbaum auftreten würde, entsteht [vgl. Jani-04, S. 52]. Prozessinformationen werden direkt und im Zusammenhang mit den betroffenen Bauteilen dokumentiert [vgl. Jani-04, S. 52].

Durch die Verbindungsdokumentation werden die Bauteile über die Verbindungsposition in einer flachen Netzstruktur und nicht in einer hierarchischen Struktur verknüpft [vgl. Jani-04, S. 53]. Dabei repräsentiert die Verbindungsposition die Bauteilverknüpfung im Rahmen eines Fertigungsschrittes. Die flache Strukturierung wird dadurch erreicht, dass für eine weitere Verbindungsposition nicht auf die zusammenfassende Verbindung des vorherigen Fertigungsschrittes referenziert wird, sondern über neu zu verbauende Einzelteile Beziehungen zwischen den Verbindungspositionen hergestellt werden. Dadurch kann jedes Bauteil in beliebig viele



### 3.5.2 Ansätze zur Systemintegration

„Wenn über das Grundsätzliche keine Einigkeit besteht, ist es sinnlos, miteinander Pläne zu schmieden.“  
*Konfuzius (chinesischer Philosoph, 551 v. Chr. – 429 v. Chr.)*

Die Systemarten der CAx-, PDM- und ERP-Systeme finden sich häufig mehrfach in den Systemlandschaften der Fahrzeughersteller wieder. Besonders im CAD-Bereich sind Multi-CAD-Installationen keine Seltenheit [vgl. SeWa-05, S. 83]. Grund hierfür sind die konstruktions-technischen Anforderungen, die von unterschiedlichen Systemanbietern unterschiedlich gut erfüllt werden, beispielsweise für die Modellierung mechanischer oder elektronischer Baugruppen. Zwänge, die über die Systemanbieter vorgegeben werden wie z.B. durch eine enge CAD/PDM-Integration, können in Folge auch zur Verwendung mehrerer PDM-Systeme führen. Im Sinne eines durchgängigen Informationsflusses müssen diese Systeme entlang des Produktentstehungsprozesses integriert werden. Hierüber herrscht bereits seit CIM-Zeiten Einigkeit.

Die Integration ist nicht Selbstzweck. Ziel ist die Unterstützung der Unternehmensprozesse durch eine adäquate Informationsbereitstellung und –erfassung. Dabei birgt die Optimierung der Prozessschnittstellen höhere Potentiale als die Optimierung einzelner Prozessschritte. Nicht alle Unternehmensprozesse sind von der Integration zwischen CAD, PDM und ERP-Systemen betroffen. Prozesse der Personalwirtschaft (hire-to-retain) werden beispielsweise nicht tangiert. Die Integration betrifft nur diejenigen Prozesse, die Produktdaten nutzen oder erzeugen. PDM wird dabei überwiegend durch „Produktdatenproduzenten“ und ERP vornehmlich durch „Produktdatenkonsumenten“ verwendet.

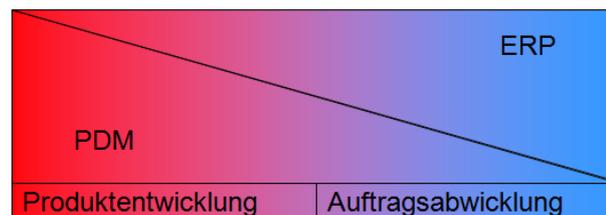
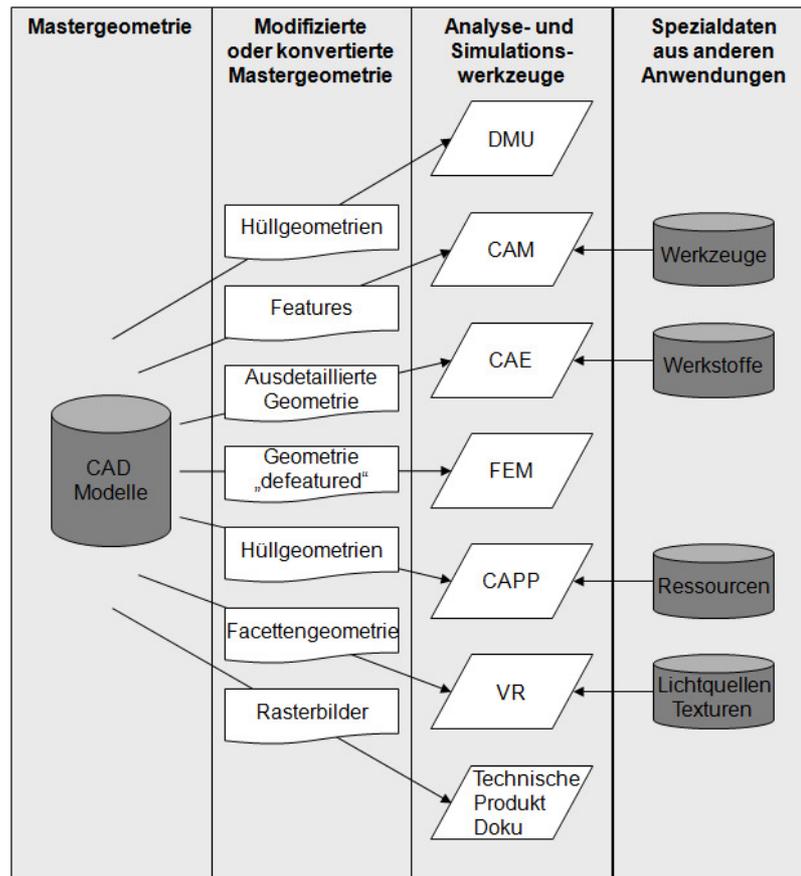


Abbildung 3-54: Geschäftsprozessunterstützung von PDM und ERP<sup>1</sup>

Zu Beginn des Herstellungsprozesses werden die Einzelteile konstruiert und das Gesamtprodukt mehr und mehr durch die CAD-Modelle beschrieben. Die CAD-Modelle werden dabei mit der Produktstruktur verknüpft, welche wiederum zur Ausleitung der Stückliste und somit zur Nutzung in der Auftragsabwicklung dient. Eine bidirektionale Integration der Systeme ist für die Verbindung der Geometriewelt und der Stücklistenwelt wesentlich.

Noch bevor die ersten CAD-Modelle entstehen - in der Initialphase eines Entwicklungsprojektes - wird das Produkt lediglich durch beschreibende Dokumente wie z.B. eine Anforderungsliste abgebildet. Mit dem Entwerfen der ersten Bauteile übernehmen die CAD-Modelle und daraus abgeleitete Geometrien einen wesentlichen Anteil an der Produktdokumentation. Sie werden als Quelle für die verschiedensten Untersuchungen und Prozesse herangezogen [vgl. Schi-02, S. 20ff].

<sup>1</sup> nach [vgl. SaIm-05, S. 64]

Abbildung 3-55: CAD-Modelle als Mastergeometrie<sup>1</sup>

Die Beziehung zwischen Dokumenten - wie z.B. den CAD-Modellen - und Artikeln ist in der Regel eine n:m Beziehung. Einem Artikel können 2D-Zeichnungen, 3D-Modelle, Berechnungen, Simulationsergebnisse, Textdokumente, technische Dokumentationen usw. zugeordnet werden. Anders herum kann auch ein einzelnes Dokument, z.B. eine Basiszeichnung oder eine Montageanleitung für mehrere Artikel gültig sein<sup>2</sup> [vgl. EiSt-01, S. 53ff]. Neben der Mehrdeutigkeit in der Zuordnung addiert auch die Möglichkeit zur Strukturbildung weitere Komplexität bei der Referenzierung zwischen Dokumenten und Artikeln.

Bei Dokumenten kann die Strukturbildung zum einen zur besseren Übersichtlichkeit erfolgen [vgl. Arno-05, S. 91]. Zum anderen wird eine Strukturierung dann nötig, wenn eine Mehrfachverwendung eines Dokumentes möglich ist. Bei Mehrfachverwendung ist nur so sichergestellt, dass ein eingebettetes Dokument immer den aktuellsten Stand darstellt [vgl. EiSt-01, S. 100]. Nicht zuletzt stehen jedoch Teilmodelle eines 3D-Zusammenbaumodells in einem strukturellen Zusammenhang. Während die Beziehungen eines Zusammenbaus bei 2D-Anwendungen nicht in den CAD-Dokumenten abgelegt werden, werden sie in 3D-Anwendungen mit verwaltet und die CAD-Dokumente der Teilmodelle somit logisch zu Strukturen verkettet.

<sup>1</sup> nach [vgl. Schi-02, S. 26]

<sup>2</sup> Darüber hinaus können Dokumente auch losgelöst von Artikeln existieren z.B. Normen, allgemeine Anweisungen, Formulare. Dies führt zunächst zu einer erweiterten Betrachtung des Dokumentenmanagements und weiter zu Begriffen des Content-Management (CM) und Knowledge-Management (KM) sowie Enterprise Content Management (ECM).

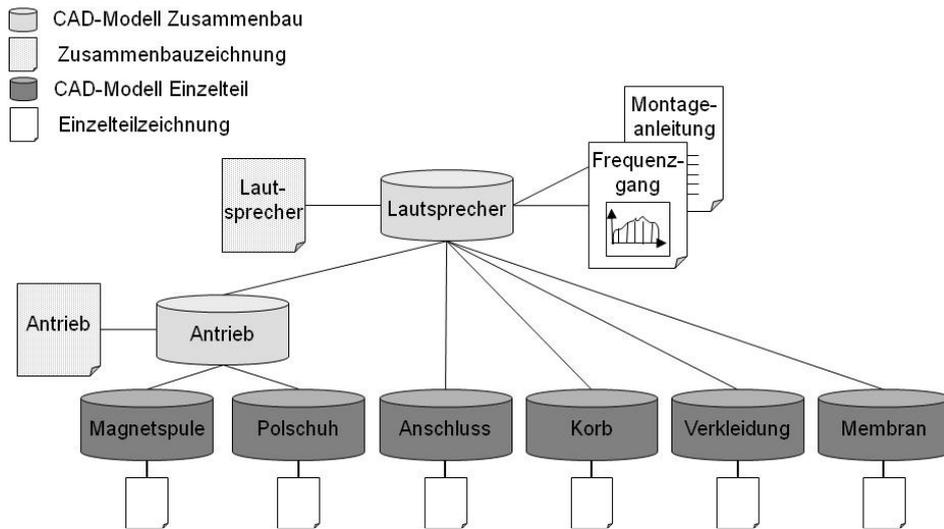


Abbildung 3-56: Dokumentenstruktur aus Zeichnungen und Modellen

Die Strukturinformationen werden je nach CAD-System unterschiedlich verwaltet - als Strukturdateien, als Verweise auf den Speicherpfad der Einzelteilmodelle oder als separate integrierte Modelle [vgl. Arno-05, S. 179]. Damit entsteht ein wesentliches Problem bei der Integration von CAD- und PDM-Systemen.

Da die Zuordnung zwischen Dokument und Artikel nicht 1:1 sein muss, muss auch die Dokumentenstruktur nicht identisch zur Produktstruktur sein. Wird in einem Zusammenbau ein Einzelteil mehrfach verbaut, so findet es sich es auch mehrfach im CAD-Modell und dem entsprechenden CAD-File. In der Produktstruktur wird das Dokument jedoch nur einmal abgelegt und erhält als Attribut die Stückzahl. Zusätzlich können in der Dokumentenstruktur weitere Dokumente aus nicht CAD-Anwendungen verwaltet werden (vgl. Bild 2-26). Die Logiken der Strukturbildung müssen in einer CAD-PDM-Schnittstelle ausgewertet und die Strukturen richtig zugeordnet werden können.

Auch die Stückliste ist nicht direkt kompatibel zur Produktstruktur. Existieren in der Produktstruktur mehrere Positionsvarianten ergibt sich die Stückliste erst durch die Konfiguration der Struktur.

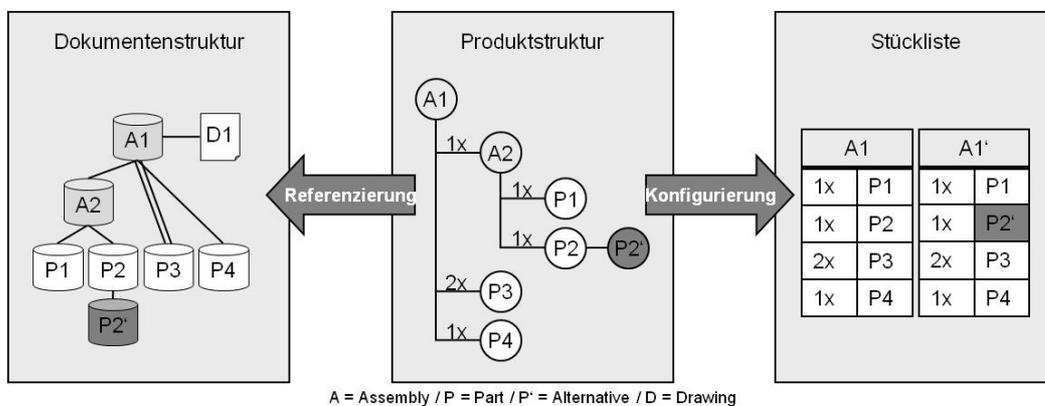


Abbildung 3-57: Dokumentenstruktur, Produktstruktur und Stückliste

Die Artikeldaten werden sowohl im PDM als auch im ERP-System abgelegt. Das ERP-System enthält jedoch eine ungleich höhere Anzahl von Sachnummern, da hier in aller Regel auch nicht selbstkonstruierte Teile des Unternehmens wie z.B. MRO Material verwaltet wird.

Für die Konstruktionsteile jedoch stellen die Metadaten des PDM-Systems bereits viele Informationen zur Verfügung, die später unter den Sachnummern des ERP-Systems abgelegt werden. Dies sind beispielsweise klassifizierende und spezifizierende Daten (z.B. Sachnummer, die Benennungen, Mengeneinheiten). Sie müssen zwischen den Systemen synchron gehalten werden. Angereichert werden die Artikelstämme im ERP-System mit Attributen wie Stückzahl am Lager, Lagerort, Lagerfach, Bestellmengeneinheiten usw. Auch Finanz-, Controlling- und Vertriebsinformationen werden üblicherweise nur im ERP-System gespeichert. Kostendaten und Vertriebsdaten sind bei Konstruktionsentscheidungen jedoch eine wichtige Eingangsgröße zur Entscheidungsfindung und müssen für die Konstruktion verfügbar sein. Eine bidirektionale Koppelung der Systeme ist nötig, um eine durchgängige Prozesskette gewährleisten zu können. Wenn Versionierung, Zeichnungsnummern, Änderungsanträge oder Einkaufsentscheidungen mit berücksichtigt werden müssen, wird die Integration zunehmend schwieriger zu erreichen und die System- und Prozessschnittstellen schwieriger zu beherrschen sein [vgl. Kras-03, S. 6].

Maßgeblich bei der Gestaltung der Systemkopplung sind die Geschäftsprozesse und deren Prozessschnittstellen. In der Automobilindustrie ist der Hauptteil der Aufwendungen für die Erstellung eines Produktes in der Fertigungsvorbereitung angesiedelt. Diese ist durch ein ausgeprägtes Freigabe- und Änderungswesen und ein flexibles Konfigurationsmanagement geprägt [vgl. PPWi-99]. Bei der Systemkopplung ist daher dem Änderungsmanagement eine erhöhte Aufmerksamkeit zu widmen.

Die Änderungszyklen in Produktentwicklung, Fertigungsvorbereitung und Auftragsabwicklung unterscheiden sich in Anzahl, Radius der Änderungsschleifen und der Dauer der zu wiederholenden Prozesse. Zu Beginn eines Entwicklungsprojektes sind die Änderungen vielfältiger und die Radien der Änderungsschleifen kürzer. Mit zunehmendem Projektfortschritt stabilisieren sich die Produktdaten und werden entlang des Produktherstellungsprozesses weitergeleitet. Die Änderungen werden seltener aber zumeist erfolgskritischer, die Radien der Änderungsschleifen größer und die Dauer der Änderung somit länger.

PDM- und ERP-Systeme müssen diese Änderungen in geeigneter Art und Weise unterstützen und dokumentieren. Sie müssen dabei unterschiedlichen Anforderungen genügen, was sich auch auf die Kopplung der Systeme auswirkt und hier berücksichtigt werden muss.

Prinzipiell gibt es zwei unterschiedliche Wege, wie die Kopplung der beiden Systeme ausgestaltet werden kann: Die Lösung durch eine vollständige Systemintegration oder die Implementierung von Schnittstellen [vgl. Kras-03, S. 6]. Zur Gestaltung von Systemschnittstellen muss entschieden werden, welches System in welchem Zusammenhang als das führende System agieren soll. Ohne diese Festlegung besteht die Gefahr, die Datenkonsistenz der Systeme zu gefährden. Für eine bidirektionale Kopplung der Systeme ist ein sehr differenzierter Aufbau der Systemschnittstellen nötig. Dieser Aufbau erfordert eine genau Analyse und Festlegung der Geschäftsprozesse. Weiterhin muss entschieden werden an welchen Prozessschritten die Schnittstelle ansetzen soll. Soll beispielsweise eine Teilenummer schon bei Vergabe einer Sachnummer ins ERP übertragen werden oder erst mit der Freigabe des Bauteils? Eine genau Analyse und Festlegung der Geschäftsprozesse ist für die Integration der Systeme in noch höherem Maße erforderlich, da hier die Datenbankstrukturen so angepasst werden müssen, dass sie sowohl den Erfordernissen des PDM als auch des ERP genügen [vgl. Kras-03, S. 7]. Gelingt es, die Integration in der Art zu realisieren, dass die Konstruktion nicht in ihren nötigen Freiräumen und der für den Konstruktionsprozess nötigen Flexibilität beschnitten wird, kann mit der Integration ein flexiblerer Umgang mit Änderungen erreicht werden. Die Prozessschnittstellen sind nicht mehr durch Software-Schnittstellen vorgegeben, sondern einzig und alleine durch den Prozessablauf bestimmt. Die Frage wann eine Sachnummer in das ERP-

System übergeben wird, stellt sich nicht mehr. Sie ist sofort vorhanden und mit einem entsprechenden Änderungsstand einsehbar.

Aus dem PDM Blickwinkel unterscheidet OBERMANN sowie PAUL et al die folgenden drei Integrationszenarien:

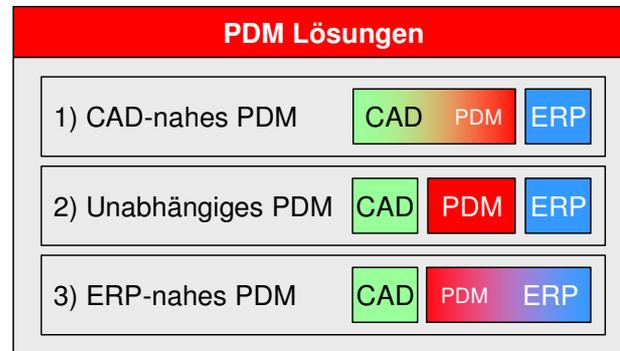


Abbildung 3-58: PDM Integrationszenarien

1) Das vom CAD-Hersteller gelieferte und aufs Engste mit seinem CAD-System verbundene PDM-System. Vorteil ist die enge Abstimmung des PDM-Systems auf die Arbeitsweise des CAD-Systems. Nachteile entstehen in Multi-CAD-Installationen und in der häufig schlechten ERP-Kopplung. Auch ist die Flexibilität hinsichtlich eines CAD-Systemwechsels eingeschränkt [vgl. Ober-03, S. 110ff]. Häufig geht die Funktionalität nicht über eine erweiterte Zeichnungs- und CAD-Modell-Verwaltung hinaus [vgl. PPWi-99].

2) Die unabhängigen PDM-Systeme, die weder an ein CAD- noch an ein ERP-System gebunden sind. Vorteil ist die zumeist große Zahl von CAD-Schnittstellen, die sehr eng auf das CAD-System eingehen. Auch Schnittstellen zu ERP-Systemen sind häufig vorhanden. Nachteil ist der hohe Entwicklungsaufwand, der nur für die Verbindungen zu CAD- und ERP-Systemen anfällt [vgl. Ober-03, S. 110ff].

3) Das aus dem ERP-System gebundene PDM. Vorteile liegen in einer einheitlichen und nicht redundanten Datenhaltung und dem Entfallen von Schnittstellen. Nachteile können der Konstruktion durch eine zu hohe Statik erwachsen und durch die steigende Abhängigkeit von einem einzigen System. Zusätzlich müssen die Zuständigkeiten für das System geklärt sein [vgl. Ober-03, S. 110ff].

Nach PAUL et al tritt das CAD-gebundene PDM-System immer mehr in den Hintergrund [vgl. PPWi-99]. Integrierte Systeme würden nach PAUL et al dagegen nicht den Anforderungen an ein ausgeprägtes Freigabe- und Änderungswesen und ein flexibles Konfigurationsmanagement gerecht. Als Begründung wird die fehlende Versionsverwaltung von Materialstämmen z.B. in SAP R/3 und die allgemein eingeschränkten Möglichkeiten zum Dokumentenmanagement (Versionierung, Archivierung) angeführt. PAUL et al favorisieren im Jahr 1999 daher die unabhängigen PDM-Systeme. Sie schlagen eine Schnittstellenlösung über kritische Datenobjekte (Artikel, Produktstruktur, Auftrag) vor, über die die Integration der Daten in einer Abbildungsschicht vollzogen wird [vgl. PPWi-99].

Eine Schnittstellenlösung stellt häufig und besonders für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU), in denen die Abhängigkeit von Standardsoftware größer ist, die kostengünstigere dar. Geringere Integrationskosten, Investitionsschutz der bewährten kaufmännischen Standardsoftware, erhöhte Betriebsbereitschaft, bessere Performance durch bessere Datenverteilung, Flexibilität, weniger Datenbankeingriffe und niedriger Schulungsaufwand sind einige der Gründe, die in einer kleineren Amortisierungszeit resultieren als dies für die notwendigen Investitionen bei einer Vollintegration der Fall wäre [Kras-03, S. 7f].

Inzwischen haben ERP-Anbieter wie die SAP AG ihre Produkte jedoch zu integrierten Lösungen weiterentwickelt. Aus SAP R/3 ist inzwischen mySAP PLM geworden. Mit der Möglichkeit Revisionsstände für Materialien anzulegen, der Integration von Material und Stücklisten in das Änderungsmanagement und der Weiterentwicklung des Dokumentenmanagements, wird die Integration von PDM und ERP Bestandteil einer Standardsoftware [HaSc-04, S. 144ff, 176ff, 202f, 208f; Kohl-05, S. 202ff]. Zudem sind ERP-Systeme bereits heute vielfach an andere Applikationen wie Supplier Relationship Management (SRM), Customer Relationship Management (CRM), Business Warehouse (BW), Produkt-Planung und Steuerungssysteme (PPS), Logistik-Planungssysteme oder andere Accounting Systeme angekoppelt. Damit sinken die entsprechenden Integrationsaufwendungen. Auch durch ihren hohen Vernetzungsgrad im Unternehmen kommt den ERP-Systemen bei der Umsetzung des PLM-Gedankens damit eine wichtige Rolle zu. Die Frage nach der besten Lösung kann somit nicht mehr allgemeingültig beantwortet werden [vgl. KrFG-07, S. 169].

Die Suche nach einer idealen Kopplung von CAD, PDM und ERP kann nur im konkreten Fall eines Unternehmens erfolgreich sein. Das jeweilige Geschäftsmodell muss für die strategische IT Bebauungsplanung und die Realisierung der CAD-PDM-ERP-Integration bestimmend sein. In der Praxis gibt es jedoch eine gegenseitige Beeinflussung zwischen Organisation, Geschäftsprozessen und der systemtechnischen Unterstützung. Die informationstechnische Bebauung folgt sowohl den Veränderungen des Geschäftsfeldes als auch den veränderten technologischen Rahmenbedingungen. Die in den Unternehmen vorhanden Systemlandschaften unterliegen einer permanenten Anpassung an die unternehmensinternen und externen Randbedingungen.

Heterogene Systemlandschaften bilden sich durch Fusionen, Aufkäufe oder Kooperationen der global agierenden Anwenderfirmen [Abra-05, S. 20]. Auch eine unternehmensspezifische Ideallösung zur Integration der Systemkette kann es vor diesem Hintergrund nicht geben, wohl aber einen allgemeingültigen und gangbaren Weg zur andauernden Optimierung dieser Kette. Dieser Weg wird heute durch den Begriff PLM beschrieben.

### **3.5.3 Integrationsbestrebungen am Beispiel der BMW AG**

Die BMW AG verfolgte bisher die Strategie eines unabhängigen PDM Systems. Das EDM/PDM-System PRISMA (Produktdaten-Informations-System mit Archiv) ist eine Eigenentwicklung der BMW AG. Es entstand aus der Summe der Anforderungen der CAD Anwender vor dem Hintergrund einer bestehenden komplexen Systemlandschaft und eines über Jahre gewachsenen Altdatenbestandes. PRISMA deckt derzeit folgende Aufgaben ab:

- Integration der technischen Bereiche über eine gemeinsame Datenbasis
- Versorgung aller betrieblichen Stellen mit aktuellen und konsistenten CAD-Daten
- Kopplung zwischen CAD-Welt und administrativer Welt
- Informationssystem für geometrische Daten
- Zugriff, Identifikation und Verwaltung der Dokumente
- Bearbeitung innerhalb des CA-Anwendungssystems
- Verwaltung der CA-Produktdaten
- Verwaltung der notwendigen administrativen Daten (z.B. Schriftfeld)
- Transfer von Dokumenten zwischen angeschlossenen Rechnern bzw. CA-Systemen
- Bereitstellung der digitalen Referenz (für Virtuelle Fahrzeuge und Digital Manufacturing)

In PRISMA werden die für den Freigabeprozess relevanten CAD-Dokumente sowie zusätzliche Dokumente für Kinematiken, Hüllen etc. geführt. PRISMA verwaltet die CAD-Daten anhand von Metadaten. Diese werden in PRISMA während der Speicherung erstellt. Sie sind unterteilt in Teilstamm, Version und Dokument, wobei die CAD-Daten jeweils in dem Dokument gespeichert werden.

PRISMA besteht im Wesentlichen aus einem zentralen Datenbankserver und dezentralen File-Servern. Während der zentrale Datenbankserver die Metadaten und Zugriffsberechtigungen verwaltet sowie die Verweise über die Ablageorte der Dokumente enthält, liegen die Dokumente selbst auf den dezentralen File-Servern. Der lokale CAD-Arbeitsplatz ist sowohl mit dem Datenbankserver als auch mit dem dezentralen File-Server verbunden. Der Zugriff auf den File-Server ist erst nach einer positiv verlaufenen Zugriffsprüfung möglich.

Die heute angebotenen CAD-Systeme unterscheiden sich in Ihren Funktionalitäten und damit auch im Anwendungsbereich. Für die parametrische Konstruktion von mechanischen Teilen werden in der Praxis beispielsweise andere Systeme eingesetzt als für die Modellierung elektrischer Schaltkreise. Die CAD-Daten werden auch bei der BMW AG mit verschiedenen CAD-Systemen erstellt. Dies sind im Wesentlichen CATIA V4 und CATIA V5 der Firma Dassault Systems und Pro/ENGINEER der Firma PTC.

EnoviaVPM (Virtual Product Manager) der Firma Dassault Systems dient als Schnittstelle zwischen CATIA V5 und PRISMA. Mit ihm werden die PRISMA-Dokumente strukturiert. VPM ist in zwei Bereiche aufgeteilt, den PSN-Graph (Product Structure Navigator) und VPMA (Virtual Product Model Access). Wird VPM gestartet, erscheint zunächst VPMA. VPMA ist ein Abfragewerkzeug, das den Zugriff auf die in PRISMA gespeicherten Daten ermöglicht. Der PSN stellt die mit VPMA gefundenen Dokumente grafisch in Form einer hierarchischen Baumstruktur dar. Er gibt den Daten aus PRISMA eine Struktur. Diese Struktur wird durch Zuordnung der Teile an die richtigen Knoten der Baumstruktur manuell aufgebaut. Die Strukturdaten an sich liegen dabei im PRISMA.

Pro/ENGINEER wird bei der BMW AG vorwiegend zur Konstruktion der Grundmotoren verwendet. Das PDM-System für Pro/ENGINEER ist Pro/INTRALINK. Hier werden die Modelle, die in Pro/ENGINEER konstruiert werden, verwaltet und abgelegt. Da PRISMA für die, für den Freigabeprozess, relevante Datenquelle und für den Aufbau der Digitalen Referenz verantwortlich ist, wird über eine weitere Schnittstelle PICANT die Verknüpfung zwischen den Meta-Daten von Pro/INTRALINK und PRISMA hergestellt. Zusätzlich besteht die Möglichkeit der Datenkonvertierung von Pro/ENGINEER nach CATIA.

Mit den Möglichkeiten und der Funktionsvielfalt zur parametrischen Konstruktion ist CATIA V5 im Automobilbau stark verbreitet. Da CATIA V5 zusätzlich die größte Verbreitung bei BMW hat, soll im Folgenden auf CATIA V5 näher eingegangen werden.

Um dem Konstrukteur den Zugriff auf die in PRISMA abgelegten Daten aus CATIA V5 heraus zu erleichtern, wurde mit dem „Immersive Client“ bei BMW ein Fenster vom CATIA ins PRISMA geschaffen. Dieses ermöglicht es dem Konstrukteur, die wesentlichen Funktionen von PRISMA direkt im CATIA aufzurufen und auszuführen.

Der Immersive Client bietet folgende Funktionalitäten:

- Schnellanlage von Dokumenten
- Suchen von Dokumenten
- Lesen und Schreiben von Einzelteilen, Zeichnungen, Containern und Strukturen
- Lesen und Schreiben von verknüpften Daten
- Navigieren in Produktstrukturen
- Modifizieren von Produktstrukturen
- Nachbarschaftssuche
- Rückkonvertierung V5-V4
- Arbeiten mit PRISMA-Arbeitsvorräten

Zusätzlich ist der Immersive Client auch auf dem Betriebssystem XP lauffähig. Da VPM nur für UNIX programmiert ist, war dies ein weiterer Grund den Immersive Client zu entwickeln.

Zusätzlich wurde bei BMW eine auf die Anforderungen der Produktionsbereiche zugeschnittene Methode „T-Basics“ entwickelt und als Schnittstelle realisiert. Hierbei werden (Teil-)Konstruktionen in ZIP-Containern gespeichert und zwischen CATIA V5 und PRISMA transportiert. Über diese Schnittstelle wird insbesondere das Arbeiten in tiefen Strukturen, die komplexe Verwendung von Katalogen (Norm- und Wiederholteile) und die Verwendung von bauteilübergreifenden Assoziationen (Links) unterstützt. Auch bei der Verknüpfung von Arbeitsstruktur, Arbeitsverzeichnis und Produktstruktur kommt der T-Basic Methode eine wichtige Bedeutung zu. Mit ihr wird es ermöglicht, die für die Arbeitsstruktur und die für die Produktstruktur benötigten Daten voneinander abzugrenzen.

Das Produktstrukturmanagement läuft über den VPM PSN. Für jede Produktkonfiguration sind die richtigen Teile in der entsprechenden Baumstruktur zu positionieren. Dies ist mit einem erheblichen Aufwand verbunden. Daher wird heute im PSN nur eine geringe Anzahl vereinbarter Umfänge aufgebaut, die später als Virtuelles Fahrzeug der Produktabstimmung dienen. Den steigenden Anforderungen der Abstimmung, der zunehmenden Variantenvielfalt, den wachsenden Möglichkeiten zur Produktkonfiguration und der zunehmenden Virtualisierung kann diese Form der Produktstrukturpflege nicht mehr gerecht werden. Zukünftig soll mit der Einführung der SAP iPPE die Produktstrukturpflege verbessert werden. Die konstruierten Umfänge sollen dabei für alle erlaubten Produktkonfigurationen in die Produktstruktur veröffentlicht werden. Über Filtermechanismen wird dann eine spezielle Konfiguration gewählt und kann anschließend an den PSN übergeben werden. Damit soll es zukünftig möglich sein, mehr Fahrzeugkonfigurationen virtuell abzusichern. Der PSN bedient im zweiten Schritt die weiteren Systeme der Produktabstimmung, die z.B. für Kollisionsuntersuchungen oder Simulationen verwendet werden.

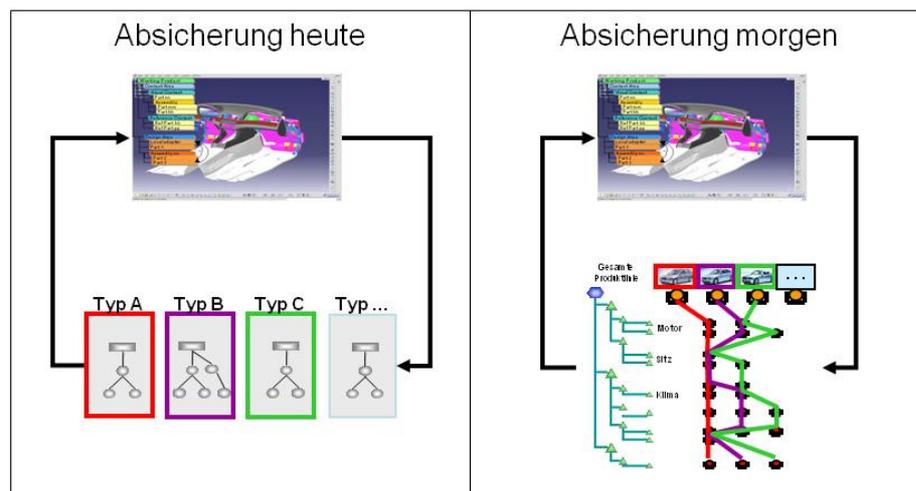


Abbildung 3-59: Absicherung heute und morgen

Abgesicherte Umfänge werden heute direkt im Stücklistensystem TAIS der BMW AG freigegeben. PRISMA wird aus dem TAIS heraus mit den Ergebnissen der Freigabe aktualisiert. Zukünftig wird die SAP iPPE in den Freigabeprozess integriert. Über ein Freigabecoockpit werden alle relevanten Informationen aus TAIS und PRISMA im SAP zur Verfügung gestellt und synchron gehalten.

Wie im vorangehenden Kapitel aufgezeigt, bestätigt sich hier die heterogene und historisch gewachsene Struktur der IT-Bebauung. Die im PEP benötigten Applikationen des Dokumentenmanagements, der Produktstrukturverwaltung und der Stücklistenverwaltung sind bei der BMW AG systemseitig getrennt. Über Schnittstellen werden die Applikationen im Sinne eines durchgängigen PEP gekoppelt. Durch die systemseitige Trennung der Funktionen werden auch die prozessseitigen Übergänge betont und Schnittstellenprobleme sehr deutlich. Die Zusammenlegung der einzelnen Funktionen in ein System löst IT-technische Probleme. Die prozessseitigen würden hierdurch jedoch nicht gelöst werden.

Zukünftig möchte die BMW AG die Systeme der Produktentwicklung stärker mit einander vernetzen und integrieren. Im Folgenden sind die wesentlichen Applikationen dargestellt, die in der BMW AG zukünftig genutzt werden sollen. Die Darstellung soll lediglich einen Überblick geben und nicht die tatsächliche Systemvernetzung erfassen.

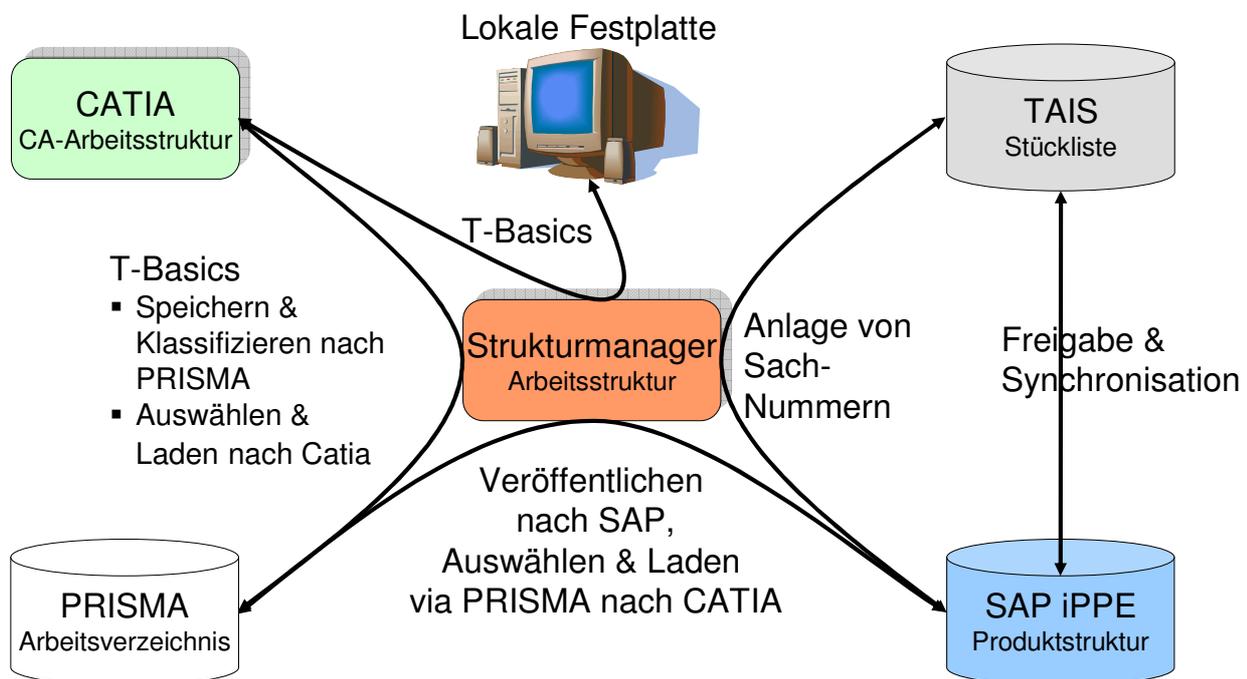


Abbildung 3-60: Applikationen im PEP der BMW AG

Herzstück und Arbeitswerkzeug des Konstrukteurs ist der CARISMA Client/Strukturmanager. Dieser ist ein auf dem CAD-System CATIA V5 laufendes Frontend. Über dieses erhält der Konstrukteur Zugriff auf die Funktionen des PDM-Systems PRISMA und die Produktstruktur in SAP. Zusätzlich hat er den direkten Zugriff auf alle Funktionen des CATIA V5 Systems.

In CATIA arbeitet der Konstrukteur voll parametrisch. Er entwickelt dabei im Kontext des Gesamtfahrzeuges und stellt sich hierzu zunächst seinen Bauraum aus der SAP Produktstruktur zusammen. Diesen legt er zusammen mit den von ihm entwickelten Umfängen in der Arbeitsstruktur ab. Während der Konstrukteur in CATIA arbeitet, werden seine Daten auf der lokalen Festplatte zwischengespeichert. Um verschiedene Entwicklungsstände zu sichern und auch für Andere verfügbar zu machen, sichert der Konstrukteur seine Dokumente nach PRISMA und klassifiziert sie.

Hat das neue Bauteil einen definierten Stand erreicht, veröffentlicht der Konstrukteur sein Bauteil im SAP System. Damit sind die Umfänge in der integrierten Produkt- und Prozessstruktur des SAP-Systems verfügbar und die Verknüpfung von der Dokumentenwelt

und der Stücklistenwelt aufgebaut. Die Lageinformation muss sowohl beim Speichern und Klassifizieren als auch beim Veröffentlichen mitgezogen werden. Die Systeme müssen dabei synchron gehalten werden. Die Stückliste wird aus dem SAP-System heraus im TAIS erzeugt. TAIS wiederum stellt diese Informationen für weitere Systeme zur Produktionsplanung und Steuerung usw. zur Verfügung.

### **3.5.4 Integrationsansatz: Produkt-Lebenszyklus-Management**

#### **3.5.4.1 Produktlebenszyklus in der Automobilindustrie**

Analog zu allgemein beobachtbaren biologischen Vorgängen haben auch Produkte aufgrund des Wandels von Technik, Markt und Gesellschaft nur eine begrenzte Lebensdauer [vgl. Ever-03, S. 173]. Die Lebensphasen eines Produktes<sup>1</sup> können unter ökonomischen Aspekten in verschiedene Phasen eingeteilt werden. Ein Lebenszyklusmodell ist ein Phasenmodell zur Gliederung des Existenzzeitraums eines Produkts in verschiedene Abschnitte. Die Lebenszyklusmodelle unterscheiden sich in Anzahl und Benennung dieser Phasen sowie dem Umfang des Gesamtzyklus. Zur Beschreibung des Produktlebenszyklus zeichnen Phasenmodelle üblicherweise den Umsatz, Gewinn oder Kosten über den Lebensphasen des Produktes auf und führen bei der Betrachtung von Produktfamilien oder Güterkategorien im Allgemeinen zu einer S-förmigen Kurve<sup>2</sup> [vgl. Wöhe-05, S. 109, vgl. EhKL-05, S. 119ff, vgl. EvSc-99b, S. 7-2, vgl. Meff-00, S. 338ff]. Die vier Hauptphasen der Lebenszyklusmodelle sind Einführung, Wachstum, Reife und Sättigung. Erweitert werden diese zum **integrierten Lebenszyklusmodell** durch die Phasen der Produktentwicklung (Produktfindung und Produktrealisierung) und die Entsorgungsphase [vgl. EvSc-99a, S. 4-44].

Auch die Darstellung als **Portfolioanalyse** ist im Rahmen der strategischen Produktplanung üblich. Die Portfolioanalyse dient der optimalen Mischung des Produktsortiments aus innovativen, reifen und alten Produkten. Grundidee ist die Quersubventionierung innovativer, unrentabler Produkte durch ältere, profitablere Produkte. Die Portfolioanalyse ergibt sich aus der gleichzeitigen Betrachtung von **Produktlebenszyklus** und **Erfahrungskurve**<sup>3</sup>. Die bekanntesten Portfoliomodelle wurden durch Unternehmensberatungen entwickelt. Hierzu gehören beispielsweise die Modelle der Boston Consulting Group, das ADL-Modell von A.D. Little, das Modell von McKinsey und das von Booz, Allen & Hamilton. Die Dimensionen der Modelle sind zumeist variable gehalten, bilden häufig aber das Marktwachstum über dem relativen Marktanteil ab und unterscheiden sich im Detaillierungsgrad der Betrachtung [vgl. Wöhe-00, S. 110ff, vgl. EvSc-99a, vgl. Meff-00, S. 251].

Bei komplexen Produkten ist es sinnvoll, nicht nur den Produktlebenszyklus des Endproduktes sondern auch den der Produktkomponenten zu betrachten. Karosserie, Antriebsstrang und Elektrik eines Fahrzeuges weisen unterschiedliche Entwicklungen ihrer Lebenszyklen auf. Während die Haltbarkeit der Karosserien zunimmt, werden mit neuen Antrieben immer höhere Laufzeiten erreicht, wenngleich sich ändernde Abgasnormen zu permanenten Erneuerungen zwingen. Die Lebenszyklusdauer der Elektronik sinkt dagegen aufgrund kürzerer Techno-

---

<sup>1</sup> Neben dem Produkt können auch andere Objekte wie z.B. Unternehmen, Markt, Kunde, Technologie, Personal usw. Gegenstand einer Lebenszyklusbetrachtung sein, sind hier jedoch nebensächlich.

<sup>2</sup> Einzelne Produkte folgen nicht grundsätzlich dem idealisierten Verlauf einer S-Kurve [vgl. Ever-03, S. 173]

<sup>3</sup> Die Erfahrungskurve beruht auf einer Studie der Boston Consulting Group, die den Zusammenhang zwischen Stückkosten und der kumulierten Produktionsmenge untersuchte. Bei Verdoppelung der kumulierten Produktionsmenge kann demnach durch Lerneffekte und Massenproduktion eine 20-30% Reduktion der Stückkosten erreicht werden [vgl. Wöhe-00, S. 108].

logiezyklen drastisch. Mit dem wachsenden Einsatz von elektronischen bzw. mechatronischen Komponenten im Fahrzeug gewinnt der Lebenszyklus der Elektronik somit an Bedeutung. Um dieser Entwicklung Rechnung zu tragen, sind Automobilhersteller heute bestrebt, Möglichkeiten zu schaffen, die Elektrik und Software eines Fahrzeuges im Laufe des Produktlebenszyklus aktualisieren zu können.

Die Dauer eines Lebenszyklus hängt sehr von dem betrachteten Geschäftsfeld ab. So kann beispielsweise die Lebensdauer eines Maulschlüssels durchaus viele Jahrzehnte betragen, die durchschnittliche Lebensdauer eines Fahrzeuges gibt der VDA heute mit 97 Monaten an, Multimediaprodukte gelten dagegen bereits nach wenigen Jahren als veraltet und die Lebensdauer eines Halbleiters beträgt bedingt durch kurze Technologiezyklen nur noch etwa 2,5 Jahre.

Sowohl unternehmensbestimmte Faktoren wie Qualität, Preis und Service als auch externe Bedingungen wie Kundenwünsche, Technologiezyklen, Konkurrenzsituation, wirtschaftliche und gesetzliche Rahmenbedingungen beeinflussen die Dauer des Produktlebenszyklus. Dabei können sich diese Einflussfaktoren mitunter gegenläufig auf den Umsatz eines Produktes auswirken. Eine Gesetzmäßigkeit des Lebenszyklus lässt sich weder empirisch belegen noch theoretisch ableiten und auch die Phasenbestimmung ist erst ex post durchführbar [vgl. Meff-00, S. 343].

#### 3.5.4.2 PLM als Integrationsansatz

Während der Aussagewert des Lebenszykluskonzepts aus obigen Gründen einzuschränken ist, haben sich vor dem Hintergrund des Lebenszykluskonzepts andere Konzepte wie beispielsweise das **Life-Cycle-Design** im Engineering und das **Life-Cycle-Costing** im Controlling herausgebildet. Der umfassendste Ansatz, der auf dem Lebenszykluskonzept aufbaut, ist der des Produktlebenszyklus Managements (PLM) [vgl. Meff-00, S. 346].

Verschiedene PLM-Definitionen wie die der Fachzeitschrift CIMdata oder die Definition des Arbeitskreises Product Lifecycle Management Operations-Reference-Model (PLOR) im VDMA machen deutlich, dass es sich bei PLM um ein strategisches Geschäftsmodell und kein IT-System handelt [vgl. CIM-02, S. 1; vgl. Gröp-06, S. 26]. In den Liebensteiner Thesen des Sandler Circles wird diese Sichtweise durch Anbieter von Software und Service für den Produktentstehungsprozess bestätigt [SeWa-05, S30]:

- Product Lifecycle Management (PLM) ist ein Konzept, kein System und keine (in sich abgeschlossene) Lösung.
- Zur Umsetzung/Realisierung eines PLM-Konzeptes werden Lösungskomponenten benötigt. Dazu zählen CAD, CAE, CAM, VR, PDM und andere Applikationen für den Produktentstehungsprozess.
- Auch Schnittstellen zu anderen Anwendungsbereichen wie ERP, SCM oder CRM sind Komponenten eines PLM-Konzeptes.
- PLM-Anbieter offerieren Komponenten und/oder Dienstleistungen zur Umsetzung von PLM Konzepten.

Eine griffige Definition des PLM Begriffs wird in der Studie „Benefits of PLM“ der IBM Corporation und des ITM der Ruhr Universität Bochum gegeben: **Produkt Lebenszyklus Management** ist ein strategischer Managementansatz bestehend aus integrierten Methoden und Werkzeugen zur kooperativen Erzeugung, Verwaltung und Anwendung aller produktrelevanten Engineering Informationen im gesamten, verteilten Produktlebenszyklus [vgl. Lesz-05, S. 8].

Getrieben durch den steigenden Einsatz von mechatronischen<sup>1</sup> Systemen im Fahrzeug und den damit steigenden Anforderungen an die Integration verschiedener Fachdisziplinen entlang des gesamten Produktlebenszyklus gewinnt PLM weiter an Bedeutung. ABS, ESP, elektronische Motorsteuerung oder Automatikgetriebe gehören zur Standardausstattung moderner Kraftfahrzeuge. Weitere Beispiele für die Verwendung von Mechatronik liefern Entwicklungen wie Drive-by-Wire, Telematik oder Hybridantriebe. Mechatronik addiert nicht nur einen direkten Kundennutzen zum Produkt, sondern ist zumeist auch billiger als eine rein mechanische Lösung. Softwarekomponenten unterstützen zudem das **Postponement**, die Verschiebung der Variantenbildung an das Ende des Produktionsprozesses. Beispiele hierfür sind die Anpassung der Motorsteuerung an lokale gesetzliche Bestimmungen oder zur Steuerung des Kraftstoffverbrauches sowie die Möglichkeit, Displays auf die Sprache des Endkunden zu programmieren [vgl. CIM-06, S. 3ff]. Bei der Entwicklung mechatronischer Systeme kommen die Fahrzeugbauer an die Grenzen ihrer aktuellen Möglichkeiten. So zeigen die Analysen von Rückrufaktionen, dass zunehmend die Software Probleme in der Produktnutzung verursacht. Unzureichende Standards zur Integration von Mechanik, Elektrik und Software, das Fehlen einer gemeinsamen Datenbasis, die zumeist ineffizienten Organisationsstrukturen stellen Hemmnisse einer erfolgreichen Produktentwicklung dar [vgl. CIM-06, S. 6ff]. Mit PLM können diese Hemmnisse beseitigt werden. PLM bringt Lösungsansätze sowohl auf der Daten-, Prozess- und System- als auch der Organisationsebene.

So zählen zu den wichtigsten PLM Methoden [vgl. Abra-05b, S. 7]:

- Freigabemanagement,
- Änderungsmanagement,
- Konfigurationsmanagement,
- Variantenmanagement,
- Kollaboratives Engineering,
- Multidisziplinäres Engineering,
- Front Loading von Verifikationsprozessen,
- Concurrent/Simultaneous Engineering,
- Produktklassifikation/ Gruppentechnik.

PLM Konzepte betrachten aber auch die Integration der Organisationsstrukturen und der involvierten Mitarbeiter. Zu den unterstützenden Konzepten in diesem Bereich gehören:

- Objektzugriffsmanagement,
- Rollenmanagement,
- Sichten Management,
- Skill Management

sowie die entsprechenden Personalentwicklungskonzepte und das Akzeptanz-Management. [vgl. Abra-05b, S. 7].

ABRAMOVICI sieht eine enge Verknüpfung zwischen dem PLM Ansatz und dem Digital Engineering<sup>2</sup>. PLM umfasst demnach diejenigen Methoden und IT Werkzeuge zur Unterstützung der Management-Prozesse, die für ein erfolgreiches Digital Engineering erforderlich sind [Abra-05c, S. 11]. Auch die Ergebnisse der Studie „Benefits of PLM“ zeigen, dass sich PLM heute immer noch auf die Produktentwicklung fokussiert. Die späten Phasen Vertrieb

---

<sup>1</sup> Mechatronik ist eine Ingenieurwissenschaft, die die Funktionalität eines technischen Systems durch eine enge Verknüpfung mechanischer, elektronischer und datenverarbeitender Komponenten erzielt.

<sup>2</sup> Digital Engineering umfasst alle neuen Konzepte und Methoden für die rechnergestützte Bearbeitung operativer Engineering-Aufgaben, die Integration der benötigten IT-Werkzeuge und die neuen Organisationsstrukturen zur projektbezogenen, interdisziplinären und unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit [vgl. Abra-05c, S. 10f].

und Service greifen heute noch kaum auf PDM Funktionen zu. Die virtuelle Produktentstehung im Sinne des Digital Engineering und die reale Produktentstehung, welche produktionstechnische Aspekte sowie logistische und betriebswirtschaftliche Prozesse beinhaltet, sind getrennt. Die Überwindung dieser Trennung sehen erfolgreiche PLM Anwender als den wichtigsten Schwerpunkt zukünftiger PLM Aktivitäten. Ziel ist vor allem die Integration der PDM- und ERP-Welt. Organisatorische Barrieren auf Mitarbeiter- und Prozessebene müssen dabei überwunden werden. Insbesondere die Prozessintegration gestaltet sich schwierig, da Engineering Prozesse kreative, iterative Vorgänge sind, während sich betriebswirtschaftliche Prozesse eher durch festgelegte, klar definierte Vorgänge auszeichnen [vgl. AbSc-05, S. 13ff].

Die Studie „Benefits of PLM“ zeigte drei wesentlich Strategien zur Integration der IT-Systeme im Sinne eines durchgängigen bidirektionalen Informationsflusses auf: die bereits in Kapitel 2.2.4.2 *PDM-Systeme* erwähnte Schnittstellenlösung, die Integration von PDM- und ERP-Systemen und zusätzlich Lösungen über Integrationsplattformen wie z.B. SAP NetWeaver, Seebeyond oder IBMWebshere. Als Grundlage für Serviceorientierte Architekturen (SOA) und Business Process Management (BPM) erhalten EAI-Lösungen weitere Impulse. Die zentrale Komponente unternehmensübergreifender PLM-IT-Infrastruktur ist die logische Vernetzung und Integration verschiedener Produkt-, Prozess- und Projektdatenmodelle [vgl. Abra-05b, S. 7].

Zur Beurteilung von PLM Lösungen wurde das Aachener Modell entwickelt. Es beurteilt folgende Hauptfunktionen der PLM-Lösungen:

1. Produktplanung
2. Projektmanagement
3. Produktstrukturierung
4. Dokumentenverwaltung
5. Änderungs- und Konfigurationsmanagement
6. Kollaboration
7. Systemintegration und -management

Zu den erweiterten PLM-Funktionen, die im Aachener Modell bewertet werden gehören:

1. Fertigungsplanung
2. Beschaffung
3. Qualitätsmanagement
4. Dienstleistung, Wartung und Instandsetzung
5. Umweltschutz / Arbeitssicherheit
6. F&E Controlling

### **3.5.4.3 PLM Einführung**

Sowohl für PDM als auch für PLM wurde eine Reihe von spezifischen Vorgehensmodellen entwickelt. Eine kritische Betrachtung der wesentlichen PDM Vorgehensmodelle findet sich bei [Trip-02, S. 47ff]. TRIPPNER entwickelt darüber hinaus ein eigenes PDM Einführungsmodell, welches sich dadurch auszeichnet, das nach der Initial- und Strukturierungsphase eine kontinuierliche Betreuung und Weiterentwicklung des PDM einsetzt, welche Konzeption, Umsetzung, Betrieb, Adaption und Migration beinhaltet (KUBAM-Phasen) [vgl. Trip-02, S. 47ff, S. 118ff]. ARNOLD et al entwickeln einen ähnlichen Ansatz für PLM Einführungen. Auch hier wird die Einführung nicht als ein einmaliges Projekt, sondern als ein kontinuierlicher Prozess verstanden. Hierzu wird durch einen PLM-Stab eine PLM-Vision aufgestellt und in einem evolutionären Vorgehensmodell in den Phasen Readiness, Requirement Management, Solution Design und Implementation & Integration stufenweise umgesetzt. Die durchgängige Dokumentation wird im PLM-Manifest fortgeschrieben. Leithefte zu ausgewählten PLM-Aspekten wie z.B. Produktstruktur oder Sichtenkonzept unterstützen die evolutionäre Einführung [vgl. Arno-05, S. 10ff, S 39ff, S. 67ff]. SCHEER et al stellen dagegen die PLM-

Prozesse in den Mittelpunkt ihres PLM-Vorgehensmodells. Es gliedert sich in die Phasen Strategie, Prozess-Design, Prozess-Implementierung und Prozess-Controlling. Grundlage ist die Prozesslandkarte des PLM, welche in Managementprozesse, Kernprozesse und Unterstützungsprozesse unterteilt. Begründet wird die prozessorientierte Vorgehensweise in der Tatsache, dass sich PLM Strategien auf die Prozesse rund um das Produkt fokussieren. Die Abbildung dieser Prozesse ist damit eine ideale Grundlage zur PLM Einführung und führt zu schlanken Datenstrukturen und IT-Infrastrukturen [vgl. Sche-06, S. 15ff, S. 27ff]. Weiterhin unterstützt die prozessorientierte Vorgehensweise sich wechselseitig mit den Strömungen zu SOA und BPM.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen stellen bereits bei PDM Einführungen eine komplexe Aufgabe dar. Während die technischen Kosten noch vergleichsweise leicht zu bestimmen sind, stellen die Quantifizierung der Prozessveränderungskosten und die Quantifizierung des Nutzens erhebliche Probleme dar. Der Nutzen lässt sich nicht immer direkt in monetären Größen darstellen und muss zunächst anhand firmenspezifischer Bewertungen in monetäre Größen überführt werden. Bei EIGNER und STELZER findet sich eine Aufstellung der quantifizierbaren und nicht quantifizierbaren, direkten und indirekten Nutzgrößen [vgl. EiSt-01, S. 258ff].

Aufgrund des größeren Umfangs einer PLM Einführung, bei dem gemessen an PDM Einführungen mehr IT-Systeme, mehr Prozesse und mehr Mitarbeiter betroffen sind, ist eine Aussage über die Rentabilität noch schwieriger zu treffen. Generell lassen sich die Nutzenpotential auf eine Verbesserung der Erfolgsfaktoren Zeit, Kosten und Qualität zurückführen [vgl. Arno-05, S. 20]. Einen Nachweis der PLM-Rentabilität bringt die Studie „Benefits of PLM“. In ihr wird aufgezeigt, dass führende PLM Unternehmen am Markt profitabler agieren können als PLM Nachzügler. Dabei führt PLM sowohl in der Produktentstehung als auch in den späten Phasen des Produktlebenszyklus zu Kosten- und Zeitvorteilen. Die wichtigsten erreichten, nicht quantifizierbaren Nutzenpotentiale sind eine höhere Informationsdurchgängigkeit, bessere Kommunikation sowie eine Standardisierung von Prozessen [AbSc-05b, S. 5].

### 3.6 Resümee und Handlungsbedarf

In den vorangehenden Kapiteln wurden die Grundlagen zur informationstechnischen Bearbeitung von Produktdaten während der Produktentstehung dargestellt. Die Prozesse der Produktdatenerstellung und die Managementmethoden zur effektiven und effizienten Erstellung und Bearbeitung der Daten wurden untersucht. Dabei lassen sich folgende Defizite feststellen:

**1) Lageabhängige Bauteildaten und Produktmodelle:** In der wissenschaftlichen Literatur findet sich keine Begriffsabgrenzung für die lageabhängigen Bauteildaten. Der Umgang mit diesen Daten und das Zusammenspiel zwischen lageunabhängigen und lageabhängigen Daten ist weder in der wissenschaftlichen Literatur noch in der betrieblichen Praxis eingehend untersucht worden. Die Verwaltung dieser Daten ist jedoch nicht nur zur vollständigen Dokumentation eines Produktes nötig, wie sie durch gesetzgeberische oder normative Festlegungen verlangt wird, sondern auch eine Voraussetzung zur effizienten Nutzung von Produktmodellen entlang des gesamten Produktlebenszyklus. Jedes Bauteil muss im Produkt positioniert und dementsprechend die lageabhängigen Bauteildaten für jedes Bauteil im Produktmodell verwaltet werden.

Zusätzlich stellt sich für einige Bauteile die Forderung, ihre Lage konfigurationsabhängig zu verwalten. Bei einigen Teilen hängt dabei auch deren Gestalt von der Lagekonfiguration ab (z.B. Schläuche, Federn). Nur diejenigen Bauteile, die in allen Produktkonfigurationen jeweils dieselbe Lage einnehmen, benötigen keine Lagekonfiguration. Eine Abschätzung, welcher Prozentsatz der Bauteile tatsächlich eine Lagekonfiguration benötigen ist nicht zuletzt deshalb

schwierig, da diese Daten in den Unternehmen der Automobilindustrie bisher nicht konsistent und vollständig vorgehalten werden. Zudem ist der Prozentsatz von der Anzahl der Produktvarianten abhängig, die in einer Produktstruktur verwaltet werden. Je mehr Produktderivate in derselben Produktvariantenstruktur dokumentiert sind, desto höher ist die Anzahl derjenigen Teile, für die eine Lagekonfiguration gefordert werden muss. Schätzungen bei der BMW AG gehen davon aus, dass innerhalb einer Produktlinie etwa 30% aller Teile mehr als eine Lage haben und somit eine konfigurierbare Lageverwaltung benötigen. Diese Schätzung basiert zwar auf der Betrachtung unterschiedlicher Fachbereiche, wurde aber aufwandsbedingt nur auf einer geringen Grundgesamtheit an Daten durchgeführt. Dementsprechend vorsichtig ist mit dieser Schätzung umzugehen. Unerheblich von der tatsächlichen Prozentzahl ist dem Thema der Lagekonfiguration jedoch aufgrund der Tendenz zu mehr Gleich- und Synergieteilen, der Verwendung von Baukästen und Plattformen eine steigende Bedeutung beizumessen. Für einen durchgehenden Informationsfluss im Sinne des PLM ist die Integration eine konfigurierbare Lageverwaltung in die Produktstrukturverwaltung zwingend notwendig.

**2) Variantenmanagement:** Diverse Methoden wurden in der Konstruktion entwickelt, um produktbezogene Vielfalt zu reduzieren. Beim Einsatz von Plattformen und Baukästen verschwimmen dabei zunehmend die Unternehmensgrenzen. Der Einfluss weiterer Vielfaltsfelder ist bekannt und wird in der Praxis berücksichtigt.

Eine detaillierte Untersuchung des variantenbildenden Einflusses der lageabhängigen Bauteildaten hat nicht stattgefunden. Ein Bauteil kann in einem Produkt sowohl mehrfach verwendet als auch an derselben Position in unterschiedlichen Lagen montiert werden. Besonders im Zuge einer umfassenden Gleichteilstrategie wird durch diese Lagevarianz eine nicht unerhebliche Vielfalt abgebildet.

Zur Entwicklung eines Teils werden unterschiedliche Lösungsvarianten und Alternativen untersucht, konstruiert und in diversen Versuchsreihen analysiert. Durch diese Sonderumfänge entsteht eine zusätzliche Varianz des Produktes. Diese Varianz trägt mitunter nicht oder noch nicht zur marktwirksamen Produktvarianz mit bei, muss aber im Rahmen der Entwicklung mitgeführt werden, da sich eine Anwendung in einer marktreifen Produktvariante ergeben kann. Die prozess- und systemseitige Handhabung dieser Varianz stellt ein weiteres ungelöstes Problemfeld im Entwicklungsprozess dar.

**3) Entwicklungsprozess:** Managementkonzepte konzentrieren sich zunehmend auf die frühen Phasen des Entwicklungsprozesses. Hier ist die systemseitige Unterstützung der kreativen Tätigkeiten jedoch noch mangelhaft. Es bedarf weiterer informationstechnischer Hilfsmittel, um mit instabilen Produktinformationen umzugehen. Flexibilität und Schnelligkeit sind die ausschlaggebenden Kriterien. Sie bestimmen gerade in der frühen Entwicklungsphase den Prozessablauf.

Die Modelle des Entwicklungsprozesses bieten eine hohe allgemeine Gültigkeit. Hierdurch leidet jedoch die Detaillierung. Diese muss unternehmensspezifisch aufgebaut werden, darf dabei aber nicht zum Hindernis für unternehmensübergreifende Geschäftsmodelle werden. Auffällig an den gängigen Produktmodellen ist die geringe Anzahl unterschiedlicher Phasen. Speziell in der Konzeptphase fallen eine Vielzahl auch sehr unterschiedlich gearteter Tätigkeiten an. Dieses findet in den Modellen keinen Ausdruck und erschwert damit auch den analytischen Zugang zu diesen Tätigkeiten. Die Unternehmen müssen die Produktentwicklung stärker durch unternehmensspezifische Referenzprozesse unterstützen.

Die kostenmäßige Bewertung von Änderungen stellt ein weiteres Defizit in der Produktentwicklung dar. Änderungen an Bauteilen mit mehreren gültigen Verwendungen müssen in Summe über alle Verwendungen wirtschaftlich sein. Sowohl die detaillierte Analyse der Änderungssituation, die Beurteilung der Änderungskomplexität je Änderungsalternative als auch

die Bewertung der Wirtschaftlichkeit ist im Zusammenhang von Bauteile, die mehrfach im Produkt verbaut werden, nicht untersucht und systemtechnisch nicht unterstützt.

Auch unzulänglich analysiert ist der Einfluss der dynamischen Komplexitätstreiber. Das Variantenmanagement ist durch die Fokussierung auf die Produktvielfalt gekennzeichnet. Aber auch das Komplexitätsmanagement hat einen deutlichen Schwerpunkt bei der Untersuchung der Komplexitätstreiber „Masse“. Die Dynamik des Entwicklungsprozesses und speziell des Änderungsprozesses ist in Zusammenhang mit dem Komplexitätsmanagement noch unzureichend untersucht. Das Konfigurationsmanagement liefert hier einen weiteren Ansatzpunkt, wird bisher jedoch ohne Kosten bewertende Prozessroutinen eingesetzt.

**4) Umsetzung des PLM-Konzeptes:** Vorgehend wurden verschiedene Ansätze zur Integration innerhalb der Produktentwicklung vorgestellt. Dabei wurden sowohl Ansätze zur informations- und systemorientierten als auch zur prozess- und organisationsorientierten Integration angesprochen. Das PLM stellt hierbei den umfassendsten Integrationsansatz dar. Jedoch gibt es heute noch nicht das PLM-System, mit dem das Konzept durchgängig umgesetzt werden könnte. Hauptursache hierbei ist die noch mangelhafte Integration auf der Datenmodellenebene. Trotz umfangreicher Forschungs-, Normungs- und Praxisarbeiten bleibt diese Integration vielfach eine Wunschvorstellung. Die Systemanwendungsbereiche aus CAX, PDM und ERP sind vielfach miteinander verbunden, jedoch keineswegs integriert. Dabei ist zu beachten, dass eine Integration zwischen CAX und PDM/ERP aufgrund der unterschiedlichen Datenformate ein komplexeres Vorhaben ist, als die metadatenbasierten Systeme PDM und ERP zu integrieren. Auch durch eine zunehmende Parametrisierung der CAD-Dateien ist dieses nicht zu beheben. Ursächlich ist nicht das unterschiedliche Format allein, sondern der Unterschied zwischen datenerzeugenden und datennutzenden Anwendungen. SAP bezieht heute bei der Integration von PDM und ERP eine Vorreiterrolle. Gelingt SAP auch die Einbindung von CAD Anwendungsbereichen, kommen sie dem PLM Gedanken bereits sehr nahe.

Aus den dargestellten Defiziten lassen sich folgende **Handlungsbedarfe** ableiten:

- 1) Als Grundlage der Methodenentwicklung ist eine Begriffsabgrenzung der lageabhängigen Bauteildaten durchzuführen.
- 2) Es ist das Zusammenspiel zwischen Bauteil- und Lagevarianz zu untersuchen. Der Einfluss der lageabhängigen Daten auf die Produktvarianz ist zu analysieren und gegebenenfalls in ein wirksames Variantenmanagement zu integrieren.
- 3) Vor dem veränderten Hintergrund sind die Prozesse der Datenerzeugung und Datennutzung insbesondere in der Produktentstehung neu zu bewerten und gegebenenfalls auch neu zu gestalten.
- 4) Es sind erweiterte Möglichkeiten zur Prüfung der Dateninhalte des Produktmodells auf Konsistenz und Richtigkeit zu entwerfen.
- 5) Mit einem um lageabhängige Produktdaten erweiterten Produktmodell entstehen neue Möglichkeiten zur Produktabsicherung. Diese müssen analysiert und für eine methodische Unterstützung der Absicherung ausgeschöpft werden.
- 6) Ein Datenmodell muss entworfen werden, welches die lageabhängigen Bauteildaten so verwalten kann, dass die Daten für sämtliche Unternehmensprozesse genutzt werden können.

## 4 Anforderungen an das Lösungskonzept

Vorrangiges Ziel der Arbeit ist die Integration der verwendungsspezifischen Bauteilinformationen in die Produktstrukturverwaltung sowie die hierfür nötige methodische Aufbereitung der Konstruktions- und Absicherungsprozesse. Entsprechend dieser Zielvorgabe müssen Anforderungen an das Lösungskonzept für die Verwaltung der verwendungsspezifischen Bauteilinformationen, die Produktstrukturverwaltung sowie für den Produktentwicklungsprozess formuliert werden.

### 4.1 Anforderungen an die Verwaltung verwendungsspezifischer Bauteilinformationen

Die untersuchten Datenmodelle können eine Abbildung von verwendungsspezifischen Bauteilinformationen bisher nicht leisten. Sie müssen daher sinnvoll um die notwendigen Strukturen ergänzt werden. Dabei gilt es zum einen, die Datenstrukturen für verwendungsspezifische Bauteilinformationen in das Produktmodell einzubetten, zum anderen müssen vorhandene und bewährte Strukturen eventuell neu überdacht werden.

Die Anforderungen an das Datenmodell werden im Wesentlichen durch die Verwaltung der Lageinformation getrieben. Werden neben der Lage weitere verwendungsspezifische Bauteilattribute betrachtet, so ergeben sich die vollständigen Anforderungen an die Verwaltung verwendungsspezifischer Bauteildaten. Diese zusätzlichen Attribute addieren jedoch kaum zusätzliche Komplexität und können daher zunächst vernachlässigt werden.

Im einfachsten Fall zur Verwaltung der Bauteillage wird ein Bauteil an einer Verwendungsstelle einer Positionsvariante der Produktstruktur betrachtet. Die betrachtete Strukturstufe ist Null ( $SS=0$ ). Im Zusammenhang mit einer hierarchischen Produktstruktur wie der SAP iPPE müssen die Anforderungen an die verwendungsspezifische Verwaltung der Bauteillagen aber auch für tiefere Strukturstufen ( $SS>0$ ) betrachtet werden, also für Bauteilverwendungen innerhalb von Baukästen. Bei einem flachen Aufbau der Produktstruktur wie im IPDM der DaimlerChrysler AG, wo es keine unterschiedlichen Strukturstufen zwischen den Bauteilen gibt, gelten dieselben Anforderungen wie auf der Strukturstufe Null der SAP iPPE. Eine gesonderte Betrachtung ist daher nicht nötig.

#### **Strukturstufe $SS=0$ :**

Im Trivialfall wird ein Bauteil an einer Verwendungsstelle mit der Menge eins verwendet. Es gibt folglich genau eine Verwendung des Bauteils. An der Verwendungsstelle muss eine Transformationsmatrix zur Beschreibung der Bauteillage abgelegt werden können. Die Transformationsmatrix beschreibt die translatorische und rotatorische Lage des Bauteils im Fahrzeugkontext, d.h. relativ zum Fahrzeugkoordinatenursprung.

Wird anstatt der Menge eins eine größere Menge verwendet, müssen die Bauteile an dieser Verwendungsstelle verschiedene Lagen einnehmen. Ansonsten überdecken sich die beiden Bauteile. Ein Beispiel für diesen Fall ist die Verwendungsstelle „Vorderachse“, an der jeweils links und rechts das Bauteil „Rad“ verbaut werden soll. Hieraus folgt, dass es an der Verwendungsstelle die Möglichkeit geben muss, eine Transformationsmatrix je Bauteilverwendung abzulegen. Da das Bauteil „Rad“ auch an der Verwendungsstelle „Hinterachse“ verbaut werden kann, gilt dies für mehrere Verwendungsstellen gleichzeitig.

Bisher war die Lage nicht von der Konfiguration des Fahrzeuges abhängig. Wenn aber z.B. der Radstand zwischen der Limousine und dem Coupé unterschiedlich ist, so verändert sich mit der Änderung der Produktvariante auch die Lage der Räder relativ zum Koordinatenursprung. Die Lage muss nun in Abhängigkeit von den Produktmerkmalen definiert werden. Hie-

raus ergibt sich die Anforderung, die Lage an einer Verwendungsstelle konfigurationsabhängig ablegen zu können.

Zusätzlich zu den bisherigen Anforderungen kann sich bei einer unterschiedlichen Lage auch die Gestalt des Bauteils verändern. Dies ist insbesondere bei Schläuchen und Federn der Fall. Hierfür muss es möglich sein, eine weitere Geometrirepräsentation aber gegebenenfalls auch weitere Attribute wie z.B. ein Anzugsdrehmoment konfigurationsabhängig an der Verwendungsstelle abzulegen.

Die Anforderung an die Verwaltung von Lageinformationen lässt sich folgendermaßen formulieren:

Anforderung an die Verwaltung von Lageinformationen ist es, ein Gestaltobjekt an mehreren Verwendungsstellen in unterschiedlichen Lagen verwenden zu können. Dabei soll die Verbaulage aus der Konfiguration abgeleitet werden können. Für jede konfigurierte Verbaulage muss eine Transformationsmatrix, weitere Attribute und gegebenenfalls eine geometrische Repräsentation des Gestaltobjektes abgelegt werden können.

### Strukturstufe SS>0:

Im Folgenden soll nun die Verwendung von Komponenten innerhalb von Zusammenbauten betrachtet werden. Für die Einfach- und die Mehrfachverwendung einer Komponente im Zusammenbau lässt sich analog zur Strukturstufe null folgern, dass es die Möglichkeit geben muss pro Verwendung eine Transformationsmatrix abzulegen.

Komplexer ist der Fall eines Variantenbaukastens. Wird eine Komponente in mehreren Baukastenköpfen verwendet, so können pro Verwendung unterschiedliche Mengen und Lagen auftreten.

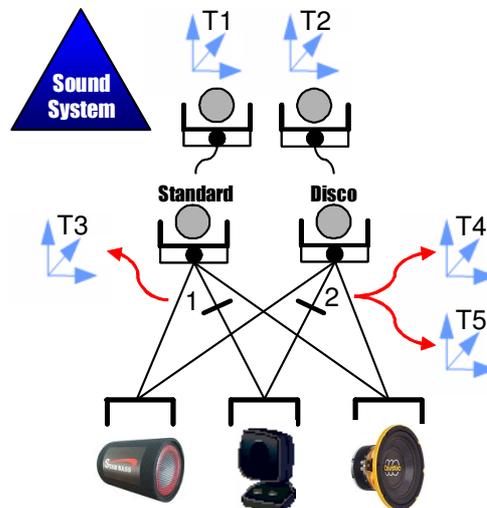


Abbildung 4-1: Instanzen am Variantenbaukasten

In diesem Fall ist es nicht mehr ausreichend, die Verwendung der Komponente an der Positionsvariante der Komponente anzuschreiben. Die jeweiligen Verwendungen des Bauteils wären nicht eindeutig einer Variante des Variantenbaukastens zuordenbar. Hierfür muss die Verbindung des Bauteils in einer definierten Verwendung zur Kopfposition des Baukastens identifiziert werden können. Daraus lässt sich die Mengen- und Lageninformation in Bezug auf die explizit vorhandene Kante zwischen Baukastenkomponente und Baukastenkopf abzulegen.

Konfigurierbare Bauteilverwendungen als eine weitere Steigerung der Variabilität für Baukästen kann es nicht geben, da diese nach Definition eine feste Zerlegung von Bauteilen aufwei-

sen müssen. Es wird hier jedoch von einer einstufigen Konfiguration ausgegangen, so dass unterhalb dieser Konfigurationsebene (SS=0) nur Zusammenbauten in Form von nicht konfigurierbaren Baukästen verwendet werden dürfen.

Eine Bauteilverwendung ist somit ein identifizierbares Objekt und muss beschrieben werden können durch:

- Zähler zur Identifikation der Bauteilverwendung
- Beschreibung/Kommentar zur Benennung der Bauteilverwendung
- Konfiguration
- Transformationsmatrix
- Geometrische Repräsentation
- Weitere Attribute

Das Datenmodell muss diese Daten sinnvoll ablegen können, um im Rahmen der Unternehmensprozesse effizient nutzbar zu sein.

Wie bereits dargestellt gilt die Forderung nach einer konfigurierbaren Steuerung der Bauteilverwendung nur wenn an der selben Verwendungsstelle unterschiedliche Lagen desselben Bauteils existieren. Diese Konfiguration kann mit der Konfiguration des Gestaltobjektes übereinstimmen, muss es aber nicht. Das Gestaltobjekt kann beispielsweise davon abhängen, ob es sich um eine Limousine oder ein Coupé handelt, während für die Lage zusätzlich noch relevant ist, ob es sich um einen Rechtslenker oder einen Linkslenker handelt.

Für das Gestaltobjekt muss an der Positionsvariante noch keine Sachnummer angeschrieben sein. Diese kann mitunter erst, nachdem die Lage des Bauteils lange bekannt und dokumentiert ist, vergeben werden. Auch ist die Bauteilverwendung nicht unmittelbar von Änderungen des Gestaltobjektes betroffen. Bei einer Gestaltänderung des Objektes verändert sich nicht zwangsläufig auch die Lage des Objektes im Gesamtfahrzeug. Das Datenmodell sollte daher eine lose Kopplung der verwendungsspezifischen Bauteildaten an das Gestaltobjekt ermöglichen.

<b>Zusammenstellung der Anforderungen an die Verwaltung der Bauteilverwendung (AB = <u>A</u>nforderung an die Verwaltung der <u>B</u>auteilverwendung)</b>		
<b>Nr.</b>	<b>Titel</b>	<b>Beschreibung der Anforderung</b>
AB1	Lagevarianzschema	Möglichkeit zur Festlegung von Merkmalen (Lagevarianzschma), die den Varianzraum zur Konfiguration der Lage an der Verwendungsstelle definieren.
AB2	Lagekonfiguration	Möglichkeit, die Merkmalswerte des Lagevarianzraums durch die Lagekonfiguration in Beziehung zueinander zu bringen.
AB3	Spezifizierung der verwendungsabhängigen Bauteilinformation	Möglichkeit, für jede Konfiguration durch das Ablegen einer Transformationsmatrix und gegebenenfalls weiterer Attribute die Bauteilverwendung zu spezifizieren.
AB4	Repräsentation	Möglichkeit, pro Bauteilverwendung weitere geometrische Repräsentationen abzulegen.
AB5	Integration	Das Datenmodell muss die semantisch integrierte Abbildung von Gestaltobjekt und dessen Verwendung gewährleisten.
AB6	Gültigkeit	Die Bauteilverwendungen haben eigene Gültigkeiten, die unabhängig von der Gültigkeit des Gestaltobjektes sind.

## 4.2 Anforderungen an die Produktstrukturverwaltung

Die Produktstruktur muss neutral sein, um ihrer Zielstellung, eine Referenzstruktur für alle beteiligten Prozesse zu sein, gerecht zu werden. Nur durch Neutralität kann die Produktstruktur sowohl für Statusprozesse der Produktlinie als auch für die Modulprozesse der Entwicklungsfachstellen eine adäquate Basis sein. Aus einer neutralen Produktstruktur heraus lassen sich auch unabhängige Folgeprozesse bedienen.

Basierend auf der Neutralitätsaussage darf die Produktstruktur nicht von Organisationen abhängig sein und es dürfen sich keine Organisationsstrukturen von der Produktstruktur ableiten lassen.

Die Prozessneutralität der Produktstruktur muss dadurch gewährleistet werden, dass sie keinen Einzelprozess abbildet oder vorrangig unterstützt, sondern eine unabhängige, von allen Prozessen anwendbare Struktur darstellt.

Die Produktstruktur muss den Anforderungen der unterschiedlichen Phasen in der Produktentwicklung und darüber hinaus gerecht werden, jedoch auch hier keine Anforderung bevorzugt darstellen.

Neben den Gestaltobjekten muss das Produktmodell auch Informationen für Folgeprozesse vorhalten können. Hierzu gehören beispielsweise Arbeitspläne oder CAM-Daten. Besonders Daten für Kosten- oder Gewichtsbewertungen müssen zur Projektsteuerung und Produktbewertung kurzfristig über das Produktmodell zur Verfügung gestellt werden können.

<b>Zusammenstellung der Anforderungen an das Produktmodell (AP = <u>A</u>nforderung an das <u>P</u>roduktmodell)</b>		
<b>Nr.</b>	<b>Titel</b>	<b>Beschreibung der Anforderung</b>
AP1	Organisationsneutral	Das Produktmodell muss neutral gegenüber der Organisationsstruktur sein, um alle Organisationseinheiten unterstützen zu können.
AP2	Prozessneutral	Das Produktmodell muss neutral gegenüber Prozessen sein, um alle Prozesse unterstützen zu können.
AP3	Phasenneutral	Das Produktmodell muss neutral gegenüber der Entwicklungsphase sein, um alle Entwicklungsphasen unterstützen zu können.
AP4	Übersichtlichkeit	Übersichtliche Darstellung der verwendungsspezifischen Bauteildaten im Produktmodell zur einfachen Pflege, effektiven Prüfung und hohen Verwendbarkeit dieser Daten.
AP5	Erweiterbarkeit	Das Modell muss in der Lage sein, prozessbegleitend Erfahrungen und Wissen zu den Geometrieelementen und deren Verwendung zu speichern. Es muss mit Attributen und Informationen für Folgeprozesse angereichert werden können.
AP6	Strukturmanagement	Das Strukturmanagement darf nicht zu einer zusätzlichen Belastung der Konstrukteure werden.
AP7	Änderungsdokumentation	Um die Prozesse des Änderungsmanagement zu unterstützen, muss das Modell eine flexible, transparente, detaillierte und lückenlose Dokumentation von Änderungen erlauben.

### 4.3 Anforderungen an die Methoden in der Produktentwicklung

Obwohl alle Unternehmensfunktionen Anforderungen an die Produktentwicklung stellen können, ergeben sich die wesentlichen Anforderungen an den Entwicklungsprozess durch die Ansprüche der Konstruktionsabteilung, der Entwicklungspartner und Zulieferer, der Fertigungsmittelplanung und der Fahrzeugabsicherung.

Um die Ansprüche des Simultaneous Engineering und der parametrisch-assoziativen Konstruktion zu erfüllen, muss der Konstrukteur im Kontext des Fahrzeuges konstruieren können. Der Konstrukteur benötigt eine konfigurierbare Referenzstruktur, die sämtliche relevanten Fahrzeugumfänge im aktuellsten Stand enthält. In dieser muss der Konstrukteur eine Bauraumsuche durchführen können, um die für seinen Konstruktionsumfang benötigten Teile identifizieren zu können. Seine Ergebnisse muss er wiederum lagerichtig und mit Gültigkeiten versehen in diese Struktur einfügen können. Hierfür benötigt er eine einfache Vorgehensweise, die es ihm erlaubt seine Ergebnisse direkt aus dem CAD-System zu veröffentlichen und spätere Änderungen transparent durchzuführen.

Während in CAD-Systemen die Verwaltung der Bauteillagen zum Systemstandard gehört, ist es heute in kaum einem Unternehmen möglich, diese Informationen entlang des gesamten Lebenszyklus zu nutzen. Entsprechende Schnittstellen und Prozesse, um diese Informationen weiterzuleiten und zu nutzen, existieren nicht. Die lageabhängigen Bauteildaten werden jedoch entlang des gesamten Lebenszyklus benötigt. Sie müssen daher in der Konstruktion mit verarbeitet und an die nachgelagerten Funktionen weiter gereicht werden können. Darüber hinaus muss die Pflege der verwendungsspezifischen Bauteildaten und die Pflege des zugehörigen Beziehungswissens sowohl bei Erstanlage als auch im Rahmen des Änderungsmanagements aufwandsminimal durch den Konstrukteur durchgeführt werden können.

Zur Vermeidung von physischen Prototypen und im Zuge der zunehmenden Produktvarianz muss der Anteil der virtuell abgesicherten Fahrzeugvarianten zunehmen. Würden Konstruktionsumfänge für einzelne virtuelle Fahrzeuge veröffentlicht und das Beziehungswissen dabei eng spezifiziert, dann würde wie in der Vergangenheit nur eine begrenzte Anzahl von virtuellen Fahrzeugen über die Produktstruktur abgedeckt. Damit ein hohe Anzahl virtueller Fahrzeuge über die Produktstruktur konfiguriert werden kann, muss der Konstrukteur motiviert werden, das Beziehungswissen so allgemein wie möglich zu definieren. Erst im Zuge der Entwicklung weiterer Derivate darf das Beziehungswissen schrittweise eingegrenzt werden.

Andererseits wird eine Lücke im Konstruktionskontext eher erkannt als ein falsches oder falsch positioniertes Bauteil. Daher ist es beim Aufbau des Konstruktionskontextes besser, kein Bauteil zu finden als ein in dem Kontext falsches oder falsch positioniertes Bauteil.

Es muss daher sowohl allgemeingültiges Beziehungswissen verwendet werden und gleichzeitig auch die Richtigkeit der Daten sichergestellt werden können.

Weiterhin müssen die für die Absicherung definierten Fahrzeugkonfigurationen zur virtuellen Absicherung und zur Hardwareabsicherung aus der konfigurierbaren Referenzstruktur heraus aufgebaut werden können. Die definierten Produktkonfigurationen müssen an die Systeme der Absicherung übertragen werden können. Um in der Absicherung nicht mit unvollständigen und mangelhaften Daten zu arbeiten, ist es wünschenswert bereits vor der Ausleitung und der Übertragung der Daten, eine Qualitätsaussage über die Daten treffen zu können.

<b>Zusammenstellung der Anforderungen an die Methoden in der Produktentwicklung (AK = Anforderung an die Methoden in der Produktentwicklung)</b>		
<b>Nr.</b>	<b>Titel</b>	<b>Beschreibung der Anforderung</b>
AE1	Parametrik und Assoziativität	Möglichkeit zur parametrisch-assoziativen Konstruktion.
AE2	Konstruktion im Kontext	Gewährleistung eines flexiblen und spontanen Aufbaus des Konstruktionskontextes sowie Automatismen zur Benachrichtigung des Konstrukteurs über Änderungen des Kontextes und zur Aktualisierung des Kontextes.
AE3	Systemtechnische Unterstützung	Automatische Übernahme der Transformationsmatrix im Zuge der Bauteilveröffentlichung und Unterstützung des Konstrukteurs bei der Pflege und Prüfung des Beziehungswissens zur Konfiguration der Bauteilverwendung.
AE4	Konsistenzprüfung	Markierung von inkonsistenten, nicht positionierten oder unvollständigen Umfängen zur Unterstützung des Konstrukteurs bei der Sicherstellung der Datenqualität.
AE5	Änderungsverantwortung	Die Verantwortung für Änderungen an der Produktstruktur darf nicht ausschließlich beim Konstrukteur liegen. Er ist auch nicht immer der Änderungsauslöser.
AE6	Verantwortungsbereiche	Um ein unabhängiges Arbeiten der Konstrukteure zu gewährleisten, muss die Verantwortung für die Bauteilverwendung losgelöst von anderen Verantwortlichkeiten vergeben werden können. Die Verantwortung für die Bauteilverwendung und das zugehörige Beziehungswissen liegt beim Konstrukteur.
AE7	Allgemeines Beziehungswissen	Das Beziehungswissen muss allgemein angeschrieben werden können.
AE8	Gültigkeit bei Änderung des Beziehungswissens	Bei der Filterung der Produktstruktur ist es besser, eine Lücke im Kontext als ein falsch positioniertes Bauteil zu finden, da dieses durch den Konstrukteur nicht erkannt werden kann. Bei Veränderung des Beziehungswissens muss daher sichergestellt werden können, dass die Daten die gewünscht Varianz konsistent abbilden.
AE9	Absicherung in der Produktstruktur	Absicherungsschritte müssen nach Möglichkeit bereits in der Produktstruktur durchgeführt werden können.
AE10	Qualitätsbeurteilung	Die Ausleitung einer Fahrzeugkonfiguration aus der Produktstruktur sollte bereits vor der Verwendung der Daten in anderen Absicherungssystemen auf die Datenqualität hin geprüft werden können.
AE11	Dokumentation	Die Ergebnisse der Absicherung müssen so dokumentiert werden können, dass die semantische Verknüpfung zur Produktstruktur erhalten bleibt. Nur dann lassen sich die Ergebnisse auch für zukünftige Projekte nutzen.

Die Anforderungen können mit einem einzigen Produktmodell befriedigt oder aber über verschiedene Applikationen verteilt bedient werden. Vor dem Hintergrund der jeweiligen unternehmensspezifischen IT-Bebauung lassen sich verschiedene Lösungsalternativen zur Abbildung des Produktmodells ableiten. Im Idealfall werden alle Anforderungen durch eine Produktstruktur abgedeckt und so Schnittstellenprobleme vermieden.

Im Falle eines CA-nahen PDM-Systems kann der Konstruktions- und Absicherungsregelkreis gut unterstützt werden. Auch die Lageverwaltung und das parametrisch-assoziative Konstruieren werden durch Standardsoftware unterstützt. Allerdings bleiben hier die aufgezeigten Probleme der Integration verschiedener CAD-Systeme sowie die mangelhafte Integration in die der Entwicklung nachgelagerten Bereiche bestehen.

Auch unabhängige PDM-Systeme erfüllen teilweise die obigen Anforderungen. Sie verwalten aber in aller Regel keine Lagen, so dass diese zu Absicherungszwecken manuell nachgepflegt werden müssen. Auch das parametrisch-assoziative Konstruieren über verschiedene Kontexte hinaus wird nicht unterstützt. Sie ist bei verteilten Entwicklungsteams aufgrund der schwierigen Beherrschbarkeit aber auch nicht unbedingt gewollt.

## 5 Methodenentwicklung für das Management von Verwendungsinstanzen

Die Untersuchung soll entlang des Entwicklungsprozesses vorgenommen werden, da dieser eine natürliche Arbeitsfolge und somit einen verständlichen Pfad durch das komplexe Thema vorgibt. Schwerpunkte der Methodenentwicklung stellt die Vermeidung und Beherrschung der Produkt- und Prozesskomplexität speziell vor dem Hintergrund lageabhängiger Produktdaten und lageinduzierter Produktvarianz dar. Hierfür ist zunächst eine Begriffsabgrenzung durchzuführen bevor die Auswirkungen der Verwaltung von lageabhängigen Bauteildaten auf das Änderungs- und Konfigurationsmanagement betrachtet werden. Basierend auf den erarbeiteten Lösungen soll später ein Datenmodell entwickelt und am Beispiel verifiziert werden.

### 5.1 Einführung von Verwendungsinstanz und Instanzenmanagement

Wird ein Bauteil im Kontext eines Produktes verwendet, ist die Beschreibung allein über Sachmerkmale nicht mehr ausreichend. Ein und dasselbe Bauteil kann in dem Produkt „Auto“ beispielsweise an verschiedenen Verbaulagen verwendet werden (Rad vorne links und Ersatzrad), leistet aber in Abhängigkeit der Lage einen unterschiedlichen Beitrag zum Trägheitsmoment des Fahrzeuges. Es gibt Informationen, die unmittelbar von der Lage eines Bauteils abhängig sind. Um diese Information nutzbar vorzuhalten, muss eine Möglichkeit geschaffen werden, sie in Abhängigkeit der Verbaulage abzulegen. Gewichtsverteilungs- und Schwerpunktbewertungen sind nur unter Kenntnis aller Bauteilposition möglich. Aber nicht nur bei der Beurteilung eines Gesamtfahrzeuges, sondern schon bei der Konstruktion einzelner Fahrzeugumfänge und Bauteile werden die exakten Bauteilposition benötigt. Der Konstrukteur kann ohne die Position der Bauteile keine Bauraumsuche durchführen, keinen Konstruktionskontext aufbauen und die Konstruktionsaufgabe daher nicht im Kontext des Gesamtfahrzeuges durchführen. Auch zur virtuellen Absicherung eines Fahrzeuges und zur automatischen Erstellung des hierfür verwendeten virtuellen Modelles des Fahrzeuges ist es unerlässlich, dass die Bauteile richtig positioniert sind. Eine automatische Ausleitung dieser Daten aus einer varianten Produktstruktur birgt hier offensichtliche Optimierungspotenziale.

In der einschlägigen wissenschaftlichen Literatur findet sich bisher keine Begriffsdefinition, um den lageabhängigen Anteil der Produktdaten zu erfassen. SCHICHTEL verwendet hierfür den Begriff der Verwendungsinstanz, gibt jedoch keine Definition des Begriffes an [vgl. Schi-02, S. 55]. Daher soll nun der Begriff der Verwendungsinstanz eingeführt und definiert werden.

Instanzen bezeichnen in der Informatik Objekte einer bestimmten Klasse. In Analogie hierzu wird die Klasse „Verwendung“ gebildet. Sie umfasst jede Position, die ein Gestaltobjekt im Kontext eines Produktes einnehmen kann, sowohl translatorisch als auch rotatorisch. Jede definierte Verbaulage dieses Gestaltobjekts stellt eine Spezialisierung der Klasse „Verwendung“, eine geometrische Verwendungsinstanz dar.

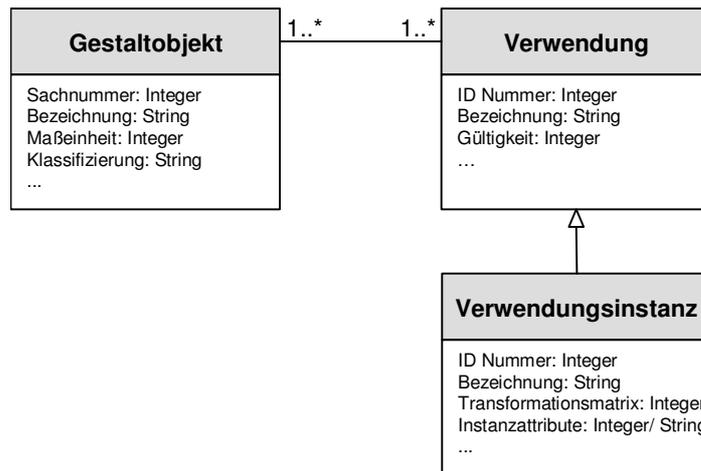


Abbildung 5-1: Klassendiagramm der Verwendungsinstanz

Damit soll folgende Definition der Verwendungsinstanz formuliert werden:

In der Geometriewelt beschreibt die **Verwendungsinstanz** eine definierte Verwendung des Gestaltobjektes in genau einer Verbaulage eines übergeordneten geometrischen Systems.

Verwendungsinstanzen werden anhand ihrer Einbaulage im Produkt unterschieden. Sie können nicht zur eindeutigen Identifizierung eines Bauteils dienen. Die tatsächliche Identität eines Objektes wird durch die physische Instanz definiert. Zu diesem Zweck wird das Objekt mit einer eindeutigen Identifikationsnummer markiert [vgl. Schi-02, 135].

Ein kurzes Beispiel soll den Unterschied zwischen der Verwendungsinstanz und der physischen Instanz verdeutlichen: Ein Wälzlager stellt ein Gestaltobjekt dar, welches in der Verwendung „Radlager“ vier mal im Fahrzeug verbaut wird. Die Verwendungsinstanzen werden durch die Verbaulagen mit den Bezeichnungen „vorne links“, „vorne rechts“, „hinten links“ und „hinten rechts“ eindeutig identifiziert. Jede Verwendungsinstanz wird durch eine Transformationsmatrix in Position und Ausrichtung relativ zum Fahrzeugkoordinatensystem beschrieben. Dabei spielt es jedoch keine Rolle, welches Wälzlager an welcher Position verbaut wird. Diese Information wird durch die physische Instanz dargestellt. Hierfür müssen die Wälzlager über eine Identifikationsnummer eindeutig identifiziert und den verschiedenen Verbaulagen zugeordnet werden.

Die Verwendungsinstanz ist kein Sachmerkmal, da sie nicht unabhängig vom Umfeld ist, sondern über die Transformationsmatrix der Verbaulage in den Gesamtzusammenhang des Produktes gebracht wird. Die Transformationsmatrix ist hierbei bereits die wesentlichste Information der Verwendungsinstanz. Sie ist über den gesamten Produktlebenszyklus von Bedeutung. Die Verwendungsinstanz beinhaltet Metadaten über ein Gestaltobjekt. Neben der Verbaulage, repräsentiert durch die Transformationsmatrix des Bauteils, können der Verwendungsinstanz weitere Attribute wie z.B. eine ID, eine Benennung oder ein Anzugsdrehmoment sowie weitere Dokumente, wie z.B. eine Montageanleitung zugeordnet werden. Bei flexiblen Bauteilen hängt weiterhin auch die Gestalt des Bauteils von der Verbaulage ab. Bei diesen Bauteilen ist die Geometrie an der Verwendungsinstanz abzulegen. Bei der Berechnung von Bauteilhüllen, werden diese üblicherweise parallel zum Fahrzeugkoordinatensystem berechnet. Sie hängen damit von der Lage des Bauteils ab. Die Verwendungsinstanz bildet somit das lageabhängige Produktwissen des Gestaltobjektes ab. Im weiteren Verlauf wird der Begriff Instanz synonym für Verwendungsinstanz benutzt.

Die Instanz hängt unmittelbar vom übergeordnetem geometrischen System ab. Bei der Fahrzeugentwicklung werden Motor und Karosserie getrennt voneinander entwickelt. Ein Motorteil, wie z.B. die Nockenwelle, wird dabei zunächst im übergeordneten System des Motors dargestellt. Die Instanz gibt die Lage des Bauteils relativ zum Koordinatenursprung des Motors an. Wird der Motor im Fahrzeug verbaut, erhält dieser hier ebenfalls eine Verwendungsinstanz, welche die Position des Motors gemessen am Koordinatenursprung des Fahrzeugs beschreibt. Die absolute Position der Nockenwelle errechnet sich nun durch Addition der beiden Transformationsmatrizen. Bei der Berechnung derjenigen Instanzmerkmale die direkt von der Transformationsmatrix abhängig sind, wie z.B. des Trägheitsmomentes eines Bauteils, ist daher das jeweilige Bezugskoordinatensystem zu berücksichtigen.

Für die Verwaltung und das Management aller Instanzinformationen sollen die Begriffe der Instanzenverwaltung, der Lageverwaltung und des Instanzenmanagements eingeführt werden.

Als <b>Instanzenverwaltung</b> wird die datentechnischen Verwaltung aller Produktattribute bezeichnet, die von der Verwendungsinstanz eines Gestaltobjektes abhängig sind.
Die <b>Lageverwaltung</b> ist eine Ausprägung der Instanzenverwaltung. Im Fokus der Lageverwaltung liegt die translatorische und rotatorische Position eines Bauteils im Produktkontext. Alle weiteren Attribute der Verwendungsinstanz sind nicht Bestandteil der Lageverwaltung.
Als <b>Instanzenmanagement</b> wird die prozessorientierte Betrachtung der Instanzenverwaltung über den gesamten Produktlebenslauf bezeichnet.

Mit der Einführung der Verwendungsinstanz als einer zusätzlichen Ebene der Produktbeschreibung muss die Sichtweise auf den Varianzraum eines Produktes verändert werden. Der Varianzraum wird nicht mehr nur durch die Varianz der Geometrie beschrieben, sondern nun auch durch die unterschiedlichen Verbaulagen dieser Geometrien.

Ein Produktmerkmal des Varianzraumes kann dabei sowohl als Bauteil- als auch als Lagemerkmal verwendet werden. So kann das Attribut „langer Radstand“ für die Räder eine Lage definieren, ist für den Unterboden aber ein Attribut des Gestaltobjektes selbst.

Bauteilvarianzraum	Lagevarianzraum
Untermenge des Produktvarianzraumes	Untermenge des Produktvarianzraumes
Beschreibung der Bauteilgeometrie	Beschreibung der für ein Objekt gültigen Lagen
Merkmale sind Sachmerkmale	Merkmale sind keine Sachmerkmale

Abbildung 5-2: Bauteil- und Lagevarianz

Zwischen Bauteil- und Lagevarianzraum besteht ein logischer Zusammenhang, der durch die Geometrie, die Funktion usw. eines Gestaltobjektes vorgegeben wird (es kann nicht jedes Objekt in jeder Lage verbaut werden). Im Zusammenhang mit einem Endprodukte ist nicht nur die Wahl des richtigen Gestaltobjektes, sondern auch die Wahl der richtigen Lage von Relevanz.

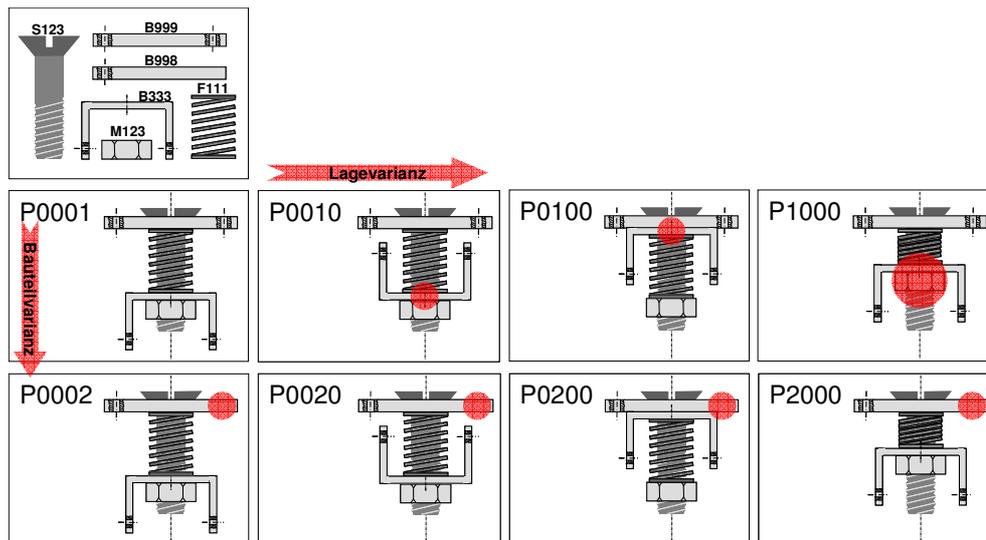


Abbildung 5-3: Beispiel für Produkt-/Bauteilvarianz und Lagevarianz

Die Abhängigkeit zwischen Objekt und Lage muss über das Produktwissen ausgedrückt werden. Ziel muss es sein, dieses Wissen über Regeln nutzbar in der Produktstruktur abzulegen. Sie sollen nur die technisch sinnvollen Varianten eines Produktes erlauben und schränken so den theoretischen Produktvarianzraum ein.

Im Rahmen des Instanzenmanagements erhalten alle Bauteile mindestens eine gültige Instanz. Diejenigen Bauteile, die an einer Positionsvariante genau eine gültige Instanz haben, benötigen keine zusätzlichen Auswahlmechanismen zur Bestimmung der im Produktzusammenhang richtigen Lage. Das Festlegen der Auswahlmechanismen für die Bauteillage wird als **Lagekonfiguration** bezeichnet. Die Lage wird bei Bauteilen mit nur einer gültigen Instanz bereits über die Auswahl des Bauteils identifiziert. Das Festlegen der Auswahlmechanismen für das Bauteil wird als **Produktkonfiguration** bezeichnet. Nur diejenigen Bauteile die an einer Positionsvariante mehrere gültige Instanzen haben, benötigen eine Lagekonfiguration.

## 5.2 Absolute oder relative Koordinatenangaben

Die Beschreibung der Bauteillage kann auf zwei unterschiedliche Arten beziehungsweise in zwei unterschiedlichen **Koordinatensystemen** erfolgen. Zum einen können die Lagen für jedes Bauteil im Zuge der Veröffentlichung in **absolute** Fahrzeugkoordinaten umgerechnet und abgespeichert werden, zum anderen kann die Bauteillage jeweils **relativ** zum Koordinatensystem eines übergeordneten Bauteils erfolgen.

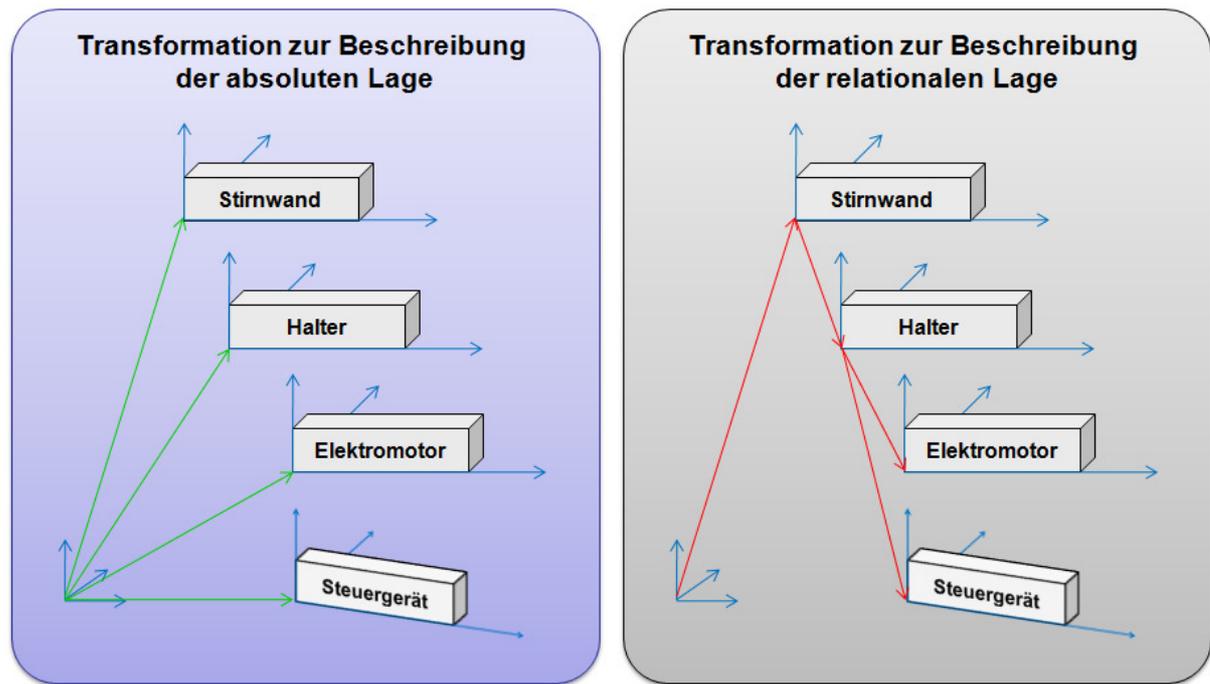


Abbildung 5-4: Absolute und relative Beschreibung der Bauteillagen

Die Produktstruktur verwaltet die Bauteile dementsprechend in Fahrzeugkoordinaten oder in relativen Koordinaten. Damit wird auch der Aufbau eines neuen Konstruktionskontext durch die Selektion entsprechender Bauteilumfänge in der Produktstruktur sowie die Veröffentlichung neuer Konstruktionsumfänge entweder in Fahrzeugkoordinaten oder in relativen Koordinaten durchgeführt.

Die Beschreibung der Bauteillage im Koordinatensystem eines übergeordneten Bauteils kann zu Uneindeutigkeiten bei der Auflösung der Struktur führen. Soll die Lage im Koordinatensystem des übergeordneten Bauteils dargestellt werden, ist zunächst zu prüfen, welches Objekt das übergeordnete sein soll (das Steuergerät könnte in der obigen Abbildung beispielsweise auch relativ zum Elektromotor positioniert werden). Bei der Beschreibung der Bauteillagen in relativen Koordinaten kann es damit zu Ringschlüssen oder Widersprüchen kommen.

Die Speicherung der relativen Lage bietet jedoch eine gute Möglichkeit Umfänge, gemeinsam zu verschieben. Wird der Halter im obigen Beispiel neu positioniert, verändern sich die Lage des Elektromotors und die des Steuergerätes automatisch. Bei absoluten Lagen würden eine Neupositionierung des Halters keine Auswirkung auf den Elektromotor und das Steuergerät haben. Diese Verschiebungen müsste hier manuell nachgezogen werden.

Besonders wenn Bauteile nachträglich aus der Produktstruktur entfernt werden, zeigt die Speicherung der relativen Lagen aber eine erhebliche Schwäche. Alle Bauteile unterhalb des zu löschenden Bauteils müssten in diesem Fall erneut positioniert werden. Dies kann einen erheblichen Mehraufwand darstellen.

Bei der Speicherung der Lagen in Fahrzeugkoordinaten wird die Ausleitung einer Fahrzeugkonfiguration aufgrund des geringeren Rechenaufwandes schneller durchführbar sein. Dieser Rechenaufwand wird in den Veröffentlichungsprozess verlagert. Auch lassen sich Prüfungen der Lage gegen Maximallagen leichter realisieren.

Ein weiterer Gesichtspunkt zur Bewertung der unterschiedlichen Arten der Lagebeschreibung ist die Frage nach dem gewünschten Grad an Vernetzung. In kleinen Entwicklungsteams, wo

eine Abstimmung ohne große Kommunikationshindernisse, also ohne eine räumliche oder zeitliche Trennung durchgeführt werden kann, bietet die Speicherung der relativen Bauteillagen Vorteile, da sich Umfänge mit weniger Aufwand gemeinsam positionieren lassen. In großen verteilten Entwicklungsteams, bei denen ein Großteil der Entwicklungsaufgaben im Verantwortungsbereich externer Zulieferfirmen liegt, kann eine hohe Vernetzung zu nicht abschätzbaren Risiken führen. Kleine Veränderungen können hier mitunter große Auswirkungen auf das Endprodukt haben. In diesen Fällen ist die Speicherung der absoluten Bauteillagen vorteilhafter einzuschätzen. Die verschiedenen Parteien können dann unabhängiger voneinander arbeiten und werden durch Änderungen anderer nicht sofort betroffen.

Diese Arbeit fokussiert auf die großen Automobilhersteller und damit auf eine vernetzte Entwicklung. Zudem wird die gleichzeitige Löschung der Lage bei Löschung des Bauteils als kritisch bewertet. Demzufolge soll hier der Ansatz der Speicherung von absoluten Bauteillagen in Fahrzeugkoordinaten verfolgt werden.

Mit dem IPDM und der iPPE wurden zwei unterschiedliche Konzepte zur Produktstrukturierung dargestellt: zum einen die Darstellung als Netz und zum anderen die Darstellung als Hierarchie. Weder für das eine noch für das andere Konzept lassen sich besondere Eignungen bezüglich der Lageverwaltung mit absoluten oder relativen Lagen identifizieren. Für beide Strukturkonzepte muss bei der Speicherung der relativen Bauteillagen eine Identifizierung des übergeordneten Bauteils stattfinden, um das entsprechende Koordinatensystem festlegen zu können. Diese muss in beiden Strukturarten an einem geeigneten Datenobjekt abgelegt werden können – in der Netzstruktur am Verbindungsknoten und in der Hierarchie am Strukturknoten. Die Speicherung der absoluten Lagen gestaltet sich einfacher. Hier kann die Lage direkt am Bauteil hinterlegt werden. Auch dieser Umstand spricht für die Verwendung absoluter Lagen.

Bei der Verwendung von Baukästen stellt sich die Situation anders dar. Das Ziel zur Bildung eines Baukastens ist es, die Produktvarianz zu minimieren. Der Baukasten soll definitionsgemäß an vielen Verwendungsstellen des Fahrzeuges verbaut werden. Dabei sollen die Einzelteile des Baukastens nicht bei jeder neuen Verwendung einzeln neu positioniert werden müssen. Hier sollten die Lagen der Einzelteile stattdessen zu einem definierten Baukastenkopf fixiert werden. Damit ergibt sich auch die Forderung, den Baukasten als „nicht konfigurierbar“ zu definieren, denn wäre der Baukasten konfigurierbar, dann müssten die Einzelteile innerhalb des Baukastens flexibel bleiben. Die Einzelteile eines Baukastens sollen daher mit relativen Lagen verwaltet werden. Lediglich der Baukastenkopf wird mit der absoluten Lage in der jeweiligen Verwendung hinterlegt. Die absoluten Lagen der Einzelteile ergeben sich dann durch die Berücksichtigung beider Transformationen, der des Kopfmaterials im Bezug auf die Fahrzeugkoordinaten und der des Einzelteils im Bezug auf die Koordinaten des Baukastenkopfes.

### 5.3 Bauraumsuche und Kontextaktualisierung

Durch die Verbindung von Instanzenmanagement und Produktvariantenstruktur ist es möglich geworden, Bauraumsuchen innerhalb der Produktvariantenstruktur durchzuführen. Hierfür wird die Instanz Träger der Koordinaten der Bounding-Box. Der Begriff **Bounding-Box** wird verwendet, um einen netzparallelen und durch seine gegenüberliegenden Koordinaten festgelegten Quader zu beschreiben, der ein Bauteil vollständig aber mit minimalem Volumen einschließt. Als Bauraum wird im Sinne der Fahrzeugentwicklung ein für das Fahrzeug typischer Bereich wie z.B. der Vorderbau bezeichnet. Konstruktionsteile können auch zu mehreren Bauräumen gehören. Der Bauraum ist ebenfalls ein netzparalleler, quaderförmiger Bereich,

der durch seine gegenüberliegenden Koordinaten definiert ist. Die Bauraumsuche überprüft, ob ein Bauteil innerhalb dieser gegenüberliegenden Koordinaten liegt. Dabei kann sich ein Teil ganz oder nur teilweise in diesem Bauraum befinden. Über die Nachbarschaftssuche werden die umliegenden Teile zu einem Bauteil identifiziert. Die Funktionalität ist dabei dieselbe.

Grundvoraussetzung zur Bauraum- und Nachbarschaftssuche ist, dass für jedes CA-Modell eines Einzelteils eine Bounding-Box im Bauteilkoordinatensystem berechnet wird. Über die Transformationsmatrix an der Instanz kann die Bounding-Box während der Berechnung achsparallel zum Fahrzeugkoordinatensystem erstellt werden. Die Bounding-Box ist abhängig von der Lage des Bauteils im Fahrzeug. Sie wird daher an der Instanz abgelegt.

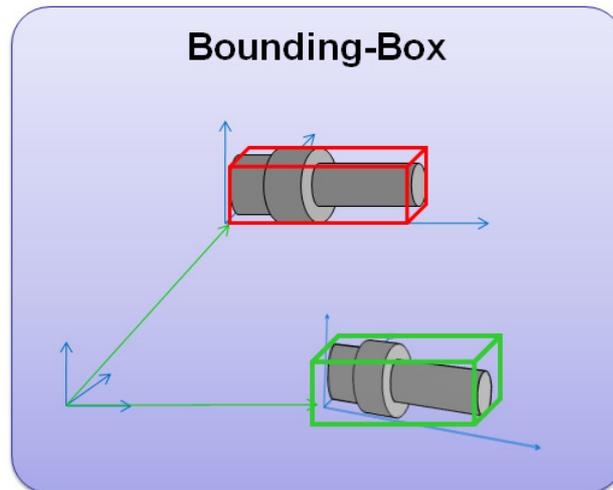


Abbildung 5-5: Bounding-Box in Abhängigkeit der Instanz

Bei Zusammenbauten gestaltet sich die Berechnung der Bounding-Box schwieriger. Für die Einzelteile, die zu einem Zusammenbau gehören, ist keine Transformationsmatrix für die Lage im Fahrzeug angegeben. Dennoch soll nicht die Bounding-Box des gesamten Zusammenbaus für Bauraum und Nachbarschaftssuchen verwendet werden. Als Ergebnis z.B. einer Nachbarschaftssuche würde dann auch nur der komplette Zusammenbau gefunden werden und nicht die Einzelteile des Zusammenbaus.

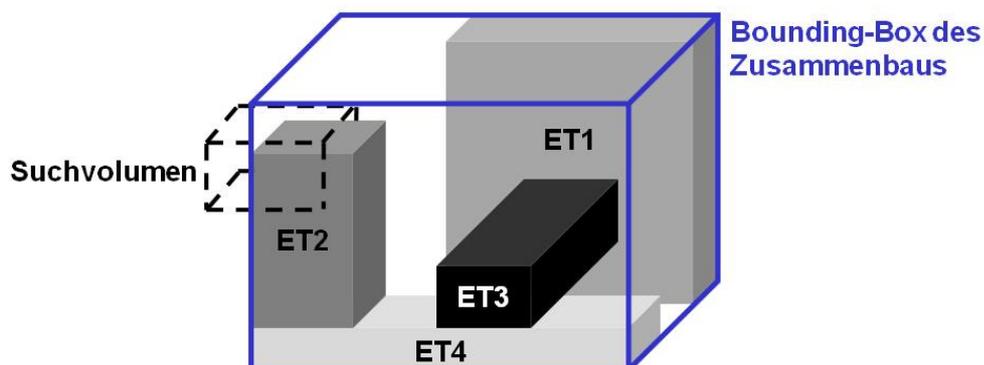


Abbildung 5-6: Bounding-Box für Zusammenbauten

Um eine größere Genauigkeit zu erzielen, müssen die Bounding-Boxen der Einzelteile auch in Fahrzeugkoordinaten berechnet werden. Hierfür müssen die Transformationsmatrizen aller Strukturstufen zwischen dem Koordinatensystem des jeweiligen Einzelteils und dem des Zusammenbaus berücksichtigt werden. Auf Grund des größeren Rechenaufwandes liegt es nahe,

die Bounding-Boxen von Zusammenbauten und deren Einzelteile voraus zu berechnen. Jedoch hängen die Bounding-Boxen der Einzelteile und damit auch die des Zusammenbaus von den Lagen der Einzelteile ab. Ändert sich eine dieser Lagen müssen die Bounding-Boxen der Einzelteile und hierüber die Bounding-Box des Zusammenbaus neu berechnet werden. Diese Berechnung muss bei jeder Lageänderung eines einzigen Teils des Zusammenbaus neu durchgeführt und an allen Verwendungsstellen aktualisiert werden. Durch technische Probleme während dieser Aktualisierung besteht die Gefahr, Inkonsistenzen in der Produktstruktur zu erzeugen. Es ist daher sinnvoller, die Bounding-Boxen für Zusammenbauten zur Laufzeit der jeweiligen Auswertung zu berechnen. Hierdurch verringert sich der Gesamtrechenaufwand und Inkonsistenzen werden vermieden.

Der Konstrukteur soll im Kontext des Fahrzeuges konstruieren können. Durch Änderungen anderer Konstrukteure unterliegt sein Konstruktionskontext einem permanenten Wandel. Um mit aktuellen Kontextinformationen zu arbeiten, muss der Konstrukteur über Änderungen des Kontextes informiert werden können.

Der Konstrukteur legt fest, welche Kontextsituationen in seiner Arbeitsstruktur abgebildet werden soll. Der Aufbau des Kontextes erfolgt durch Filterung der Produktstruktur und gegebenenfalls einer Bauraumsuche. Ergebnis der Filterung beziehungsweise Bauraumsuche ist eine Liste von Instanzen-, Dokumenten- und Strukturinformationen. Sie stellen einen Ausschnitt der Produktstruktur dar, aus dem der Kontext zusammengestellt und in die Arbeitsstruktur übernommen wird. Durch die Speicherung des Filters oder eines Zeitstempels kann der Stand der für den Kontext verwendeten Komponenten abgespeichert werden. Bei Speicherung eines Zeitstempels sind unhistorische Änderungen jedoch im nachhinein nicht im Detail nachvollziehbar, da der ursprüngliche Stand nicht identifiziert werden kann.

Im Rahmen der Kontextaktualisierung wird derselbe kontextdefinierende Filter zu einem späteren Zeitpunkt erneut ausgeführt und findet nun eine aktualisierte Liste von Instanzen-, Dokumenten- und Strukturinformationen. Diese kann entweder mit dem ursprünglichen Ergebnis der Filterung oder mit dem in der Arbeitsstruktur vorhandenen Ständen verglichen werden. Das Delta kann dann in die Arbeitsstruktur übernommen werden.

Neben der Kontextaktualisierung sollte es auch möglich sein, Änderungsinformation über die Funktion eines Abonnements zu erhalten. Das Abonnieren eines Referenzdokuments (Bauteil, Zusammenbau, Adapter, Schnitte usw.) kann frühestens dann erfolgen, wenn das Dokument veröffentlicht wurde und sich in der Produktstruktur befindet. Das Abonnieren kann beim Hinzufügen eines Dokuments in den Kontext der Arbeitsstruktur erfolgen. Beim Abonnieren muss das Abonnement vermerkt werden, um dem Konstrukteur automatisiert eine Benachrichtigung zukommen zu lassen, sobald eine Änderung am Dokument vorgenommen wurde.

## **5.4 Management der instanzenabhängigen Variantenvielfalt**

Es ist das Ziel des Variantenmanagements, bei möglichst geringer interner Vielfalt die vom Kunden verlangte externe Produktvielfalt anzubieten. Die Produktvarianz wird durch die Bauteilvarianz und die Lagevarianz verursacht.

Die Vielfalt der Bauteile ist auch ohne Betrachtung der Bauteillage variantenbildend. Der Einbau unterschiedlicher Autoradios oder die Verwendung verschiedener Radfelgen stellen anschauliche Beispiele hierfür dar. Durch die Kombinatorik der Teile wird der variantenbildende Effekt der Bauteilvarianz erhöht (z.B. Radio A mit Felge X oder mit Felge Y). Durch die alleinige Lageänderung eines Bauteils, also eine andere Instanz, entsteht nur in seltenen Fällen eine neue Variante oder eine erweiterte Funktionalität. Ein Beispiel ist in *Abbildung 5-3* gegeben. Die Produktvariante P0100 ist im Gegensatz zu den anderen Varianten auf Zugkräfte und nicht auf Druckkräfte belastbar.

Im Regelfall sind Bauteil- und Lagevarianz eng gekoppelt. Die Lagevarianz ist dann eine Folge der Mehrfachverwendung von Bauteilen und die Lagekonfiguration eine Folge der

Bauteilvarianz (z.B. bei verlängertem Unterboden liegen die Hinterräder weiter hinten). Da die instanzabhängige Produktvielfalt nur selten direkt zur Erfüllung der Kundenanforderungen beiträgt, kann sie als innere und somit zu vermeidende Vielfalt betrachtet werden. Als eine direkte Folge auf die Bauteilvielfalt lässt sich die Lagevarianz jedoch nur schwer vermeiden. Während sich die Bauteilvarianz auf den Fertigungsprozess auswirkt, wirkt die Lagevarianz auf den Montageprozess. Ein Weg zur Reduzierung des Montageaufwandes liegt also in der Reduzierung der Lagevarianz. Eine Möglichkeit um diese einzuschränken besteht in der Verwendung von Adapterbauteilen, die z.B. für mehrere Montagemöglichkeiten ausgelegt sind. Anstatt beispielsweise das Armaturenbrett für unterschiedliche Armaturen auszulegen, könnten so unterschiedliche Armaturen an verschiedenen Befestigungspunkten des gleichen Adapterbauteils verbaut werden.

Zur Reduzierung der Lagevarianz kann in einem konkreten Fall eine Auswertung nur innerhalb der Produktstruktur nicht zielführend sein. Es gilt nicht nur die unterschiedlichen Lagen, sondern gleichzeitig unterschiedliche Bauteile in unterschiedlichen Konstruktionskontexten zu betrachten. Um wirksam die Lagevarianz zu beschränken, sind Konfigurationsalternativen unterhalb eines Strukturknotens gemeinsam zu analysieren. Nur so können konstruktive Veränderungen erkannt werden, die bei ihrer Realisierung zu gleichen Montageprozessen und so zu einer geringeren Komplexität in der Montage führen.

## 5.5 Variantenmanagement über Variantentabellen

Die Planung der Produktderivate und ihrer Ausstattungsumfänge markiert den Beginn der Planungsphase<sup>1</sup> und ist ein wesentlicher Baustein zur Komplexitätsvermeidung. Ergebnis dieser Planung ist die Typenspezifikation der Derivate, welche als Eingangsgröße zur Ausarbeitung der Meilensteinplanung dient. Die Planung und spätere Steuerung der Typenspezifikation erfolgt üblicher Weise über Variantentabellen<sup>2</sup>. Diese stellen auch für die Konsistenzprüfung der Produktvariantenstruktur ein wichtiges Instrument dar.

### 5.5.1 Definition der Produktmerkmale

Produktbeschreibende Merkmale müssen so gewählt werden, dass ein flexibler Aufbau aller Produktkonfigurationen ermöglicht wird. Die Verwendung eines neuen Produktmerkmals oder eines neuen Merkmalswertes resultiert in einer neuen Fahrzeugvariante, welche in der Produktvariantenstruktur zu dokumentieren ist. Probleme ergeben sich besonders dann, wenn bestehende Umfänge durch die Einführung eines neuen Merkmalswertes oder Merkmals verändert werden müssen. Dies kann passieren, wenn die ursprüngliche Merkmaldefinition zu ungenau war und beispielsweise zwei Eigenmerkmale eines Bauteils oder einer Baugruppe durch ein Merkmal abgebildet wurden. Wurde das Derivat beispielsweise bisher über ein kombiniertes Merkmal aus Karosserieform und -länge gebildet, also  $3Lk = 3er-Limousine-kurz$ ,  $3Ll = 3er-Limousine-lang$  und  $3Tl = 3er-Touring-lang$  und wird dies, beispielweise um einer höheren externen Varianz Rechnung zu tragen, nun durch zwei eigene Merkmale ausgedrückt (Karosserieform mit den Werten *3er-Limousine* und *3er-Touring* / Karosserielänge mit den Werten *Kurzversion* und *Langversion*), so muss die Produktvariantenstruktur überarbeitet werden.

Die Wahl der Merkmale und Merkmalswerte hat weiterhin einen entscheidenden Einfluss auf die Komplexität des anzuschreibenden Beziehungswissens. Wird wie im obigen Beispiel das

<sup>1</sup> nach VDI 2222 bzw. Initialphase nach BMW

<sup>2</sup> Synonym wird auch der Begriff Merkmals-/Ausprägungsmatrix verwendet.

Derivat über ein kombiniertes Merkmal aus Karosserieform und –länge gebildet, so könnte die Motorhaube nicht für alle *Langversionen* konfiguriert werden. Stattdessen müssen alle passenden Derivatausprägungen im Beziehungswissen gelistet werden. Das Beziehungswissen wird komplexer und somit schlechter interpretierbar.

Auch die gewählte Granularität der Merkmale nimmt Einfluss auf das Beziehungswissen. So kann z.B. die Größe des Kraftstofftanks oder des Wischwasserbehälters in den Granularitäten klein, mittel und groß oder 10Liter, 15Liter, 20Liter, 25Liter und 30Liter oder durch Angabe von Höhe, Breite und Länge beschrieben werden. Bei zu hoher Granularität wird das Beziehungswissen unnötig komplex, bei zu geringer Granularität kann die vorhandene Varianz nicht abgebildet werden.

Eine mögliche Lösung liegt in der Verwendung einer Merkmalshierarchie. Dabei wird beispielsweise das Sachmerkmal Abmessung auf der ersten Stufe durch die Merkmalswerte *groß*, *mittel*, *klein* dargestellt. Auf der zweiten Stufe werden für diese Werte die Abmessungen definiert, für die der Wert der oberen Stufe gilt:

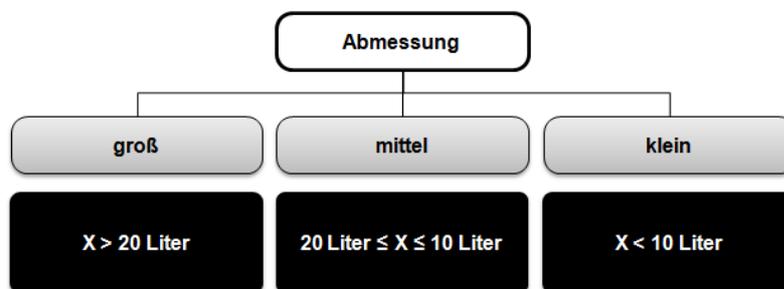


Abbildung 5-7: Beispiel einer Merkmalshierarchie

Für das Merkmal müssen nun sowohl die Werte groß, mittel, klein als auch Zahlenwerte zulässig werden. Hierfür ist eine erweiterte Logik bei der Abbildung der Merkmale nötig. Die Logik könnte dabei auch eine Kombination der Werte erlauben z.B. alle großen Behälter ohne den 21 Liter Behälter.

Es gibt weitere Besonderheiten, die insbesondere bei Sonderausstattungsmerkmalen zu beachten sind. Sonderausstattungen sollten nur als einwertiges Merkmal mit den Werten  $+SA = \text{hat Merkmal}$  und  $-SA = \text{hat Merkmal nicht}$  dargestellt werden, wenn es keine gleichberechtigte zweite Sonderausstattung gibt. Werden für Klimaanlage und Klimaautomatik zwei Sonderausstattungsmerkmale mit jeweils  $+SA$  und  $-SA$  angelegt, so muss durch Regeln sichergestellt werden, dass nicht beide Sonderausstattungen gleichzeitig gültig sein können. Bei der Formulierung als ein einzelnes einwertiges Merkmal ist diese Regel unnötig.

Außerdem ist auf die Vollständigkeit einer Wertemenge zu achten. Existiert ein „Kilometertacho“, so muss es auch einen „Meilentacho“ geben. Ansonsten ist die Formulierung „Tacho“ ausreichend.

Darüber hinaus ist eine funktionale Sonderausstattung für jedes Fahrzeug als solche zu behandeln. Gehört eine Sonderausstattung in einem Fahrzeug zum Basisumfang, so bildet diese eine Vertriebslogik ab, die von der funktionalen Logik zu trennen ist. Die Vertriebsvarianz darf nicht mit der funktionalen Varianz vermengt werden, da ansonsten die vorhandene Varianz zum einen eingeschränkt und zum anderen unüberschaubar wird. Stattdessen sind beide Sichtweisen strikt und eindeutig zu trennen. Dies kann beispielsweise durch eine vertriebsseitige Variantentabelle durchgeführt werden. Dieses Vorgehen erhöht auch die Transparenz bezüglich der Unterscheidung in interne und externe Vielfalt und kann damit zur Komplexitätsreduzierung beitragen.

Variantentabelle der Konstruktion						
Typ	XX11	XX12	XX13	XX31	XX32	XX33
Karosserie	Limo	Limo	Limo	Coupé	Coupé	Coupé
Motor	4.-Zyl.	6.-Zyl.	8.-Zyl.	6.-Zyl.	6.-Zyl.	8.-Zyl.
Räder	*	*	*	*	*	*

Variantentabelle des Vertriebs						
Typ	XX11	XX12	XX13	XX31	XX32	XX33
Karosserie	Limo	Limo	Limo	Coupé	Coupé	Coupé
Motor	4.-Zyl.	6.-Zyl.	8.-Zyl.	4.-Zyl.	6.-Zyl.	8.-Zyl.
Räder	15Zoll	15Zoll	16Zoll	16Zoll	16Zoll	18Zoll

Abbildung 5-8: Getrennte Variantentabellen für Vertriebslogik

Konfigurierbare Baugruppen, wie beispielsweise der Motor, sind mit all ihren Merkmalen in der Produktvariantenstruktur abzubilden und nicht als fertige Baugruppen. Dies erleichtert die Konfiguration der Anbauteile, die mitunter nur von einem Merkmal der Baugruppe abhängen. Dadurch kann beispielsweise auf eine Auflistung der Einzelmotoren verzichtet werden.

### 5.5.2 Merkmalssteuerung in der Variantentabelle

Die Fahrzeugtypen dienen als Basis für den weiteren Aufbau der Variantenvielfalt. Zur übersichtlichen Planung der Fahrzeugtypen werden diese in Variantentabellen festgeschrieben. Dabei werden die Typmerkmale untereinander angeordnet und die Merkmalswerte horizontal aufgetragen. Jede Spalte stellt eine Permutation der Merkmalswerte dar und definiert einen Fahrzeugtyp. Die unterschiedlichen Fahrzeugtypen erhalten zur Identifizierung zusätzlich einen alphanumerischen Code als Typbezeichnung.

Varianten Tabelle								
Typ ID	XX11	XX12	XX13	XX32	XX33	XY11	XY12	XY13
Derivat	D01	D01	D01	D01	D01	D02	D02	D02
Motor	4Zyl	4Zyl	4Zyl	6Zyl	8Zyl	4Zyl	4Zyl	4Zyl
Kraftstoff	Benzin							
Getriebe	5G	5G	5G	6G	6G	5G	5G	5G
Lenkung	LL	RL	LL	LL	LL	LL	RL	LL
Land	EUR	EUR	USA	EUR	EUR	EUR	EUR	USA

Abbildung 5-9: Beispiel für eine Variantentabelle

Als weitere Detaillierung der Variantensystematik werden die Sonder- und Länderausstattungsmerkmale, Pakete, Farben und Lacke eines Fahrzeuges geplant. Sie stellen eine weitere Spezifizierung eines Fahrzeugtypes dar und müssen in Relation mit einem definierten Typ festgelegt werden, d.h. diese Ausstattungsmerkmale können als eine Erweiterung der Variantentabelle verstanden werden. Bei BMW machen die Sonderausstattungsmerkmale etwa 85% aller Merkmale aus und werden in einer eigenen Tabelle gehalten. Sie wird als Ausstattungsmerkmalsliste (AML) bezeichnet. Da es hier jedoch keine funktionalen Unterschiede oder Anforderungen gibt, ist es sinnvoller, beide Tabellen zu einer zu integrieren. Dies dient sowohl der Übersichtlichkeit als auch der einfacheren Handhabbarkeit.

Sonderausstattungsmerkmale können den Fahrzeugtypen auf unterschiedliche Art und Weise zugesteuert werden. Bei einigen Fahrzeugtypen gehören bestimmte Sonderausstattungen beispielsweise wegen gesetzlicher Bestimmungen zur Serienausstattung, während sie bei

anderen Fahrzeugtypen nur wahlweise vorkommen. Als mögliche Wahlarten können für Sonderausstattung definiert werden:

- Festkomponente/ Serienumfang (/): Die Ausstattung ist für den Fahrzeugtyp als Serienausstattung vorgesehen, immer vorhanden und wird für diesen Typ nicht als Sonderausstattung gesteuert.
- Muss-Komponente (X): Für die Ausstattung muss eine Alternative ausgewählt werden (z.B. Räder, Lenkrad, Farbe, Polsterung).
- Kann-Komponente (SA): Die Ausstattung ist für den Fahrzeugtyp gültig und kann vom Kunden als additive Variante ausgewählt werden.
- Unzulässige Komponente (-): die Ausstattung ist für den gewählten Fahrzeugtyp nicht zulässig.

Ausstattungsmerkmalliste								
Typ ID	XX11	XX12	XX13	XX32	XX33	XY11	XY12	XY13
S100	SA							
S200	SA							
S300	X	X	X	-	X	-	-	SA
S301	X	X	-	SA	-	X	X	-
S302	X	X	X	-	X	X	X	-
S400	/	/	/	SA	SA	SA	SA	SA

Abbildung 5-10: Variantentabelle für Sonderausstattungen

Bei einigen Sonderausstattungsmerkmalen handelt es sich um abhängige Merkmale. Ihre Auswahl ist von Merkmalswerten anderer Sonderausstattungsmerkmale abhängig. Bei dieser Abhängigkeit kann es sich um Zwänge, Ausschlüsse oder Regeln handeln:

- Zwang (Z): Zwänge spiegeln sogenannte Zwangsabhängigkeiten wieder (wenn SA1 dann auch SA2)
- Ausschluss (A): Ausschlüsse spiegeln sogenannte Kombinationsverbote wieder (wenn SA1 dann nicht SA2)
- Regel (R): Regeln spiegeln komplexere Abhängigkeit wieder (wenn SA1 und SA2 dann muss auch SA3)

Diese Abhängigkeiten können über ihre entsprechenden Indikatoren mit in der Variantentabelle abgebildet werden.

Ausstattungs-Abhängigkeiten				Typ ID		
Bestellte Ausstattung	Zwangs-ausstattung	Beschreibung	Kommentar	XX01	XX02	XX13
S100		S100 Scheinwerfer mit Xenonlicht		SA	SA	SA
S100	S200	S200 Scheinwerfer-Waschanlage	In DE ist die Waschanlage bei Xenonlicht gesetzlich vorgeschrieben	Z	Z	

Abbildung 5-11: Zwang in der Ausstattungsmerkmalsliste

Für mehrstufige Regeln ist eine flexiblere Lösung z.B. über kurze Programmcodes erforderlich.

### 5.5.3 Verwendung der Variantentabelle

Die Planung der Produktvarianten unterliegt einem Fortschreibungsprozess, welcher durch Änderung der Anforderungssituation verursacht wird. Die Variantentabelle hat daher nicht einen allgemeingültigen Zustand. Sie verändert sich im Laufe des Produktlebenszyklus und muss einem Änderungsprozess unterworfen werden. Die Variantentabelle wird daher für jede

Produktlinie in verschiedenen Zuständen gepflegt. Dabei kann beispielsweise zwischen Konzeptstand, Planstand und Freigabestand unterschieden werden.

Aus der Reihe aller Produktkonfigurationen der Variantentabelle werden bestimmte Fahrzeugkonfigurationen für Versuchs- und Konzeptfahrzeuge sowie zu Berichtszwecken ausgewählt. Die Konfiguration dieser Fahrzeuge folgt den selben Regeln, die für alle anderen Serienumfänge auch gelten. Im Rahmen des Fortschreibungsprozesses gelten für diese Konfigurationen eventuell aber strengere Änderungskriterien. Diese Fahrzeugvarianten sollten daher in der Variantentabelle über entsprechende Indikatoren in einer extra Zeile kenntlich gemacht werden.

Die Variantentabelle definiert diejenigen Produktvarianten als Merkmalskombinationen, die für das Produkt zulässig sind. Die Varianten, die nicht in der Tabelle spezifiziert sind, stellen somit unzulässige Varianten dar. Die Tabelle kann damit zur späteren Validierung der Produktkonfiguration dienen, indem das an der Positionsvariante angeschriebene Beziehungswissen gegen die Variantentabelle verprobt wird. Hierfür werden die filterdefinierenden Merkmalsausprägungen mit den gültigen Merkmalswertekombinationen der Variantentabelle verglichen. Findet sich die entsprechende Permutation nicht in der Variantentabelle oder wird ein Zwang, ein Ausschluss oder eine Regel verletzt, kann eine Meldung ausgegeben oder diese Filterung unterbunden werden. Eine präventive Einschränkung des Beziehungswissens ist auf Grund der Veränderlichkeit der Variantentabelle nicht als sinnvoll zu bewerten.

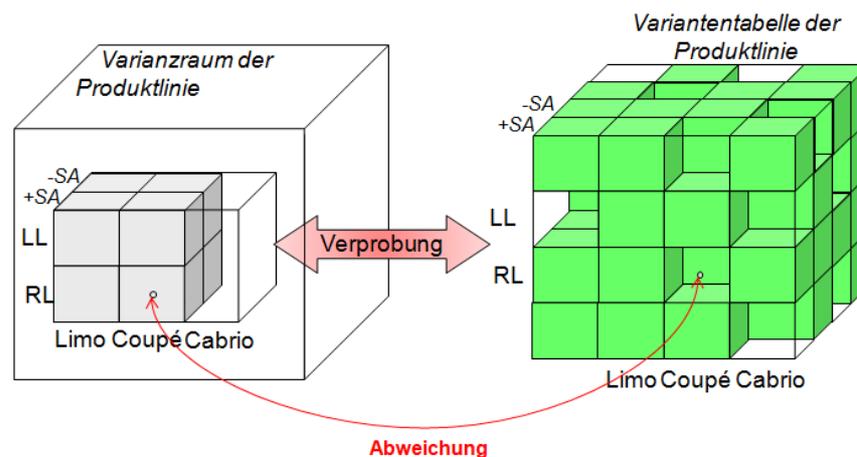


Abbildung 5-12: Verprobung des Beziehungswissens

Die Variante stellt häufig den Schlüssel für den Zugriff auf Produktinformationen dar. Die Variantentabelle nimmt damit einen hohen Stellenwert im gesamten Variantenmanagement ein. Die durch die SAP AG unterstützten Funktionalitäten zur Bearbeitung und Nutzung von Variantentabellen im Zusammenspiel mit der Produktvariantenstruktur entsprechen noch nicht der Wichtigkeit dieses Hilfsmittels. Ein Cockpit wie es für andere wichtige Bereiche angeboten wird, ist auch für Variantentabellen wünschenswert. Nicht nur Planung und Fortschreibungsprozesse könnten informationstechnisch besser unterstützt werden. Auch zusätzliche Prüffunktionen und Berichte basieren auf den Grundlagen der Variantentabelle und können in einer entsprechenden Oberfläche mit eingebunden werden. Eine Untergliederung in Aufgaben der Komplexitätsvermeidung und Komplexitätsbeherrschung sowie der Projektkontrolle erscheint sinnvoll. Die Komplexitätsvermeidung umfasst dabei die Varianten- und Kommunalitätsplanung. Sie muss die Möglichkeit für produktlinienübergreifende Darstellungen bieten. Die Beherrschung der Variantenvielfalt wird durch Prüfungen der Produktstruktur auf Konsistenz mit der Variantentabelle unterstützt.

Die Variantentabelle kann mit zusätzlichen Planungs-, Ziel- und Kontrollwerten ausgebaut werden. Diese Größen können insbesondere Kosten oder Gewichte sein, die auf Produktkonfigurationsebene definiert und im Rahmen der Konfiguration validiert werden. Über eine Zuordnung der Verkaufszahlen und Kosten können weiterhin Aussagen zur jeweiligen Wirtschaftlichkeit einer Variante erlangt werden. Auch Absicherungsergebnisse beziehen sich auf einen Entwicklungsstand einer oder mehrerer Produktvarianten und sollten somit über den Zugriffsschlüssel der Variantentabelle abrufbar sein.

Die Variantentabellen zielen einzig auf das Produktbeziehungswissen. Das Instanzbeziehungswissen kann durch die Variantentabelle nicht validiert werden. Dieses lässt sich nur im Zusammenhang der jeweiligen Geometrie und des Fahrzeugzusammenhangs überprüfen. Die Validierung ist je Gestaltobjekt durchzuführen. Ein generelles Kontrollwissen zur Prüfung der Instanzen kann somit nicht angegeben werden. Lediglich die Lage kann zur Plausibilisierung der Instanzen im Rahmen von Absicherungsprozessen verwendet werden. Hierauf wird im Kapitel 5.11 *Absicherung der Produktvarianten* detaillierter eingegangen.

## 5.6 Aufbauen der Produktstruktur

Zu Beginn eines Fahrzeugprojektes existiert noch keine Struktur für das neue Produkt. Diese wird erst im Zuge des Entwicklungsprojektes aufgebaut. In der Praxis stellt der Aufbau der Produktvariantenstruktur besonders in der frühen Phase der Produktentwicklung ein erhebliches Problem dar. Nicht nur die bereits kritisierte mangelnde informationstechnische Unterstützung der kreativen Entwicklungstätigkeit erschwert diese Aufgabe. Die Unsicherheit erster Produktdaten und deren geringe Halbwertszeit stehen einer systematischen Datenfortschreibung im Wege. Die funktionale Gestaltung vermag dieses Problem heute nur bedingt zu lösen. Besonders der Übergang zwischen Funktionssystemstruktur einerseits und Produktstruktur andererseits ist nicht systematisiert. Die Nutzung von Kommunalumfängen anderer Derivate und die Spezifizierung von Bauteilverbindungen stellen erste verlässliche Daten bereit. Diese müssen mit der funktionalen Gestaltung in Einklang gebracht werden.

Um das Erfahrungswissen vergangener Projekte für den Aufbau einer neuen Produktstruktur nutzbar zu machen, muss es in geeigneter Form zugreifbar sein. Ein gutes Fundament zur Nutzbarmachung bietet die Erzeugnisstruktur. Die Erzeugnisstrukturen verschiedener Fahrzeuge ähneln sich und sind in ihren Grundstrukturen oft weitgehend identisch. Basieren Fahrzeuge auf denselben Plattformen wird dies besonders deutlich. Aus der Summe vergangener Fahrzeugprojekte lassen sich gleiche Anteile und Strukturen identifizieren und in einer generischen Erzeugnisstruktur zusammenfassen. Die **generische Erzeugnisstruktur** beschreibt den produktlinienübergreifenden, allgemeinen Anteil der Produktstruktur und enthält die Obermenge aller möglichen generischen Knoten. Sie ist eine  $(100+x)\%$ -Struktur des Erzeugnisses. Aus der generischen Erzeugnisstruktur können durch Kopieren, Reduzierung und Ergänzung die Grundstrukturen einer neuen Produktlinie abgeleitet werden. Diese Grundstrukturen enthalten nun die produktlinienspezifischen Knoten, sind aber noch nicht mit konkreten Teilen befüllt oder konfiguriert.

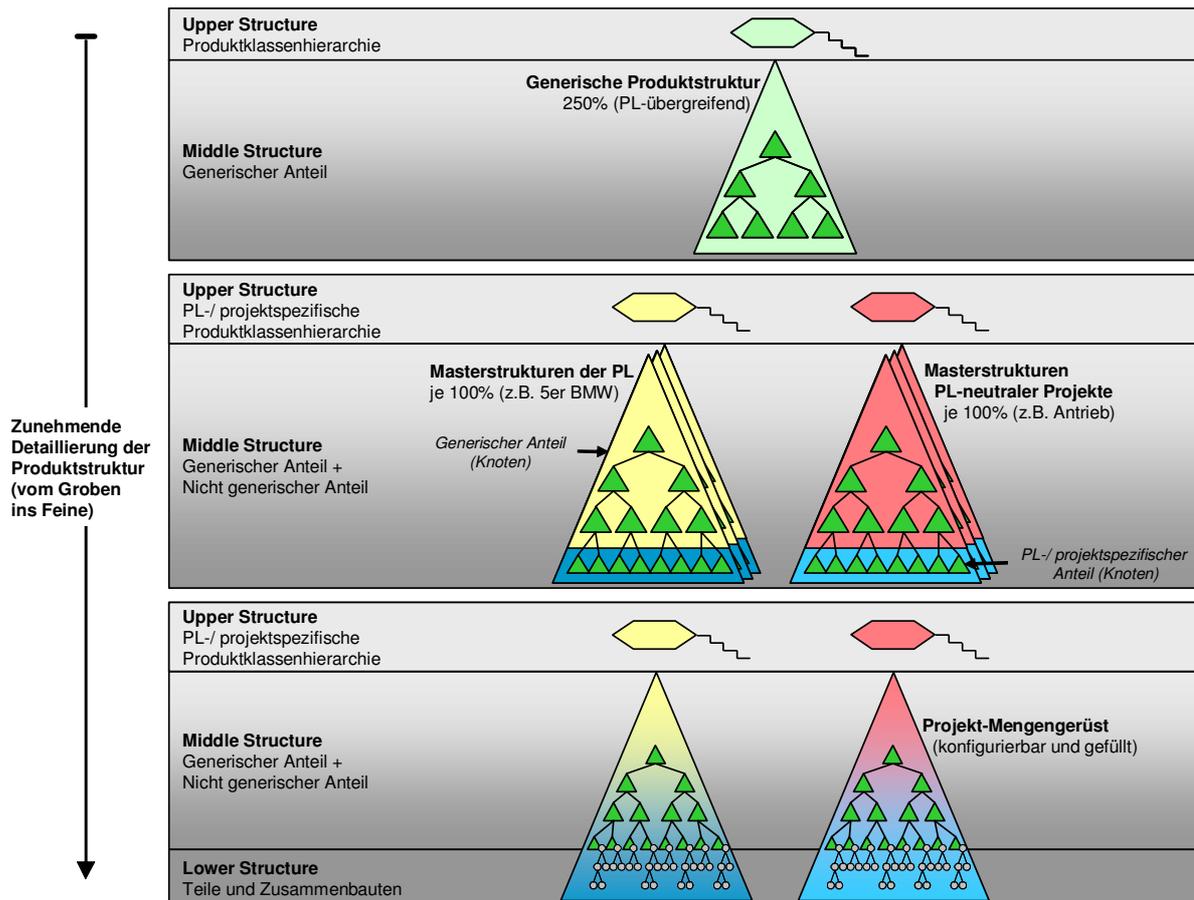


Abbildung 5-13: Entstehung der Produktstruktur

Voraussetzung zur richtigen Befüllung dieser Grundstruktur ist ein Entwicklungsauftrag, der die Entwicklungsaufgaben genau definiert und die Konstruktionsanforderungen detailliert vorgibt. Um die Qualität der Entwicklungslösung beurteilen zu können und ein effektives Monitoring und Management des Entwicklungsprojektes zu ermöglichen, muss die Entwicklungslösung permanent gegen diesen Entwicklungsauftrag validiert werden können. Dies setzt eine Referenzierungsmöglichkeit zwischen Auftrag und der im Verlauf des Entwicklungsprojektes erarbeiteten Entwicklungslösung voraus. Um diese Referenzierung zu erleichtern, ist es daher wünschenswert, Auftrag und Lösung in der gleichen Art und Weise zu dokumentieren. Idealerweise würden Auftrag und Lösung an denselben Elementen der einen Produktstruktur dokumentiert. Dies ist jedoch aus folgenden Gründen nicht realisierbar [vgl. BMW-05a, S. 2]:

- Die Varianzräume von Auftrag und Lösung sind unterschiedlich detailliert (Auftrag i.d.R. gröber als die Lösung), nicht notwendigerweise unterschiedlich groß.
- Auftrag und Lösung haben eine unterschiedliche Taktung von Änderungsständen, da sie – außer der gemeinsamen Initiierung – unterschiedliche Gründe für Änderungsstände haben (Konstruktive Iterationen ergeben sich nur bei der Lösung).
- Die zeitliche Gültigkeit des Auftrags kann der zeitlichen Gültigkeit der Lösung vorauslaufen, aber auch nachlaufen.
- Ein Auftrag kann aufgrund der Derivatstaffelung mit zeitlich sehr weit versetzten Teil-Lösungen beantwortet werden.
- Die Verantwortlichkeit von Auftrag und Lösung liegt in verschiedenen Organisationseinheiten.

Bei der BMW AG wurde die Dokumentation von Auftrag und Lösung innerhalb der Produktstruktur zusammengeführt. Der Auftrag wird als sogenanntes **Konzeptmengengerüst (KMG)** in der Produktstruktur gepflegt. Das Konzeptmengengerüst gibt die Gliederung des Produktes vor und legt die Kommunal- und Synergieumfänge fest. Die Lösung wird als sogenanntes **Modulmengengerüst (MMG)** in der Produktstruktur gepflegt. Es detailliert die Lösungen über den Verlauf des Entwicklungsprojektes für alle Produktkonfigurationen bis zum Detailgrad der Einzel- und Kleinteile aus. Sowohl im Konzeptmengengerüst als auch im Modulmengengerüst wird die Varianz durch das Beziehungswissen an den Positionsvarianten beschrieben. Die Produktstruktur enthält somit zwei konfigurierbare Strukturen. Dieser Sachverhalt wird nachfolgend als 2-Ebenen-Konfiguration bezeichnet.

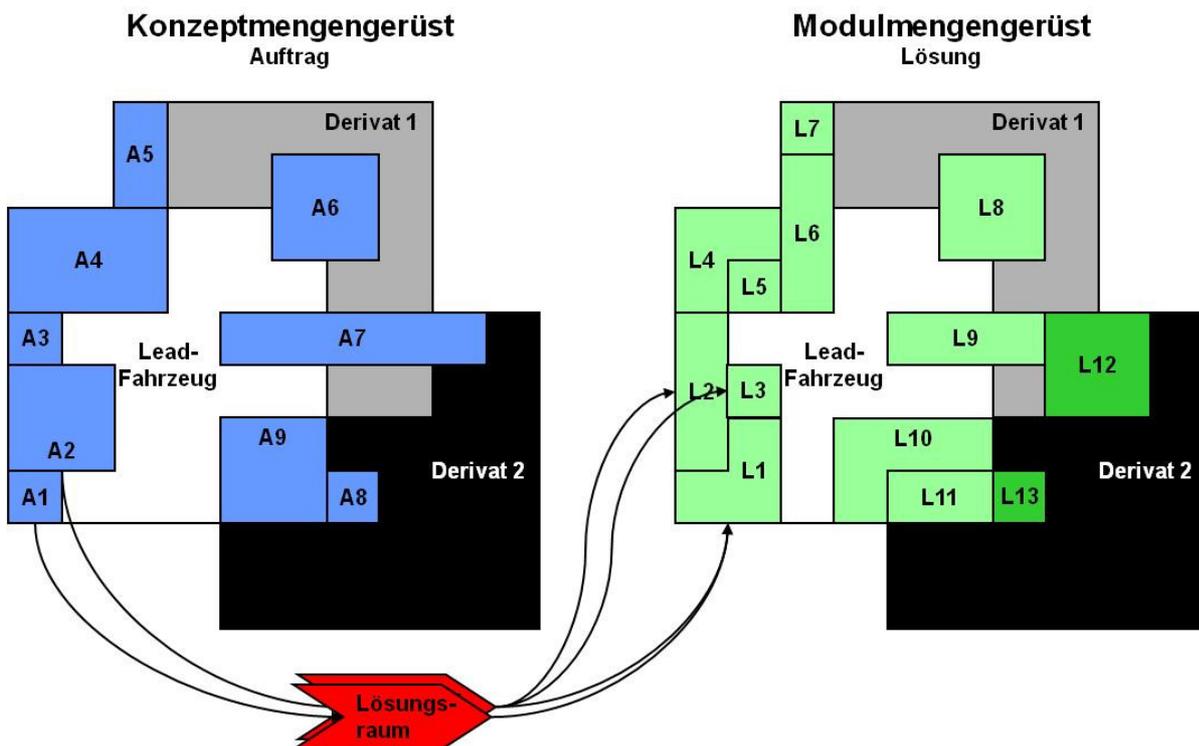


Abbildung 5-14: Konzept- und Modulmengengerüst

Um eine Referenzierungsmöglichkeit zwischen Auftrag und Lösung zu schaffen, wurden bei der BMW AG verschiedene Lösungsalternativen untersucht. Diese sind [vgl. BMW-05a, S. 2]:

- Hierarische-Konfiguration: die Knoten des MMG werden unterhalb der entsprechenden KMG Knoten angeordnet. Um ins MMG zu gelangen, muss dabei mindestens eine gültige Positionsvariante des KMG gefunden werden.
- die Generischen Zellen: es wird ein generischer Knoten eingeführt, der sich in einen Knoten des KMG und mehrer Knoten des MMG unterteilt.
- der Lösungsraum: über den Lösungsraum werden die Knoten des KMG mit den Knoten des MMG verknüpft.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit und des Pflegeaufwandes ist die Referenzierung durch Lösungsräume zu favorisieren. Unabhängig von der gewählten Realisierungsalternative muss zum Abgleich von Auftrag und Lösung eine Möglichkeit zur Konsistenzprüfung geschaffen werden. Diese soll den Anwender beim Abgleich von Auftrag und Lösung unterstützen. Es muss gewährleistet werden, dass für jede mögliche Konfiguration des Auftrages auch mindestens eine Lösung angeboten wird. Dieses gilt in gleicher Weise zwischen jeder geometrischen Lösung und ihren Instanzen.

## 5.7 Gültigkeits- und Zustandsänderung

Im Folgenden Abschnitt steht die prozesstechnische Betrachtung des Änderungsmanagements im Vordergrund. Die Betrachtung soll dabei nicht nur Änderungen im Sinne der Definition des Änderungsmanagements, also Änderungen an freigegebenen Bauteilen und Dokumenten, sondern alle Änderungsbedarfe im Entwicklungsprozess einschließen. Hierzu werden die unterschiedlichen Ausprägungen von Änderungen untersucht. Es folgen Betrachtungen zur operativen Durchführung von Änderungen.

### 5.7.1 Gültigkeitsdimensionen und ihre Abbildung in der Produktstruktur

Um die Produktstruktur als konsistente Informationsquelle entlang des gesamten Lebenszyklus nutzen zu können, muss jedes Bauteil bei der Veröffentlichung in die Produktstruktur eine vollständige Gültigkeitsdefinition erhalten. Diese Gültigkeit muss die Verwendung des Bauteils im konfigurierbaren Produkt eindeutig festlegen. Es lassen sich verschiedene Dimensionen dieser Gültigkeit unterscheiden. Diese sind die:

1. Organisatorische Gültigkeit (z.B. gesperrt, freigegeben)
2. Zeitliche Gültigkeit (z.B. 01.04.2006 – 01.09.2007, 30MvS)
3. Relationale oder merkmalsbezogene Gültigkeit (z.B. Rechtslenker/ Linkslenker)
4. Parametrische Gültigkeit (z.B. Los 23-146, Virtuelles Fahrzeug 0815, Prototyp 4711)

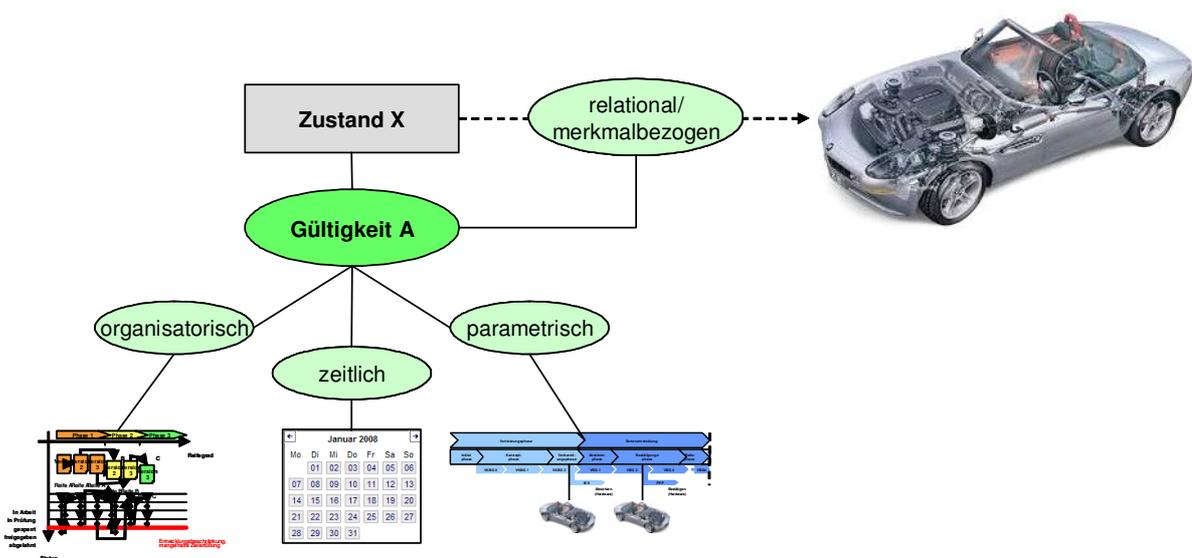


Abbildung 5-15: Dimensionen der Gültigkeit

Die **erste** Dimension der Gültigkeit ist organisatorischer Natur und dient zur Steuerung des Bauteils im Entwicklungsprozess. Hierfür werden wie in den wissenschaftlichen Grundlagen dargestellt die Indizes Reifegrad, Version, Alternative und Status verwendet. Diese werden üblicherweise als Metadaten des CAD-Dokumentes oder auf der Änderungsnummer der entsprechenden Änderung geführt.

Die **zweite** Dimension der Gültigkeit ist die zeitliche Dimension. Die zeitliche oder terminliche Gültigkeit beschreibt von welchem Zeitpunkt 1 bis zu welchem Zeitpunkt 2 ein Bauteil in einem definierten Zustand gültig ist. Dabei können auch offene Intervalle oder Meilensteine verwendet werden. Die zeitliche Gültigkeit bezieht sich in der Produktvariantenstruktur auf die Version einer Bauteilalternative und wird direkt an der Änderungsnummer geführt.

Die **dritte** Dimension der Gültigkeit ist die relationale oder merkmalsbezogene Gültigkeit. Sie spiegelt die Abhängigkeit der Bauteile untereinander wieder. Diese relationale Anhängigkeit

kann geometrischer, funktionaler, thermischer, elektrischer usw. Natur sein. Die merkmalsbezogene Gültigkeit wird über die Produktmerkmale gesteuert und als Beziehungswissen in der Produktstruktur an das Bauteil angeschrieben. Dabei muss zwischen dem Produktbeziehungswissen und dem Instanzbeziehungswissen unterschieden werden. Das Beziehungswissen wird als boolesche Kombination derjenigen Merkmale angeschrieben, für die ein Bauteil gültig ist.

Die **vierte** Dimension der Gültigkeit ergibt sich aus Anforderungen zur Fortschrittskontrolle. Die Kontrolle des Projektfortschrittes und die Prüfung der Entwicklungsqualität erfolgt zu festgelegten Meilensteinen und Quality Gates. Der wiederholten Prüfung des Gesamtfahrzeuges kommt dabei naturgemäß eine zentrale Bedeutung zu. Das Gesamtfahrzeug liegt jedoch bis zum Serienbeginn nur in unvollständigen Ständen und einer Vielzahl von Konfigurationen vor. Um dennoch ein verlässliches Maß der Fortschrittskontrolle und Stimmigkeit des Fahrzeuges zu bekommen, werden zu den entsprechenden Kontrollpunkten festgelegte Konfigurationen als Baustand ausgeleitet, als physischer Prototyp aufgebaut beziehungsweise als virtuelle Fahrzeuge im DMU geprüft. Hierfür müssen die Baustände stimmig gehalten werden können. Das bedeutet, im Einzelfall auf ältere Entwurfsversionen eines Bauteils zuzugreifen, alternative Bauteile oder Bauteile andere Derivate zu verwenden oder auch Dummy-Bauteile einzusetzen.

Der Baustand wird auf ein fixiertes Datum hin abgestimmt und wird in aller Regel nach diesem Datum nicht mehr verändert. Er muss aus der Produktstruktur heraus reproduzierbar sein, d.h. auch nach dem Erreichen des entsprechenden Kontrollpunktes muss es möglich sein, die Baustände durch eine Konfigurationssimulation aus der Produktstruktur extrahieren zu können. Die Produktstruktur wird zu diesem Zweck mit den entsprechenden Merkmalen des Baustandes gefiltert. Die Merkmale, die der Baustand erfüllen soll, werden bereits im Vorwege in der Absicherungsplanung festgelegt. Unter Angabe der Gültigkeitsdimensionen soll der Baustand dann als stimmiger Konstruktionsstand erzeugt werden können. Baustände können somit nicht ad hoc erzeugt, sondern müssen geplant und in der Produktstruktur vorgehalten werden. Für einen Baustand bestimmte Sonderumfänge dürfen weder versehentlich durch neuere Serienbauteile ersetzt werden, noch dürfen diese Umfänge versehentlich in die Serie einfließen.

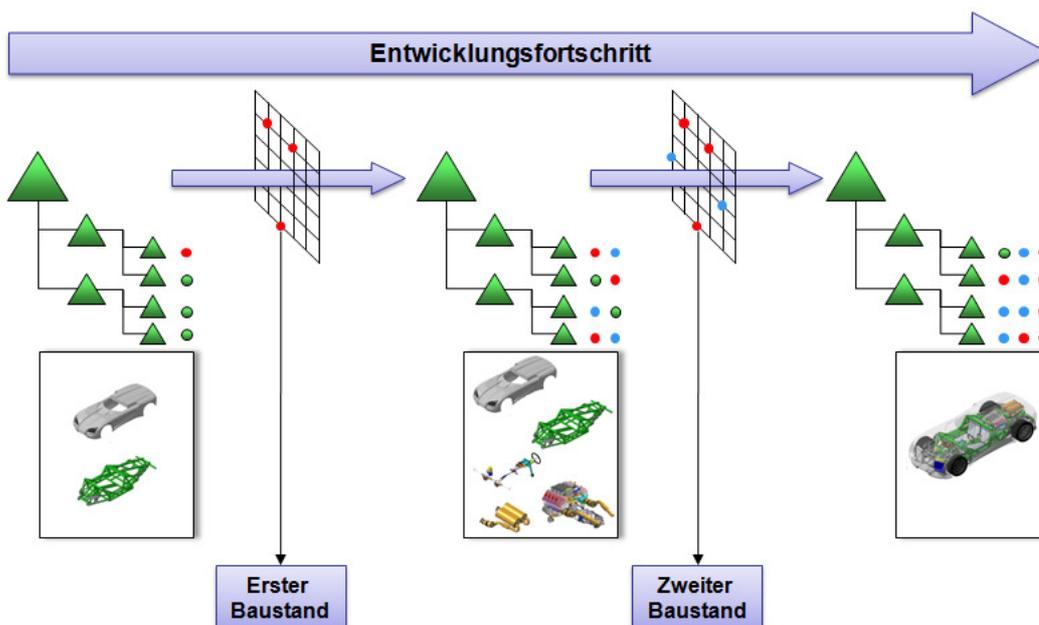


Abbildung 5-16: Ausleitung von Bauständen zur Fortschrittskontrolle

Im Rahmen des Änderungsmanagements müssen die zusätzlichen Konfigurationen der Baustände mit verwaltet werden und gegenüber der Serienentwicklung abgrenzbar sein. Dies stellt zusätzliche Anforderungen an das Änderungs- und Konfigurationsmanagement. Es wird die vierte Dimension der Gültigkeit eines Bauteils erkennbar. Sie ist weder rein zeitlicher noch rein relationaler Natur. Sie wird als Parametergültigkeit bezeichnet und dient zur Baustand bezogenen Konfiguration. Sie determiniert die Zugehörigkeit eines Teils oder eines Änderungsstandes zum prognostizierten Serienstand und/ oder Bauphase. So lassen sich gleichzeitig mehrere unterschiedliche Gültigkeiten einer Verwendung oder eines Änderungsstandes formulieren. Durch Angabe der entsprechenden Parameter im Filter lässt sich der Inhalt der Produktstruktur auf die gewünschte Sicht einschränken.

Für variantenreiche Produkte mit einem hoch komplexen Entwicklungsprozess ist ein einzelner Parameter zur Steuerung der verschiedenen Baustände nicht mehr ausreichend. Bei der BMW AG setzt sich die parametrische Gültigkeit daher beispielsweise aus dem Derivatparameter, dem Bauphasenparameter und dem Bedarfsträgerparameter zusammen.

Derivat-Parameter		Bauphasen-Parameter		Bedarfsträger-Parameter	
*	<default>	*	<default>	*	<default>
D01	3er Lim	KF	Konzeptfahrzeug	KF1	Virtuelles Konzeptfahrzeug1
...	...	...	...	...	...
D10	3er Tou	VS	Vorserie	VS1	Virtuelles Vorserienfahrzeug1
D11	3er Cab	AP	Anlaufproduktion	VS2	Virtuelles Vorserienfahrzeug2
D12	5er Lim	HEA	Händlererausstattung	VS3	Virtuelles Vorserienfahrzeug3

Abbildung 5-17: Parametergültigkeit

Der Derivat-Parameter schränkt die Gültigkeit auf ein bestimmtes Derivat der Produktlinie ein. Er ist in Verbindung mit Bauphasen- und Bedarfsträger-Parameter immer anzugeben. Alleine gesetzt macht er nur dann Sinn, wenn der prognostizierte Serienstand eines kommunalen Teils für zwei Derivate zeitlich versetzt gültig werden soll. Der Bauphasen-Parameter schränkt die Gültigkeit zusätzlich auf eine bestimmte Bauphase eines Derivats ein. Er ist für die Definition des korrekten Mengengerüsts unerlässlich. Der Bedarfsträger-Parameter schränkt die Gültigkeit zusätzlich auf einen bestimmten Bedarfsträger einer Bauphase ein. Durch Angabe mehrerer Zeilen können entsprechend viele Bedarfsträger angeschrieben werden.

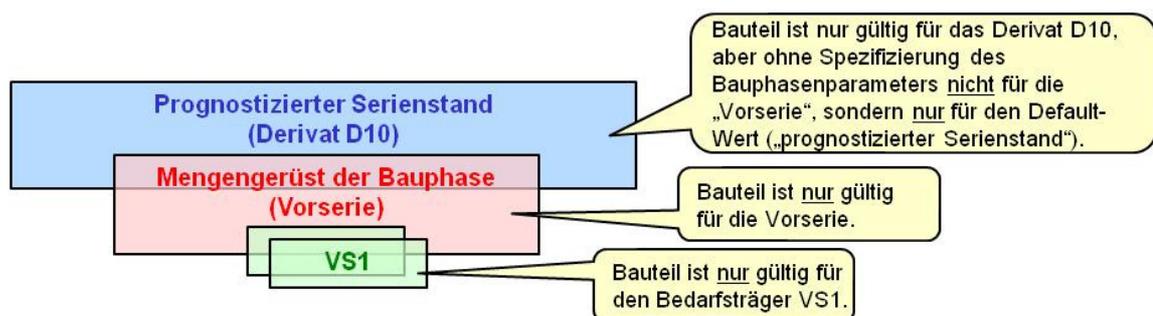


Abbildung 5-18: Gültigkeiten von Serienstand, Bauphase und Bedarfsträger

Die Verwendung der Parametergültigkeit ermöglicht ein detaillierteres Untergliedern und Ansteuern der unterschiedlichen Baustände. Die Parameter müssen so gewählt werden, dass die kleinste Einheit, welche zur Fortschrittskontrolle überwacht werden soll, über die Parameter angesteuert werden kann. Bei BMW ist diese kleinste Einheit ein einzelnes Versuchsfahrzeug. Die Parameter könnten aber auch so definiert werden, dass die kleinste Einheit eine einzelne Baugruppe z.B. die Abgasanlage ist.

### **5.7.2 Dokumentation der Gültigkeiten über Änderungsnummern**

Soll die Produktstruktur als zentrale Informationsquelle dienen, dann muss sie die Gültigkeiten aller Bauteile lückenlos dokumentieren. Alle Gültigkeitsdimensionen sind daher im Datenmodell der Produktvariantenstruktur zu verankern. Bei jeder Bauteiländerung ist die Gültigkeit des Bauteils zu prüfen und gegebenenfalls zu aktualisieren. Um internen und externen Dokumentationsanforderungen zu genügen, müssen die Änderungsstände dokumentiert werden. Hierfür werden die Änderungen über eine Änderungsnummer identifiziert und in einem eigenen Datensatz beschrieben. Auch Status und Verwaltungsdaten werden über diesen Datensatz mit protokolliert beziehungsweise gesteuert. Die organisatorische und zeitliche Gültigkeit wird damit auf der Änderungsnummer gepflegt.

Sinnvoll ist es, auch die parametrische Gültigkeit auf der Änderungsnummer zu führen. Wie erläutert stellen die Baustände in Großteilen den aktuellen Stand des Serienproduktes dar. Nur einige Bauteile werden speziell für den jeweiligen Baustand in die Produktstruktur eingegliedert. Sie sind nur für diesen Baustand gültig, können jedoch auch in einer anderen Bauteilversion oder als zusätzliche Alternative wieder im Serienprodukt erscheinen. Über die Änderungsnummer kann das jeweilige Bauteil für den speziellen Baustand gültig geschrieben werden. Eine spätere Eingliederung in den Serienstand ist durch erneutes Veröffentlichen der Komponente mit anderer Änderungsnummer möglich. Bei Filterung der Produktstruktur erscheinen die Baustand bezogenen Bauteile nur dann, wenn der Filter für den Baustand gesetzt wird. Serienumfänge und Baustände sind in einer Struktur vereint, ohne in eine Konfliktsituation zu kommen. Bei Erreichen des betreffenden Meilensteins kann der Baustand ausgeleitet und festgeschrieben werden. Hierfür steht in der SAP iPPE die Funktionalität des „Fokus“ zur Verfügung. Er extrahiert eine Konfiguration aus der Produktstruktur und kann von der Produktstruktur so entkoppelt werden, dass Änderungen in der Produktstruktur den Fokus nicht aktualisieren.

Die merkmalsbezogene Gültigkeit bezieht sich nicht auf eine Bauteilversion oder -alternative. Sie gilt für die Sachnummer allgemein. Die merkmalsbezogene Gültigkeit ist unabhängig von Zustandsänderungen des Bauteils. Sie stellt Beziehungen zu anderen Bauteilen bzw. dem Endprodukt auf. Aus diesen Gründen ist die merkmalsbezogene Gültigkeit nicht direkt am Änderungstamm zu protokollieren. Statt über die Änderungsnummer wird sie als boolesche Kombination derjenigen Merkmale angeschrieben, für die ein Bauteil gültig ist. Dennoch unterliegt auch die merkmalsbezogene Gültigkeit einem Fortschreibungs- bzw. Änderungsprozess, welcher zu dokumentieren ist, d.h. Veränderungen der booleschen Merkmalskombinationen werden wiederum unter Verwendung von Änderungsnummern protokolliert.

Das Beziehungswissen wird nicht an der Sachnummer selbst sondern über die zugehörige Positionsvarianten des Strukturknotens dokumentiert. Somit können die Sachnummern in unterschiedlichen Konfigurationen mit unterschiedlichen Verwendungsmengen eingesetzt werden. Zusätzlich bleibt das Beziehungswissen dadurch auch bei einem Sachnummernwechsel bestehen.

Mit der Verwendung der Änderungsnummer werden die folgenden Ziele verfolgt:

- Reifesteuerung über Konzeptstände und abgestimmte Stände,
- Reproduzierbare Stände (Freezes) der Produktstruktur für Modulentscheidungen, Meilensteine und Freigaben pflegen,
- Zuweisung von zeitlichen Gültigkeiten für die Produktstruktur als Basis für Strukturexporte von CAD-Daten, Hardwareausleitungen und Freigaben.

Über die Änderungsnummern können alle Veränderungen der Produktstruktur dokumentiert werden. Diese Veränderungen sind nicht analog zu einer Änderung nach DIN, da eine Änderung nach DIN sich ausschließlich auf Zustandsänderungen nach einer relevanten Freigabe bezieht. Beim Arbeiten in der Produktstruktur muss jeweils eine Änderungsnummer angegeben werden. Die jeweilige Veränderung der Produktstruktur wird dieser Änderungsnummer zugeordnet und kann über diese identifiziert werden. Über Filter kann man gezielt nach Gültigkeiten auswerten (z.B. alle Positionen für ein Derivat ab einem bestimmten Datum).

Generell werden die Gültigkeiten in der Produktstruktur als offene Intervalle gepflegt, d.h. es wird kein Gültig-bis-Datum gefüllt. Für den prognostizierten Serienstand wird normalerweise als Gültig-ab-Datum das Tagesdatum gesetzt, nicht jedoch der Serieneinsatztermin, da die Ausleitung dann auch erst zu diesem Termin gültige Bauteile finden würde. Für das Mengengerüst der Hardware-Baugruppen wird normalerweise der Bereitstell-Termin als Gültig-ab-Datum gesetzt. Sind in einer Bauphase mehrere Änderungsstände nacheinander zu verbauen, so müssen sich die entsprechenden Gültig-ab-Datumswerte an den Bereitstell-Terminen der einzelnen Pulks orientieren. Für die Werte der Parametergültigkeit gilt, das ein spezieller Eintrag vor einem allgemeingültigem priorisiert wird, d.h. der Eintrag Derivat01 hat Priorität vor dem Eintrag „\*“ (für alle).

### **5.7.3 Änderungsvorgänge**

Eine Änderung war als die Festlegung eines neuen Zustandes definiert. Es soll nun untersucht werden, wie dieser Zustand verändert werden kann.

Die Zustandsänderungen kann sich auf ein einzelnes Bauteil, eine Baugruppe oder das Endprodukt selbst beziehen. Der Bauteilzustand wird durch die Geometrie des entsprechenden Gestaltobjektes beschrieben. Eine Änderung dieser Geometrie bewirkt eine Zustandsänderung des Gestaltobjektes. Zur vollständigen Beschreibung einer Baugruppe beziehungsweise eines Produktes ist zusätzlich eine Instanziierung der Gestaltobjekte nötig. Instanzen stellen somit ein weiteres Bezugsobjekt für eine Zustandsänderung dar. Werden sie verändert, ändert sich auch der Zustand der Baugruppe oder des Produktes.

Als Gliederung aller Produktkomponenten stellt auch die Produktstruktur selbst ein mögliches Bezugsobjekt für eine Zustandsänderung dar. Es ist jedoch zu hinterfragen, ob eine Änderung der Struktur auch eine Änderung des Endproduktes bewirkt oder ob es sich lediglich um eine Änderung der Dokumentation, also eine rein administrative Änderung handelt.

In der iPPE stellt eine andere Strukturierung der Knoten lediglich eine andere Sichtweise auf dasselbe Produkt im selben Zustand dar. Die Struktur spiegelt hier lediglich logisch zusammenhängende Bauteile wieder. Durch die Speicherung absoluter Lagen hat sie keinen Effekt auf die Bauteile selbst. Wird der Knoten Fahrerairbag unter den Knoten Auspuffanlage gehängt, so ist dies sicherlich unverständlich. Solange jedoch Geometrie, Produktbeziehungen und Instanzen identisch bleiben, verändert sich das Produkt dadurch nicht. Eine Strukturänderung resultiert dann nur in einer veränderten Produktdokumentation. Um einen reibungsfreien Entwicklungsprozess zu gewährleisten, müssen die betroffenen Konstrukteure auch über solche Änderung informiert werden.

In der Netzstruktur des IPDM wird dagegen die reale Bauteilvernetzung unter Montagegesichtspunkten dargestellt. Das Umhängen eines Bauteils in eine andere Verbindungsposition verändert hier die Montageanweisung und somit den Produktzustand. Bei Baukästen der iPPE sieht die Situation ähnlich aus. Auch hier sind die Lagen relativ definiert. Bei flachen Strukturen (alle Komponenten befinden sich auf der gleichen Strukturstufe) kann eine Komponente nur auf derselben Strukturstufe verschoben werden. Das Bezugskoordinatensystem bleibt das des Baukastenkopfes. Bei tiefen Strukturen (die Komponenten befinden sich auf unterschiedlichen Strukturstufen) kann das Umhängen einer Komponente zu einem veränderten Bezugskoordinatensystem führen. Selbst wenn das Bauteil physisch an derselben Position bleibt, ändert sich die Instanz. Es liegt eine Zustandsänderung vor.

Eine Strukturänderung kann damit eine echte Zustandsänderung oder eine reine Dokumentationsänderung darstellen. Zusammenfassend können sich Zustandsänderungen damit auf die Geometrie selbst, die Instanz oder die Struktur eines Zusammenbaus beziehen.

Die Definition der DIN 6789 geht auf die Gültigkeitsänderung eines Bauteils nicht näher ein. Im Rahmen eines konfigurierbaren Gesamtproduktes zieht die Änderung der Bauteilgültigkeit, insbesondere der relationalen Gültigkeit, jedoch eine Änderung des Produktes nach sich. Die Gültigkeitsänderung eines Bauteils muss daher hier auch als Änderung verstanden werden, selbst wenn sich dabei der technische Bauteilzustand selbst nicht ändern muss. Dieses gilt auch für die Instanz sowie mit obigen Einschränkungen für die Struktur.

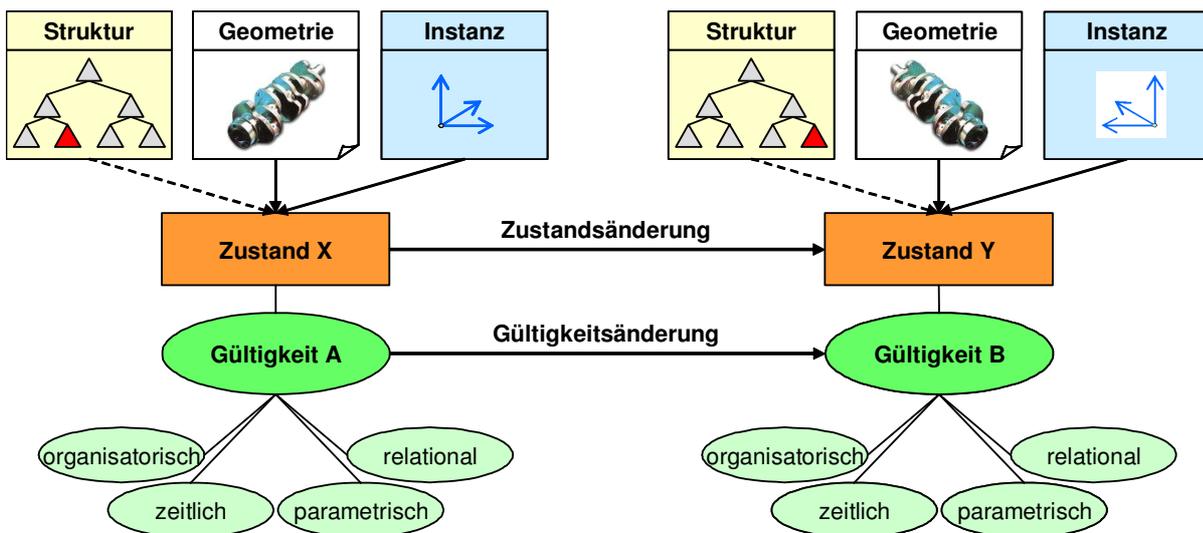


Abbildung 5-19: Zustands- und Gültigkeitsänderung

Neben der Klassifizierung der Änderung in Gültigkeits- und Zustandsänderung sowie der Untergliederung der Zustandsänderung nach dem Bezugsobjekt können Änderungen generell den alten Stand überschreiben oder historisieren. Beim historisierenden Ändern muss der alte Stand ungültig gesetzt werden. Beim überschreibenden Ändern kann die vorhandene Gültigkeit beibehalten bleiben.

Es ergeben sich folgende Änderungsmöglichkeiten bei denen der alte Stand jeweils entweder historisiert oder aber überschrieben werden kann:

Änderungsart		Beispiele für Änderungsfälle		
<b>Strukturänderung</b>				
Zustandsänderung	historisierend / überschreibend	Hinzufügen oder Entfernen eines Strukturknotens	Umhängen eines Knotens	Einfügen einer weiteren Strukturebene
Gültigkeitsänderung		Administrative, zeitliche oder parametrische Änderung		
<b>Baugruppenänderung</b>				
Zustandsänderung	historisierend / überschreibend	Hinzufügen oder Entfernen eines Bauteils	Mengenänderung	
Gültigkeitsänderung		Administrative, zeitliche oder parametrische Änderung		
<b>Bauteiländerung</b>				
Zustandsänderung	historisierend / überschreibend	Körperliche Änderung	Änderung von Bauteilattributen (z.B. Material)	
Gültigkeitsänderung		Administrative, zeitliche oder parametrische Änderung	Merkmalsbezogene Änderung (verändertes Beziehungswissen)	
<b>Instanz</b>				
Zustandsänderung	historisierend / überschreibend	Lageänderung: Änderung der Transformationsmatrix	Änderung von Instanzattributen	Mengenänderung
Gültigkeitsänderung		Administrative, zeitliche oder parametrische Änderung	Merkmalsbezogene Änderung (verändertes Beziehungswissen)	

Abbildung 5-20: Änderungsvorgänge

Da Bauteiländerung, Instanzänderung und Strukturänderung aus der selben Soll/Ist-Abweichung resultieren können, erfordern bestimmte Änderungssituationen eine Kombination dieser Änderungsvorgänge.

Die Änderungsvorgänge unterscheiden sich stark in ihrem Änderungsaufwand. Eine reine Zustandsänderung an der Struktur bleibt ohne direkten Einfluss auf das Produkt und verursacht keinen hohen Aufwand. Eine Zustandsänderung an der Instanz resultiert normalerweise aus einem veränderten Bauraum oder aus einer veränderten Bauteilgeometrie und ist für sich betrachtet aufgrund des relativ lokalen Einflusses ebenfalls nicht sehr aufwandsintensiv. Besonders komplex und aufwandsintensiv sind dagegen die körperliche Änderungen am Bauteil. Sie müssen hinsichtlich ihres Änderungsaufwandes und der Änderungswirkung analysiert werden, bevor sie durchgeführt werden können. Sie können sowohl Instanzänderungen als auch Strukturänderungen beziehungsweise Baugruppenänderungen nach sich ziehen.

Entsprechend der unterschiedlichen Natur der Änderungsvorgänge muss eine differenzierte Zuteilung der Verantwortlichkeiten gewährleistet werden können. Um die Kernkompetenzen der Konstrukteure zielgerichtet zu nutzen, sollen diese nicht mit administrativen Änderungen oder Strukturänderungen belastet werden. Eine Trennung der Verantwortlichkeiten, welche die Konstrukteure entsprechende entlastet ist zweckdienlich. Die Durchführung von Strukturänderungen und die Pflege der Produktstruktur sollten daher in einem eigenen Verantwortungsbereich durch einen Strukturverantwortlichen wahrgenommen werden.

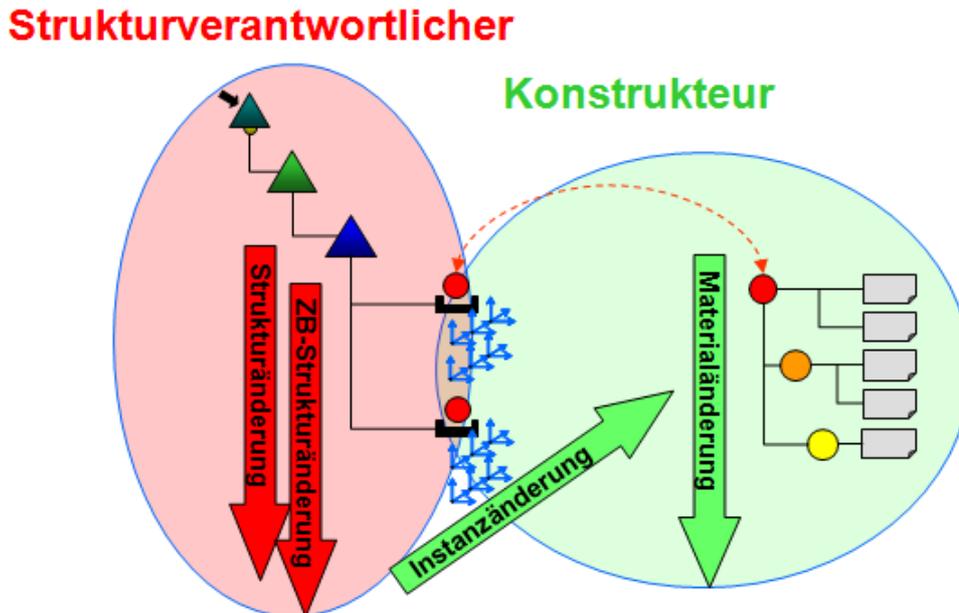


Abbildung 5-21: Verantwortlichkeiten bei Änderungen an der Produktstruktur

Die Objekt- und Instanzgültigkeiten müssen bewusst von der Gültigkeit der Produktstruktur entkoppelt werden. Dieses fördert ein unabhängiges Arbeiten der Konstruktion von Struktur- und Stücklistenänderungen. Änderungsnummern werden somit sowohl durch die Konstrukteure als auch durch einen Verantwortlichen für strukturelle und administrative Inhalte der Produktstruktur gepflegt.

## 5.8 Reifegradbestimmung von Bauteilen

Nachfolgend soll untersucht werden, wann Konstruktionsumfänge veröffentlicht werden sollen. Dies ist deswegen besonders problematisch, weil die Entwicklung eines Bauteils iterativ abläuft. Dabei können Bauteilkonstruktionen mit einem vermeintlich hohen Reifegrad wieder verworfen werden, um ausgehend von einem früheren Zustand mit niedrigerem Reifegrad alternative Lösungen zu verfolgen. Mit der Veröffentlichung bestätigt der Konstrukteur jedoch, dass seine Bauteile den Konstruktionsstand erreicht haben und die Daten stabil genug sind, um nun durch Dritte z.B. zur Abstimmung anderer Umfänge genutzt werden zu können. Die Veröffentlichungszeitpunkte werden durch die Projekt- bzw. Freigabeplanung terminiert. Die Beurteilung, wann ein Bauteil den Konstruktionsstand erreicht hat, liegt aber in der Verantwortung des Konstrukteurs. Dieser tendiert dazu seine Bauteile erst zum geplanten Termin zu veröffentlichen, selbst dann wenn eine Abstimmung bereits vor diesem Termin möglich wäre.

Durch eine frühe Veröffentlichung können die entsprechenden Konstruktionsumfänge zeitig zwischen den einzelnen Entwicklungsbeteiligten abgestimmt und so der Entwicklungsprozess beschleunigt werden. Fallen für die veröffentlichten Daten jedoch nachträglich Änderungen an, erzeugt dies mitunter weitere Änderungsbedarfe an bereits abgestimmten Bauteilen und somit einen zusätzlichen Aufwand. Dieser Aufwand kann den ursprünglichen Zeitgewinn wieder aufheben beziehungsweise negativ werden lassen. Die Frage ist, wie der Grenz-Reifegrad, der die Schwelle zwischen Nutzen und Aufwand markiert, bestimmt werden kann. Dieser Reifegrad soll nachfolgend als Veröffentlichungsreifegrad bezeichnet werden. Gelingt die Bestimmung dieses Veröffentlichungsreifegrads, können Optimierungspotenziale im Veröffentlichungsprozess gehoben werden.

Um den richtigen Veröffentlichungsreifegrad bestimmen zu können, muss der Reifegrad der Gestaltobjekte zunächst messbar gemacht werden. Einen Beitrag hierfür liefert PFEIFER-SILBERBACH [vgl. Pfei-05]. Zur Messung des Konstruktionsreifegrades bildet er verschiedene Kennzahlen, die sich entweder auf den Projektfortschritt, Dokumente und Workflow oder auf das Produkt selbst beziehen und jeweils den gemessenen Ist-Wert ins Verhältnis zum Sollwert setzen (z.B. erfüllte Meilensteine / Gesamtzahl der Meilensteine). Die Kennzahlen zum Projektfortschritt beruhen im Wesentlichen auf Indikatoren des Projektmanagements (Meilensteine, Quality-Gates, Arbeitspakete usw.). Für Dokumente und Workflow verwendet PFEIFER-SILBERBACH den Fortschrittskennner von EIGNER und STELZER, die Anzahl freigegebener Dokumente und die Anzahl freigegebener Bauteile. Zur Beurteilung des richtigen Veröffentlichungsreifegrades sind diese Kennzahlen jedoch nicht geeignet. Die Veröffentlichung wird für ein Bauteil oder eine Baugruppe durchgeführt. In der Praxis werden die Projektkennzahlen aber nur in Ausnahmefällen bis auf Bauteilebene heruntergebrochen. Auch die Freigaben von Dokumenten und Bauteilen können hier keine Aussage liefern, da sie erst nach der Veröffentlichung stattfinden.

Lediglich die produktbezogenen Kennzahlen können zur Bestimmung des Veröffentlichungsreifegrades genutzt werden. Sie beruhen auf der Anforderungserfüllung des Bauteils. Während PFEIFER-SILBERBACH die Anforderungen zur Beurteilung des Gesamtproduktes verwendet und sie auf unterschiedliche Sollgrößen bezieht, stehen beim Veröffentlichungsreifegrad Einzelbauteile und Baugruppen im Fokus. Um diese anhand ihrer Anforderungserfüllung zu beurteilen, müssen die Anforderungen entsprechend formuliert und bis auf das Einzelteil herunter gebrochen worden sein. Dabei erscheint es zweckmäßig die Anforderungen hinsichtlich der Reifebeurteilung zu klassieren. Ein Bauteil wird die Funktionanforderungen wahrscheinlich schon zu Beginn der Gestaltung in großen Teilen erfüllen, Kosten- und Gewichtsanforderungen aber erst nach entsprechenden Optimierungsschleifen. Über die Zuordnung von Zustandsgrößen zu den gebildeten Anforderungsklassen lässt sich die Erfüllung der Anforderungen in einen Anforderungserfüllungsgrad übersetzen.

Zusätzlich zu dem Konstruktionsreifegrad entwickelt PFEIFER-SILBERBACH einen DMU-Reifegrad beziehungsweise Gestaltungsreifegrad. Auch dieser kann zur Beurteilung des Veröffentlichungsreifegrades herangezogen werden. Der DMU-Reifegrad basiert auf der Analyse des Produktes im DMU. Er wird durch die Definition verschiedener Bauteilzustände und Merkmale und deren Zuordnung zu den Hauptphasen des Entwicklungsprozesses gebildet. PFEIFER-SILBERBACH ordnet die Entwicklungsphasen Planen, Konzipieren und Entwerfen dem Gesamtprodukt und die Gestaltungsphase dem Einzelteil zu. Über die Belegung der festgestellten Bauteilzustände und Merkmale mit aufsteigenden Zustandsgrößen kann wiederum eine Kennzahl gebildet werden.

	Phasen der Konstruktion	Merkmale	Zustandsgröße
Produkt	Planen	- DMU vorhanden	1
		- Volumen des Bauraums - Benachbarte Bauteile / Skizze im Raum - Drahtmodell, Achsen - Winkel, Drahtmodell	2
	Konzipieren	- Funktionsskizzen - Wirkprinzipskizzen	3
		- Prinzipskizze	4
	Entwerfen	- Dateien für Bauteile werden angelegt (Aufbau der Produktstruktur)	5
Einzelteil	Gestalten	- Koordinatensystem	6
		<u>Volumenprimitive:</u> (Body-Features oder Sweeps) - Quader - Kugel - Zylinder - Hegel - Flächen - Freiformflächen	7
	Feingestaltung	<u>Form-Features:</u> - Einstiche - Freistiche - Taschen - Nuten - Bohrungen	8
		<u>Operation-Features:</u> - Fasen/ Entformschrägen - Rundungen - Senkungen - Gewinde	9
		Feigabe	- alle konstruktionsrelevanten Merkmale vorhanden

Abbildung 5-22: Bewertung des Entwicklungszustandes nach Pfeifer-Silberbach

Zur Beurteilung des Veröffentlichungsreifegrades eines Einzelteils dienen die Grob- und Feingestaltung. Während die Grobgestaltung im Wesentlichen mit Volumenprimitiven arbeitet, kommen in der Feingestaltung auch Form-Features und Operation-Features zur Anwendung. Baugruppen können in diesem Kontext ähnlich wie das Produkt behandelt werden, d.h. für sie gelten, wenngleich in eingeschränkter Form, auch die produktbezogenen Phasen und Merkmale.

Die Analyse der Verwendung von Features kann als Grundlage zur Bildung einer Reifegradbeurteilung herangezogen werden. Voraussetzung ist eine entsprechende standardisierte Methode zur Konstruktion der Bauteile, welche ein ähnliches Vorgehen für Wiederholkonstruktionen gewährleistet. Diese Methode ist in Abhängigkeit der Bauteile auszugestalten und sieht beispielsweise für das Modul Fahrzeugsitze anders aus als für das Modul Abgasstrang oder für ein Blechteil anders aus als für ein Gussteil.

Ein weiteres Merkmal zur Reifegradbeurteilung stellt die Instanziierung der Gestaltobjekte dar. Die Einbindung eines Bauteils oder einer Baugruppe mittels Constraints in den Konstruktionskontext erfolgt üblicherweise erst bei weitgehend auskonstruierten Bauteilen. Moderne CAD-Systeme können bei Verwendung von Positionierungs-Constraints Aussagen zur eindeutigen Positionierung eines Bauteils geben. Je nachdem wie die Constraints im Kontext spezifiziert werden, kann die Positionierung zu viele Freiheitsgrade haben, also unterbestimmt sein, eindeutig bestimmt oder überbestimmt sein. Je nachdem, ob die Bauteile beweglich sein sollen, sind hierüber Aussagen zur Reife zu treffen.

Als ein weiterer Bestandteil des Gestaltungsreifegrades kann auch die Reife des Konstruktionskontextes mit betrachtet werden. Besteht der Bauraum aus Bauteilen mit geringer Reife so ist anzunehmen, dass sich Aktualisierungen des Kontextes auch auf den eigenen Konstruktionsumfang auswirken. Der Reifegrad des Konstruktionskontextes ist als Unsicherheitsfaktor mit bei der Ausprägung einer Kennzahl des Gestaltungsreifegrades zu berücksichtigen.

Der Anforderungserfüllungsgrad kann mit dem Gestaltungsreifegrad und einer entsprechenden Gewichtung zu einer einzigen Kennzahl zusammengefasst werden. Durch paralleles Monitoren dieser Kennzahl und des mit dem Bauteil verbundenen Änderungsaufwandes lässt sich sukzessive eingrenzen, bei welchem Reifegrad mit einer frühen Veröffentlichung mehr positive als negative Effekte zu erzielen sind. Der Veröffentlichungsreifegrad kann dann bauteilspezifisch für Wiederholkonstruktionen vorgegeben werden. Wenngleich die Qualität der Reifegradbeurteilung für Wiederholteile höher ist, kann mit dieser Methode jedoch auch ein Erfahrungsschatz aufgebaut werden, welcher bei Neukonstruktion eine gute Abschätzung des Veröffentlichungsreifegrades erlaubt.

Zusätzlich lässt sich durch das standardisierte Vorgehen bei der Bestimmung des Veröffentlichungsreifegrades eine höhere Zuverlässigkeit in der Projektplanung erzielen, da die Reifegradbeurteilung konsistent und aktuell verfügbar ist. Der Konstruktionsvorgang wird unempfindlicher gegen Konstrukteurswechsel und der damit einhergehenden Änderung des individuellen Erfahrungshintergrundes. Auch in Zusammenarbeit mit externen Entwicklungspartnern können positive Effekte für den Projektablauf erwartet werden, da die Beurteilung des Reifegrades auf einem gemeinsamen und nachvollziehbaren Verständnis beruht.

## 5.9 Operatives Arbeiten mit der Produktstruktur

Der Konstrukteur verbringt heute einen großen Anteil seiner Arbeitszeit mit konstruktionsfremden Tätigkeiten (siehe Abbildung 3-11). Daher darf er durch die Administration der Produktstruktur nicht zusätzlich an der Erbringung seiner Kerntätigkeiten behindert werden. Dieses gilt insbesondere für den Veröffentlichungs- und Änderungsprozess. Der Anteil dieser Tätigkeiten ist gemessen an der eigentlichen Konstruktionstätigkeit gering zu halten. Eine Vorgehensweise, bei der der Konstrukteur sich umfangreiches Wissen zur Administration der Produktstruktur aneignen muss, dieses Wissen aber nur gelegentlich nutzt, ist ineffizient. Die Strukturpflege erfordert jedoch detaillierte Kenntnisse im Umgang mit der Produktstruktur und dem jeweiligen IT-System. Es ist daher ein Veröffentlichungs- und Änderungsprozess zu entwerfen, der durch den Konstrukteur intuitiv und ohne detaillierte Kenntnisse der Strukturpflege ausgeführt werden kann. Der Konstrukteur muss die Prozesse in seiner fachspezifischen Sprache durchführen können, welche durch die Begrifflichkeiten von CAD-Systemen und nicht von PDM- oder ERP-Systemen geprägt wird.

Es wurde bereits eine Klassifizierung der Änderungsvorgänge vorgenommen. Diese Klassifizierung wurde aus dem Blickwinkel der Datenmodellierung heraus erarbeitet. Aus dem Blickwinkel des Konstrukteurs und für das operative Arbeiten damit relevanter ist eine Klassifizierung die das Arbeitsobjekt des Konstrukteurs, das Gestaltobjekt beziehungsweise die Geometrie, in den Mittelpunkt stellt. Es lassen sich folgende Vorgänge unterscheiden, die wiederum nicht alle Änderungen nach DIN darstellen, aber alle zu einer veränderten Produktdokumentation in der Produktstruktur führen:

- Veröffentlichungsprozesse:
  1. Geometrie verwendungsunabhängig veröffentlichen
  2. Geometrie verwenden
  3. Geometrie positionieren
- Änderungsprozesse:
  1. Geometrie verändern
  2. Geometrie ersetzen

- Administrative Prozesse
  1. Geometrie verwerfen
  2. Attribute der Geometrie ändern
  3. Attribute der Instanz ändern

Diese Vorgänge erfordern vom Konstrukteur unterschiedliche Aktivitäten, welche innerhalb der in den Entwicklungsprozess integrierten Systeme unterschiedliche Veränderungen bewirken. Die Vorgänge sollen nun genauer dargestellt werden.

### 5.9.1 Veröffentlichungsprozesse

Objekt der Veröffentlichung ist ein CAD-Dokument (z.B. in Catia ein CADPart oder CADProduct), welches ein Gestaltobjekt also ein Bauteil oder eine Baugruppe abbildet. Generell kann ein Gestaltobjekt in mehrere Knoten der Produktstruktur veröffentlicht werden z.B. ein E-Motor für Scheibenwischer und Fensterheber. Unterhalb eines Knotens kann ein Gestaltobjekt weiterhin auch an mehrere Positionsvarianten verwendet werden. Wurde das Gestaltobjekt im Kontext des Fahrzeuges platziert, so werden die Gestaltobjekte instanziiert. Die Information der Verwendungsinstanzen liegen in der Arbeitsstruktur, welche den jeweiligen Kontext bereit stellt. Das CAD-Dokument, welches die Arbeitsstruktur enthält (z.B. in Catia ein CADProduct), ist nicht Gegenstand der Veröffentlichung. Es stellt ein Arbeitsmittel dar, welches nicht unmittelbar zur Produktdokumentation gehört. Es werden lediglich die Gestaltobjekte des Design-Bereiches veröffentlicht. Die CAD-Dokumente dieser Gestaltobjekte müssen durch die Veröffentlichung über Dokumenteninfosätze mit der Produktstruktur verknüpft werden. Die Instanzen werden dabei aus der Arbeitsstruktur heraus mit absoluten Fahrzeugkoordinaten an die Positionsvarianten der Produktstruktur übertragen. Damit ist das Gestaltobjekt auch ohne die Arbeitsstruktur im virtuellen Fahrzeug positioniert und kann so auch z.B. im DMU lagerichtig visualisiert werden.

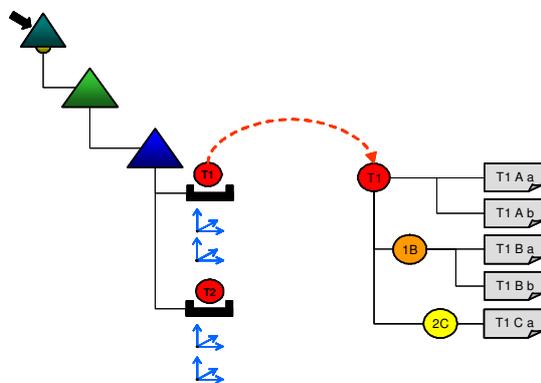


Abbildung 5-23: Verknüpfung der CAD-Dokumente mit der Produktstruktur

Folgende Tätigkeiten sind bei der Veröffentlichung eines Gestaltobjektes durchzuführen:

1. Veröffentlichung starten: Die Veröffentlichung muss aus dem CAD-System heraus gestartet werden können. Hierfür muss ein Kontextmenü angelegt sein.
2. Objekt der Veröffentlichung definieren: Das zu veröffentlichen Objekt wird im Designbereich der Arbeitsstruktur markiert und dadurch für die Veröffentlichung selektiert. Es sollten auch mehrere Objekte gleichzeitig zur Veröffentlichung selektiert werden können. Die Instanz wird während des Veröffentlichungsprozesses in der Produktstruktur gepflegt. Der Konstrukteur muss dabei mindestens die Bezeichnung der Instanz pflegen. Die Transformationsmatrix sollte automatisch in Fahrzeugkoordinaten berechnet und übertragen werden. Sind an der Positionsvariante mehrere Instanzen al-

- ternativ gültig, muss der Konstrukteur diese über das Lagebeziehungswissen konfigurieren.
3. Ziel der Veröffentlichung definieren: Strukturelles Ziel ist eine Positionsvariante (z.B. PV0010) eines Knotens (z.B. Frontklappe) der für das jeweilige Fahrzeug (z.B. BMW 3er) gültigen Produktvariantenstruktur. Die verschiedenen Positionsvarianten eines Knotens werden über ihr Beziehungswissen identifiziert. Zusätzlich kann bereits eine Sachnummer an die Positionsvariante geschrieben worden sein. Das strukturelle Ziel kann über verschiedene Wege gefunden werden. Zum einen kann über die Sachnummer ein Teilverwendungsnachweis durchgeführt werden. Zum anderen kann die Struktur durch expandieren der entsprechenden Strukturknoten durchsucht werden. Über Filter oder bereits vorhandene Favoriten kann die Suche ebenso durchgeführt werden. Das zeitliche Ziel wird durch die Änderungsnummer beschrieben. Zum Auffinden des zeitlichen Ziels kann der Konstrukteur nach einer Änderungsnummer suchen. Normalerweise sollte ihm die Änderungsnummer jedoch bekannt sein.
  4. Veröffentlichung fertig stellen: Wenn Objekt und Ziel der Veröffentlichung ausreichend definiert wurden, wird die Veröffentlichung abgeschlossen. Erst mit dem Quitieren der Veröffentlichung werden sämtliche vorher definierten Daten in die Produktstruktur geschrieben.

Die Reihenfolge der einzelnen Prozessschritte ergibt sich durch die Abhängigkeit der Instanz vom Objekt. So muss zunächst das strukturelle und zeitliche Ziel des Gestaltobjektes definiert worden sein, bevor die Instanzenpflege durchgeführt werden kann. Damit ergibt sich folgende Sequenz von Tätigkeiten zur Veröffentlichung eines Gestaltobjektes (die Reihenfolge von Schritt 3 und 4 ist optional und kann auch getauscht werden):

Nr.	Reihenfolge zur Veröffentlichung
1	Selektieren des Gestaltobjektes/ Instanz im Designbereich der AS
2	Start der Veröffentlichung
3	Identifikation der Positionsvariante
4	Identifikation der Änderungsnummer
5	Definieren der Instanzbenennung
6	Pflege des Lagebeziehungswissens
7	Fertigstellen der Veröffentlichung

Abbildung 5-24: Tätigkeiten des Veröffentlichungsprozesses

Neben diesem Standardablauf der Veröffentlichung sollte ein Gestaltobjekt auch ohne Instanz veröffentlicht werden können. Dies ist insbesondere für Baukästen erforderlich und dient der beschleunigten Abstimmung des Objektes. Hierfür muss es mitunter noch nicht im Fahrzeugzusammenhang positioniert worden sein. Der Veröffentlichungsprozess darf die Pflege der Instanzdaten daher nicht zwingend vorschreiben. Um nicht positionierte Umfänge zu erkennen, kann in der Produktstruktur ein gesonderter Knoten für diese Umfänge eingefügt werden.

Nachfolgende Tabelle stellt die nötigen Arbeitsschritte der Veröffentlichungsprozesse zusammen (rot markierte Felder erfordern eine Änderung, grün markierte nicht). Dabei wurden die Veröffentlichungsprozesse durch Haupt- und Untergruppen feiner detailliert.

		Veröffentlichungsprozesse				
Prozesse	Hauptgruppe	Geometrie verwendungs-unabhängig veröffentlichen	Geometrie nachträglich positionieren	Geometrie verwenden (veröffentlichen und positionieren)		
	Untergruppe	ohne Instanz	neue Instanz	Erstverwendung	Mehrfachverwendung	Zusätzliche Verwendung (Mengen-erhöhung)
Geometrie in CAD	Arbeitsstruktur	ohne Kontext	AS erstellen	AS erstellen	AS erstellen	Vorhandene AS öffnen
	CAD-Part	CAD-Part erstellen	CAD-Part laden	CAD-Part erstellen	CAD-Part erstellen	CAD-Part kopieren
	CAD-Product		CAD-Part positionieren	CAD-Part positionieren	CAD-Part mehrfach positionieren	CAD-Part positionieren
Produktstruktur	Struktur	neue Struktur aufbauen	Struktur unverändert	neue Struktur aufbauen	neue Struktur aufbauen	Struktur unverändert
	Positionsvariante	neue Positionsvariante	Positionsvariante unverändert	neue Positionsvariante	neue Positionsvariante	Positionsvariante unverändert
	Einsatzmenge	Einsatzmenge pflegen	Einsatzmenge unverändert	Einsatzmenge = 1 pflegen	Einsatzmenge > 1 pflegen	Einsatzmenge erhöhen
	Änderungsnummer	Gültigkeit angeben	Gültigkeit unverändert	Gültigkeit angeben	Gültigkeit angeben	Gültigkeit angeben
	Dokumenteninfosatz/ Material	DIS mit PosVar verknüpfen	DIS unverändert	DIS mit PosVar verknüpfen	DIS mit PosVar verknüpfen	DIS mit PosVar verknüpfen
	Instanz		eine neue Instanz erstellen	eine neue Instanz erstellen	mehrer neue Instanzen erstellen	neue Instanz(en) erstellen
	Instanz-Änderungsnummer		Instanzgültigkeit pflegen	Instanzgültigkeit pflegen	Instanzgültigkeit pflegen	Instanzgültigkeit pflegen

Abbildung 5-25: Veröffentlichungsprozesse<sup>1</sup>

Die Erstverwendung entspricht der Veröffentlichung eines Gestaltobjektes mit gleichzeitiger Positionierung des Objektes im Fahrzeugkontext und stellt den Normalfall einer Veröffentlichung dar. Die Mehrfachverwendung gilt für Bauteile, die mehrfach im Fahrzeug verwendet werden. Die Einsatzmenge ist also größer als eins. Die Mengenerhöhung dient zur nachträglichen Positionierung weiterer Verwendungen (z.B. nachträgliches Veröffentlichen eines Ersatzrades).

### 5.9.2 Geometrie verändern oder ersetzen

Soll eine Geometrie verändert werden, ist es nötig diese aus der Produktstruktur heraus laden zu können. Dabei muss der ursprüngliche Konstruktionskontext identifiziert und die entsprechende Arbeitsstruktur geöffnet werden. Um die Arbeitsstruktur zu finden, müssen für jedes veröffentlichte Bauteil die Daten der Arbeitsstruktur vorgehalten werden. Die Arbeitsstruktur selbst ist dabei nicht in die Produktstruktur verknüpft, sondern wird in der Dokumentenverwaltung abgelegt. Falls ein Bauteil in mehreren Arbeitsstrukturen verwendet wird, ist weiterhin zu unterscheiden, ob es im Design- oder im Kontextteil der Arbeitsstruktur gelistet ist.

Beim Laden der Arbeitsstruktur ist diese üblicherweise auf die Aktualität des Konstruktionskontextes hin zu prüfen. Das Laden der Struktur vollzieht sich dann in den folgenden Schritten:

<sup>1</sup> Wird statt eines Einzelteils ein Zusammenbau veröffentlicht, ist entsprechend kein CADPart, sondern ein CADProduct zu erstellen.

1. Über eine Dokumentensuche wird die Arbeitsstruktur in der Dokumentenverwaltung gesucht und ausgewählt.
2. Der Konstrukteur wählt den entsprechenden Produktstrukturfilter für die Aktualisierung den Kontext aus. Dieser Filter wurde bereits bei der Erstanlage des entsprechenden Kontextes verwendet und gespeichert.
3. Kontextinstanzen der Arbeitsstruktur werden den Instanzen der Produktstruktur gegenübergestellt.
4. Neue Instanz-Versionen werden zum Kontext hinzugefügt.
5. Die Arbeitsstruktur wird im CAD-System geladen und dargestellt.

Ist die Arbeitsstruktur im aktuellen Stand im CAD-System geöffnet, kann der Konstrukteur die erforderlichen Änderungen an der vorhandenen Geometrie durchführen oder eine neue Geometrie in die Arbeitsstruktur laden. Die Veröffentlichung der Änderung vollzieht sich in den bereits dargestellten Schritten.

		Änderungsprozesse				
Prozesse	Hauptgruppe	Geometrie verändern		Geometrie ersetzen		
	Untergruppe	körperliche Änderung ohne neue Lage	körperliche Änderung mit neuer Lage	Sachnummernwechsel: andere Nummer & andere Geometrie & selbe Verwendung	Sachnummernwechsel: andere Nummer & andere Geometrie & andere Verwendung	Sachnummern-tausch: andere Sachnummer gleiche Geometrie
Geometrie in CAD	Arbeits-struktur	Vorhandene AS öffnen	Vorhandene AS öffnen	Vorhandene AS öffnen	Vorhandene AS öffnen	
	CAD-Part	CAD-Part ändern	CAD-Part ändern	CAD-Part laden	CAD-Part laden	
	CAD-Product		CAD-Part positionieren	altes CAD-Part durch neues CAD-Part ersetzen	altes CAD-Part durch neues CAD-Part ersetzen und neue positionieren	
Produkt- struktur	Struktur	Struktur unverändert	Struktur unverändert	Struktur unverändert	Struktur unverändert	Struktur unverändert
	Positions-variante	Positionsvariante unverändert	Positionsvariante unverändert	Positionsvariante unverändert	Positionsvariante unverändert	vorhandene Positionsvariante aktualisieren
	Einsatzmenge	Einsatzmenge unverändert	Einsatzmenge unverändert	Einsatzmenge unverändert	Einsatzmenge unverändert	Einsatzmenge unverändert
	Änderungs-nummer	Gültigkeit unverändert	Gültigkeit unverändert	Gültigkeit unverändert	Gültigkeit unverändert	Gültigkeit unverändert
	Dokumenten- infosatz/ Material	neuen DIS mit PosVar verknüpfen	neuen DIS mit PosVar verknüpfen	neuen DIS mit PosVar verknüpfen	neuen DIS mit PosVar verknüpfen	DIS mit neuem Material verknüpfen
	Instanz	Instanz unverändert	eine neue Instanz erstellen	Instanz unverändert	neue Instanz(en) erstellen	Instanz unverändert
	Instanz- Änderungs- nummer	Instanzgültigkeit unverändert	Instanzgültigkeit pflegen	Instanzgültigkeit unverändert	Instanzgültigkeit pflegen	Instanzgültigkeit unverändert

Abbildung 5-26: Änderungsprozesse

Eine Besonderheit stellt der Sachnummerntausch dar. Hierbei muss die Arbeitsstruktur nicht verändert werden. Die Änderung kann in der Produktstruktur durchgeführt werden. Dabei wird der Dokumenteninfosatz mit einem neuen Materialstamm verknüpft. Die Geometrie bleibt unverändert. Der Sachnummerntausch kann daher durch den Strukturverantwortlichen durchgeführt werden. Die Involvierung des Konstrukteurs ist nur zu Informations- und Abstimmungszwecken nötig.

### 5.9.3 Geometrie verwerfen und Attribute ändern

Um das Löschen ohne Informationsverluste dokumentieren zu können, sollte dieses prinzipiell historisierend durchgeführt werden. Die Änderungsnummer wird dabei für weitere Änderungen gesperrt. Sollen unter dieser Änderungsnummer andere Umfänge weiter bearbeitet werden können, ist die Änderungsnummer am zu löschenden Objekt zunächst zu tauschen. Soll das Gestaltobjekt als gelöscht markiert werden, so ist der Stammsatz, also die Änderungsnummer an der entsprechenden Materialversion, zu verändern. Soll eine Instanz ungültig gesetzt werden, so entspricht dieses einer Mengenreduktion. Hierbei muss sowohl die Einsatzmenge an der Positionsvariante verändert als auch die Instanz über das Löschkennzeichen der Instanz-Änderungsnummer ungültig gesetzt werden.

Das Löschen kann entweder direkt in der Produktstruktur oder über den Veröffentlichungsprozess unter Verwendung einer Änderungsnummer mit Löschkennzeichnung durchgeführt werden. Welches Vorgehen vorzuziehen ist, hängt wesentlich von den unternehmensspezifischen Verantwortlichkeiten ab. Liegt die Verantwortung beim Konstrukteur bietet sich das Löschen durch den Veröffentlichungsprozess an. Kann die Verantwortung an den Strukturverantwortlichen delegiert werden, so kann der Änderungsnummerntausch auch direkt in der Produktstruktur vorgenommen werden. In diesem Fall würde bei einer Mengenreduktion jedoch keine sofortige Anpassung der zugehörigen Arbeitsstruktur erfolgen. Erst im Rahmen einer Kontextaktualisierung würde die gelöschte Instanz als Änderung in die Arbeitsstruktur geschrieben.

		Administrative Prozesse		
Prozesse	Hauptgruppe	Geometrie verwerfen		
	Untergruppe	Bauteil als Stammsatz ungültig setzen	Verwendung ungültig setzen (Mengenreduktion)	Bauteil in Struktur ungültig setzen
Geometrie in CAD	Arbeits-struktur		Vorhandene AS öffnen	
	CAD-Part CAD-Product		CAD-Part entfernen	
Produktstruktur	Struktur	Struktur unverändert	Struktur unverändert	Struktur unverändert
	Positionsvariante	Positionsvariante unverändert	Positionsvariante unverändert	Positionsvariante unverändert
	Einsatzmenge	Einsatzmenge unverändert	Einsatzmenge unverändert	Einsatzmenge unverändert
	Änderungsnummer	Gültigkeit unverändert	Gültigkeit unverändert	ungültig setzen
	Dokumenteninfosatz/ Material	Material ungültig setzen	DIS unverändert	DIS unverändert
	Instanz	Instanz unverändert	Instanz unverändert	Instanz unverändert
	Instanz-Änderungsnummer	Instanzgültigkeit unverändert	Instanz ungültig setzen	Instanzgültigkeit unverändert

Abbildung 5-27: Administrative Prozesse

Das Löschen eines Strukturelementes wird generell durch den Strukturverantwortlichen durchgeführt. Hierbei wird die entsprechende Änderungsnummer analog zu obigem Vorgehen durch eine ungültig gesetzte Änderungsnummer getauscht.

Auch die Aktualisierung von Attributen an der Positionsvariante, dem Stammsatz oder der Instanz kann entweder über den Veröffentlichungsprozess oder direkt über die Produktstruktur durchgeführt werden. Im Gegensatz zum Löschen kann hierbei jedoch durchaus auch unhistorisch geändert werden.

#### **5.9.4 Konzept der Team-Änderungsnummern**

Es wurde aufgezeigt, dass sich Änderungen auf die Struktur, das Bauteil, eine Baugruppe, die Instanz oder auf mehrere Bezugsobjekte gleichzeitig beziehen können. Für den Fall das nur ein Bezugsobjekt betroffen ist, sollte die Änderungswirkung auf die anderen Objekte minimiert werden. Ansonsten explodiert die Zahl der im System verwalteten Änderungsstände. Zudem wird die Durchführung der Änderung an sich aufwendiger. Es ist daher notwendig, Änderungen an den Objekten getrennt voneinander durchführen zu können. Hierfür müssen die Änderungsnummern auf jedes Objekt einzeln bezogen werden können. Es muss in Folge Strukturänderungsnummern, Bauteil- beziehungsweise Baugruppenänderungsnummern und Instanzänderungsnummern geben.

Die Vielfalt der Änderungsnummern erschwert für den Konstrukteur das Arbeiten mit diesen Nummern. Die Übersichtlichkeit über die Änderungsstände geht verloren. Um den administrativen Aufwand gering zu halten, ist für den Konstrukteur ein weiteres Hilfsmittel nötig, welches ihn bei der Auswahl und Verwendung der richtigen Änderungsnummern unterstützt. Ein solches Hilfsmittel liegt in der Verwendung von Teamänderungsnummern. Die Gültigkeiten der Teamänderungsnummern wird bereits im Vorfeld beispielsweise durch den Strukturverantwortlichen oder Modulleiter gepflegt.

Der Konstrukteur erhält je nach Fertigstellungsstand der Entwicklung eine entsprechende Änderungsnummer genannt, welche er für seine Änderungen verwenden kann. Die Teamänderungsnummer wird für die jeweilige Projektphase für die Umfänge des Teams sowohl zum Aufbau der Produktstruktur wie auch für die Verknüpfung der CAD-Daten verwendet. Die Teamänderungsnummer zeigt immer nur auf die Positionen, die damit geändert wurden. Sie bezieht sich also nicht immer auf den vollständigen Arbeitsumfang des Teams, sondern nur auf das, was in dem jeweiligen Zeitraum geändert wurde.

Zu bestimmten Ereignissen z.B. Meilensteinen kann die Änderungsnummer eingefroren und so ein synchroner Entwicklungsstand erzeugt werden. Es wird dann mit einer neuen Teamänderungsnummer weiter gearbeitet. Die Historisierung, also das Tauschen und Schließen der Änderungsnummer, kann dabei vom Strukturverantwortlichen oder Modulleiter übernommen werden.

Zu den Freigabezeitpunkten erfolgt für die betroffenen Umfänge ein Tausch der Änderungsnummern zu freigaberelevanten Änderungsnummern. Diese werden direkt nach der Freigabe geschlossen, um den jeweiligen Freigabestand im System zu dokumentieren.

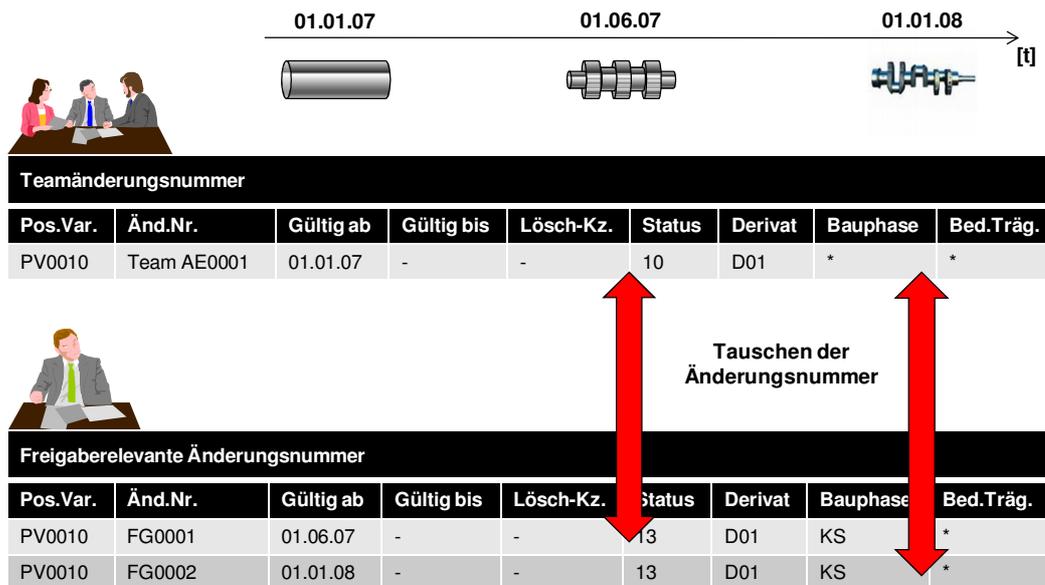


Abbildung 5-28: Teamänderungsnummern

Neben dem effizienteren Arbeiten mit Änderungen wird durch die Verwendung der Team-Änderungsnummern ein zweiter Effekt erzielt. Der Gebrauch der Änderungsnummer wandelt sich von einer rein administrativen und dokumentativen Tätigkeit zu einer planenden Funktion. Die Teamänderungsnummern können im Vorfeld entsprechend der Projektplanung angelegt werden. Durch die Korrelation zwischen Änderungsnummern und Projektplanung wird die Verbindung des Änderungsmanagements mit dem allgemeinen Projektmanagement gestärkt. Können Bauteile nicht mit der geplanten Änderungsnummer veröffentlicht werden, weil der Bearbeitungsstand hinter der Planung zurückliegt, so werden die zeitlichen Wirkungen der verspäteten Konstruktionsfertigstellung schneller sichtbar.

### 5.9.5 Ausleitung von Fahrzeugumfängen

Mit den verschiedenen Änderungsvorgängen kann der Konstrukteur unter Verwendung der Teamänderungsnummern seine Konstruktionsumfänge in die Produktstruktur veröffentlichen. So werden sukzessive die unterschiedlichen Derivate in der Produktstruktur komplettiert. Nachfolgend soll nun die Ausleitung von Fahrzeugumfängen für die Serie und verschiedene Baustände analysiert werden. Mit der Parametergültigkeit steht ein Hilfsmittel zur Verfügung, die Gültigkeiten der Produktkomponenten detailliert anzusteuern. So können Bauteile gezielt für einzelne Baustände gültig gesetzt werden. Der Hauptteil der Komponenten muss jedoch sowohl in der Ausleitung für den prognostizierten Serienstand als auch in den verschiedenen Bauständen erscheinen. Diese Bauteile werden ohne Einschränkung der Parametergültigkeit veröffentlicht.

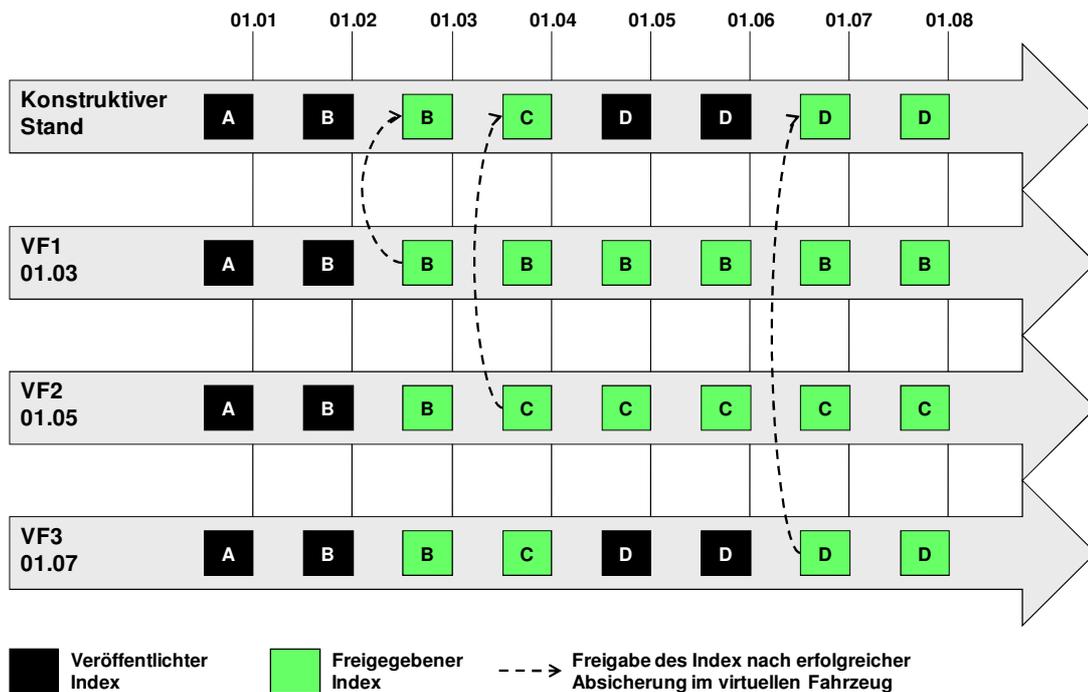


Abbildung 5-29: Ausleitungsstände für verschiedene virtuelle Fahrzeuge

Das Ziel des Konstrukteurs ist es, in der Ausleitung für den prognostizierten Serienstand den jeweils neuesten konstruktiven Stand oder wahlweise den letzten freigegebenen Stand sehen zu können. In den Ausleitungsbäumen der Baustände muss der zur Freigabe anstehende neueste konstruktive Stand bereits vor der Freigabe erscheinen, damit er virtuell für den Baustand abgesichert werden kann, in dem er später verbaut wird. Nach der Freigabe darf ein neuer konstruktiver Stand im jeweiligen Baustand jedoch nur dann erscheinen, wenn geplant ist, diesen Index auch noch für diesen Baustand freizugeben. Ansonsten muss der alte freigegebene Stand erscheinen. Auf obiges Beispiel bezogen, darf im VF1 zum 01.04 also nicht der Index C erscheinen, sondern es muss der freigegebene Index B erhalten bleiben. Für das VF2 darf nicht der Index D erscheinen, sondern es muss der Index C erhalten bleiben. Zusätzlich ist es zur lückenlosen Dokumentation der Produktentwicklung und Absicherung wünschenswert, die Baustände auch noch nach dem Überschreiten des Baudatums erzeugen zu können.

Im Folgenden soll die Ausleitung des neuesten konstruktiven oder letzten freigegebenen Standes betrachtet werden:

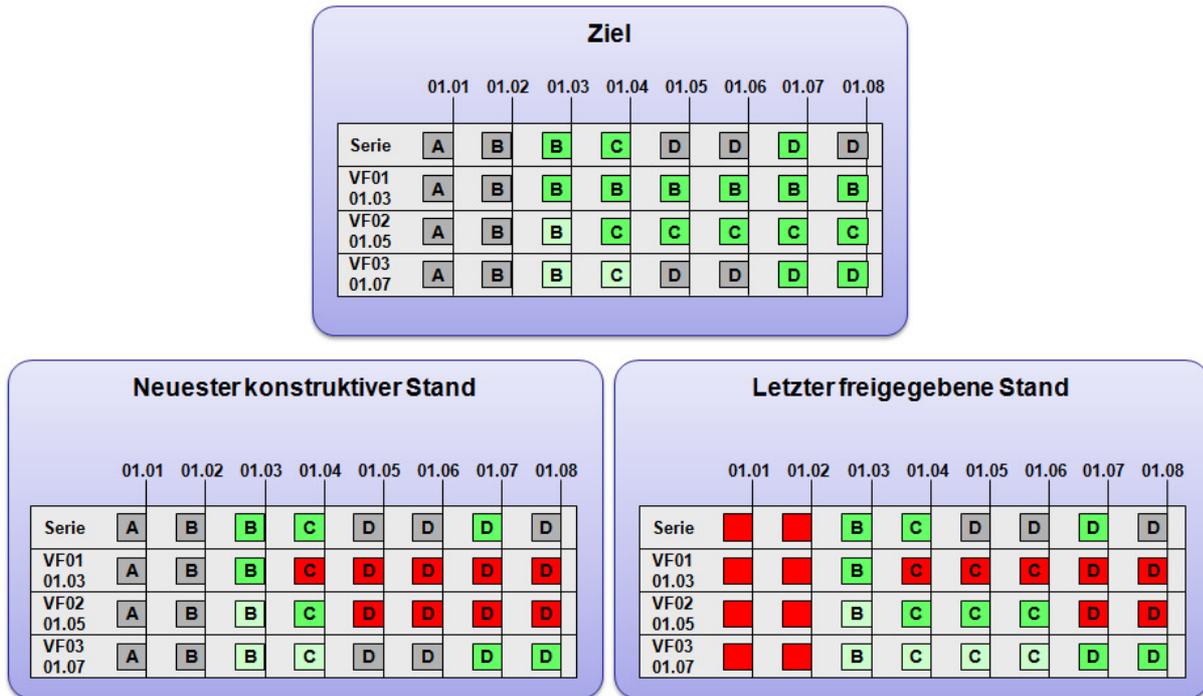


Abbildung 5-30: Ausleitung: neuester konstruktiver und letzter freigegebener Stand

Neuester konstruktiver Stand: Das Ziel des Konstrukteurs kann nicht erreicht werden. Bei der Veröffentlichung einer neuen Version (ohne Einschränkung der Parametergültigkeit) wird diese auch in den früheren Bauständen angezeigt. So bleibt beispielsweise für das VF01 zum 01.04 nicht wie gewünscht Index B stehen, sondern es erscheint der bereits veröffentlichte und in VF02 freigegebene Index C.

Letzter freigegebener Stand: Die jeweilige Version wird erst nach der Freigabe in den Baustand eingestellt. Damit erscheinen die Teile erst nach der Freigabe im Virtuellen Fahrzeug, wo es für eine Absicherung bereits zu spät ist. Im Beispiel soll für das VF01 zum 01.03 die Version B abgesichert und freigegeben werden. Version B erscheint jedoch erst zum 01.03 im Absicherungsbaum.

Das Ziel des Konstrukteurs kann ohne ein weiteres methodisches Vorgehen und die informationstechnische Umsetzung nicht erreicht werden. Mit der Festschreibung des Baustandes als Fokus wie in den wissenschaftlichen Grundlagen beschrieben kann der Stand zum jeweiligen Baudatum konserviert werden. Dieses würde im Beispiel des VF01 eine Lösung darstellen. Hier würde dann zum 01.03, also bevor die nächste Version C veröffentlicht wird, der Baustand mit Version B als Fokus fixiert. Für das VF02 würde auch dies keine Lösung bringen, da hier bereits vor dem Erreichen des Baudatums zum 01.05 die Version D veröffentlicht wurde und damit anstelle der Version C im Fokus ausgeleitet werden würde. Auch das Veröffentlichung der Version D mit einem *Gültig ab Datum*, welches erst nach dem vorangehenden Baudatum liegt, stellt keine Lösung dar. Im obigen Beispiel würde Version D also zum 01.05 mit einer Gültigkeit ab 01.06 veröffentlicht. Damit würde jedoch für den Serienstand nicht mehr der neueste konstruktive Stand dargestellt werden können. Auch hier würde Version D erst zum 01.06 angezeigt. Auch würde jede Ausleitung zu Abstimmungszwecken, die vor dem 01.06 liegt, nur Version C und nicht die neuere Version D ausleiten.

Wird stattdessen für den Baustand eine eigene Zeile für die Änderungsnummer gepflegt, so stellt dieses eine mögliche Lösung dar.

Änderungsnummer								
Pos.Var.	Änd.Nr.	Gültig ab	Gültig bis	Lösch-Kz.	Status	Derivat	Bauphase	Bed.Träg.
PV0010	AE0001	01.05.07	-	-	10	*	*	*
PV0010	AE0001	01.06.07	-	-	10	D01	VF02	*
PV0010	AE0001	01.06.07	-	-	10	D01	VF03	*

Abbildung 5-31: Änderungsnummer mit gepflegter Parametergültigkeit

Für Ausleitungen ohne die Spezifizierung des Baustandes erscheint Version D dann zum Datum 01.05. Für Ausleitungen des Derivates D01 im Baustand VF02 und VF03 erscheint Version D erst zum 01.06. Allerdings ist nun für jeden Baustand und für jedes Derivat ein Eintrag auf der Änderungsnummer nötig. Dies ist nicht nur viel Aufwand, sondern in der Praxis auch nicht mehr transparent.

Die Information, welches der freizugebende Index für den jeweiligen Baustand ist, muss jedoch im System hinterlegt werden können. Ohne diese zusätzliche Informationspflege kann es keine Lösung des obigen Problems geben und das Ziel des Konstrukteurs nicht erreicht werden. Eine bessere Lösung als eine Steuerung alleine über die Änderungsnummer, kann durch ein zusätzliches Datenfeld direkt an der Positionsvariante erreicht werden. Über dieses Datenfeld kann eine veröffentlichte Version für den Baustand direkt festgelegt werden und übersteuert dann den durch die Änderungsnummer gültig gesetzten Stand. An der Positionsvariante würde für obiges Beispiel auf der Positionsvariante PV0001 für das Derivat 01 und den Baustand VF02 die Version C festgelegt. Der vor dem 01.05 veröffentlichte Index D würde so übersteuert. Auch diese Lösung stellt einen hohen Aufwand dar. Sie ist jedoch transparenter.

Die hier favorisierte Lösungsmöglichkeit besteht darin, bereits bei der Veröffentlichung den geplanten Freigabetermin zu spezifizieren. Das Feld würde als ein weiterer Parameter auf der Änderungsnummer gepflegt oder während der Veröffentlichung an die Materialversion geschrieben.

Änderungsnummer									
Pos.Var.	Änd.Nr.	Gültig ab	Gültig bis	Lösch-Kz.	Status	Freigabe	Derivat	Bauphase	Bed.Träg.
PV0010	AE0001	01.05.07	-	-	10	01.06.07	*	*	*

Abbildung 5-32: Änderungsnummer mit geplantem Freigabetermin

Das Freigabedatum muss als ein weiteres Filterkriterium in den Filtermechanismus eingehen, damit es dort zur Filterung vorgegeben werden kann. Liegt das geplante Freigabedatum vor dem jeweiligen Baustand, so wird die neu veröffentlichte Version für diesen Baustand ausgeleitet. Liegt das geplante Freigabedatum zeitlich hinter dem Baudatum, so wird die veröffentlichte Version trotz des passenden „Gültig ab“-Datums nicht ausgeleitet. Verschiebt sich das Baudatum des VF02, so würde als Freigabedatum nicht mehr der 01.05. sondern der 01.06 bei der Filterung spezifiziert. Damit würde dann Version D im VF02 freigegeben werden können. Der zusätzliche Eintrag auf der Änderungsnummer ist nur an der Änderungsnummer der Materialversion oder direkt an der Materialversion zu pflegen. An der Positionsvariante ist der Eintrag nicht nötig, da das Gestaltobjekt unterhalb der Positionsvariante (strukturelles Ziel) gefunden werden soll, und zwar zunächst unabhängig davon, welche Version aufgrund des Freigabetermins gültig ist. An der Instanz ist der Eintrag ebenfalls nicht nötig. Die Instanz liefert nur die zeitlich richtige Position des Bauteils. Diese ist unabhängig davon, in welchem Baustand ein Bauteil freigegeben werden soll, sondern hängt lediglich von der Bauteilgeometrie

rie und dem Bauteilkontext ab. Hätte ein Bauteil in einem Baustand eine andere Position, so würde diese Instanz mit der entsprechenden Parametergültigkeit gepflegt werden müssen.

## 5.10 Konsistenzprüfung der Produktvariantenstruktur

*Prüfungen erwarte bis zuletzt.  
Goethe (deutscher Dichter, 1749 – 1832)*

Die Konfiguration einer Fahrzeugvariante kann bei einer Variantenanzahl, die Milliarden betragen kann, nicht mehr manuell auf Stimmigkeit geprüft werden. Daher sind informationstechnische Prüfmechanismen und Unterstützungsfunktionen nötig, durch die die Stimmigkeit gewährleistet werden kann. Als Strategien kann ex-ante die Fehlervermeidung oder ex-post die Fehlersuche, -beurteilung und -behebung verfolgt werden. Im Praxisfall müssen auch inkonsistente Stände in der Produktstruktur erlaubt sein. Sie ergeben sich zwangsläufig durch den zeitlichen Versatz zwischen Anforderung und Lösung einerseits und Bauteilkonstruktion und -positionierung andererseits. Eine nachträgliche Fehlersuche, Fehlerbeurteilung und -behebung wird dadurch erschwert. Die Fehlervermeidung scheint daher erfolversprechender zur Sicherung der Stimmigkeit zu sein.

Zur Sicherstellung der Konsistenz sollen nachfolgend beide Strategien der Konsistenzprüfung betrachtet und ausgeschöpft werden. Zur Fehlersuche wird aufbauend auf der Konsistenzprüfung der SAP Standardauslieferung eine Konsistenzprüfung entwickelt, welche die Anforderungen der 2-Ebenen-Konfiguration und des Instanzenmanagements erfüllt. Hierzu werden zunächst die Probleme beim Aufbau des Konfigurationswissens durchleuchtet. Als Ergebnis der Konsistenzprüfung sollen Handlungsanweisungen zur Fehlerbehebung gegeben werden. Zur Vermeidung von Fehlersituationen ist des Weiteren zu untersuchen, wie Änderungen auf die Konsistenz der Produktstruktur wirken und wie Fehlersituationen entstehen. Hierauf aufbauend werden Handlungsanweisungen für Änderungen innerhalb der Produktvariantenstruktur gegeben. Zunächst müssen die Begriffe Datenqualität und Konsistenz im Zusammenhang mit der Produktvariantenstruktur weiter detailliert werden.

### 5.10.1 Strukturqualität

Um die Datenqualität einer Datenbank zu bewahren, werden Integritäts- und Konsistenzbedingungen festgelegt, die vom Datenbanksystem zu überwachen sind. Die Integritäts- und Konsistenzbedingungen entsprechen einer systemseitigen Formulierung der Qualitätsanforderungen an die Daten. Gemäß der inhaltlichen Untergliederung der Produktdaten kann sich die Überwachung der Datenqualität auf geometrische Daten, Stammdaten, Bewegungsdaten und Strukturdaten beziehen.

Bewegungsdaten werden in der Produktvariantenstruktur nicht abgelegt und sind daher in diesem Zusammenhang irrelevant.

Geometrische Daten werden lediglich über Dokumentenverknüpfungen in die Produktvariantenstruktur eingebracht. Diese Daten müssen daher im Erzeugersystem validiert werden. Die Überprüfung der Verknüpfung selbst kann über die Metadaten des verknüpften Dokumentes erfolgen. Zu diesem Zweck können die Metadaten der Datei wie beispielsweise der Dokumentenname oder klassifizierende Daten verwendet werden. Sie werden mit den Metadaten der Zielposition innerhalb der Produktvariantenstruktur verglichen. Voraussetzung für eine Prüfung in diesem Sinne ist eine systemübergreifende verbindliche Namenskonvention bzw. Klassifizierung.

Ein Bauteil kann im Produkt mehrfach und an unterschiedlichen Verwendungsstellen verbaut werden. Dementsprechend muss auch das CAD-Dokument zu diesem Bauteil mehrfach mit der Produktstruktur verknüpft werden können. Die Prüfung der Dokumentenverknüpfung kann daher nicht eindeutig sein und nur unterstützend genutzt werden. Bei Abweichungen zwischen den Metadaten des CAD-Dokumentes und der Zielposition innerhalb der Positionsvariantenstruktur kann der Nutzer auf diese Abweichung aufmerksam gemacht werden. Die Entscheidung über die Richtigkeit der Verknüpfung muss der Nutzer schlussendlich aber selbst treffen.

Die Qualitätsprüfung der Stammdaten gehört zur Standardfunktionalität heutiger Stammdaten haltender Systeme und wird beispielsweise durch Schlüssel- und Fremdschlüsselbeziehungen, vordefinierte Wertebereiche, Referenzierungsregeln oder Constraints validiert. Sie ist im Rahmen dieser Untersuchung nur von Interesse, wenn inhaltliche Validierungen von Bauteileigenschaften wie beispielsweise von Gewichten oder Kosten, betroffen sind.

Die Datenqualität der Produktvariantenstruktur wird hauptsächlich durch die Qualität der Strukturdaten bestimmt. Konzeptmengen- und Modulmengengerüst bilden zwei unterschiedliche Strukturen ab. Die Gesamtstrukturqualität setzt sich somit aus der Qualität des KMGs und des MMGs zusammen. Ein zusätzliches Qualitätsmerkmal des MMGs ist der Erfüllungsgrad der KMG-Vorgaben. Sowohl innerhalb des KMGs als auch des MMGs wird die Datenqualität durch die richtige Zusammenstellung der Positionsvarianten bestimmt. Die Auswahl wird durch das Produktbeziehungswissen und die Änderungsnummern gesteuert, welche daher direkt qualitätsrelevant sind. Im Falle des MMGs ist zusätzlich die richtige Auswahl der Instanzen relevant und somit die Qualität des Instanzbeziehungswissens.

### 5.10.2 Lokale Konsistenz am Strukturknoten

Die SAP AG stellt in der iPPE bereits eine Qualitätsprüfung in Form einer Konsistenzprüfung der Positionsvarianten am Strukturknoten bereit. Mit dieser Konsistenzprüfung kann überprüft werden, ob die Informationen an den Positionsvarianten zu einer eindeutigen Auswahl einer oder mehrerer Positionsvarianten führen oder zu keiner Auswahl. Die Konsistenzprüfung kann für alle oder für manuell ausgewählte Strukturknoten durchlaufen werden. Die Ergebnisse werden in einem Report dargestellt. Während der Konsistenzprüfung werden die Auswahlbedingungen „Musskomponente“, „Mehrfache Auswahl“ und „Priorität“ sowie das hinterlegte Produktbeziehungswissen ausgewertet und die Abdeckung des Varianzschemas mit Lösungen geprüft. Zur Konsistenzprüfung wird entweder ein vorab am Knoten definiertes Varianzschema oder ein dynamisches Varianzschema verwendet. Das dynamische Varianzschema berücksichtigt dann alle Merkmale der Auswahlbedingungen und deren Merkmalswerte aus der Produktklasse des Knotens. Das nachfolgende Beispiel soll die Funktionsweise der Konsistenzprüfung verdeutlichen:

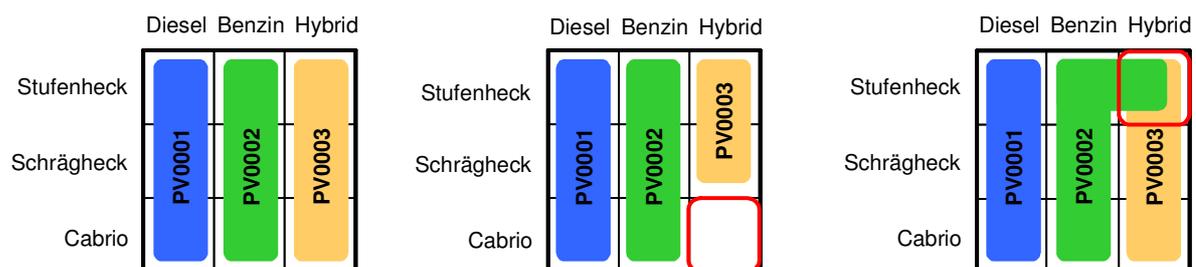


Abbildung 5-33: Lokale Konsistenz an der Positionsvariante

Bei der Ausstattung eines Fahrzeuges mit Motoren sollen unterschiedliche Ausführungen in Abhängigkeit von Land und Motorkonzept dargestellt werden. Die Lösungsmöglichkeiten sind in Form der Positionsvarianten PV0001 bis PV0003 dargestellt.

- Im ersten Fall wird der gesamte Varianzraum durch Lösungen abgedeckt ohne dass es dabei Überschneidungen gibt.
- Im zweiten Fall ist für das Cabrio kein Hybridantrieb vorgesehen. Es gibt eine leere Stelle bei der Abdeckung des Lösungsraums.
- Im dritten Fall gibt es für das Stufenheck mit Hybridantrieb zwei Positionsvarianten. In diesem Fall gibt es eine Überlappung der Positionsvarianten PV0002 und PV0003 bei der Abdeckung des Lösungsraumes.

Die hieraus folgenden Konsistenzaussagen werden als lokale Konsistenzaussagen bezeichnet, da sie nur lokal an der Positionsvariante gelten. Die Konsistenzprüfung wird als lokale Konsistenzprüfung bezeichnet. Die Positionsvariante kann dann als konsistent bezeichnet werden, wenn zu jeder möglichen Konfiguration immer genau eine Lösung gefunden wird, d.h. es gibt keine leeren Stellen (Vollständige Lösung) und keine Überlappung (Doppeltreffer). Die lokale Konsistenz an der Positionsvariante entspricht nicht immer dem Zielzustand. Mehrfachtreffer können durchaus gewünscht sein. Dies kann beispielsweise der Fall sein, wenn auch Kleinteile mit abgebildet werden. Und auch eine Lücke kann im Sinne der gewünschten Produktvarianz geplant sein. Im obigen Beispiel ist es durchaus möglich, dass für das Cabrio aus baulichen Gründen kein Hybridantrieb angeboten werden kann.

Die Konsistenzprüfung kann daher nur zur Überprüfung des angeschriebenen Beziehungswissens dienen und zunächst nur Vollständigkeit oder Überlappung ausweisen. Zur Beurteilung des Beziehungswissens muss zusätzliches Validierungswissen ausgewertet werden. Dies liegt in Form der Auswahlbedingungen am Knoten vor. Unter zusätzlicher Verwendung dieses Validierungswissens kann eine entsprechende Konsistenzmeldung abgesetzt werden. Ist das Kennzeichen Musskomponente gesetzt, so würde die leere Belegung für Cabrio und Hybridantrieb als Fehler erkannt werden. Ist das Kennzeichen „Mehrfach Auswahl“ nicht gesetzt, so würde die doppelte Belegung für Stufenheck und Hybridantrieb als Fehler ausgewiesen. Durch die Angabe des Kennzeichen Priorität könnte bei Mehrfachbelegung dennoch eine eindeutige Auswahl einer Positionsvariante erreicht und die Doppelbelegung dann als Warnung ausgewiesen werden.

Die Konsistenzprüfung an der Positionsvariante kann sowohl für die lokale Prüfung der Positionsvarianten des Konzeptmengengerüsts als auch des Modulmengengerüsts herangezogen werden. Eine Aussage zur Stimmigkeit zwischen Konzept- und Modulmengengerüst kann mit dieser Konsistenzprüfung nicht erreicht werden. Hierbei muss die Abdeckung des Varianzraumes der KMG-Positionsvariante mit der Abdeckung des Varianzraumes der MMG-Positionsvariante verglichen werden. Die Konsistenzprüfung zwischen Auftrag und Lösung wird nachfolgend als **Realisierungskonsistenz** bezeichnet.

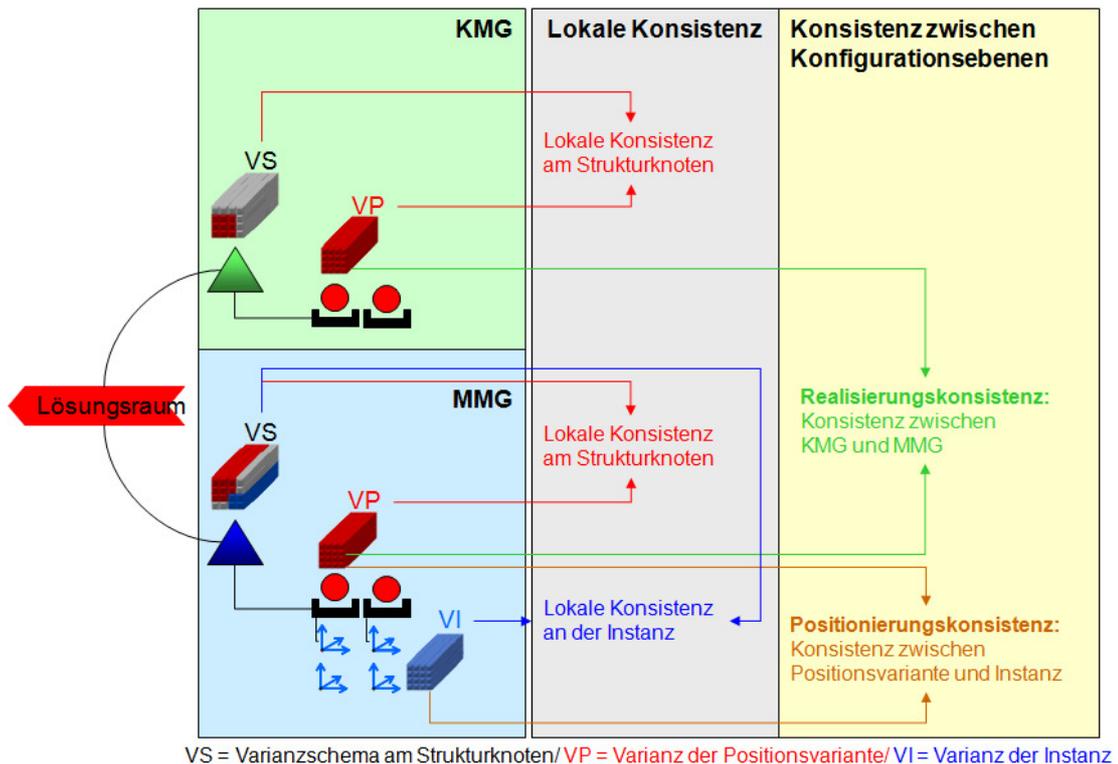


Abbildung 5-34: Ebenen der Konsistenzprüfung

Mit Einführung des Instanzenmanagements entsteht eine weitere Ebene, welche mit in die Konsistenzbetrachtung integriert werden muss. Auch sie kann mit einer Konsistenzprüfung auf Basis der SAP Standardauslieferung auf lokale Konsistenz geprüft werden. Ähnlich wie zwischen Konzept- und Modulmengengerüst muss hier weiterhin die Konsistenz zwischen Positionsvarianten und Instanzen verifiziert werden. Auch hierfür ist eine entsprechende Vorgehensweise noch zu entwickeln. Als zusätzliches Kontrollwissen kann die an der Positionsvariante gepflegte Verwendungsmenge verwendet werden. Die Konsistenz zwischen Positionsvarianten und Instanzen soll nachfolgend als **Positionierungskonsistenz** bezeichnet werden.

### 5.10.3 Konsistenz zwischen Konfigurationsebenen

Das Konsistenzproblem ist bei Realisierungskonsistenz und Positionierungskonsistenz formal dasselbe. Es ist jeweils die Konsistenz zwischen zwei Konfigurationsebenen als Überdeckung ihrer Varianzräume zu überprüfen. Das Problem kann auf die Mengenlehre zurückgeführt werden. Dabei entsprechen die Varianzräume der beiden Konfigurationsebenen zwei unabhängigen Mengen. Die Konsistenzprüfung entspricht der Bestimmung von Schnittmenge und Restmengen dieser beiden Mengen.

#### 5.10.3.1 Startbedingungen

Bevor ein Konsistenzprüfung abläuft, sollte geprüft werden, ob die Ausgangssituation eine sinnvolle Konsistenzprüfung zulässt. Hierfür können die Abhängigkeiten zwischen den Varianzräumen der beiden Konfigurationsebenen betrachtet werden. Zwischen den Varianzräumen des KMG und MMG gilt eine andere Abhängigkeit als zwischen den Varianzräumen der Positionsvariante und der Instanz.

**Realisierungskonsistenz:**

Der Varianzraum eines KMG-Knotes definiert den Auftrag, der mit einem oder mehreren MMG-Knoten erfüllt werden muss. Auftrag und Lösung werden durch die Merkmale des Varianzraumes beschrieben. Soll die Lösung den Auftrag erfüllen, so muss der Varianzraum des KMG-Knotens eine Teilmenge des Varianzraumes des MMG-Knotens sein oder anders ausgedrückt, müssen mindestens alle Merkmale des KMG-Varianzraumes im MMG-Varianzraumes vorhanden sein. Ansonsten kann die Lösung nie die im Auftrag spezifizierte Anforderung erfüllen. Wird der Auftrag mit mehreren MMG-Knoten beantwortet, so muss der Varianzraum des KMG-Knotens eine Teilmenge des Varianzraumes aller zugeordneten MMG-Knoten sein.

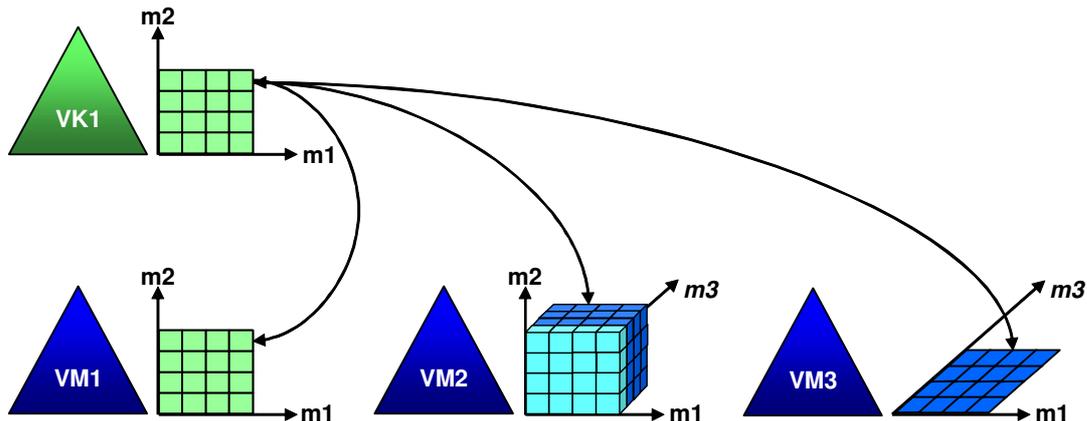


Abbildung 5-35: Varianzräume bei zwei Konfigurationsebenen

Für das obige Beispiel gilt:

1.  $VK1 = VM1$   
Die Varianzräume des KMG-Knotens VK1 und des MMG-Knotens VM1 sind identisch. Eine Konsistenzprüfung ist uneingeschränkt möglich. Die Belegung des MMG-Varianzraumes kann der Belegung des KMG-Varianzraumes entsprechen.
2.  $VK1 \subseteq VM2$   
Der Varianzraum VK1 ist eine Teilmenge des Varianzraumes VM2. Die Prüfung der Konsistenz macht nur für die Merkmale m1 und m2 Sinn. Für die durch das Merkmal m3 aufgespannte Dimension wird es keine Überdeckung mit Varianzraum VK1 geben. Eine Prüfung in dieser Dimension erübrigt sich.
3.  $VK1 \cap VM3 = \emptyset$   
Die Schnittmenge zwischen VK1 und VM3 ist die Leere Menge. Damit ist VK1 keine Teilmenge von VM3. Eine Konsistenzprüfung ist nicht möglich. Es kann keine Überdeckung der Varianzräume geben, da sie in unterschiedlichen Dimensionen liegen.

**Positionierungskonsistenz:**

Für die Positionierungskonsistenz gelten theoretisch dieselben Aussagen wie oben. Der einzige aber wesentliche Unterschied liegt in der logischen Beziehung zwischen den Varianzräumen der zwei Konfigurationsebenen. Wird bei der Realisierungskonsistenz erwartet, dass der Varianzraum der übergeordneten Ebene (KMG) eine Teilmenge der untergeordneten Ebene (MMG) ist, so muss dieses bei der Positionierungskonsistenz keineswegs gegeben sein. Die Instanz kann vollständig von anderen Merkmalen abhängig sein als die Positionsvariante selbst und dennoch einen konsistenten Stand darstellen. In dem Fall, dass die Varianzräume von unterschiedlichen Merkmalen abhängig sind, ist aber wie oben erläutert keine sinnvolle Konsistenzprüfung zwischen den beiden Ebenen möglich.

Positionsvariante und Instanz sind dann lediglich auf lokale Konsistenz zu prüfen. In der Praxis wird die Instanz jedoch häufig von denselben Merkmalen abhängen wie die Positionsvariante. Auch hier können daher die obigen drei Fälle unterschieden werden.

Als Voraussetzung für eine Konsistenzprüfung kann daher allgemein festgesetzt werden, dass der Varianzraum der übergeordneten Ebene eine Teilmenge des Varianzraumes der unteren Ebene sein muss. Ist dieses nicht der Fall, ist eine Konsistenzprüfung zwischen zwei Konfigurationsebenen nicht möglich.

### 5.10.3.2 Konsistenzfälle

Es soll nun davon ausgegangen werden, dass die Startbedingung der Konsistenzprüfung erfüllt ist, dass also der Varianzraum der übergeordneten Ebene eine Teilmenge des Varianzraumes der untergeordneten Ebene ist.

Im Varianzraum stellen die Positionsvarianten eine beliebige Untergliederung des Varianzraumes dar, sowohl auf der übergeordneten als auch auf der untergeordneten Ebene. Die verschiedenen Fälle zur Überdeckung sollen nun am Beispiel einer Positionsvariante dargestellt werden. Der Varianzraum soll der Einfachheit halber zweidimensional angenommen werden. Als Beispiel soll derselbe Varianzraum wie bei der lokalen Konsistenz verwendet werden.

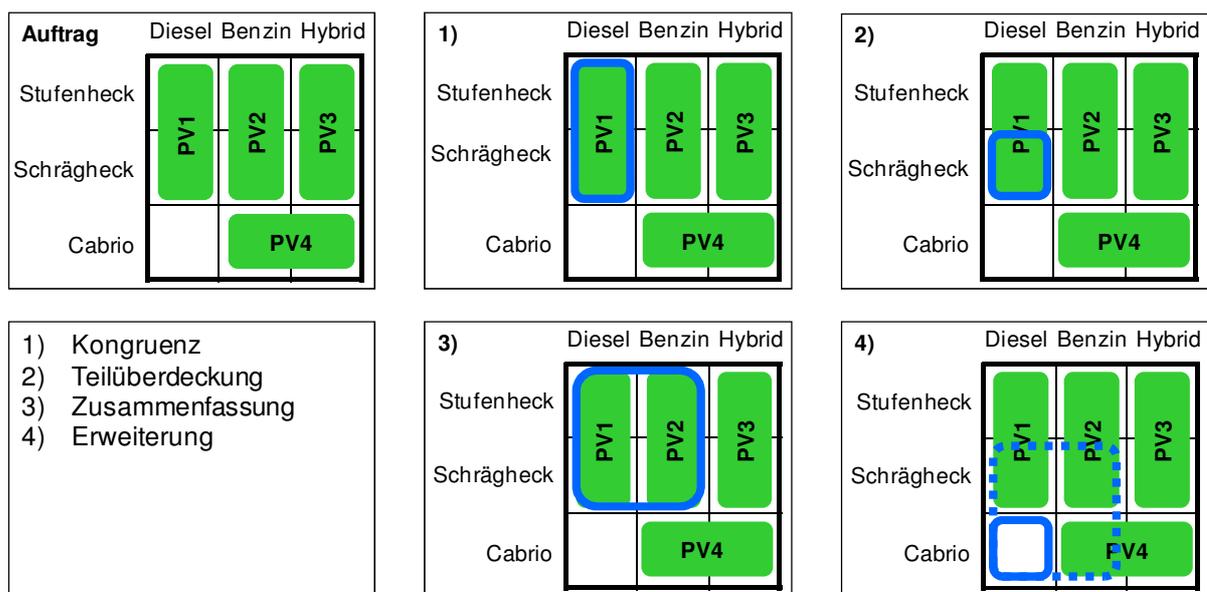


Abbildung 5-36: Konsistenzfälle

Die Fälle Teilüberdeckung (2), Zusammenfassung (3) und Erweiterung (4) können in Kombinationen auftreten. So kann eine Positionsvariante gleichzeitig eine Teilüberdeckung, eine Zusammenfassung und eine Übererfüllung darstellen (beispielsweise im Fall 4 durch Vergrößerung der Abdeckung auf Schrägheck und Benzinantrieb, wie mit der gestrichelten Linie in der Abbildung dargestellt). Bei der Betrachtung von mehr als einer Positionsvariante können zusätzlich Doppeltreffer auftreten, d.h. es erfüllen zwei Lösungen den Auftrag. Analog zur lokalen Konsistenz stellen Doppeltreffer und Lücken bei der Abdeckung des Varianzraumes inkonsistente Zustände dar. Wie im Falle der lokalen Konsistenzprüfung sind auch diese inkonsistenten Zustände mitunter gewollt. Die Fälle müssen daher für Realisierungskonsistenz und Positionierungskonsistenz bewertet werden. Zuvor soll aufgezeigt werden, wie obige Konsistenzfälle durch Auswertung des Beziehungswissens identifiziert werden können.

### 5.10.3.3 Berechnung von Konsistenzfällen

Zur Berechnung der Konsistenzfälle muss das angeschriebene Beziehungswissen der beiden Konfigurationsebenen auf Schnittmengen und Restmengen untersucht werden.

Der Varianzraum wurde bereits in Kapitel 3.2.2 *Produktmerkmale und Produktvarianz* beispielhaft eingeführt als das kartesische Produkt der Wertemengen definiert:

$$\mathbf{VR} = W_{m1} \times W_{m2} \times W_{m2} = \{ (w_1, w_2, w_3) \mid w_1 \in W_{m1}, w_2 \in W_{m2}, w_3 \in W_{m3} \}$$

Das kartesische Produkt der Mengen  $A_1 \dots A_n$  ist folglich:

$$\mathbf{VR} = A_i := \{ (a_1, \dots, a_n) \mid \forall i \in \{1, \dots, n\} : a_i \in A_i \}$$

Verallgemeinert wird das kartesische Produkt beliebig vieler Mengen  $A$  als Menge aller Funktionen definiert, die jedem Indexteilement  $\lambda$  der Indexmenge  $\Lambda$  ein Element der Menge  $A_\lambda$  zuordnet:

$$\mathbf{VR} = A_\lambda := \{ f : \Lambda \rightarrow A_\lambda \mid \forall \lambda \in \Lambda : f(\lambda) \in A_\lambda \}$$

Jede beliebige Belegung dieses Varianzraumes stellt eine Teilmenge des Varianzraumes dar. Die Menge aller möglichen Teilmengen wird als Potenzmenge bezeichnet und wurde beispielhaft ebenfalls im Kapitel 3.2.2 *Produktmerkmale und Produktvarianz* berechnet.

Allgemein gilt für die Potenzmenge:

$$\mathbf{P}(\mathbf{VR}) := \{ x \mid x \subseteq \mathbf{VR} \} \quad \text{Hat VR } n \text{ Elemente so hat } \mathbf{P}(\mathbf{VR}) \text{ die Elementanzahl } 2^n.$$

Das Beziehungswissen einer Positionsvarianz  $PV_{ki,j}$  an einem Knoten  $K_i$  mit dem Varianzraum  $VR_{ki}$  beschreibt eine Teilmenge  $x$  der Potenzmenge von  $VR_{ki}$ .

$$PV_{ki,j} \in \mathbf{P}(VR_{ki})$$

$$PV_{ki,j} := \{ x \mid x \subseteq VR_{ki} \}$$

Sind an dem Knoten  $K_i$   $n$  Merkmale zur Definition des Varianzraumes angeschrieben, so beschreibt die Positionsvariante einen  $n$ -dimensionalen Körper in diesem  $n$ -dimensionalen Varianzraum.

Das Beziehungswissen an der Positionsvariante wird als ein Boolescher Ausdruck aus Merkmalswerten und Operatoren angeschrieben. Auch wenn dieser Ausdruck in der Praxis eine sehr komplexe Form annehmen kann, so lässt er sich immer in Disjunkter Normalform (DNF) schreiben. Die Disjunkte Normalform stellt eine strenge Disjunktion von Konjunktionstermen dar. Ein Konjunktionsterm wird dabei durch die Konjunktion von negierten oder nicht negierten Variablen gebildet. Das Beziehungswissen in DNF hat die Form:

$$\bigvee_i \bigwedge_j (\neg) x_{ij}$$

Dabei ist  $j$  der Index über die Merkmale des Varianzraumes und  $x_{ij}$  jeweils ein Merkmalswert. Es handelt sich also um „ver-oderte“ Terme aus mit „und“ verbundenen Merkmalswerten. Folgendes Beispiel soll dies verdeutlichen:

$$M1 = \{w11, w12, w13\}$$

$$M2 = \{w21, w22, w23\}$$

$$PV_{ki,j} := \{(w11 \wedge w21) \vee (w23 \wedge (w11 \vee \neg w12))\}$$

$$DNF(PV_{ki,j}) := \{(w11 \wedge w21) \vee (w23 \wedge w11) \vee (w23 \wedge \neg w12)\}$$

$$= \{(w11 \wedge w21) \vee (w23 \wedge w11) \vee (w23 \wedge w11) \vee (w23 \wedge w13)\}$$

Der Vergleich des Beziehungswissens zweier Positionsvarianten in Disjunkter Normalform entspricht einem paarweisen Vergleich der einzelnen Konjunktionsterme. Diejenigen Konjunktionsterme, die im Beziehungswissen beider Positionsvarianten vorhanden sind stellen die Schnittmenge dar. Die jeweils übrigen Terme die Restmengen. Ein Beispiel soll dieses wiederum verdeutlichen:

$$DNF(PV_{1,1}) := \{(w11 \wedge w21) \vee (w11 \wedge w23) \vee (w12 \wedge w23) \vee (w13 \wedge w23)\}$$

$$DNF(PV_{2,1}) := \{(w11 \wedge w22) \vee (w12 \wedge w23) \vee (w13 \wedge w23) \vee (w13 \wedge w22)\}$$

$$\text{Schnittmenge } S = PV_{k1,1} \cap PV_{k2,1} = \{(w13 \wedge w23) \vee (w12 \wedge w23)\}$$

$$\text{Restmenge } RPV_{1,1} = PV_{k1,1} \cup S = \{(w11 \wedge w21) \vee (w11 \wedge w23)\}$$

$$\text{Restmenge } RPV_{2,1} = PV_{k2,1} \cup S = \{(w11 \wedge w22) \vee (w13 \wedge w22)\}$$

Einfacher ist dieser Sachverhalt zu erkennen, wenn das Beziehungswissen beider Positionsvarianten als Matrix aufgeschrieben wird. Dabei werden die Merkmale in gleicher Reihenfolge als Zeilen aufgeschrieben und mit den entsprechenden Werten als Spalten belegt. Jeder Vektor der Matrix entspricht einem Konjunktionsterm. Durch paarweisen Vergleich der Vektoren kann die hier grün hinterlegte Schnittmenge für Vektoren mit identischen Werten sowie die beiden rot hinterlegten Restmengen für Vektoren mit abweichenden Werten identifiziert werden.

PV<sub>1,1</sub>:

<b>M1</b>	w11	w11	w12	w13
<b>M2</b>	w21	w23	w23	w23

PV<sub>2,1</sub>:

<b>M1</b>	w11	w12	w13	w13
<b>M2</b>	w22	w23	w23	w22

Durch die Schreibweise als Disjunkte Normalform kann jeder Vektor der Matrix pro Merkmal des Varianzschemas maximal einen Wert enthalten. Sofern für ein Merkmalswert in einem Konjunktionsterm kein Wert vorhanden ist, wird x angeschrieben. Falls ein Merkmalswert negiert ist, wird der Wert negiert angeschrieben.

Ein Problem ergibt sich beim Vergleich zweier Vektoren, wenn leere Stellen oder negierte Merkmale vorhanden sind. Es muss definiert werden, welcher Wert in den Ergebnisvektor der Schnittmenge übernommen werden darf. Dies soll wiederum am Beispiel verdeutlicht werden:

PV<sub>1,1</sub>:

<b>M1</b>	w11	w11	w12	w13
<b>M2</b>	x	w23	w23	¬w23

PV<sub>2,1</sub>:

<b>M1</b>	w11	w12	w13	w13
<b>M2</b>	x	w23	x	¬w22

Schnittmenge:

<b>M1</b>	w11	w11	w12	w13	w13
<b>M2</b>	x	w23	w23	¬w23	¬w23¬w22

Für den letzten Vektor müssen je übrig bleibenden Wert des Merkmals M2 neue Vektoren angeschrieben werden. In diesem Fall ergibt sich damit:

<b>M1</b>	w11	w11	w12	w13	w13
<b>M2</b>	x	w23	w23	¬w23	w21

Dieser Term lässt sich vereinfachen zu:

<b>M1</b>	w11	w12	w13
<b>M2</b>	x	w23	¬w23

Für die Bildung der Schnittmenge folgt somit:

- Wenn für einen Vektor an einer Stelle eine leere Stelle (x) gesetzt ist, dann gilt:
  - sofern der Vergleichsvektor an dieser Stelle ebenfalls ein x enthält. Dann wird x in den Ergebnisvektor übernommen.
  - sofern der Vergleichsvektor an dieser Stelle einen beliebigen (auch negierten) Wert enthält. Dann wird genau dieser (auch negiert) Wert in den Ergebnisvektor übernommen.
- Wenn für einen Vektor an einer Stelle für einen Wert eine Negation (¬) gesetzt ist, dann gilt:
  - sofern der Vergleichswert ein konkreter Wert ungleich diesem Wert ist, dann kann dieser Wert übernommen werden.
  - sofern der Vergleichswert ebenfalls ein negierter Wert ist, müssen für das negierte Merkmal die komplementären Wertemengen gebildet, reihenweise miteinander verglichen und bei Übereinstimmung als neue Vektoren in die Ergebnismenge übernommen werden.

Mit Bildung der Schnitt- und Restmengen lassen sich Aussagen über die Konsistenz der beiden Positionsvarianten treffen.

1. Wenn die Schnittmenge leer ist, gibt es keine Übereinstimmung zwischen den Positionsvarianten.
2. Wenn die Schnittmenge nicht leer ist, gibt es eine Übereinstimmung.
  - a) Sind gleichzeitig die Restmengen leer, so ist die Übereinstimmung vollständig.
  - b) Ist eine Restmenge nicht leer, so überlappt das Beziehungswissen die gemeinsame Schnittmenge.

Damit sind die im obigen Kapitel aufgeführten Konsistenzfälle identifizierbar. Nachfolgend soll nun eine Bewertung dieser Konsistenzfälle für Realisierungs- und Positionierungskonsistenz getroffen werden.

#### 5.10.3.4 Bewertung der Konsistenzfälle

Sowohl für die Realisierungs- als auch die Positionierungskonsistenz wird als Idealzustand jeweils eine vollständige<sup>1</sup> Kongruenz zwischen übergeordneter und untergeordneter Ebene angestrebt. Nicht jeder Zustand, bei dem die Belegung des Varianzraumes der übergeordneten Konfigurationsebene vollständig durch die Belegung des Varianzraumes der untergeordneten Konfigurationsebene abgedeckt wird, ist jedoch eine vollständige Kongruenz. Der Varianzraum kann unterschiedlich aufgeteilt sein. Durch Teilüberdeckung und Zusammenfassung mehrerer Positionsvarianten kann es zu Abweichungen zwischen den Ebenen kommen und gleichzeitig können dennoch die Anforderungen an die Realisierungs- bzw. Positionierungskonsistenz erfüllt sein.

Realisierungskonsistenz:

- **Teilüberdeckung:** Bei einer Teilüberdeckung zwischen KMG- und MMG-Positionsvariante muss zunächst geprüft werden, ob die Restmenge RPV der KMG-Positionsvariante durch eine andere Positionsvariante des Lösungsraumes abgedeckt wird. Ist dieses nicht der Fall, so wird der Auftrag des KMG nicht durch das MMG erfüllt. Da das KMG dem MMG vorrausläuft und nur mit einiger Zeitverschiebung durch das MMG beantwortet wird, stellt dieser Zustand jedoch den Normalzustand im Entwicklungsprojekt dar und kann daher nicht per se als Fehler interpretiert werden. Eine Interpretation als Fehler kann erst bei gleichzeitiger systemseitiger Einbeziehung der Projektplanung und entsprechender Terminvorgaben erfolgen. Ist am KMG ein Zieltermin zur Erfüllung der Vorgaben festgeschrieben, so kann eine Konsistenzprüfung in Abhängigkeit des Tagesdatums und des Zieldatums eine Teilerfüllung des Auftrages als Fehler ausweisen.
- **Zusammenfassung:** Bei einer reinen Zusammenfassung – also ohne gleichzeitige Teilüberdeckung – wird der Auftrag der KMG-Positionsvariante abgedeckt. Eine Zusammenfassung stellt daher zunächst einen konsistenten Zustand dar. Es wird jedoch die Varianz des Produktes reduziert. Handelt es sich um innere Vielfalt, so ist die Zusammenfassung positiv zu bewerten. Allerdings sollte innere Vielfalt nicht im KMG als Auftrag formuliert werden. Handelt es sich um externe Vielfalt, also um Produktvarianten die kundenwirksam sind, dann stellt die Zusammenfassung eine Verletzung des Auftrages dar. Sind beispielsweise für die Klimaanlage zwei Kompressorvarianten vorgegeben, so wird durch Reduktion auf eine Variante mitunter ein Unterscheidungskriterium zwischen Luxusausstattung und normaler Ausstattung eliminiert. In diesen Fällen ist eine Absprache zwischen der Produktlinie als Auftraggeber und dem Modulteam als Lieferant nötig. Eine Zusammenfassung sollte daher als inkonsistenter Stand ausgewiesen werden.
- **Erweiterung:** Bei einer Erweiterung wird der Auftrag des KMGs übererfüllt. Es wird eine Varianz angeboten, die durch den Auftrag nicht nachgefragt ist. Damit wird eventuell auch der Eigenschaftsbereich der Lösung über das nötige Maß erweitert. Es ist zu überprüfen, ob die Konstruktionslösung so gut wie nötig oder so gut wie möglich, die Komponente also überentwickelt ist. Im letzteren Fall kann die Erweiterung eventuell zu einem erhöhten Ressourcenverbrauch führen und sollte dann

---

<sup>1</sup> Als „vollständige Kongruenz“ soll derjenige Zustand bezeichnet werden, bei dem alle Positionsvarianten der übergeordneten Konfigurationsebene mit denen der untergeordneten Konfigurationsebene kongruent sind.

vermieden werden. Auch sie ist daher als ein inkonsistenter Stand auszuweisen und entsprechend zu überprüfen.

- **Doppeltreffer:** Wird der Auftrag einer KMG-Positionsvariate durch mehr als eine Positionsvariante des Lösungsraumes getroffen, so ist eine eindeutige Filterung nur noch unter Pflege von Prioritäten möglich. Doppeltreffer verletzen die geforderte Eindeutigkeit der Produktstrukturdaten. Sie sind jedoch bei Kleinteilen mitunter gewünscht. Um zwischen gewünschten und unerwünschten Doppeltreffern differenzieren zu können, besteht die Möglichkeit das Kennzeichen Mehrfachtreffer zu setzen. Ist das Kennzeichen gesetzt, so sollten Doppeltreffer lediglich zu einer Warnung führen. Ist das Kennzeichen nicht gesetzt, Doppeltreffer treten aber dennoch auf, so sollten diese als Fehler markiert werden. Der Zustand muss dann behoben werden.
- **Leer Stelle:** Wird der Auftrag der KMG-Positionsvariante durch keine MMG-Positionsvariante des Lösungsraumes beantwortet, dann ist der Auftrag nicht erfüllt. In diesem Falle ist wie im im Fall einer Teilüberdeckung vorzugehen.

#### Positionierungskonsistenz:

- **Teilüberdeckung:** Auch bei der Positionierungskonsistenz muss bei einer Teilüberdeckung zunächst geprüft werden, ob die Restmenge der Positionsvariante durch eine andere Instanz abgedeckt wird. Es gibt jedoch hier zwischen der Veröffentlichung einer Komponente und dessen Positionierung keine große Zeitverschiebung. Eine Teilüberdeckung stellt eine nicht positionierte Komponente dar, auf die durch eine entsprechende Meldung aufmerksam gemacht werden sollte. Eine Besonderheit stellen hierbei Umfänge dar, die nicht in die durch Strukturknoten vorgegebene Erzeugnisgliederung eingefügt, sondern zunächst außerhalb dieser Struktur dokumentiert werden. Dies können insbesondere Baukästen sein, die in mehreren Produktlinien verwendet werden sollen und erst nach Erreichung eines bestimmten Reifegrades positioniert werden. Obwohl diese Nicht-Positionierung also geplant ist, sollten auch diese Umfänge durch die Konsistenzprüfung ausgewiesen werden, um eine frühzeitige Positionierung anzustoßen und um diese Komponenten für den Aufbau weiterer Bauräume zur Verfügung zu stellen.
- **Zusammenfassung:** Bei einer Zusammenfassung erhalten zwei Positionsvarianten dieselbe Instanz und damit auch dieselbe Lage im Fahrzeug. Sind an dem Knoten keine Mehrfachtreffer erlaubt und die beiden Positionsvarianten nie gleichzeitig gültig, so stellt dieses kein Problem dar. Die Instanz ist für die jeweils gültige Positionsvariante ebenfalls gültig. Sind Mehrfachtreffer an der Positionsvariante erlaubt, würden bei der Zusammenfassung zwei Komponenten an der selben Position verbaut werden. Dieses ist nicht möglich. Der Konstrukteur sollte dann durch eine Fehlermeldung vom System auf eine Zusammenfassung aufmerksam gemacht werden.
- **Erweiterung:** Bei einer Erweiterung erhalten die Positionsvarianten an einem Knoten Lagen, die aufgrund des Beziehungswissens an den Positionsvarianten nie getroffen werden können. Sind die Positionsvarianten beispielsweise nur für die USA Version gepflegt, so wird eine Instanz mit Beziehungswissen für die EU nie gefunden. Dieser Zustand stellt eine Inkonsistenz dar. Es mag durchaus vorkommen, dass die Instanzen den Positionsvarianten voraus laufen. Dies kann beispielsweise vorkommen, wenn im Zuge der Veröffentlichung eine USA-Komponente als Positionsvariante und Instanz ausgeprägt wurde. Die Positionsvariate für die EU-Komponente ist noch nicht gepflegt. Da die Lagen der beiden Komponenten dieselben sind, legt der Konstrukteur die Instanz für USA mit dem erweiterten Beziehungswissen für die EU an. Diese Inkonsistenz hat keinen Einfluss auf mögliche Ausleitungen aus der Produktvariantenstruktur und ist damit unkritisch. Sie sollte lediglich durch eine

Warnung gemeldet werden. Diese ist auch erforderlich, um die Veröffentlichung der EU-Komponente anzustoßen.

- Doppeltreffer: Ein Doppeltreffer stellt für die Positionierungskonsistenz keinen Fehler dar. Bei einer Verwendungsmenge, die größer ist als eins, müssen entsprechend auch mehr Instanzen gepflegt werden. Sollen am Fahrzeug vier Radbremsen verbaut werden, müssen während der Konfiguration des Fahrzeuges auch vier Instanzen gefunden werden. Sind vorne Scheiben- und hinten Trommelbremsen zu verbauen, müssen zwei Positionsvarianten mit je zwei Instanzen gefunden werden. Daher ist im Falle von Mehrfachtreffern ein Vergleich mit der Verwendungsmenge nötig. Nur wenn die Anzahl der Instanzen im konfigurierten Zustand größer ist als die Verwendungsmenge, liegt ein Fehler vor, der als solcher gemeldet werden muss. Dieses Kontrollwissen für den konfigurierten Zustand kann für den nicht konfigurierten Zustand verallgemeinert werden: für jede mögliche Konfiguration am Knoten muss die Anzahl der Instanzen an den gültigen Positionsvarianten gleich der Verwendungsmenge an der zu den jeweiligen Instanzen gehörenden Positionsvariante sein. Für die Konsistenzprüfung an der unkonfigurierten Struktur müssen dabei alle möglichen Konfigurationen sequentiell abgeprüft werden. Es werden hierfür zunächst die disjunkten Normalformen des Beziehungswissens der Positionsvarianten und Instanzen gebildet. Jeder Konjunktionsterm der Positionsvarianten wird mit den Konjunktionstermen der Instanzen verglichen. Die Übereinstimmungen werden gezählt und mit der Verwendungsmenge abgeglichen. In einer Fehlermeldung können die betroffenen Positionsvarianten, der entsprechende Konjunktionsterm sowie die Anzahl der vorhandenen Instanzen für diesen Konjunktionsterm je Positionsvariante ausgegeben werden.
- Leere Stelle: Eine leere Stelle zwischen dem Beziehungswissen der Positionsvarianten und Instanzen deutet auf einen nicht positionierten Umfang hin. Die Positionierung muss noch vorgenommen werden. Dieser Zustand stellt somit eine Inkonsistenz dar, auf die mit einer entsprechenden Meldung aufmerksam gemacht werden muss. Wie bei der Realisierungskonsistenz entspricht das Vorgehen hier dem bei der Teilüberdeckung.

Die Bewertung der Konsistenzfälle zeigt, dass die Realisierungs- und Positionierungskonsistenz auf der gleichen theoretischen Vorgehensweise basiert, dass die Schlussfolgerungen und anzustoßenden Aktionen aber unterschiedlich sind. Die Konsistenzprüfung muss daher für Realisierungs- und Positionierungskonsistenz unterschiedlich detailliert werden, kann aber den selben logischen Ablauf und ähnliche Programmbausteine enthalten.

Für die Positionsvarianten im KMG und MMG lässt sich noch ein zusätzliches Qualitätskriterium formulieren und prüfen: Unterhalb eines Knotens darf es keine zwei Positionsvarianten mit gleicher Sachnummer und gleicher Verwendungsmenge geben. Ansonsten können die Positionsvarianten bei gleichzeitiger Zusammenführung des Beziehungswissens zusammengefasst und die Struktur so vereinfacht werden. Auch für diese Fälle sollte im Rahmen der Konsistenzprüfung eine Meldung erzeugt werden. Zwei Positionsvarianten mit gleicher Sachnummer aber unterschiedlicher Verwendungsmenge ist dagegen ein zulässiger Zustand.

Auch für die Instanzen kann unter Berücksichtigung der Lageinformation weiteres Kontrollwissen formuliert werden. Dieses validiert zwar nicht das angeschriebene Beziehungswissen, ist jedoch im Zuge der Veröffentlichung eine sinnvolle Prüfung. Durch die Fahrzeugmaße können maximale Lagen in Relation zum Koordinatenursprung des

Fahrzeugs vorgegeben und im System hinterlegt werden. Dieses kann in Abhängigkeit des Fahrzeugtyps geschehen. Die Maximallagen könnten beispielsweise als Ergänzung der Variantentabelle abgelegt werden. Bei der Veröffentlichung wird die Lage mit den abgelegten Maximallagen verifiziert. Liegt die Lage ausserhalb dieser Maximallagen, so ist das Gestaltobjekt nicht richtig positioniert. Eine entsprechende Meldung kann ausgegeben werden. Für Symmetrieteile kann allgemein angenommen werden, dass sie sich an symmetrischen Positionen befinden. Dies kann ebenfalls überprüft und eine entsprechende Meldung ausgegeben werden.

Die Variantentabelle selbst zielt wie vorhergehend beschrieben einzig auf das Produktbeziehungswissen. Das Instanzbeziehungswissen kann durch Variantentabellen nicht validiert werden, da dieses sich nur im Zusammenhang mit einem spezifischen Gestaltobjekt innerhalb des Kontextes einer Konfiguration überprüfen lässt. Ein generelles Kontrollwissen für das Instanzbeziehungswissen kann es somit nicht geben.

### **5.10.3.5 Gestaltungsmöglichkeiten der Konsistenzprüfung**

Eine Konsistenzprüfung kann hinsichtlich verschiedener Zielkriterien unterschiedlich ausgestaltet werden. Es kann nach dem Filterungszustand der Produktstruktur, der Ebene der Konsistenzprüfung, dem Umfang und der Ausführungsart unterschieden werden.

Die Prüfung kann an:

- I. der nicht konfigurierten (gefilterten) Produktstruktur oder
- II. der konfigurierten (gefilterten) Produktstruktur

erfolgen. Im gefilterten Zustand wird eine Konsistenzprüfung aufgrund der stark eingegrenzten Datenmenge deutlich performanter laufen. Der Aussagewert ist aber auch deutlich geringer. Da sich die Konfigurationen in der Produktstruktur über die Zeit ändern, muss die Konsistenzprüfung im ungefilterten Zustand alle Gültigkeitsdimensionen betrachten, d.h. insbesondere Änderungsstände und Konfigurationen. Nur bei gleichzeitiger Betrachtung ist eine Aussage zur Stimmigkeit möglich. Im nicht konfigurierten Zustand müssten daher alle erlaubten Konfigurationen sequentiell abgeprüft werden.

Die Konsistenzprüfung kann auf den oben dargestellten Ebenen durchgeführt werden:

1. Zwischen KMG und MMG (Realisierungskonsistenz)
2. An der Positionsvariante
3. An der Instanz
4. Zwischen Positionsvariante und Instanz (Positionierungskonsistenz)

Je nach der betrachteten Ebene der Konsistenzprüfung muss diese unterschiedliche Kriterien prüfen und andere Meldungen und Aktivitäten anstoßen. Die prinzipielle Funktionsweise der Konsistenzprüfung ist jedoch immer dieselbe. Es muss jeweils die Abdeckung der jeweiligen Varianzräume miteinander und entsprechendes Kontrollwissen abgeglichen werden.

Der Umfang der Prüfung kann folgende Umfänge betreffen:

- A. gesamte Produktlinie,
- B. ausgewählte Knoten oder
- C. ausgewählte Positionsvarianten.

Bei der Betrachtung der gesamten Produktlinie muss eine Vielzahl an Informationen parallel ausgewertet werden. Es müssen sowohl die Konfigurationen als auch die Änderungsstände gleichzeitig analysiert werden. Diese Datenmenge kann durch die Auswahl von definierten Knoten oder sogar Positionsvarianten eingeschränkt werden.

Zur Ausführung können folgende Arten genannt werden:

- a. Prüfung durch einen Batch Job

- b. Prüfung „on demand“ oder
- c. Prüfung „online“ während der Veröffentlichung.

Die Ausführungsart wird stark durch den Filterzustand und den Umfang der Prüfung vorbestimmt. Eine Online-Prüfung ist nur für eingeschränkte Umfänge durchführbar, da bei einem hohen Datenvolumen Performance-Engpässe auf dem System zu befürchten sind. Sie bietet sich damit insbesondere bei der Veröffentlichung an, um eine direkte Rückkopplung über die Datenqualität an den veröffentlichenden Konstrukteur zu geben. Die On-demand Prüfung wird seltener ausgeführt als die Online Prüfung und kann daher einen etwas größeren Umfang abdecken. Sie eignet sich daher besonders zur Prüfung eines definierten Verantwortungsbereiches auf Knotenebene. Ein Batch Job kann dagegen zu Zeiten geringer Systemauslastung eingeplant werden und daher die gesamte Produktstruktur auswerten. Bei geringer Systemauslastung wird der Batch Job die wenigen aktiven Anwender nicht zu stark bei der Ausführung ihrer Tätigkeiten behindern.

Folgende Tabelle ordnet den Varianten der Konsistenzprüfung eine empfohlene Ausführungsart zu:

	Varianten der Konsistenzprüfung			
	1. KMG & MMG	2. Positionsvariante	3. Instanz	4. Positionsvariante & Instanz
<b>I. Nicht konfigurierte Struktur</b>				
a. gesamte Produktlinie	X	a. Batch-Job	a. Batch-Job	X
b. ausgewählte Knoten	a. Batch-Job	a. Batch-Job	a. Batch-Job	a. Batch-Job
c. ausgewählte Positionsvarianten	a. Batch-Job	b. On-demand	b. On-demand	b. On-demand
<b>II. Konfigurierte Struktur</b>				
a. gesamte Produktlinie	b. On-demand	b. On-demand	b. On-demand	b. On-demand
b. ausgewählte Knoten	b. On-demand	c. Online	c. Online	c. Online
c. ausgewählte Positionsvarianten	c. Online	c. Online	c. Online	c. Online

Abbildung 5-37: Varianten der Konsistenzprüfung

### 5.10.3.6 Darstellung der Prüfungsergebnisse

Die Konsistenzprüfung kann bei komplexen Beziehungswissen ebenfalls sehr komplex werden. Dementsprechend muss eine Darstellungsweise gefunden werden, die es dem Anwender erlaubt, die Konsistenzaussagen möglichst leicht und problemlos zu erfassen und zu interpretieren. Einen Ausgangspunkt für eine Darstellung liefert die bereits vorgestellte Abbildung als Matrix auf Basis der disjunkten Normalform. In dieser Matrix kann jedes Feld durch einen Konjunktionsterm identifiziert werden. Durch die Abbildung der Varianzräume von Positionsvarianten des KMG und MMG bzw. Positionsvarianten und Instanzen und deren Überlagerung wird eine übersichtliche Darstellung erzeugt. Folgendes Bild zeigt dies am Beispiel der Positionierungskonsistenz:

Symbol	Objekt	Beziehungswissen
	Varianzraum der Positionsvariante	$+(+L+ECE+(SA100/SA300))/(+L+ECE+RL+-SA100)/(+L+US+-SA200+S400)/(+C+(SA100/+SA300))$
	Varianzraum der Instanz 1	$+L+LL+(SA100/+-(SA200/SA300/SA400))/(+C+LL+(SA100/SA300))$
	Varianzraum der Instanz 2	$+L+RL+(SA100/+-(SA200/SA300/SA400))/(+C+LL+(SA100/SA300))$

Sonderausstattung				Karosserieform	Limousine	Limousine	Limousine	Coupé	Coupé
SA100	SA200	SA300	SA400	Land	ECE	ECE	US	ECE	ECE
				Lenkung	LL	RL	LL	LL	RL
+	+	+	+						
-	+	+	+						
+	-	+	+						
+	+	-	+						
+	+	+	-						
-	-	+	+						
-	+	-	+						
-	-	+	-						
+	-	+	-						
+	+	-	-						
+	-	-	+						
-	-	-	+						
-	-	+	-						
-	+	-	-						
+	-	-	-						
-	-	-	-						

Abbildung 5-38: Darstellung der Konsistenzprüfungsergebnisse

Die Matrix wird dabei aus den Merkmalen des Varianzraumes an der Positionsvariante aufgebaut. Sind die Instanzen von zusätzlichen Merkmalen abhängig, kann wie beschrieben für den zusätzlichen Partialvarianzraum keine Konsistenzaussage getroffen werden. Die Typmerkmale bilden die Spalten der Matrix die Sonderausstattungsmerkmale bilden die Zeilen. Auch bei Verwendung mehrerer Merkmale (im Bild sind es 7 Merkmale) bleibt die Darstellung vergleichsweise übersichtlich, wird aber bei zu vielen Merkmalen entsprechend groß. Leere Felder weisen auf einen nicht ausgeschöpften Varianzraum hin. Felder ohne Belegung mit einer Instanz weisen eine fehlende Instanz aus. Lokale Inkonsistenzen könnten durch einen zusätzlichen Farbcode mit abgebildet werden. Gibt es einen Doppeltreffer für eine Konjunktion könnte dieses Feld bzw. Symbol mit einer weiteren Farbe belegt werden.

### 5.10.4 Probleme beim Aufbau des Konfigurationswissens

Die Pflege des Beziehungswissens erfolgt analog zum gesamten Entwicklungsprozess in zyklischer Art und Weise. Das Beziehungswissen wird im Zuge des Entwicklungsprozesses erdacht, geprüft, bewertet und weiter verfeinert. Die Vorgaben des Konzeptmengengerüsts werden entsprechend der Derivat-Staffelung erst nach und nach ausgearbeitet und nicht für alle Derivate gleichzeitig angelegt. Die Lösungen des Modulmengengerüsts folgen diesen Vorgaben im Normalfall mit einer zeitlichen Verschiebung. Im Einzelfall kann es aber vorkommen, dass das Modulmengengerüst dem Konzeptmengengerüst vorläuft. Neben der Derivat-Staffelung bewirken auch die Festlegung der Absicherungsumfänge und deren Terminierung im Meilensteinplan, dass ausgewählte Konfigurationen vorrangig behandelt werden. Für das Anschreiben des Beziehungswissens können während der Entwicklung zwei Strategien verfolgt werden. Das Beziehungswissen kann entweder möglichst allgemein oder möglichst spezifisch angeschrieben werden.

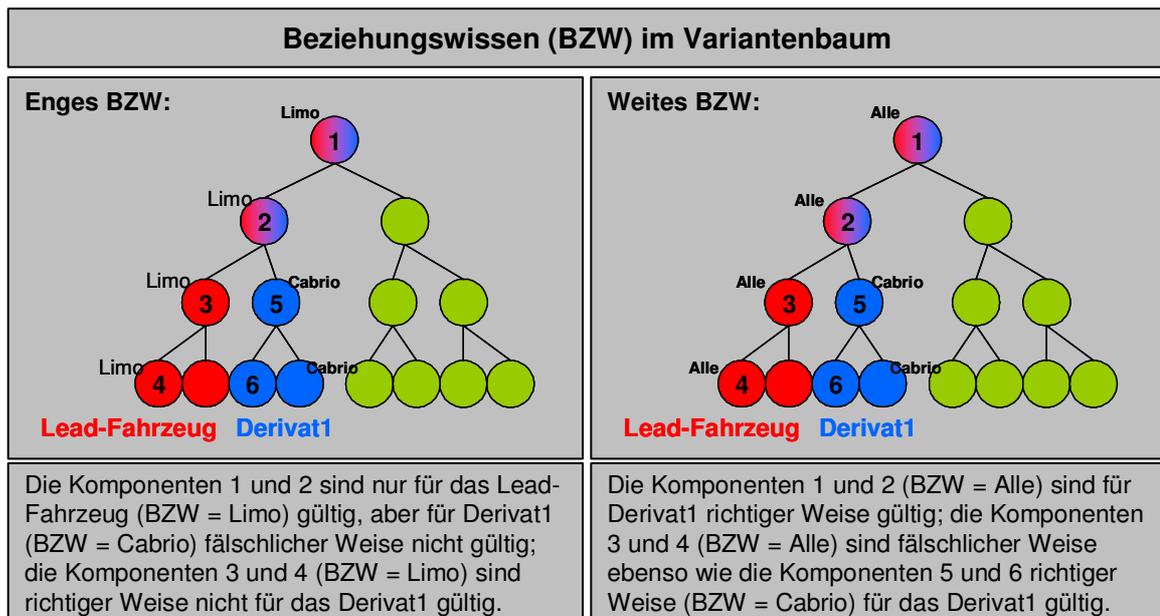


Abbildung 5-39: Zielkonflikt beim Anschreiben des Beziehungswissens

Werden die Konfigurationen mit einem speziellen Beziehungswissen angeschrieben (obige Abb. links), so muss bei jeder Erweiterung des Produktes um weitere Varianten das Beziehungswissen auf oberen Stufen angepasst werden. Es muss breiter angelegt werden, um auch die zusätzlichen Varianten abzudecken. Mit diesem Vorgehen würden nach und nach alle geplanten Fahrzeugkonfigurationen aufgebaut werden. Ungeplante Konfigurationen können aus der Produktstruktur nicht ausgeleitet werden, da das eng angelegte Beziehungswissen diese Extraktion nicht zulässt. Dem Ziel alle möglichen Fahrzeugkonfigurationen in der Produktvariantenstruktur abzubilden kommt, man mit diesem Ansatz nicht näher. Das Beziehungswissen darf daher nicht in einer speziellen Form angeschrieben werden.

Um alle möglichen Konfigurationen abzubilden und so der internen Vielfalt entgegen zu wirken, ist das Beziehungswissen so allgemein wie möglich anzugeben. Hierdurch wird gewährleistet, dass ein Bauteil im Maximum der Konfigurationen gültig ist. Um einen Konfigurationsstand stimmig zu halten, müssen gleichzeitig Doppeltreffer in der Produktstruktur vermieden werden. Gibt es nach einem allgemeinen Umfang einen spezielleren, sind jedoch beide gültig, obwohl eigentlich nur der spezielle Umfang Verwendung finden soll. Um einen Doppeltreffer zu vermeiden, muss in diesem Fall wiederum das ursprünglich allgemein angeschriebene Beziehungswissen angepasst oder eine Regel in der Form „speziell vor allgemein“ formuliert und angewendet werden. Weiterhin birgt ein weit gefasstes Beziehungswissen die Gefahr, dass mit für den Kontext falschen oder falsch positionierten Teilen gearbeitet wird. Für den Konstrukteur ist dies nicht immer feststellbar. Es kann daher zu erheblichen fehlerbedingten Mehraufwänden kommen. Wird das Beziehungswissen in einer allgemeinen Form angeschrieben ist daher ein entsprechender Mechanismus nötig, der die Verwendung nicht bestätigter Umfänge verhindert.

Das dargestellte Problem der Beziehungswissenspflege lässt sich nicht ohne weiteres umgehen und unterstreicht die Bedeutung eines wirksamen Fehlermanagements. Die spätere Analyse der Änderungsfälle und deren Auswirkungen auf die Strukturkonsistenz sollen helfen, dieses Dilemma zu entschärfen.

Die beschriebene Konfliktsituation hebt auch die Bedeutung eines gut ausgearbeiteten Auftrags hervor. Dieser hat einen entscheidenden Einfluss auf das spätere Änderungsvolumen. Würde der Auftrag im obigen Beispiel bereits die Gültigkeit der Komponenten 1 und 2 für alle Konfigurationen und die Gültigkeit der Komponenten 3 und 4 nur für die Limousine vor-

schreiben, wäre die spätere Pflege der Lösung mit minimalem Aufwand durchführbar. Allerdings wird die Qualität des Auftrags wesentlich durch ein Vorausdenken der Lösung bestimmt, welches nur begrenzt sinnvoll ist.

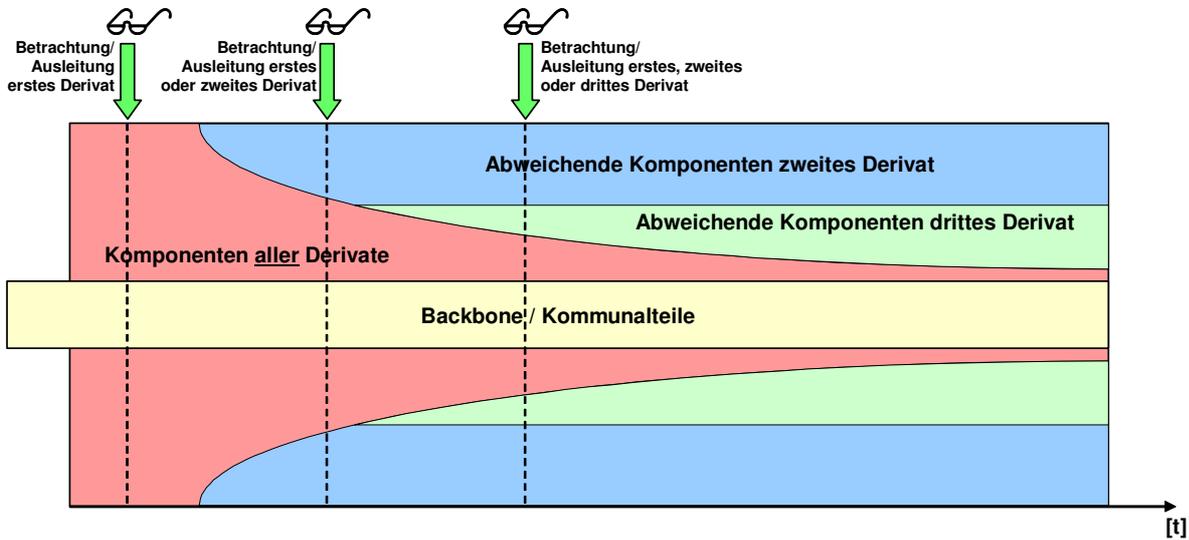


Abbildung 5-40: Beziehungswissenspflege – Prinzip der größten Gemeinsamkeit<sup>1</sup>

Für die Pflege des Beziehungswissens im Modulmengengerüst ergeben sich folgende Schlussfolgerungen [vgl. BMW-06]:

- Das Beziehungswissen sollte so breit wie möglich angeschrieben werden. Es werden keine einzelnen Derivate oder Fahrzeugtypen beschrieben, sondern die gesamte Produktlinie.
- Werden für spätere Derivate abweichende Lösungen erforderlich, dann werden die nötigen Positionsvarianten frühestens mit der Beauftragung dieses neuen Lösungsumfanges und spätestens zur Veröffentlichung der neuen Lösung erstellt. Das Beziehungswissen wird im Projektverlauf erst dann eingegrenzt, wenn eine neue Lösung vorhanden ist.
- Prozesstechnisch wird vereinbart, wann welche Ausleitungen verbindlich bzw. sinnvoll sind.

### 5.10.5 Allgemeingültiges Beziehungswissen

Wie dargestellt soll das Beziehungswissen jeweils so allgemein wie möglich angeschrieben werden. Im Extremfall bedeutet dies, dass eine Konfiguration (an Positionsvariante oder Instanz) den gesamten Varianzraum abdecken kann. Handelt es sich hierbei um einen multi-dimensionalen Varianzraum so kann das Anschreiben des Beziehungswissens für eine allgemeingültige Konfiguration sehr komplex werden. Wie bereits in den wissenschaftlichen Grundlagen dargestellt, ergeben sich bereits bei drei Merkmalen mit je vier Merkmalswerten  $K = 2^{(4 \cdot 4 \cdot 4)} = 2^{64}$  Konfigurationen, die als Beziehungswissen angeschrieben werden müssten.

<sup>1</sup> nach BMW-06

Statt der Ausformulierung des Beziehungswissens soll daher der Operator „\*“ für ein allgemeingültiges Beziehungswissen eingeführt werden<sup>1</sup>. Das Beziehungswissen gilt bei Verwendung dieses Operators für alle theoretisch möglichen Konfigurationen. Die entsprechende Positionsvariante bzw. Instanz wird also immer<sup>2</sup> gefunden. Der Operator „\*“ kann nicht in Verbindung mit anderen Operatoren oder Merkmalswerten verwendet werden. Der Operator „\*“ entspricht einer disjunkten Normalform, in der alle Merkmalswertkombinationen als Konjunktionsterme enthalten sind und disjunkt verknüpft wurden. Hierbei werden alle diejenigen Merkmale herangezogen, die am Varianzschema des Knoten definiert wurden. Ist hier kein Varianzschema angeschrieben, gelten alle Merkmale der zugeordneten Klasse. Da im Beziehungswissen keine Merkmalswerte verwendet werden, kann ein dynamisches Varianzschema nicht zur Bestimmung der Kombinationen herangezogen werden.

Bei der Veränderung von spezifisch angeschriebenen Beziehungswissen werden die Konsistenzfälle durch eine Veränderung des Beziehungswissens auf übergeordneter oder untergeordneter Ebene erreicht. Dabei ergeben sich folgende Möglichkeiten zur Änderung:

- 1) Beziehungswissen der Konfigurationsebene 1 (KE1) eingrenzen
- 2) Beziehungswissen der Konfigurationsebene 1 (KE1) verallgemeinern
- 3) Beziehungswissen der Konfigurationsebene 2 (KE2) verallgemeinern
- 4) Beziehungswissen der Konfigurationsebene 2 (KE2) eingrenzen

Die Veränderung des Beziehungswissens wird durch Entfernen oder Hinzufügen von Operatoren und Merkmalen entsprechend folgender Tabelle vorgenommen:

„+“ entspricht AND ( $\wedge$ ) „/“ entspricht OR ( $\vee$ )	Ergänzen	Entfernen
Eingrenzung des BZW	+ Merkmalswert + NOT_Merkmalwert	/ Merkmalswert / NOT_Merkmalwert
Verallgemeinern des BZW	/ Merkmalswert / NOT_Merkmalwert	+ Merkmalswert + NOT_Merkmalwert

Abbildung 5-41: Veränderungen des Beziehungswissens

Die obigen Fälle sind im unteren Bild für nur eine Positionsvariante dargestellt. Dabei wurde im Beispiel das Merkmale Karosserierform mit den Werten Limousine (+L) und Coupé (+C) und das Merkmal Sonderausstattung1 mit den Werten „mit Sonderausstattung“ (+SA) und „ohne Sonderausstattung“ (-SA) verwendet. Für das Merkmal Karosserierform soll angenommen werden, dass noch weitere Werte existieren, die im Beispiel nicht relevant sind den theoretischen Varianzraum aber erweitern.

<sup>1</sup> Alternativ könnte zur Darstellung eines allgemeingültigen auch kein Beziehungswissen spezifiziert werden. Dann kann aber nicht unterschieden werden, ob das Beziehungswissen allgemeingültig sein soll oder lediglich noch nicht spezifiziert wurde.

<sup>2</sup> „Immer“ bezieht sich hier auf die relationale Gültigkeit, d.h. es wird vorausgesetzt, dass alle anderen Gültigkeitskriterien erfüllt werden.

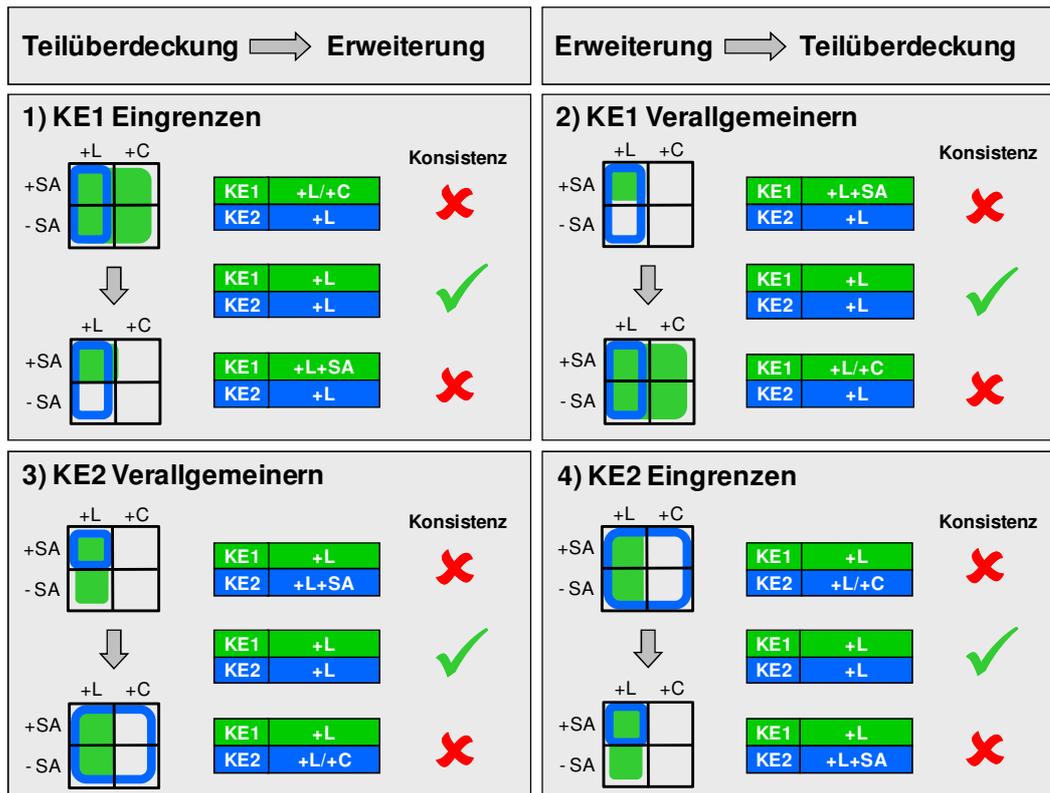


Abbildung 5-42: Veränderung von spezifischen Beziehungswissen

Es wird ersichtlich, dass die Fälle 1 und 3 aus dem Zustand der Teilüberdeckung über den Zustand der Kongruenz in den Zustand der Erweiterung führen und die Fälle 2 und 4 jeweils aus dem Zustand der Erweiterung über den Zustand der Kongruenz in den Zustand der Teilüberdeckung. Diese Fälle können mit dem Lösungsalgorithmus der Konsistenzprüfung online erkannt und entsprechend der vorgenommenen Bewertung der Konsistenzfälle gemeldet werden<sup>1</sup>.

Bei allgemeingültig angeschriebenem Beziehungswissen entstehen einige Sonderfälle, die durch die eingeführte Konsistenzprüfung nicht richtig bewertet werden.

<sup>1</sup> Der Konsistenzfall der Zusammenfassung wird erst durch den Vergleich mehrerer Positionsvarianten erkannt. Hier wird nur eine Positionsvariante betrachtet, so dass dieser Konsistenzfall nicht berücksichtigt werden muss.

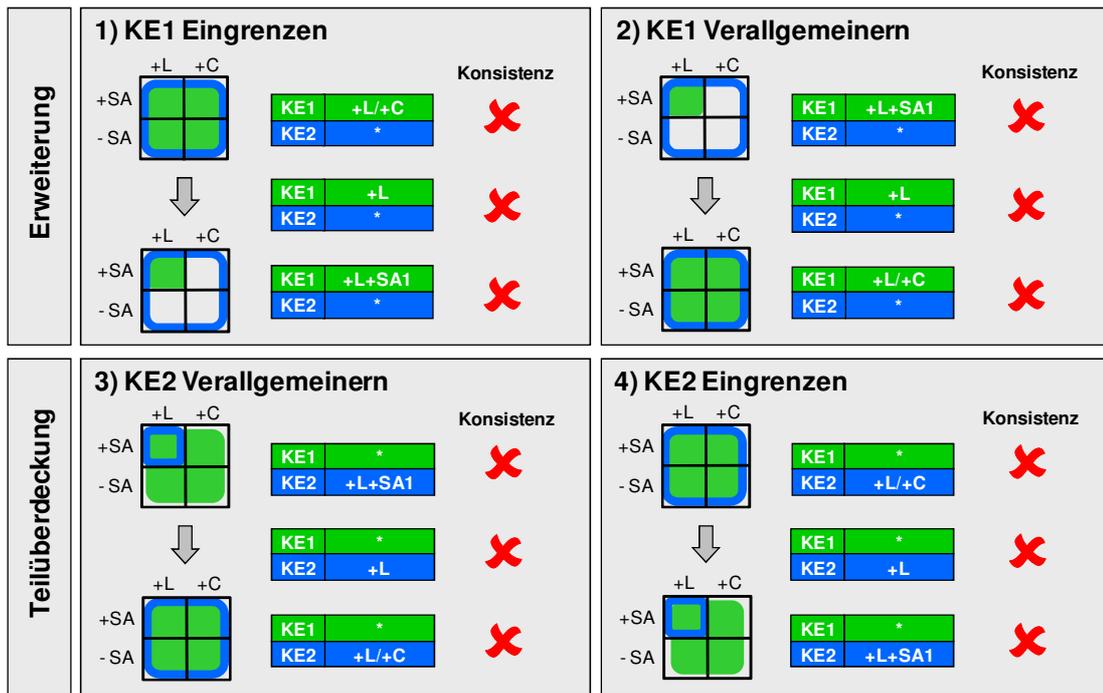


Abbildung 5-43: Veränderung von allgemeingültigem Beziehungswissen

Da das Beziehungswissen auf einer Ebene allgemeingültig angeschrieben ist, führt eine Veränderung auf der zweiten Ebene nicht mehr zu einem Übergang zwischen den Zuständen Teilüberdeckung und Erweiterung und vice versa. Steht der Operator „\*“ auf der untergeordneten Ebene, so stellt sich bei einer Konsistenzprüfung immer der Konsistenzfall einer Erweiterung ein. Steht der Operator „\*“ auf der übergeordneten Ebene, so stellt sich bei einer Konsistenzprüfung immer der Konsistenzfall einer Teilüberdeckung ein<sup>1</sup>. Dennoch hat sich an der Konsistenzsituation etwas verändert.

Um diese Veränderung richtig beurteilen zu können, muss jeweils ein Vergleich mit der Ausgangssituation vorgenommen werden. In Abgrenzung zur bisherigen Darstellung der Konsistenz soll diese auf dem Vergleich gründende Konsistenz als **Relative Konsistenz** bezeichnet werden. Die Prüfung sollte zum Zeitpunkt der Änderung des Beziehungswissens durchgeführt werden, um das zu ändernde Beziehungswissen im direkten Zugriff zu haben. Basierend auf dem Vergleich des alten und neuen Beziehungswissens kann eine Bewertung des Konsistenzfalls vorgenommen und eine entsprechende Aktion eingeleitet werden. Diese Bewertung muss wiederum getrennt für Realisierungskonsistenz und Positionierungskonsistenz durchgeführt werden.

Realisierungskonsistenz:

Da KMG und MMG lediglich durch den Lösungsraum verbunden sind und nicht hierarchisch verknüpft sind, ruft eine Änderung an der KMG-Positionsvariante keine Gültigkeitsänderung der allgemeingültig angeschriebenen MMG-Positionsvariante hervor. Diese wird weiterhin für alle Konfigurationen gefunden. Je nachdem ob das Beziehungswissen an der KMG-Positionsvariante verallgemeinert oder eingegrenzt wird, ändert sich lediglich der Grad der

<sup>1</sup> Das Bild soll hier wie einleitend erwähnt einen Ausschnitt des Varianzraumes darstellen - das Merkmal Karosserierform über weitere Werte verfügen. Auch wenn die Konfiguration der KE1 und KE2 in der Darstellung die selben Varianzräume abdecken, gilt das allgemeine Beziehungswissen für alle Merkmale, auch für diejenigen, die in diesem Bild nicht mit dargestellt sind. Es handelt sich also nicht um eine Kongruenz. Kongruenz kann nur erreicht werden, wenn auch das explizit ausformulierte Beziehungswissen den gesamten verfügbaren Varianzraum abdeckt.

Auftragserfüllung. Daher ist eine Änderung am KMG in die verantwortlichen Modulteams zu kommunizieren. Ist die KMG-Positionsvarianten allgemeingültig angeschrieben, so wird der Grad der Auftragserfüllung durch die Änderung an der MMG-Positionsvariante hervorgerufen. In diesem Fall wird die Veränderung jedoch durch die Modulteams angestoßen und ist somit im Vorfeld bereits bestätigt.

Positionierungskonsistenz:

Im Fall der Positionierungskonsistenz besteht eine engere Abhängigkeit zwischen den Konfigurationsebenen. Der Filtermechanismus sucht nur dann nach gültigen Instanzen wenn auch das übergeordnete Element, die Positionsvariante, gültig ist. Ist die Positionsvariante nicht gültig, so könnte die Instanz prinzipiell gültig sein, aber ohne dass ein gültiges Bauteil gefunden wird, ist die Instanz ohne praktischen Aussagewert. Die Instanz dürfte in diesem Fall nicht ausgeleitet werden, da ohne das Bauteil kein CAD-Dokument zur Ausleitung gefunden werden darf.

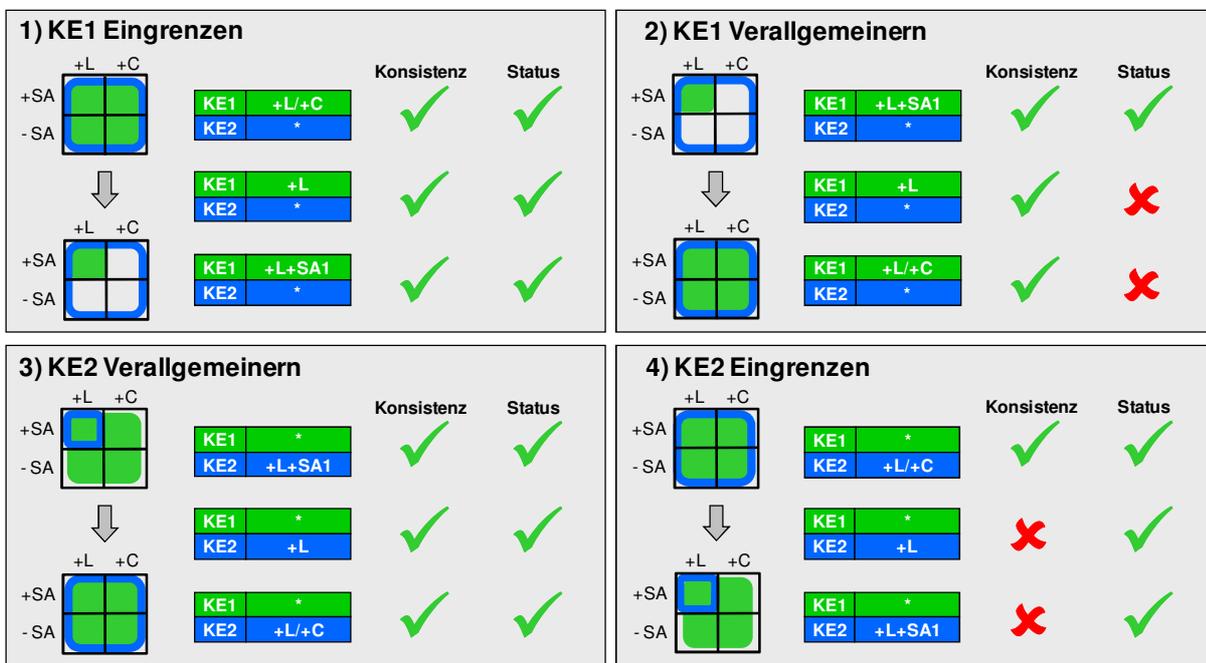


Abbildung 5-44: Änderungen bei allgemeingültigem Beziehungswissen

1. Wird die Positionsvariante eingegrenzt, hat dieses keinen Einfluss auf die Instanzen. Sie gelten nach wie vor für alle Konfigurationen, nur dass nun eine kleinere Anzahl dieser Konfigurationen über die Positionsvariante gefunden wird. Der Zustand kann daher nach wie vor als konsistent bezeichnet werden. Die Instanzen wurden auch für die eingeschränkte Konfiguration veröffentlicht und sind daher durch den Konstrukteur weiterhin in der entsprechenden Lage gültig.
2. Wird die Positionsvariante verallgemeinert, gilt die Instanz automatisch auch für den vergrößerten Variationsraum der Positionsvariante, ohne dass die Instanzen jedoch für diesen zusätzlichen Variationsraum durch den Konstrukteur bestätigt wurden. Diese Situation erfordert zwingend eine Meldung der unbestätigten Instanzen und eventuell eine korrigierende Aktion. Der Zustand ist dennoch als konsistent zu betrachten, da für jede Konfiguration der Positionsvariante eine Instanz gefunden wird.

3. Die Instanz wird für einen größeren Varianzraum gültig und bei der Veränderung des Instanzbeziehungswissen durch den Konstrukteur automatisch durch diesen mit bestätigt. Dieser Zustand ist daher konsistent.
4. In diesem Fall werden ehemals gültige Instanzen entfernt. Diese Informationen könnten jedoch bereits zur Erstellung eines Bauraums genutzt worden sein. Daher ist dieser Fall als kritisch einzustufen. Die vorhanden Umfänge sind zwar bestätigt, gemessen an der vorherigen Situation ist der Zustand aber nicht mehr konsistent.

Da im Zeitraum zwischen Fehlererkennung und Behebung bereits mit den fehlerhaften Strukturen gearbeitet werden kann, müssen Fehler kenntlich gemacht werden. Hierfür soll auf den Instanzen ein Status gepflegt werden. Bei der aktiven Veröffentlichung einer Instanz erhält diese den Status „bestätigt“. Im Fall 2 ist eine erneute Bestätigung der Lagen für den erweiterten Umfang nötig. Diese Bestätigung kann durch eine elektronische Benachrichtigung der verantwortlichen Konstrukteure angestoßen werden. Hierfür müssten die entsprechenden E-Mail Adressen am Knoten hinterlegt werden können. Gleichzeitig sollte an der entsprechenden Instanz der Status auf „nicht bestätigt“ gesetzt werden, um zu verhindern, dass andere Konstrukteure während des Zeitraums der Fehlerbehebung unwissentlich mit der nicht bestätigten und möglicherweise falschen Instanz arbeiten. Dabei wird die entsprechende Instanz jedoch auch für die ursprüngliche Konfiguration als nicht bestätigt gekennzeichnet obwohl sich deren Gültigkeit nicht geändert hat.

Eine Lösungsmöglichkeit ist, die ursprünglichen Instanzzeilen zu doppeln und an die zusätzlichen Zeilen das Komplement der an der Positionsvariante ergänzten oder entfernten Konjunktionsterme anzuschreiben. Am Beispiel der Fahrzeugbremsen soll dieses nachfolgend gezeigt werden (Verwendungsmenge ist 4, die Instanz der Bremse ist von der Karosserieform mit den Werten *Limousine (L)* oder *Coupé (C)* abhängig):

Startsituation					
PosVar	SNR	Bezeichnung	P-BZW		
0010	S1	Bremse Standard	+L		
I-Guid	Trafo	Beschreibung	I-BZW	Konsistenz	Status
11	T1	Links vorne	*	OK	bestätigt
12	T2	Rechts vorne	*	OK	bestätigt
13	T3	Links hinten	*	OK	bestätigt
14	T4	Rechts hinten	*	OK	bestätigt

Fehlersituation					
PosVar	SNR	Bezeichnung	P-BZW		
0010	S1	Bremse Standard	+L / +C		
I-Guid	Trafo	Beschreibung	I-BZW	Konsistenz	Status
11	T1	Links vorne	*	OK	Nicht bestätigt
12	T2	Rechts vorne	*	OK	Nicht bestätigt
13	T3	Links vorne	*	OK	Nicht bestätigt
14	T4	Rechts vorne	*	OK	Nicht bestätigt

Sollsituation					
PosVar	SNR	Bezeichnung	P-BZW		
0010	S1	Bremse Standard	+L / +C		
I-Guid	Trafo	Beschreibung	I-BZW	Konsistenz	Status
11	T1	Links vorne	*	OK	bestätigt
12	T2	Rechts vorne	*	OK	bestätigt
13	T3	Links hinten	*	OK	bestätigt
14	T4	Rechts hinten	*	OK	bestätigt
15	T1	Links vorne	NOT_C	OK	Nicht bestätigt
16	T2	Rechts vorne	NOT_C	OK	Nicht bestätigt
17	T3	Links hinten	NOT_C	OK	Nicht bestätigt
18	T4	Rechts hinten	NOT_C	OK	Nicht bestätigt

Abbildung 5-45: Automatische Überführung in einen teilbestätigen Stand

Die neuen Zeilen erhalten den Status „unbestätigt“, die originalen Zeilen behalten den Status „bestätigt“. Um bei einer Ausleitung nicht zu viele Instanzen zu treffen (beispielsweise für +L die I-Guid 11, 12, 15 und 16), müsste zusätzlich noch „speziell“ vor „allgemein“ gelten. Dieses muss für obigen Fall als Regel in den Ausleitungsmechanismus verankert werden.

Im Fall 4 kann bei Absicherung der Änderung eine Message-Box darauf hinweisen, dass für vorher positionierte Verwendungen nun keine Lagen mehr gefunden werden können und die Veröffentlichung neuer Lagen erwartet wird. Auch dieses kann als Benachrichtigung an den verantwortlichen Konstrukteur geleitet werden. Da dieser die Änderung jedoch selbst durchführt, kann eine Bestätigung der Meldung in diesem Fall ausreichend sein. Diejenigen Konstrukteure, die mit der nun ungültig gewordenen Lage arbeiten, müssen über die Änderung informiert werden, damit sie ihren Bauraum aktualisieren können. Hierfür muss ein Verwendungsnachweis über die entsprechenden Positionsvarianten ausgeführt werden, um diejenigen Bauräume und verantwortlichen Konstrukteure aufzufinden, die mit dem Bauteil in der ungültigen Lage arbeiten.

Auch in diesem Fall kann mit dem obigen Lösungskonzept ein konsistenter Zustand erzeugt werden:

Startsituation					
PosVar	SNR	Bezeichnung	P-BZW		
0010	S1	Bremse Standard	*		
I-Guid	Trafo	Beschreibung	I-BZW	Konsistenz	Status
11	T1	Links vorne	*	OK	bestätigt
12	T2	Rechts vorne	*	OK	bestätigt
13	T3	Links vorne	*	OK	bestätigt
14	T4	Rechts vorne	*	OK	bestätigt

Fehlersituation					
PosVar	SNR	Bezeichnung	P-BZW		
0010	S1	Bremse Standard	*		
I-Guid	Trafo	Beschreibung	I-BZW	Konsistenz	Status
11	T1	Links vorne	SA123	NOT_OK	bestätigt
12	T2	Rechts vorne	SA123	NOT_OK	bestätigt
13	T3	Links hinten	SA123	NOT_OK	bestätigt
14	T4	Rechts hinten	SA123	NOT_OK	bestätigt

Sollsituation					
PosVar	SNR	Bezeichnung	P-BZW		
0010	S1	Bremse Standard	*		
I-Guid	Trafo	Beschreibung	I-BZW	Konsistenz	Status
11	T1	Links vorne	SA123	OK	bestätigt
12	T2	Rechts vorne	SA123	OK	bestätigt
13	T3	Links hinten	SA123	OK	bestätigt
14	T4	Rechts hinten	SA123	OK	bestätigt
15	T1	Links vorne	NOT_SA123	OK	Nicht bestätigt
16	T2	Rechts vorne	NOT_SA123	OK	Nicht bestätigt
17	T3	Links vorne	NOT_SA123	OK	Nicht bestätigt
18	T4	Rechts vorne	NOT_SA123	OK	Nicht bestätigt

Abbildung 5-46: Automatische Überführung in einen konsistenten Stand

Die Instanzzeilen werden wiederum gedoppelt. In diesem Fall wurde die Änderung am Beziehungswissen der Instanz selbst vorgenommen. Die ergänzten bzw. entfernten Konjunktionsterme der originären Instanzzeilen werden in die gedoppelten Zeilen übernommen. In Folge sind nur diese als nicht bestätigt zu kennzeichnen.

### 5.10.6 Ablauf einer Kompletprüfung

Vorangehend wurden die unterschiedlichen Konsistenzprüfungen für lokale Konsistenz, Realisierungs- und Positionierungskonsistenz erläutert. Diese Einzelprüfungen können in folgender Sequenz zu einer Kompletprüfung der Produktvariantenstruktur zusammengestellt werden:

1. Prüfe für jede Sachnummer innerhalb der PVS, dass es keine Positionsvarianten mit gleicher Verwendungsmenge gibt.
2. Prüfe lokale Konsistenz an allen Positionsvarianten: Dynamisches Varianzschema an der Positionsvariante auf Konsistenz auswerten und mit dem manuellen Varianzschema an der Positionsvariante vergleichen.

3. Prüfe lokale Konsistenz an der Instanz: Dynamisches Varianzschema an der Instanz auf Konsistenz auswerten.
4. Prüfe Startbedingungen zur Realisierungskonsistenz: Prüfe für jeden KMG Knoten, dass der Varianzraum des Knotens eine Teilmenge der Varianzräume der zugehörigen MMG Knoten ist.
5. Prüfe Realisierungskonsistenz: Vergleich die Belegung der Varianzräume zwischen KMG und MMG
6. Prüfe Startbedingungen für Positionierungskonsistenz: Prüfe für jeden MMG Knoten, dass der Varianzraum des Knotens eine Teilmenge der Varianzräume der zugehörigen Instanzen ist.
7. Prüfe für jede Positionsvariante: Für das gleiche Merkmal dürfen im Lagebeziehungswissen keine anderen Merkmalswerte verwendet werden als für das Produktbeziehungswissen.
8. Prüfe Positionierungskonsistenz: Vergleiche die Belegung der Varianzräume zwischen Positionsvarianten des MMG und ihren Instanzen
9. Prüfe Anzahl der Instanzen: Bündel für jede gültige Konfiguration die Anzahl der gültigen Instanzen und prüfe sie gegen die Verwendungsmenge an den zugehörigen Positionsvarianten.
10. Prüfe auf gleiche Lagen: Prüfe für Bauteile mit der selben Transformationsmatrix, dass diese für unterschiedliche Konfigurationen gelten.
11. Prüfe absolute Lagen: Prüfe, dass die Lagen innerhalb der Fahrzeugkoordinaten liegen.

Statt die Prüfung für die gesamte Struktur zu durchlaufen, könnte alternativ auch nur gegen definierte virtuelle Fahrzeuge geprüft werden. Hiermit lässt sich die Prüfung um ein vielfaches beschleunigen.

## 5.11 Absicherung der Produktvarianten

Die Absicherung des Fahrzeuges beginnt mit der geometrischen Prüfung der Fahrzeugkonfigurationen. Hierbei werden die Bauteile im Fahrzeugzusammenhang auf Kollisionen untersucht. Neben den sogenannten Bounding-Boxen werden hierbei insbesondere Kinematik-Modelle der Bauteile und Baugruppen verwendet. Die geometrische Absicherung und funktionale Integration starten bereits mit Beginn der Abstimmphase<sup>1</sup>. Die produktionstechnische Überprüfung des Herstellprozesses wird besonders in der Bestätigungs- und Reifephase<sup>2</sup> durchgeführt. Die Produktstruktur liegt dann in weiten Teilen vor. Im Rahmen der produktionstechnischen Überprüfung werden sowohl die Fertigungsschritte der Einzelteile als auch die Montage bzw. Montagereihenfolgen des Gesamtfahrzeuges untersucht. In der Reifephase zielt die produktionstechnische Absicherung bereits auf einen reibungslosen Serienanlauf. Hier wird der Herstellprozess dann im Detail geprüft. Serienteile werden produziert und auf Fehler oder Schwachstellen untersucht. Änderungen an Bauteilen erzeugen in der Reifephase nicht nur einen erheblichen Aufwand, sondern stellen auch ein großes Risiko für den erfolgreichen Serienanlauf dar.

Die Erstellung des Absicherungsumfanges erfordert heute einen hohen manuellen Aufwand. Dadurch, dass Produktvariantenstruktur und Instanzenverwaltung getrennt voneinander sind, ist eine manuelle Zusammenführung von der jeweiligen Produktkonfiguration und den für

---

<sup>1</sup> nach BMW Phaseneinteilung (vgl. Abb. 3-39)

<sup>2</sup> nach BMW Phaseneinteilung (vgl. Abb. 3-39)

diese Konfiguration gültigen Lagen nötig. Bei der BMW AG wurde ein Großteil der virtuellen Fahrzeuge manuell aufgebaut und manuell aktualisiert. Somit war das Arbeiten nur in einer begrenzten Anzahl von virtuellen Fahrzeugen möglich. Dem steigenden quantitativen Bedarf an virtuellen Fahrzeugen konnte mit diesem manuellen Prozess weder in der Anzahl noch in der Qualität begegnet werden. Die Stimmigkeit der Stücklisten war nicht immer gegeben.

Durch die Integration der Instanzen in die Produktstrukturverwaltung kann der Aufbau der virtuellen Fahrzeuge automatisiert durchgeführt werden. Der Aufwand zur Erstellung eines virtuellen Fahrzeuges reduziert sich erheblich. Zudem wird der Prozess der Erstellung deutlich beschleunigt. Durch die Möglichkeit der automatischen Aktualisierung lässt sich die Datenqualität erhöhen und ist außerdem in Grenzen noch vor dem Strukturausport innerhalb der Produktvariantenstruktur möglich. Außerdem besteht auch die Möglichkeit Fahrzeuge darzustellen, die mehr als 100% der Bauteile in sich vereinen, was für Absicherungszwecke durchaus sinnvoll sein kann. Auch die Verfügbarkeit von Ersatzgeometrien und Ersatzformaten lässt sich durch die Verbindung von Produktstruktur- und Instanzenverwaltung erhöhen.

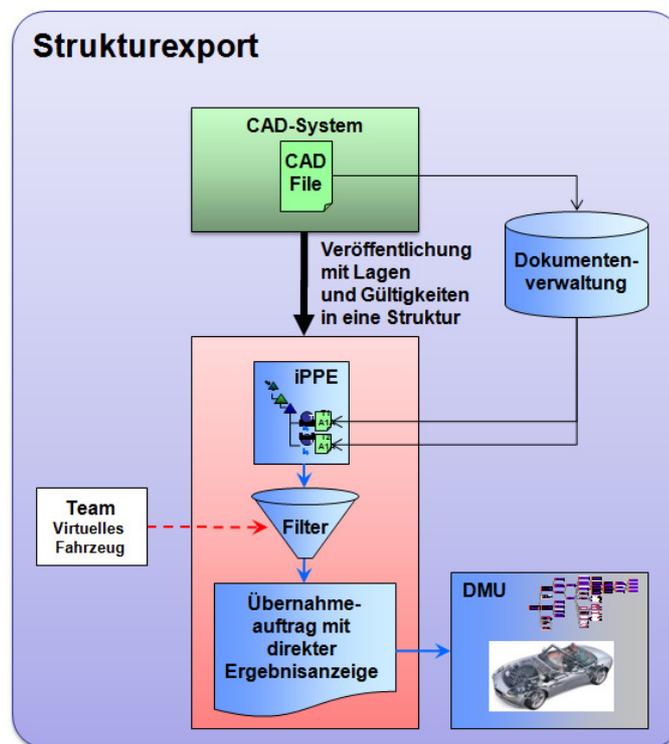


Abbildung 5-47: Strukturausport

Ein Produktstrukturausport aus SAP iPPE wird durch einen Übernahmeauftrag für ein virtuelles Fahrzeug gesteuert. Um den Umfang der zu exportierenden Produktstruktur festzulegen, verwendet der Übernahmeauftrag vordefinierte Filter zur Auflösung der Produktstruktur. Im Übernahmeauftrag wird weiterhin festgelegt, wann, wie oft und wohin exportiert wird und welche Ersatzformate und Ersatzgeometrien exportiert werden sollen. Das Ergebnis des Übernahmeauftrags liefert die Menge der Dokumente, die das virtuelle Fahrzeug darstellen. Der Export selbst wird von einem periodisch zu startenden Übernahmeauftrag durchgeführt.

### **5.11.1 Regelbasierte Absicherung**

Neben Bauraum- und Nachbarschaftssuche ist es durch die Verbindung von Instanzenmanagement und Produktvariantenstruktur möglich, deutlich mehr Überprüfungen der Konstruktionsergebnisse direkt in der Produktvariantenstruktur durchzuführen.

Eine Möglichkeit zum frühzeitigen Erkennen von Problemzonen besteht in der Durchführung eines Kollisionschecks noch während des Veröffentlichungsprozesses. Nach der Spezifizierung des Produktbeziehungswissens kann die Struktur nach gültigen Konfigurationen gefiltert werden. Dabei bezieht sich die Gültigkeit hier zunächst nur auf die merkmalsbezogene Gültigkeit. Nach der Spezifizierung des Instanzbeziehungswissens kann über die Bounding-Box an der jeweiligen Verwendungsstelle eine Nachbarschaftssuche durchgeführt werden, die alle Teile ausweist, welche innerhalb der Bounding-Box des zu veröffentlichen Bauteils liegen. Wird der Konstrukteur hierbei durch Viewer unterstützt, kann er das Risiko für eine Kollision im Bauraum wesentlich besser einschätzen als bisher. In unklaren Fällen kann der Konstrukteur nun gezielt eine DMU zur Kollisionsuntersuchung aufbauen. Er kennt dabei nun bereits die Teile, die kritisch sein könnten.

Kollisionsuntersuchungen können auch dadurch effektiver durchgeführt werden, dass die Bounding-Boxen aller Bauteilvarianten unterhalb eines Strukturknotens miteinander verglichen werden können. So kann für Kollisionsuntersuchungen beispielsweise jeweils die größte Bounding-Box an der Positionsvariante identifiziert werden. Das Teil mit der größten Bounding-Box muss sicherlich nicht das kritischste sein, da es ja durchaus in derjenigen Fahrzeugkonfiguration verbaut werden kann, welche den größten Bauraum zur Verfügung stellt. Jedoch kann eine Betrachtung der nicht konfigurierten Produktvariantenstruktur mit den jeweils größten Bounding-Boxen mitunter hilfreich sein, um potentielle Problemzonen im Fahrzeug identifizieren zu können.

Auch ohne das Instanzenmanagement ist das Gesamtgewicht als eine wichtige Regelgröße des Fahrzeuges durch das Hinterlegen in der Produktvariantenstruktur besser steuerbar. Gleiches gilt für andere Kenngrößen (neben dem Gewicht sind hier die Kosten zu nennen).

Wird der Schwerpunkt eines jeden Einzelteils bestimmt und mit an der Instanz abgelegt, kann nun der Gesamtschwerpunkt einer Fahrzeugkonfiguration direkt aus der Produktvariantenstruktur errechnet werden. Hierüber können insbesondere Untersuchungen und Simulationen der Fahreigenschaften unterstützt werden.

Dadurch, dass nun vermehrt Tests direkt in der Produktvariantenstruktur durchgeführt werden können, lässt sich der Aufwand für Absicherungen in DMU und FMU reduzieren. Darüber hinaus können DMU und FMU aber auch gezielter genutzt werden, wodurch sich weitere positive Effekte beispielsweise in Richtung der Systemauslastung erzielen lassen.

Die Produktkosten in der Automobilindustrie werden zwar in der Entwicklung festgelegt. Sie entstehen jedoch in der Fertigung, welche im Vergleich zur Entwicklung einen ungleich höheren Kostenblock darstellt. Dieses wird sich auch in absehbarer Zukunft nicht ändern. Wichtiger als Bestrebungen zur 100%igen Virtualisierung des Produktes ist es daher, die Flexibilität in der Produktionsgestaltung zu erhöhen. Mit der Verschiebung von Absicherungsfunktionen in das Produktstrukturmanagement kann nun schneller und damit auch flexibler auf entsprechende Anforderungen reagiert werden.

### **5.11.2 Dokumentation der Absicherungsergebnisse**

Ein noch nicht ausgeschöpftes Potenzial zur Optimierung des Zusammenspiels zwischen Konstruktion und Absicherung liegt in der Dokumentation der Absicherungsergebnisse. Heute gelingt es nicht, die Absicherungsergebnisse auf sinnvolle Weise mit in der Produktvariantenstruktur abzulegen. Hier gibt es noch einen erheblichen Forschungsbedarf.

Wünschenswert wäre eine Darstellung der Absicherungstätigkeiten und Ergebnisse auf Bauteilebene. Dabei müssen die jeweiligen Konfigurationsparameter mit dokumentiert werden. Dieses kann durch die Speicherung der Filterkriterien realisiert werden. Gelingt die Dokumentation der Absicherung auf Bauteilebene, ergeben sich hinsichtlich der Absicherung zusätzliche Nutzungsmöglichkeiten der Produktvariantenstruktur. Beispielsweise können Aussagen getroffen werden, wie häufig ein Einzelteil erfolgreich oder nicht erfolgreich in einer Fahrzeugkonfiguration abgesichert wurde. Damit lässt sich das Risiko für ein Bauteilversagen besser abschätzen. Die Absicherungsumfänge können dann gezielter zusammengestellt werden.

Auch die Klassifizierung der Bauteile im Bezug auf ihre Absicherungsrelevanz, kann die Definition der Absicherungsumfänge unterstützen. So können Teile hinsichtlich ihres Einflusses auf Akustik, Aerodynamik, Fahreigenschaften, Klima usw. klassiert werden. Durch die Auswertung dieser funktionsorientierten Klassifizierung können dann gezielt Funktionsprüfungen durchgeführt werden.

Generell besteht eine Problematik der Absicherung darin, dass absicherungsrelevante Daten in der frühen Phase der Entwicklung häufig nicht vorhanden sind. Gerade dann ist die Absicherung jedoch nötiger und hilfreicher. Durch die Dokumentation der Absicherungsergebnisse in der Produktvariantenstruktur können die Erfahrungen aus vorhergehenden Projekten besser in der frühen Phase der Produktentwicklung genutzt werden. Typische Problemzonen können leichter identifiziert und mit der entsprechenden Aufmerksamkeit behandelt werden.

## 6 Informationstechnische Umsetzung der Instanzenverwaltung

Das folgende Kapitel beinhaltet die systemtechnische Abbildung der Instanzenverwaltung. Es werden die Abbildungsalternativen dargestellt, bewertet und vor dem Hintergrund der prozessualen Betrachtung des Instanzenmanagements ausgewählt. Als Ausgangspunkt der Untersuchung dient die iPPE der SAP AG. Bereits in der Standardauslieferung der iPPE ist eine Instanzenverwaltung vorgesehen. Ebenso wie bei den Konkurrenzprodukten sieht diese aber bisher keine Möglichkeit zur Konfiguration von Instanzen vor. Durch die Entwicklung eines geeigneten Datenmodells soll diese Möglichkeit geschaffen werden.

Zuvor muss die Steuerung der Dokumente über Metadaten auf einige Sonderfälle ausgeweitet und ihre informationstechnische Umsetzung untersucht werden.

### 6.1 Modell zur Dokumentensteuerung

Mit der Versionierung über Zeichnungs- und Änderungsindex steht eine Möglichkeit zur Verfügung, die enge Verknüpfung zwischen Iterationen in der Entwicklung und Änderungen in der Produktion zu lockern. Der Zeichnungsindex versioniert das Gestaltobjekt und ist diesem daher als Metadatum direkt zugeordnet. Der Änderungsindex kennzeichnet freigegebene Versionen des Gestaltobjektes. Für jeden neuen Änderungsindex wird eine neue Materialversion angelegt. Nachfolgend wird das Zusammenspiel aus Zeichnungsindex und Änderungsindex verdeutlicht.

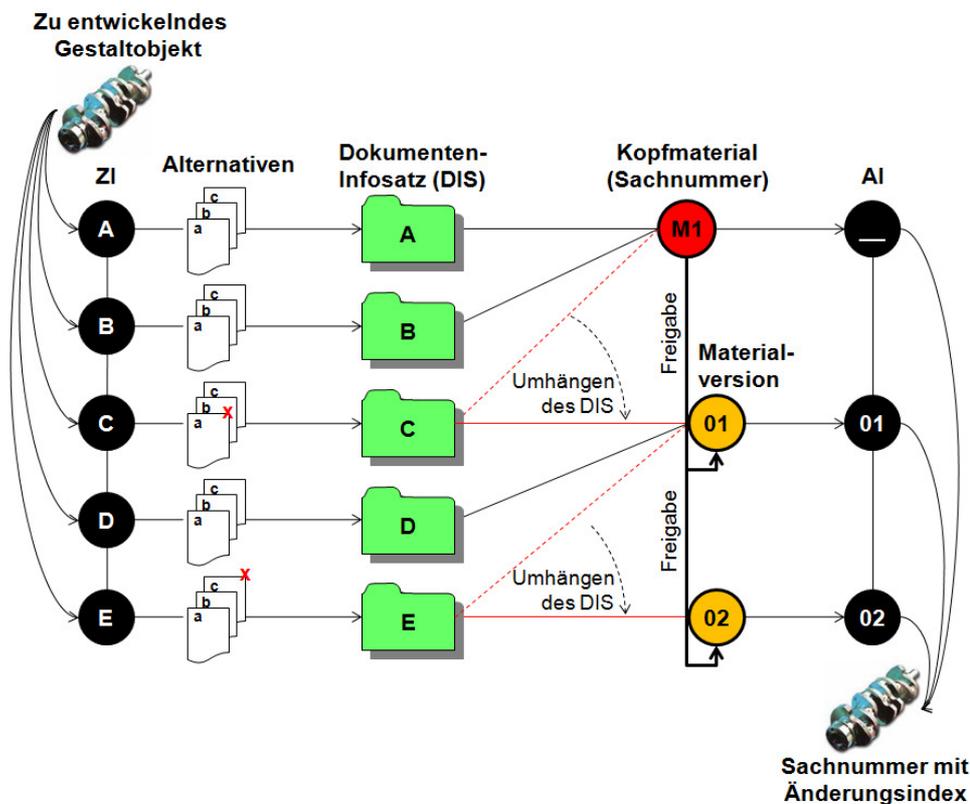


Abbildung 6-1: Zusammenspiel von Zeichnungs- (ZI) und Änderungsindex (AI)

Es wird ersichtlich, dass bei Freigabe eines neuen Zeichnungsindex nicht nur der Änderungsindex hoch gezählt und eine neue Materialversion erzeugt wird. Es muss außerdem die Verbindung des letzten Zeichnungsindex, welcher zunächst noch an der alten

Materialversion hängt, gelöst und dann mit der neue Materialversion verknüpft werden. Ohne dieses Umhängen des Dokumenteninfosatzes könnte der letzte freigegebene Stand nicht vom neuesten konstruktiven Stand unterschieden werden.

Je Zeichnungsindex können mehrere Lösungsalternativen entwickelt werden. Von diesen darf jeweils nur einer in den Freigabeprozess eingesteuert werden (z.B. im Zeichnungsindex C die Alternative a und im Zeichnungsindex E die Alternative c). Die bevorzugte Alternative muss spätestens während des Abstimmungsprozesses definiert werden. Nur die bevorzugte Alternative je Zeichnungsindex wird freigegeben.

**Sachnummernlose Gestaltobjekte:** Nicht jedes Gestaltobjekt erhält bereits zu Konstruktionsbeginn eine eigene Sachnummer. Die Sachnummer ist ein Metadatum, welches als Bestandteil der Fertigungsstücklisten in der Bedarfsplanung der Produktion und Beschaffung verwendet wird. Einige Gestaltobjekte sind nicht zur Freigabe im Fahrzeug vorgesehen (z.B. Koffer oder Golftaschen, die zu Absicherungszwecken angelegt werden) oder sollen noch keine Sachnummer erhalten, da beispielsweise noch Unstimmigkeit über die Nummernschlüssel herrscht. Die Sachnummer dient jedoch bereits in der Entwicklung zur Identifizierung der Gestaltobjekte. Daher ist es zweckmäßig, vorläufige Materialnummern vergeben zu können. Diese erhalten im System einen schlanken Materialstamm, der im Wesentlichen eine Beschreibung des Materials und eine vorläufige Materialnummer erhält. Weitere Funktionsparameter einer „scharfen“ Sachnummer, wie Plan- oder Bestellparameter, sind im vorläufigen Materialstamm nicht enthalten. Durch die Verwendung der vorläufigen Materialnummern kann das Konzept der Versionierung auch für Materialien aufrecht erhalten werden, die noch keine „scharfe“ Sachnummer erhalten haben.

**Gestaltobjekte ohne eigenes CAD-Modell oder freigaberelevante Zeichnung:** Es gibt einige Sonderfälle, in denen für das Gestaltobjekt kein eigenes auflösungsrelevante CAD-Modell oder keine freigaberelevante Zeichnung erstellt wird:

- Für Rechts-/Links-Teile wird normalerweise nur eine CAD-Modell erzeugt. Hierdurch wird sowohl der Aufwand zur Erstellung als auch der Änderungsaufwand minimiert. Gleichzeitig wird auch das Datenvolumen reduziert. Das Spiegelteil erhält zwar eine eigene Sachnummer. Diese verweist jedoch auf die Geometrie des Gegenstücks.
- Norm- und Wiederholteile verfügen nicht immer über eine freigaberelevante Zeichnung.
- Einzelteile eines Zusammenbaus verfügen häufig nicht über eine eigene freigaberelevante Zeichnung wohl aber über ein eigenes CAD-Modell. Die Zeichnung existiert nur für den Zusammenbau.

Auch für diese Sonderfälle soll die bereits dargestellte Versionierungslogik gelten. Zudem ist bei diesen Teilen der volle Funktionsumfang des Instanzenmanagement erforderlich. Daher müssen diese Teile ebenfalls eigene Materialnummern beziehungsweise Materialversionen erhalten können. Durch die Erstellung einer Materialart mit eigenem Nummerkreis können diese Sonderfälle identifiziert werden. Alternativ kann ein Kennzeichen auf dem normalen Materialstamm eingeführt werden.

Für diese Sonderfälle ist eine eigene Logik zur Identifizierung der CAD-Modelle beziehungsweise der Zeichnung nötig. Während der Strukturauflösung sind folgende zusätzliche Prüfschritte durchzuführen:

1. Prüfe, ob der Materialnummer ein eigenes CAD-Modell zugewiesen ist.
2. Prüfe, ob die Materialnummer auf ein Spiegelteil verweist.
3. Prüfe, ob es einen Hinweis gibt, der auf die Geometrie einer anderen Sachnummer verweist.

**Ersatzgeometrien:** Je nach Verwendungszweck benötigt insbesondere die geometrische Absicherung unterschiedliche Darstellungen der Einzelteile und Baugruppen. Dieses sind Darstellungen in Extremlagen, veränderliche Geometrien flexibler Bauteile, Bewegungshüllen und Bewegungszustände:

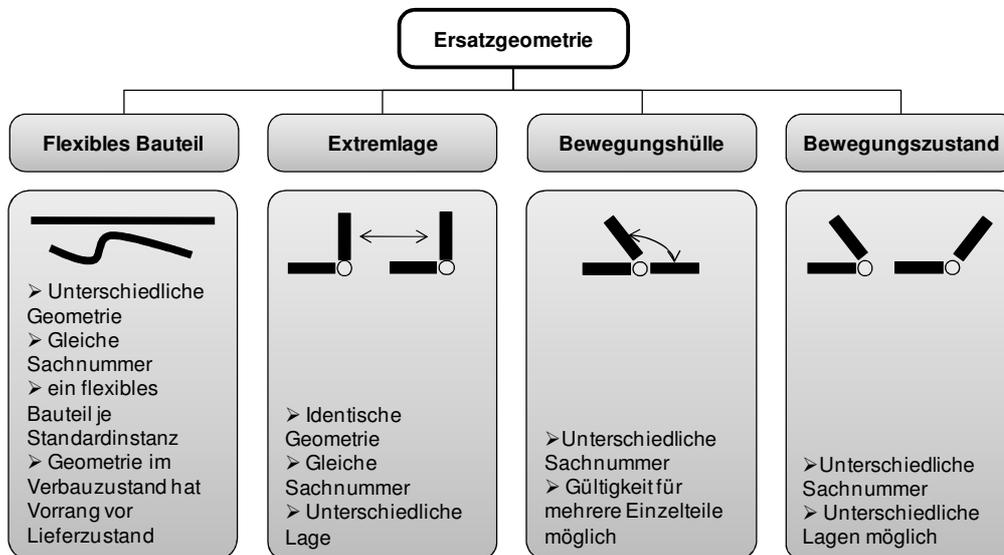


Abbildung 6-2: Ersatzgeometrie

*Flexible Bauteile:* Bei flexiblen Bauteilen (z.B. Schläuche, Leitungen) existieren für dieselbe Sachnummer unterschiedliche Geometrien. Das Bauteil wird im Lieferzustand erstellt und in diesem Zustand als CAD-Modell in der Produktstruktur verwaltet. Je nach Verbaulage ist jedoch eine lagespezifische Geometrie gültig, welche bei Ausleitungen die originäre Geometrie des Lieferzustandes ersetzen soll. Zusätzlich kann es auch für flexible Bauteile Extremlagen geben (z.B. Verkabelung eines Radsensors in unterschiedlichen Lenkausschlägen).

*Extremlagen:* Bei beweglichen Bauteilen ist es häufig, nötig diese in ihren Extremlagen darstellen zu können (z.B. Türen, Front- und Heckklappe). Die Extremlagen werden beispielsweise für Kollisionsuntersuchungen oder zur Untersuchung der Benutzerfreundlichkeit benötigt. Da die Bauteile sich in den jeweiligen Extremlagen nicht vom Original unterscheiden gibt es für Extremlagen keine eigene Sachnummer und kein neues CAD-Modell. Die Geometrie der Extremlage hat eine andere Lage im Fahrzeug als das Einzelteil (z.B. Drehung um eine Koordinatenachse) und benötigt daher eine eigene Instanz.

*Bewegungshüllen:* Das Reifenhüllgebirge für den Lenkausschlag im beladenen und unbeladenen Zustand stellt eine typische Bewegungshülle dar. Bewegungshüllen werden häufig für mehrere Einzelteile gleichzeitig angelegt. Dadurch entsteht ein Zuordnungsproblem, da die Bewegungshülle jedem der Einzelteile zugeordnet werden könnte (z.B. Rad oder Felge). Bewegungshüllen sind nicht freigaberelevant und verfügen daher auch nicht über Sachnummern sondern lediglich Identifizierungsnummern<sup>1</sup>. Damit ist es erforderlich, die Bewegungshülle unter einem eigenen Dokumenteninfosatz abzulegen und nicht unter dem Dokumenteninfosatz des Einzelteils. Auch erhält die Bewegungshülle eine eigene Instanz.

*Bewegungszustand:* Eine bewegliche Geometrie kann als Baukasten konzipiert und unter einer Materialnummer abgelegt werden. Dadurch ist die Geometrie selbst im Gegensatz zur

<sup>1</sup> Im SAP System werden jedoch beide Nummern über Materialnummern verwaltet. Sachnummern und Identifizierungsnummern können dabei über ihre Nummernkreise voneinander abgegrenzt werden.

Bewegungshülle eines Einzelteils flexibel (z.B. Abbildung eines Scharniers als eine Sachnummer). Auch der Bewegungszustand ist nicht freigaberelevant. Er wird unter einer Identifizierungsnummer abgelegt, verfügt über einen eigenen Dokumenteninfosatz und eine eigene Instanz.

Aus Sicht der Stammdatenverwaltung können beispielsweise Ersatzformate zum CA-Original gebündelt verwaltet werden. Sie sind immer mit der selben Sachnummer verbunden, besitzen daher z.B. dasselbe Gewicht und dieselben Instanzen. Über den Schlüssel aus Sachnummer, Zeichnungsindex und Alternative wird dieses Dokumentenbündel eindeutig identifiziert. In SAP werden sie durch Dokumenteninfosätze repräsentiert. Aus Sicht der Dokumentenverwaltung sind die unterschiedlichen Ersatzformate anforderungsgerecht bereitzustellen. Die Identifizierung des richtigen Dokumentes ist über den Schlüssel Sachnummer, Zeichnungsindex und Alternative nicht mehr ausreichend. Daher müssen die Dokumente über weitere Kennzeichen unterschieden werden können (z.B. durch Kennzeichnung der Formate, unterschiedliche Dokumententeile usw.).

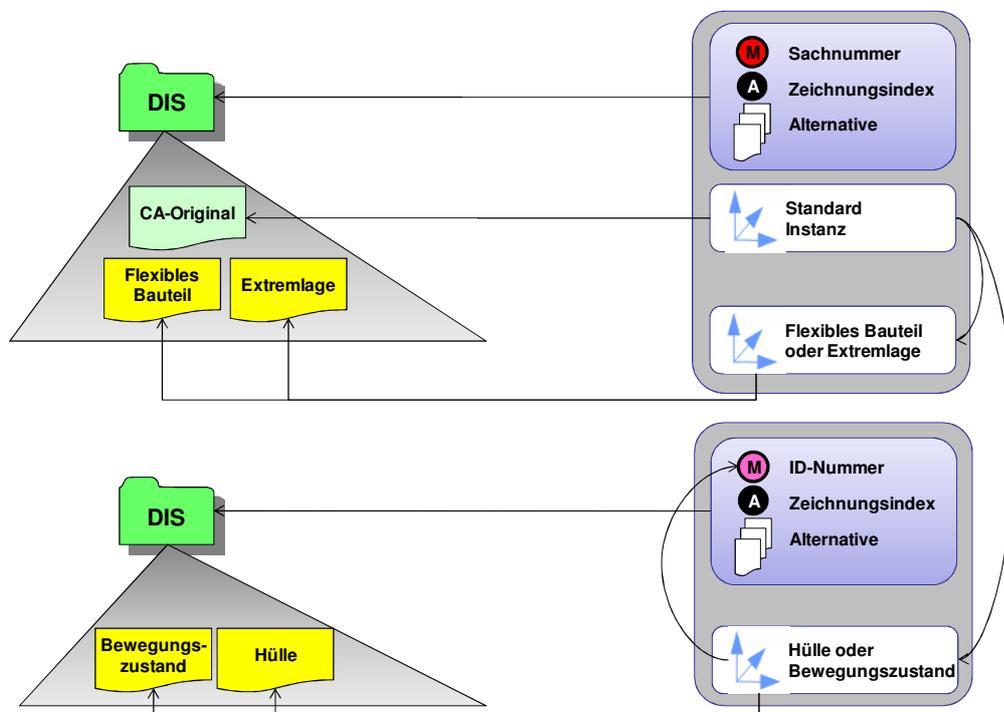


Abbildung 6-3: Auffinden von Ersatzgeometrien

Wird für flexible Geometrien der Schlüssel Sachnummer, Zeichnungsindex und Alternative zur Identifizierung des Dokumenteninfosatzes verwendet, so kann nicht zwischen lageabhängigen Geometrien unterschieden werden. Die Erweiterung des Schlüssels um ein weiteres Attribut, könnte dieses Problem zwar lösen, würde jedoch einen Ausnahmefall zum Standard erheben. Eine bessere Lösung stellt die Einführung eines eigenen Instanztypes für flexible Bauteile dar. Dieser wird durch die Standardinstanz aufgerufen, verweist dann jedoch nicht auf die Geometrie im unverbauten, sondern auf die Geometrie des verbauten Zustands. Diese erhält in der Ausleitung Priorität. Es muss dabei das entsprechende Dokument in der Dokumentenverwaltung identifiziert werden können. Somit sind Zusatzfelder zu dem Instanztyp erforderlich, die in dieser Situation den Zugriffsschlüssel vervollständigen und das Dokument über den Objektlink des Dokumenteninfosatzes identifizieren. Für Extremlagen kann die Lösung analog angewendet werden.

Bei Bewegungshüllen und –zuständen kann durch zusätzliche Instanztypen ebenfalls eine Lösung erzeugt werden. Hier zeigt die Referenz von der Standardinstanz jedoch zu der Instanz einer vorläufigen Sachnummer. Über den zugehörigen Dokumenteninfosatz werden dann diese Ersatzgeometrien gefunden.

## 6.2 Möglichkeiten zur Abbildung der Instanzenverwaltung

Es soll nachfolgend untersucht werden wie eine konfigurierbare Instanzenverwaltung basierend auf den Strukturierungsmöglichkeiten der iPPE, deren Standardfunktionalitäten und Customizing-Möglichkeiten realisiert werden könnte.

Unter Nutzung vorhandener Strukturbausteine der SAP iPPE sind zur Dokumentation der Verbindung zwischen Gestaltobjekt und zugehörigen Instanzen verschiedene Lösungen denkbar. Nachfolgend werden diese Lösungen anhand des Beispiels „Sound System“ dargestellt und bewertet:

1. Positionsvarianten-Split: Anlage einer Positionsvariante je Instanz und Dokumentation an dieser Positionsvariante.

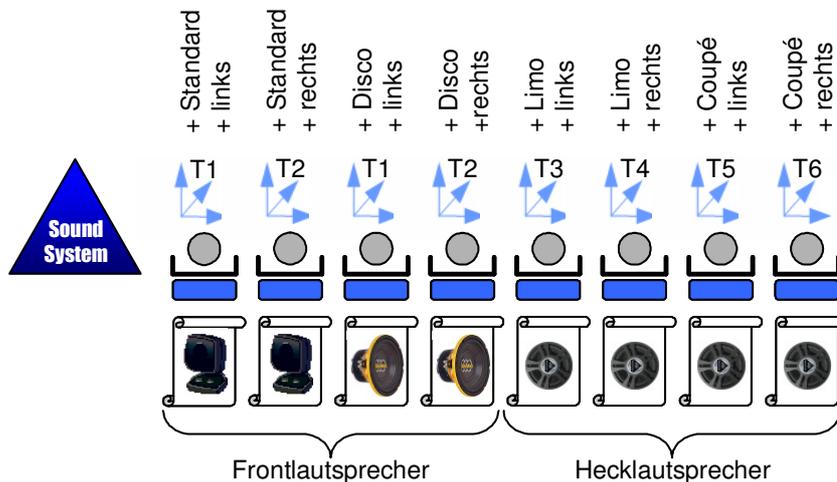


Abbildung 6-4: Positionsvarianten-Split

Der trivialste Fall zur Dokumentation von Instanzen in einer Produktvariantenstruktur ist die Anlage einer neuen Positionsvariante je Instanz. Ein Vorteil dieser Lösung ist die von der Produktstrukturgliederung unabhängige Bearbeitbarkeit der Verwendungsinstanzen. Wird ein neues Gestaltobjekt hinzugefügt oder entfernt so resultiert hieraus keine Strukturänderung. Es verändert sich lediglich die Anzahl der Positionsvarianten. Dadurch ist die Struktur flexibel erweiterbar. Weiterhin ermöglicht die Trennung von Struktur- und Instanzenverwaltung eine Aufteilung der Bearbeitungsaufgaben auf unterschiedliche Benutzerprofile und somit die Abgrenzung unterschiedlicher Verantwortungsbereiche.

Zur Bestimmung eines Gestaltobjektes und der im Kontext richtigen Instanz muss in dieser Lösung das gesamte Beziehungswissen an der Positionsvariante angeschrieben werden. Hierdurch kommt es zu einer Vermengung von Produkt- und Instanzbeziehungswissen. Der linke Frontlautsprecher wird für die „Disco“-Variante nur gefunden, wenn als Beziehungswissen sowohl „Disco“ als auch „links“ spezifiziert wird. Dabei ist das Merkmal „Disco“ jedoch allein zur Bestimmung des Gestaltobjektes und das Merkmal „links“ allein zur Bestimmung der Lage nötig. Durch diese Vermengung des Beziehungswissens werden das Anschreiben und das Interpretieren des Beziehungs-

wissens komplexer. Eine Aufgabenteilung wird erschwert. Der Konstrukteur muss als alleiniger Träger des Instanzwissens ein neues Geometrieelement inklusive des Produkt- und Instanzbeziehungswissens sowie der richtigen zeitlichen Gültigkeit veröffentlichen. Er muss daher zum Experten im Umgang mit Produktvariantenstrukturen werden, was von seiner Kerntätigkeit ablenkt.

Durch die Vermengung des Beziehungswissens wird außerdem auch eine Konsistenzprüfung unmöglich. Jede Konfiguration soll zwei Frontlautsprecher und zwei Hecklautsprecher beinhalten. In der Lösung über einen Positionsvarianten-Split kann als Menge an jeder Positionsvariante jedoch nur die Anzahl „eins“ hinterlegt werden. Die Information, dass je zwei Front- und zwei Hecklautsprecher gültig sein sollen, kann nicht als validierendes Wissen genutzt und die Konsistenz einer Fahrzeugkonfiguration somit auch nicht abgeprüft werden.

Weiterhin ist eine Synchronisation von Instanzen nicht möglich. Standard Frontlautsprecher und Disco Frontlautsprecher haben immer dieselbe Lage. Die Instanzinformation könnte daher zur Reduzierung von Datenredundanzen einmalig abgelegt und für beide Lautsprechervarianten referenziert werden. Die Ablage der Instanzinformation auf der Ebene der Positionsvariante verhindert diese Möglichkeit.

Die Produktvariantenstruktur wird extrem breit und unübersichtlich. Für jede Instanz ist eine eigene Positionsvariante zu pflegen, welches zu einer erhöhten Datenmenge führt.

2. Mehrstufige Produktvariantenstruktur: Ausmultiplizierung der Instanzen zu einer mehrstufigen Struktur und Dokumentation der Instanz am Produktstrukturknoten der unteren Ebene.

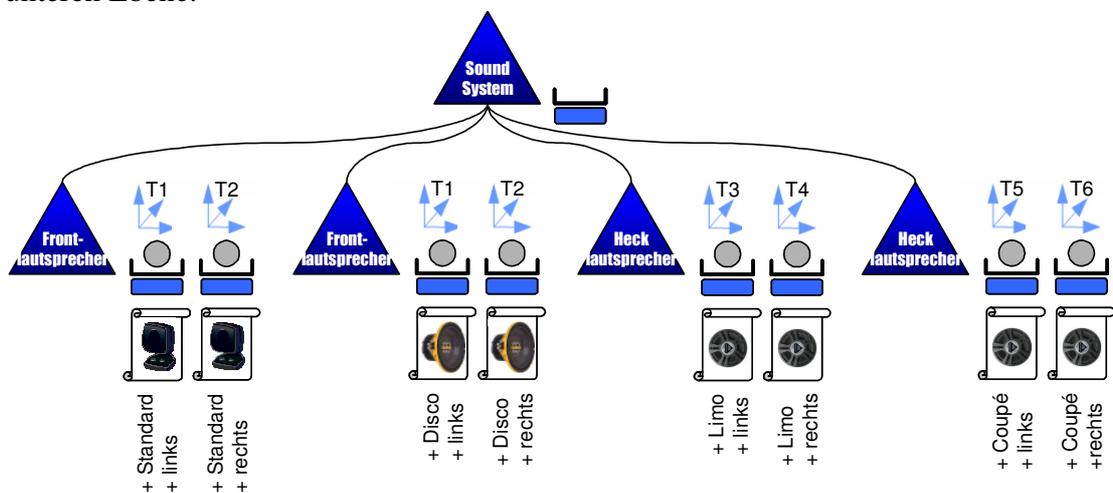


Abbildung 6-5: Mehrstufige Produktvariantenstruktur

Wie beim Positionsvarianten-Split kommt es auch hier zu einer Vermengung von Produkt- und Instanzbeziehungswissen mit den entsprechenden Nachteilen bezüglich Konsistenzprüfung und Synchronisation von Instanzen. Im Gegensatz zum Positionsvarianten-Split ist hier aber außerdem keine flexible Erweiterbarkeit möglich. Wenn ein neues Gestaltobjekt hinzugefügt oder entfernt wird, muss auch die Struktur geändert werden. Dadurch, dass für jede Sachnummer mindestens ein Knoten nötig ist, wird die Struktur zudem sehr tief und dadurch unübersichtlich.

3. Instanzenknoten: Anlage eines separaten Instanzenknotens und Ausprägung der Instanzen als Positionsvarianten dieses Knotens

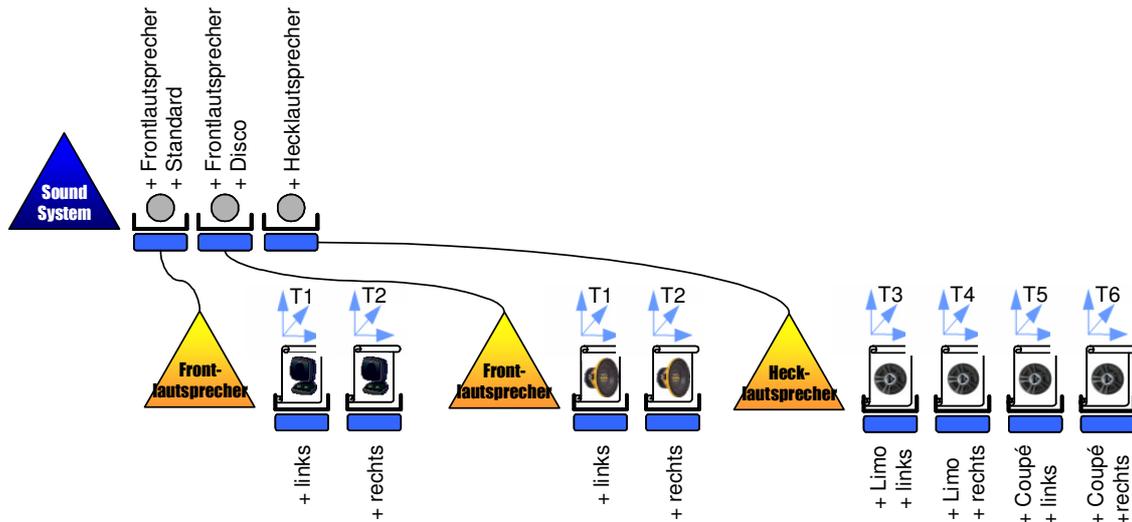


Abbildung 6-6: Instanzenknoten

Im Gegensatz zu den beiden vorherigen Lösungen tritt hier nicht das Problem der Vermengung von Produkt- und Instanzbeziehungswissen auf. Somit sind in dieser Lösungsalternative Konsistenzprüfungen und Synchronisation von Instanzen denkbar. Allerdings tritt hier wiederum das Problem der unflexiblen Erweiterbarkeit auf. Änderungen in der Strukturierung der Gestaltobjekte wirken sich auch auf die Strukturierung der Instanzen aus. Zudem ist auch diese Produktvariantenstruktur unübersichtlich. Die zusätzliche Dokumentationsebene resultiert auch hier in einer tiefen Struktur.

In den dargestellten Lösungen können bestehende Logiken der SAP Produktstrukturverwaltung wie Konfiguration, Verknüpfung von Dokumenten, Texten usw. genutzt werden. Hierdurch ergibt sich jedoch auch ein Nachteil. Dadurch dass die Instanzdaten in denselben Datenstrukturen gehalten werden wie die Daten der Geometrieverwaltung, könnte dieses Vorgehen zu Lasten einer guten Systemperformance gehen. Darüber hinaus erfüllen die obigen Lösungen nicht die Anforderungen, wie sie an die Instanzenverwaltung gestellt wurden. Besonders der Positionsvarianten-Split und die Mehrstufige Produktvariantenstruktur weisen durch die Vermengung des Geometrie- und Instanzbeziehungswissens erhebliche Nachteile auf.

Es soll daher eine andere Alternative zur Dokumentation der Instanzinformation aufgezeigt werden. Diese Alternative liegt in der Erweiterung des Datenmodells um einen speziellen Bereich, der ausschließlich der Instanzenverwaltung dienen soll: einer Instanzentabelle.

Instanzentabelle: Anlage einer Instanzentabelle je Positionsvariante und Dokumentation der Instanzen in dieser Tabelle.

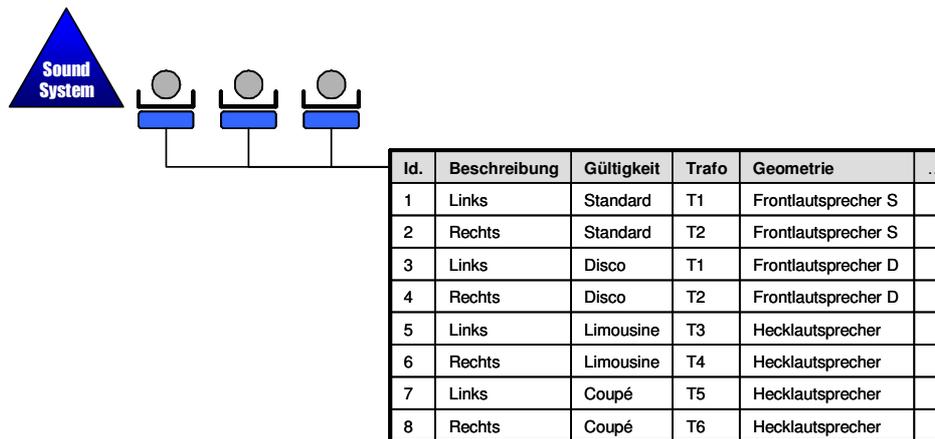


Abbildung 6-7: Instanzen-tabelle

Die Lösung als Instanzen-tabelle kann nicht auf den Funktionalitäten der iPPE aufsetzen. Sie birgt jedoch eine Reihe von Vorteilen gegenüber den bisher dargestellten Lösungen. Die Instanzenverwaltung ist durch die Verwendung der Instanzen-tabelle weitestgehend von den anderen Bereichen der Produktstruktur getrennt. Es herrscht eine klare Trennung der Verwaltung von stücklisten- und lagerelevanten Merkmalen vor. Dadurch bietet die Lösung als Instanzen-tabelle relativ große Freiheitsgrade zur Abbildung unternehmensspezifischer Gegebenheiten und eine gute Möglichkeit zur Verteilung von Aufgaben und Schreibrechten. Zudem ist die Lösung über eine Instanzen-tabelle durch eine große Übersichtlichkeit charakterisiert. Konsistenzprüfungen und Synchronisation von Instanzen sind gut realisierbar. Weiterhin findet keine „Verschmutzung“ der SAP Struktur durch Mehrfachinstanzen statt.

Bei Gesamtbetrachtung aller Vor- und Nachteile stellt sich die Lösung über eine Instanzen-tabelle als die geeignetste dar. Sie wird als bevorzugte Alternative zur Verwaltung von Instanzinformationen im weiteren Verlauf näher untersucht.

### 6.2.1 Verknüpfung der Instanzen-tabelle mit der Produktvariantenstruktur

Die Instanzen-tabelle kann über verschiedene Objekte in die Struktur eingebunden werden. Als Objekte sind dabei Knoten, unhistorischer Stand einer Positionsvariante, historischer Stand einer Positionsvariante, Kopf-Material oder Materialversion denkbar. Nachfolgend sind diese Lösungen dargestellt:



einem Gestaltobjekt veröffentlicht. Die Instanzgültigkeit könnte daher auch als eine Verfeinerung der Geometriegültigkeit verstanden werden. Die Instanz müsste dann an den historischen Stand der Positionsvariante verknüpft werden (Fall 2).

Zur Untersuchung wie die Koppelung an die Positionsvariante ausgestaltet sein sollte, werden einige Bearbeitungsfälle definiert, die für beide Lösungsvarianten durchlaufen und nachfolgend bewertet werden. Die Bearbeitungsfälle sollen die wesentlichen Aktionen im Zusammenspiel zwischen Geometrieverwaltung und Instanzenverwaltung abdecken<sup>1</sup>. Hierfür werden folgende Fälle betrachtet:

1. **Änderung auf der Ebene der Positionsvariante:**  
Bei einer administrativen Änderung an der Positionsvariante, wie z.B. einer Änderung der zeitlichen Gültigkeit oder der Änderung einer vorläufigen auf eine scharfe Sachnummer erhält die Positionsvariante einen neuen historischen Stand. Im Fall 1 hängen die Instanzen jedoch am unhistorischen Stand der Positionsvariante und bleiben daher unverändert. Im Fall 2 müssen die Instanzen an den neuen historischen Stand übertragen werden. Die Instanzen selbst bleiben dabei wiederum unverändert. Demzufolge ist im Fall einer administrativen Änderung an der Positionsvariante der Änderungsaufwand bei einer Koppelung an den historischen Stand größer. Zudem entsteht hierbei ein höheres Datenvolumen, da auch die Instanzdaten in Folge der administrativen Änderung historisiert werden müssen.
2. **Änderung auf der Ebene der Instanz:**  
Änderungen auf der Instanzenebene ergeben sich bei Lageänderungen oder Änderungen der Lagegültigkeit. Unabhängig davon, ob die Änderung historisierend oder überschreibend durchgeführt wird, hat es der Konstrukteur im Fall 1 einfacher. Er kann hier an den unhistorischen Stand veröffentlichen. Im Fall 2 muss er zunächst prüfen, an welchen historischen Stand der Positionsvariante er die neuen Instanzen veröffentlichen muss. Dabei muss er die Gültigkeit der Positionsvariante auswerten.
3. **Gleichzeitige Änderung an der Positionsvariante und der Instanz:**  
Eine gleichzeitige Änderung der Positionsvariante und der Instanz ergibt sich beim Hinzufügen oder Entfernen einer Instanz. Dies geht mit einer Mengenänderung an der Positionsvariante einher. Hierbei wird die Positionsvariante zumeist auch historisiert. Damit treffen auch für diesen Fall die Nachteile der administrativen Änderung zu. Die Instanzdaten müssen wiederum an den neuen Stand der Positionsvariante kopiert werden.

Vorteilhaft am Fall 2 bleibt die direkte Darstellung der zu einem historischen Stand gehörenden Instanzen, welche sich im Fall 1 erst durch die Auswertung der zeitlichen und geometrischen Gültigkeit ergibt. Vorteilhaft für Fall 2 ist auch, dass das Objekt der historischen Positionsvariante im SAP Standard vorhanden ist. Für Fall 1 muss die Struktur erst um das Objekt der unhistorischen Positionsvariante erweitert werden. Die laufenden Aufwände zur Durchführung von Änderungen sind jedoch wichtiger zu bewerten. Hier bietet Fall 1 deutliche Vorteile. In der Summe überwiegen daher die Vorteile der unhistorischen Kopplung. Die unhistorische Kopplung wird daher dem Datenmodell zugrunde gelegt.

### **6.2.3 Instanzentabelle**

Mit der Festlegung zur Kopplung der Instanzentabelle an den unhistorischen Stand der Positionsvariante kann nun auch der Zugriffsschlüssel auf die Tabelle definiert werden. Daher soll nachfolgend der Inhalt der Instanzentabelle detailliert werden.

---

<sup>1</sup> Die Koppelung an den historischen oder unhistorischen Stand einer Positionsvariante befindet sich unterhalb der Strukturebene, so dass diese hier auch nicht mit betrachtet werden braucht.

Zugriffsschlüssel

ID	Positions-variante	Instanz Änderungs-nummer	Instanz BZW	Instanz-benennung	Trafo	Dokumenten-infosatz (DIS)	Flexibles Bauteil	DIS Ersatz-geometrie	Bounding-Box	Trägheits-tensor
1	0010	I-Team	kurz	vorne links	T1	Objekt-verknüpfung	nein	Objekt-verknüpfung	B*H*T	I [kgm <sup>2</sup> ]
2	0010	I-Team	kurz	vorne recht	T2	Objekt-verknüpfung	nein	Objekt-verknüpfung	B*H*T	I [kgm <sup>2</sup> ]
3	0010	I-Team	kurz	hinten links	T3	Objekt-verknüpfung	nein	Objekt-verknüpfung	B*H*T	I [kgm <sup>2</sup> ]
4	0010	I-Team	kurz	hinten rechts	T4	Objekt-verknüpfung	nein	Objekt-verknüpfung	B*H*T	I [kgm <sup>2</sup> ]
5	0020	I-Team	kurz	mitte	T5	Objekt-verknüpfung	nein	Objekt-verknüpfung	B*H*T	I [kgm <sup>2</sup> ]

Automatisch
Auswahl
Manuelle Pflege

Abbildung 6-9: Instanztabelle

Durch die Kopplung an die unhistorische Positionsvariante sind auch die zeitlichen Gültigkeiten von Geometrie und Instanz getrennt worden. Wie in den Anforderungen formuliert kann die Instanz somit über ein eigenes Änderungsmanagement gesteuert werden. Hierzu muss der jeweilige Änderungsstand an der Instanz mitgeführt werden. Die Änderungsnummer ist damit ein Bestandteil der Instanztabelle und gleichzeitig ein Schlüsselfeld zur Identifizierung der Instanzzeilen innerhalb der Instanztabelle. Neben der Änderungsnummer muss auch die Positionsvariante, für die die Instanz gültig sein soll, mit in den Zugriffsschlüssel aufgenommen werden. Als drittes Element erweitert das Instanzbeziehungswissen den Zugriffsschlüssel. Damit ist die einzelne Instanz innerhalb der Tabelle jedoch noch nicht eindeutig identifizierbar. Es können hier immernoch mehrere Instanzen gefunden werden. Zur eindeutigen Identifizierung einer Instanz muss diese zusätzlich einen Identifier bekommen. Alle anderen Felder der Instanztabelle werden durch Instanzattribute gefüllt, die entweder automatisch oder manuell während der Veröffentlichung befüllt werden. Diese können je nach firmenspezifischen Anforderungen unterschiedlich definiert werden. Im vorliegenden Fall wurde neben den bereits dargestellten Attributen der Trägheitstensor als weiteres Instanzattribut definiert. Er gibt die Trägheit eines Körpers gegenüber einer Änderung der Rotationsbewegung an und beschreibt somit den Einfluss der jeweiligen Geometrie auf die Trägheit des Gesamtfahrzeuges. Unter der Annahme einer homogenen Massenverteilung ist er sowohl von der relativen Lage zur Rotationsachse als auch von dem Gewicht des Objektes abhängig. Ist das Gewicht des Objektes noch nicht bekannt, kann der Trägheitstensor nur als Multiplikator in der Tabelle mit aufgenommen werden.

Die Instanztabelle muss in das Datenmodell der iPE eingefügt werden. Dafür müssen die Verbindungen zwischen den Datenbanktabellen für Knoten, Positionsvarianten, Materialversion, Instanzen, Änderungsnummern usw. entsprechend gestaltet werden. Nachfolgend ist das SAP Datenmodell der BMW AG stark vereinfacht dargestellt. Jeder Block repräsentiert eine Datenbanktabelle. Die Pfeile geben an, dass Felder der Starttabelle für den Zugriff auf die Zieltabelle verwendet werden.

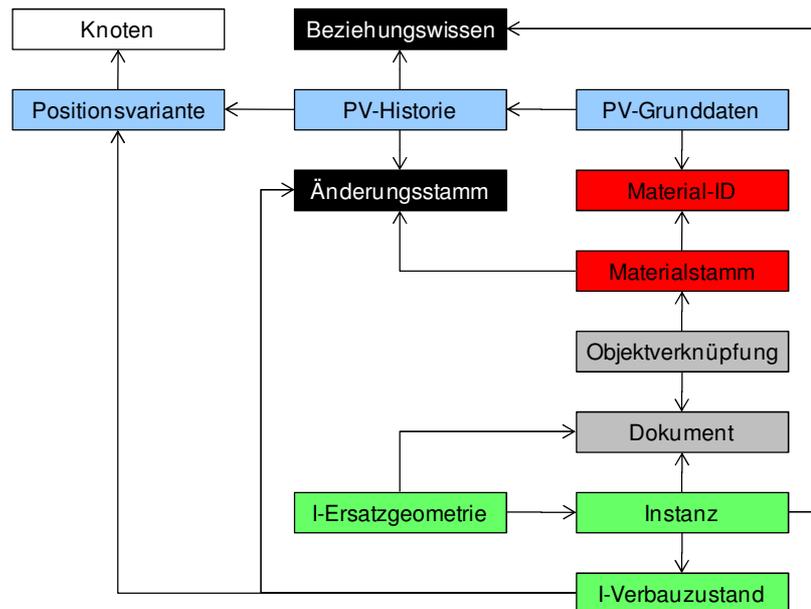


Abbildung 6-10: Vereinfachtes SAP Datenmodell der BMW AG

Der Dokumenteninfosatz bzw. das Dokument wird in diesem Datenmodell zunächst über die Positionsvariante und das Material gefunden. Für Ersatzgeometrien wird zusätzlich über die Positionsvariante und die Instanz nach einem gültigen Dokumenten gesucht. Dieser doppelte Suchpfad ist nötig, um sowohl das Auffinden von instanzabhängigen Ersatzgeometrien als auch das Auffinden von Dokumenteninfosätzen ohne Instanzen zu ermöglichen.

Die folgende Abbildung gibt einen zusammenfassenden Überblick über die Einbindung der Instanzenverwaltung in die Produktstruktur der SAP AG:

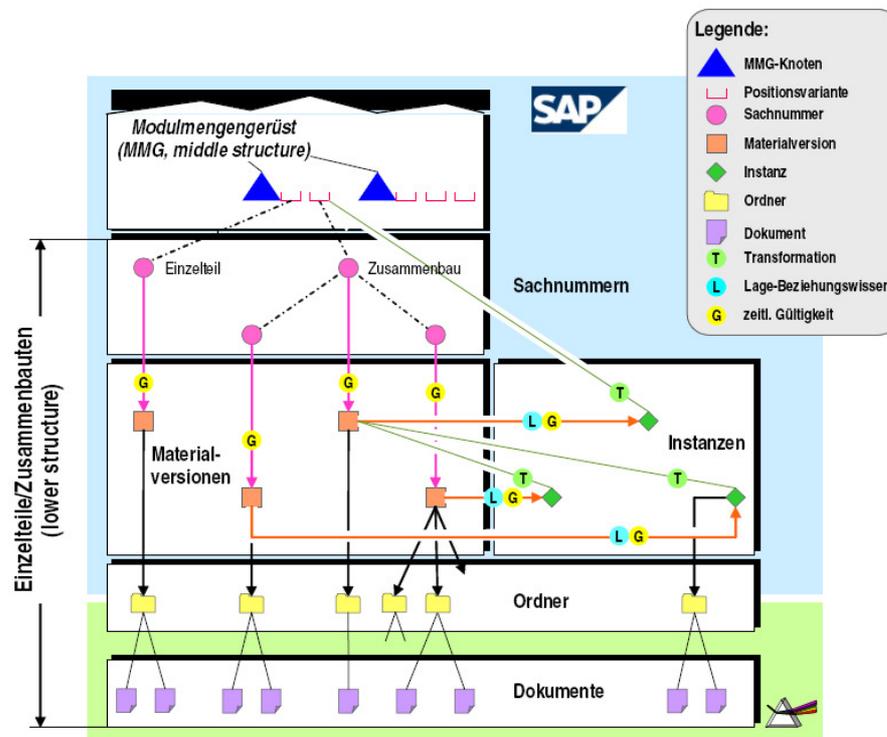


Abbildung 6-11: Einbindung der Instanzenverwaltung in die Produktstruktur

### 6.3 Auflösungspfad

Die Produktvariantenstruktur ist eine Maximalstruktur, die alle Produktkonfigurationen enthält. Die Ausleitung einer bestimmten Konfiguration wird durch die Filterung der Produktstruktur vorbereitet. Hierzu muss mindestens eine Gültigkeitsbewertung und eine Merkmalsbewertung durchgeführt werden. Durch die Gültigkeitsbewertung werden alle historischen Stände, die nicht der gesetzten Gültigkeit entsprechen, ausgefiltert. Durch die Merkmalsbewertung werden alle Varianten, die nicht der gesetzten Merkmalsbewertung entsprechen, ausgefiltert. Als Ergebnis sollte bei einer konsistent und vollständig gepflegten Produktstruktur die aktuelle Variante eines Fahrzeugs ausgefiltert werden. Hierüber hinaus kann während der Auflösung bestimmt werden, wie beziehungsweise welche Dokumente dieser Fahrzeugkonfiguration ausgeleitet werden sollen.

Dabei kann zum einen bestimmt werden, ob der letzte freigegebene Dokumentenstand oder der neueste konstruktive Stand ausgeleitet werden soll. Zudem können Festlegungen zur Ausleitung von Bewegungszuständen, Extremlagen und Bewegungshüllen gesetzt werden und das entsprechende Ersatzformat des Dokumentes vorgewählt werden (z.B. CGR, VRML, JT).

Den Auflösungspfad gibt die folgende Darstellung wieder:

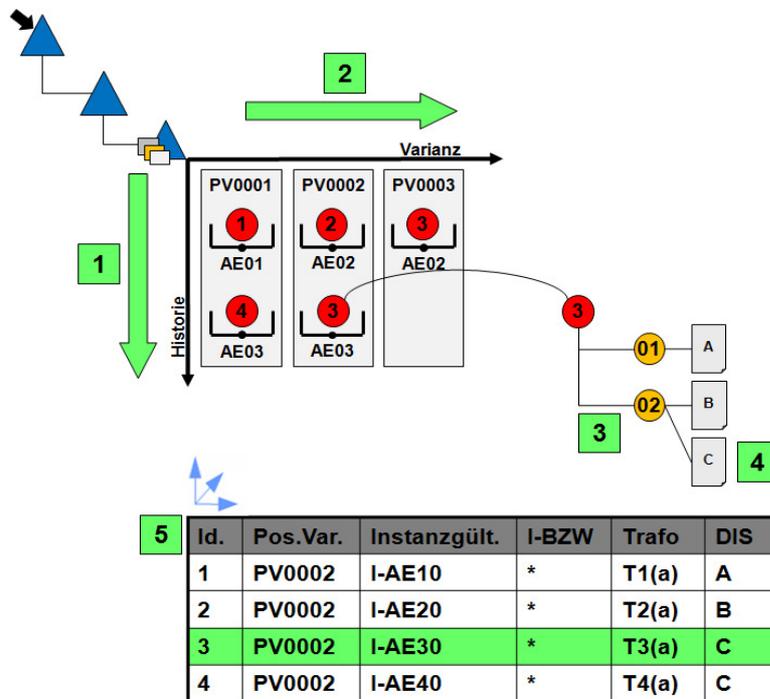


Abbildung 6-12: Auflösungspfad bei der Strukturfilterung

1. Mit der zeitlichen, administrativen und parametrischen Gültigkeitsbewertung werden alle Strukturelemente ausgefiltert, die nicht den Gültigkeitswerten entsprechen. Wird ein übergeordnetes Strukturelement als ungültig erkannt, werden diesem Elemente untergeordnete Strukturelemente nicht weiter ausgewertet. Als Ergebnis des ersten Filterungsschrittes liegt eine gültige Struktur vor. Die Änderungsnummer wird während dieses ersten Schrittes in folgender Sequenz ausgewertet:
  - a. Verifizierung aller zeitlich gültigen Änderungsstände: Im ersten Schritt werden alle die Änderungszeilen eliminiert, die zum Filterdatum nicht gültig sind (bei in der Regel offenen Datumsintervallen also alle zukünftigen Stände).
  - b. Verifizierung der Parameterwerte aus dem Filter: Im zweiten Schritt werden all die Änderungszeilen eliminiert, deren Parameterwerte nicht mit den Filterwerten kor-

- respondieren. Werte die mit \* angeschrieben sind, gelten hierbei als Platzhalter und führen zunächst zu gültigen Treffern.
- Priorisierung der speziellen Gültigkeiten vor den allgemeinen: Im dritten Schritt werden all die Änderungszeilen bevorzugt, deren Parameterwerte spezieller sind als andere. Ein Zeile mit einem explizit spezifizierten Derivat wird folglich einer allgemeingültigen mit \* angeschriebenen Zeile vorgezogen. Weniger spezielle Änderungszeilen werden eliminiert.
  - Priorisierung der kleineren Statuswerte: Im vierten Schritt werden all die Änderungszeilen bevorzugt, deren Statuswert kleiner ist als der anderer. Damit ist gewährleistet, dass eine Teamänderungsnummer mit niedrigem Status und früherem Gültigkeitsdatum einer Änderungsnummer mit späterem Gültigkeitsdatum vorgezogen wird. Änderungszeilen mit höherem Status werden eliminiert. Dieser Schritt wird nur ausgeführt, wenn im Filter ein Statuswert gesetzt wurde.
  - Priorisierung der zeitlich letztgültigen Änderungsstände: Im fünften Schritt werden all die Änderungszeilen bevorzugt, die später einsetzen als andere. Änderungszeilen mit älterem Datum werden eliminiert.
  - Priorisierung der Historienreihenfolge der Positionsvarianten: Im sechsten Schritt werden all die Änderungszeilen bevorzugt, die zu einer jüngeren Positionshistorie gehören als andere. Änderungszeilen älterer Positionshistorien werden eliminiert.
  - Verifizierung des Ungültig-Kennzeichen: Im siebten Schritt wird geprüft, ob bei der gefundenen Zeile das Ungültig-Kennzeichen gesetzt ist. Ist dies der Fall, wird die Zeile nicht ausgegeben, sonst schon.

1

Filterwerte						
Datum	Gültig bis	Lösch-Kz.	Status	Derivat	Bauphase	Bed.Träg.
6.6.2007	-	-		D01	BP01	

Änderungsnummer an der Positionsvariante (bzw. Materialversion / Instanz)								
Pos.Var.	Änd.Nr.	Gültig ab	Gültig bis	Lösch-Kz.	Status	Derivat	Bauphase	Bed.Träg.
PV0010	AE0001	1.1.2007	-	-	11	* <b>c</b>	*	*
PV0010	AE0002	2.2.2007	-	-	13	* <b>c</b>	*	*
	AE0002	2.2.2007	<b>e</b>	-	13	D01	BP01	*
	AE0002	2.2.2007	-	-	13	<b>d</b>	BP01	*
PV0010	AE0003	4.2007	-	-	11	D01	BP01	*
	AE0003	4.4.2006	-	-	11	D02 <b>b</b>	BP01	*
PV0010	AE0004	6.6.2007	-	-	11	D01	BP01	*
	AE0004	4.4.2007	-	-	11	D02 <b>b</b>	BP01	XYZ123
	AE0004	6.6.2007	-	X	11	D01	BP01	*
PV0010	AE0005	1.1.2008	<b>a</b>	-	10	D01	BP01	

Abbildung 6-13: Auflösung der Änderungsnummer an der Positionsvariante

- Die Merkmalsbewertung wird mit dem gepflegten Beziehungswissen an der Produktvariantenstruktur verglichen. Alle Strukturelemente, die nicht der Merkmalsbewertung entsprechen, werden ausgefiltert. Als Ergebnis liegt nun eine gültige Struktur mit der richtigen Varianz vor.

3. Ausgehend vom Kopfmaterial der jeweiligen Positionsvariante wird mit der zeitlichen, administrativen und parametrischen Gültigkeitsbewertung nach der gültigen Materialversion gefiltert. Hierbei wird die Änderungsnummer wie im ersten Schritt ausgewertet. Im Gegensatz zur Positionsvariante werden hier bei gesetztem Ungültigkeitskennzeichen andere Materialversionen berücksichtigt und die Suche nicht ohne Filterergebnis abgebrochen.
4. In Abhängigkeit davon, ob nach dem letzten freigegebenen Stand oder dem neuesten konstruktiven Stand gefiltert werden soll, wird der gültige Dokumenteninfosatz der Materialversion identifiziert. Gleichzeitig werden auch die Indikatoren zur Bestimmung der auszuleitenden Alternativen und des Dokumentenformates ausgewertet.
5. Zum gültigen Dokument wird die gültige Lage ermittelt. Hierfür wird mit der zeitlichen, administrativen und parametrischen Gültigkeitsbewertung (analog zu oben) und dann mit der Merkmalsbewertung die richtige Lage identifiziert. Verweist die Standardinstanz auf eine Ersatzgeometrie, wird diese unter Berücksichtigung der Ausleitungsoptionen über die jeweilige referenzierte Instanz ausgefiltert. Als Ergebnis liegt eine gültige Produktstruktur mit der gültigen Varianz mit den richtigen Materialversionen und Dokumenten in der richtigen Lage vor.

Soll nicht die gesamte Produktstruktur gefiltert, sondern die aktuelle Geometrie des Gestaltobjektes weiter bearbeitet werden, verläuft der Prozess analog. Über den Objektlink des Dokumenteninfosatzes kann das entsprechende Dokument in der Dokumentenverwaltung aufgerufen werden. Über das Bauteil wird in der Dokumentenverwaltung die zugehörige versionierte Arbeitsstruktur identifiziert. Die Arbeitsstruktur wird im jeweiligen CAD-System geöffnet. Die Bauteile werden dabei lagerichtig aufgelöst.

## 7 Validierung und Anwendung der Methoden

„Prüfungen sind deshalb so unerträglich, weil der größte Dummkopf mehr fragen kann, als der gescheiteste Mensch zu beantworten vermag.“

*Charles Caleb Colton (engl. Aphoristiker u. Essayist, 1780-1832)*

### 7.1 Vorgehen zur Validierung der Lösungsansätze

Die für das Instanzenmanagement entwickelten Methoden sowie das beschriebene Datenmodell werden im Folgenden am Beispiel validiert. Es soll der Produktentwicklungsprozess von der frühen Phase der Konstruktion bis hin zur Freigabe beispielhaft an einem Entwicklungsszenario betrachtet werden. Für das Szenario wird das Soundsystem im Fahrzeug gewählt. Im Fokus des Szenarios steht der Fachbereichsknoten „Soundsystem“ der Produktstruktur, an dem im Zuge der Entwicklung die entsprechenden Umfänge veröffentlicht werden. Den Anforderungen der Methodenentwicklung folgend soll es sich bei betrachteten Umfängen, um Komponenten handeln, die im Fahrzeug in unterschiedlichen Varianten, Verwendungsstellen und Lagen vorkommen. Das Soundsystem erfüllt diese Anforderungen. Es bietet durch den Einsatz unterschiedlicher Lautsprechersysteme eine ausreichende Teilevarianz und in Abhängigkeit der Fahrzeugausführung eine hohe Lagevarianz. Je nach Ausstattungsvariante des Fahrzeugs werden unterschiedliche Teilevarianten in unterschiedlicher Anzahl an unterschiedlichen Verwendungen verbaut. Somit kann das Zusammenspiel aus Produktkonfiguration und Lagekonfiguration veranschaulicht werden. Der Ablauf der Szenarios ist in Tabellenform dargestellt:

Nr.	Validierungsschritt	Validierungsziel
1	Initiale Veröffentlichung von 2 Front- und 2 Hecklautsprechern	Design im Kontext, Veröffentlichungsprozess, Abbildung der Instanzen in der Produktstruktur, Verbindung zwischen Arbeitsstruktur und Produktstruktur
2	Unhistorische Lageänderung und Freigabe	Kontextaktualisierung, Änderungsprozess für Instanzen, Erhöhung des Änderungsindices und einer neuen Materialversionen durch die Freigabe, Umhängen des Dokumenteninfosatzes an die neue Materialversion, Änderungsnummerntausch, Identifizierung des neuesten konstruktiven und letzten freigegebenen Standes
3	Historische Lageänderung	Kontextaktualisierung, Änderungsprozess für Instanzen, Arbeiten mit Änderungsnummern, Unabhängigkeit zwischen Struktur, Objekt und Instanz
4	Einführung der Langversion	Lagekonfiguration, Beziehungswissen für Instanz und Objekt, Umgang mit allgemein angeschriebenen Beziehungswissen
5	Konstruktion und Veröffentlichung Subwoofer	Produktkonfiguration, Umgang mit Zusammenbauten
6	Ausleitung eines Baustandes	Filterung der Produktstruktur für einen Baustand

7	Konsistenz an der Instanz	Prüfung der lokalen Konsistenz an der Instanz, Prüfung der Positionierungskonsistenz
---	---------------------------	--

Das folgende Schaubild bildet den Prozess (Schritte 1-5) zur besseren Übersichtlichkeit ab.

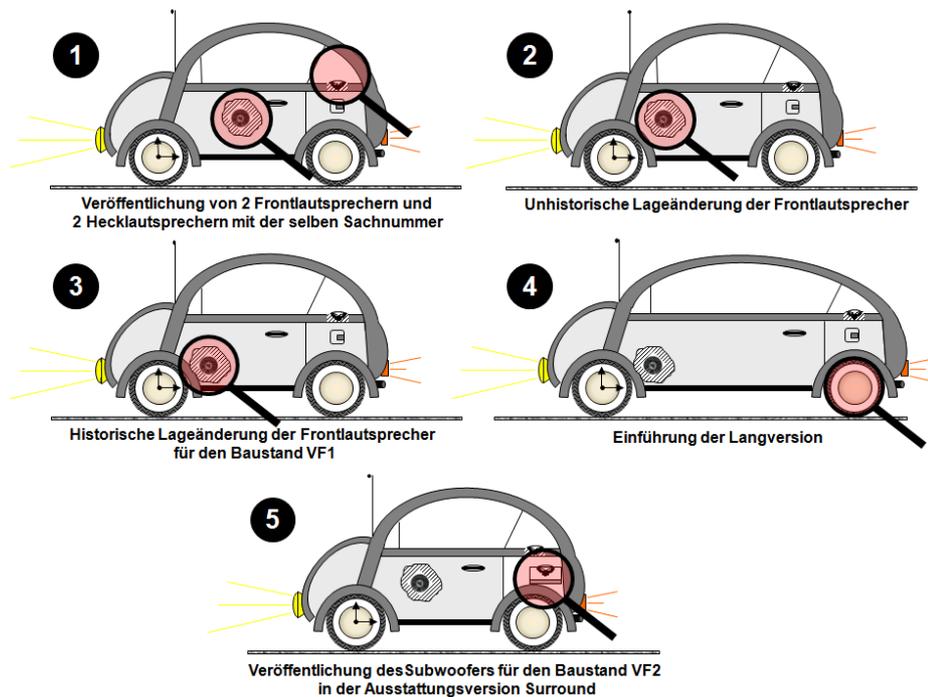


Abbildung 7-1: Überblick über das Validierungsszenario

Um auch den Methodeneinsatz beim Arbeiten mit Zusammenbauten abzudecken, wird ein Subwoofer in das Soundsystem integriert. Die Prozessschritte und Validierungsziele werden im Zuge des jeweiligen Validierungsschrittes im Folgenden detaillierter erläutert.

## 7.2 Validierung des Methodeneinsatzes

### Ausgangssituation:

Als gegeben wird angenommen, dass der Anforderungs- und Beauftragungsprozess abgeschlossen ist. Damit liegt bereits ein abgestimmtes Konzeptmengengerüst vor. Es beauftragt das Modulteam *Multimedia* mit der Konstruktion eines *Soundsystems* für die Limousine. Es sollen zukünftig die Ausstattungsvarianten *Standard*, *Surround* und *High-End* angeboten werden. Für die beiden Frontlautsprecher und die beiden Hecklautsprecher soll jeweils der *1-Weg-Lautsprecher L01* verbaut werden.

Der Lautsprecher L01 liegt bereits fertig auskonstruiert im PDM-System vor. Das CAD-File mit dem CAD-Part liegt in der *Version A* vor und hat den Reifegrad *Konzeptstand (KONZ)*. Auch eine Arbeitsstruktur *P12345* wurde als CADProduct zur späteren Positionierung der Lautsprecher im Fahrzeugkontext in der *Version A* und mit dem Reifegrad *Konzeptstand (KONZ)* im PDM-System abgespeichert.

Der Strukturverantwortliche für das Modulmengengerüst hat im Auftrag des Modulteams *Multimedia* bereits einen Fachbereichsknoten *Lautsprecheranlage* im Modulmengengerüst angelegt. Dieser enthält eine Positionsvariante *PV00010*, an dem das Material *L01* gepflegt und für den als Beziehungswissen *für alle (\*)* angeschrieben wurde. Die Positionsvariante hat

der Strukturverantwortliche für das Modulmengengerüst bereits über den Lösungsraum mit der entsprechenden Positionsvariante des Konzeptmengengerüsts verknüpft.

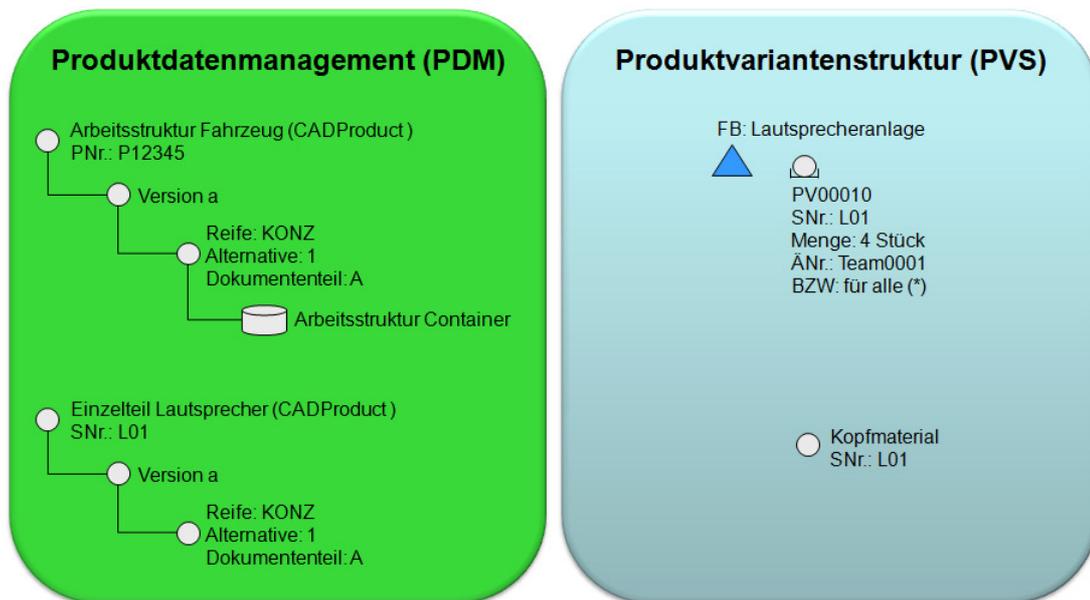


Abbildung 7-2: Ausgangssituation Soundsystem

Zur Vorbereitung des Modulmengengerüsts hat der Strukturverantwortliche die Teamänderungsnummer *Team001* verwendet. Außerdem hat er für die Erstveröffentlichung die Instanzenänderungsnummer *I-Team001* mit derselben Gültigkeit angelegt. Diese teilt er dem verantwortlichen Konstrukteur mit. Beide Teamänderungsnummern haben ein Gültig-ab-Datum für den *01.01.2008*. Die Instanzenänderungsnummer *I-Team0002* gilt nur für das Derivat *XY1* im Baustand *Virtuelles Fahrzeug 1 (VF1)* und ist ab dem *01.03.2008* gültig.

Änd.Nr.	Gültig ab	Gültig bis	Lösch-Kz.	Status	Derivat	Bauphase	Bed.Träg.
Team0001	01.01.2008	-	-	Offen	*	*	*
I-Team0001	01.01.2008	-	-	Offen	*	*	*
I-Team0002	01.03.2008	-	-	Offen	XY1	VF1	*

Abbildung 7-3: Vorbereitete Änderungsnummern

### 1) Erstveröffentlichung:

Zur Positionierung der Lautsprecher lädt sich der verantwortliche Konstrukteur die Arbeitsstruktur *P12345* sowie die Lautsprecher *L01* aus dem PDM-System in sein CAD-System. Es wird angenommen, dass er sich die Arbeitsstruktur bereits im Vorfeld über eine Bauraumsuche erstellt hat. Die Arbeitsstruktur enthält die Bauräume der Lautsprecher und bildet für die Frontlautsprecher, die Fahrertüren und für die Hecklautsprecher den Kofferraumbereich mit allen notwendigen Anbauteilen ab. Sie enthält zusätzlich ein Adaptermodell der Lautsprecherhalterung. Der Konstrukteur positioniert den Lautsprecher *L01* nun in seinen vier Verwendungen entsprechend des Kontextes.

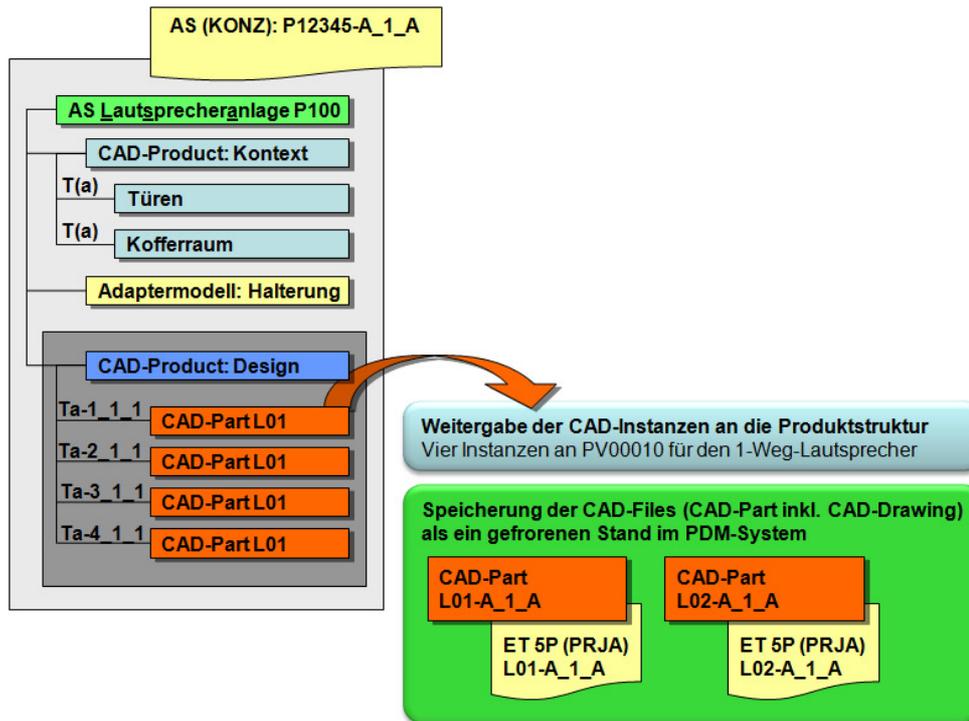


Abbildung 7-4: Veröffentlichung der Verwendungsinstanzen

Der Veröffentlichungsprozess vollzieht sich in den in Kapitel 5.9.1 *Veröffentlichungsprozess* dargestellten Schritten. Der Konstrukteur macht eine Mehrfachauswahl und markiert den Lautsprecher *L01* in seinen vier Verwendungen. Dann startet er den Veröffentlichungsprozess aus dem CAD-System heraus. Durch Navigieren in der Produktstruktur, Angabe der Positionsvariante oder Suche über die Materialnummer identifiziert er die Positionsvariante des Fachbereichsknotens *Lautsprecheranlage*. Im nächsten Schritt wählt der Konstrukteur die Änderungsnummer *I-Team001* aus. Diese ist ihm entweder bekannt oder er sucht sie über Matchcodes. Er benennt dann die Instanzen mit den Bezeichnungen *Frontlautsprecher links*, *Frontlautsprecher rechts*, *Hecklautsprecher links* und *Hecklautsprecher rechts*. Die Pflege des Lagebeziehungswissens ist in diesem Fall nicht nötig, da die Instanzen keine Lagekonfiguration benötigen. Der Konstrukteur beendet die Veröffentlichung.

Im Zuge der Veröffentlichung werden die vier Verwendungen des Lautsprechers als Verwendungsinstanzen in die Produktstruktur geschrieben. Dabei wird für die Sachnummer ein Dokumenteninfosatz angelegt und mit dem zugehörigen und bereits vorbereiteten Materialstamm verknüpft. Das entsprechende CAD-File wird als Objektverknüpfung mit dem Dokumenteninfosatz verlinkt. Die Instanzen werden in der Instanzentabelle abgelegt.

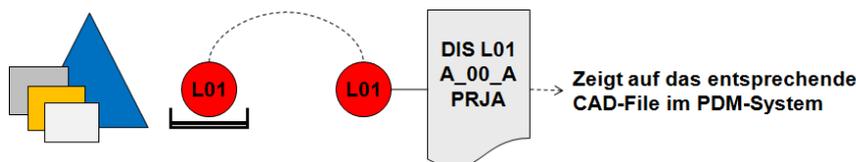


Abbildung 7-5: Verknüpfung von Positionsvariante, Material und Dokumenteninfosatz

Am Fachbereichsknoten *Lautsprecheranlage* und der zugehörigen Instanzentabelle sind nun folgende Einträge hinterlegt:

FB-Knoten	PosVar.	Name	Material-Nr.:	Menge	P-BZW	Ä-Nr.
Lautsprecheranlage	PV00010	1-Weg-Lautsprecher	L01	4 Stück	*	Team0001

PosVar.	Instanz	Name	Trafo	I-GUID	L-BZW	Ä-Nr.
PV00010	1_1	Frontlautsprecherlinks	1_1_1	1_1	*	I-Team0001
PV00010	2_1	Frontlautsprecher rechts	2_1_1	2_1	*	I-Team0001
PV00010	3_1	Hecklautsprecher links	3_1_1	3_1	*	I-Team0001
PV00010	4_1	Hecklautsprecher rechts	4_1_1	4_1	*	I-Team0001

Abbildung 7-6: Positionsvarianten und Instanzen nach Erstveröffentlichung<sup>1</sup>

Die in der Instanztabelle erzeugten Identifizierungsnummern für die Instanzen werden bei der Beendigung der Veröffentlichung zurück in die Arbeitsstruktur geschrieben. Damit ist bei einer Änderung eine eindeutige Identifizierung der geänderten Instanzen möglich.

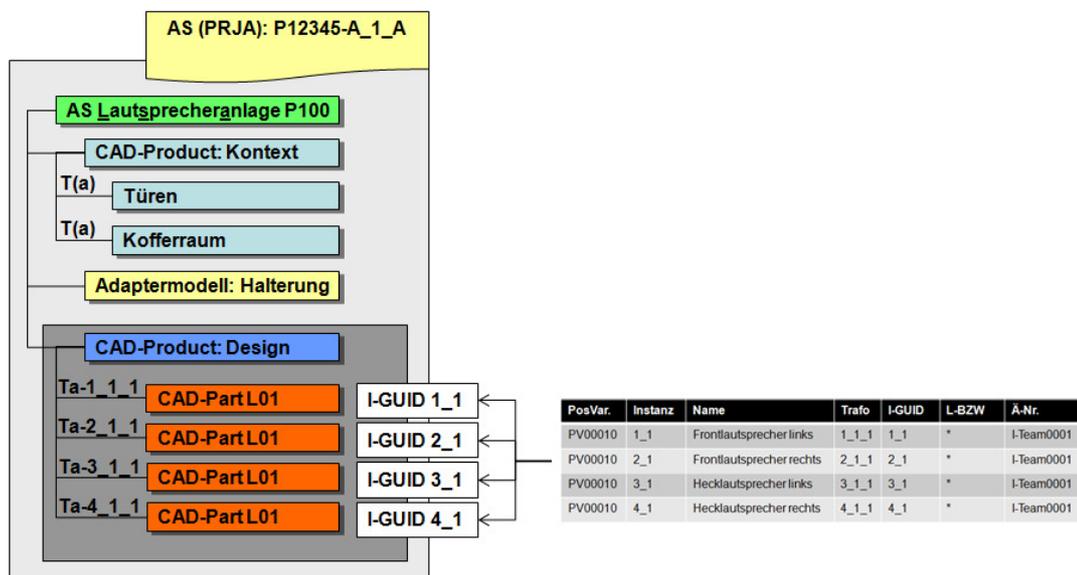


Abbildung 7-7: Rückschreiben der Instanzen ID-Nummer

Die Arbeitsstruktur *P12345* mit den nun positionierten Lautsprechern und den Instanz-Identifikatoren sowie das CAD-File des Lautsprecher *L01* speichert der Konstrukteur zurück ins PDM-System. Durch die Veröffentlichung bekommen sie nun einen neuen Reifegrad (*PRJA*), der zum Ausdruck bringen soll, dass sich die Umfänge nun in Abstimmung befinden.

Der Veröffentlichungsprozess und die Verwaltung der Instanzen als Instanztabelle unterstützen im Zusammenspiel mit der Dokumentenverwaltung von Einzelteilen und der Arbeitsstruktur das „Design in Context“. Weiterhin sind alle Bauteile mit Gültigkeiten und Lagen veröffentlicht und können durch Filterung der Produktstruktur ausgewählt und für Absicherungszwecke exportiert werden. Die Verwendung eigener Änderungsnummern für Positionsvariante und Instanz ermöglichen es dem Konstrukteur, weitgehend unabhängig von Strukturänderungen zu arbeiten. Während der Veröffentlichung muss er nur die wesentlichen kons-

<sup>1</sup> Es sind hier nicht die tatsächlichen Tabellen und Einträge des Datenmodells dargestellt, sondern lediglich eine vereinfachte Form.

truktionsbezogenen Daten pflegen. Der administrative Aufwand des Konstrukteurs kann gering gehalten werden.

## 2) Unhistorische Lageänderung und Freigabe

Im Rahmen des Abstimmungsprozesses wird festgestellt, dass die Frontlautsprecher eine Kollision mit der Türmechanik aufweisen und daher weiter nach vorne gesetzt werden müssen. Der Konstrukteur versioniert die vorhandene Arbeitsstruktur. Dabei wird eine neue Version erzeugt und der Reifegrad zurückgesetzt (aus der Arbeitsstruktur *P12345\_A\_1\_A (PRJA)* wird die Arbeitsstruktur *P12345\_B\_1\_A (KONZ)*). Der Konstrukteur ruft die neue Arbeitsstruktur im CAD-System auf und positioniert die Lautsprecher entsprechend den neuen Vorgaben. Bei der erneuten Veröffentlichung erkennt das System die Instanzen anhand deren Identifizierungsnummer automatisch. Der Konstrukteur verwendet nach wie vor die Teamänderungsnummer *I-Team001* und überschreibt damit die Transformationsmatrizen der Lautsprecher in der Instanzentabelle.

PosVar.	Instanz	Name	Trafo	I-GUID	L-BZW	Ä-Nr.
PV00010	1_1	Frontlautsprecherlinks	1_1_2	1_1	*	I-Team0001
PV00010	2_1	Frontlautsprecherrechts	2_1_2	2_1	*	I-Team0001
PV00010	3_1	Hecklautsprecherlinks	3_1_1	3_1	*	I-Team0001
PV00010	4_1	Hecklautsprecherrechts	4_1_1	4_1	*	I-Team0001

Abbildung 7-8: Instanzentabelle nach der Lageänderung

Auch die Arbeitsstruktur wird erneut ins PDM-System gespeichert, erhält nun den Stand *P12345\_B\_1\_A (PRJA)* und die aktualisierten Lagen.

Mit der Freigabe des Materials wird eine neue *Materialversion 01* erzeugt. Diese wird mit dem Kopfmaterial verknüpft. Der Dokumenteninfosatz, der bisher mit dem Kopfmaterial verknüpft war, muss mit der Freigabe an diese Materialversion umgehängt werden.

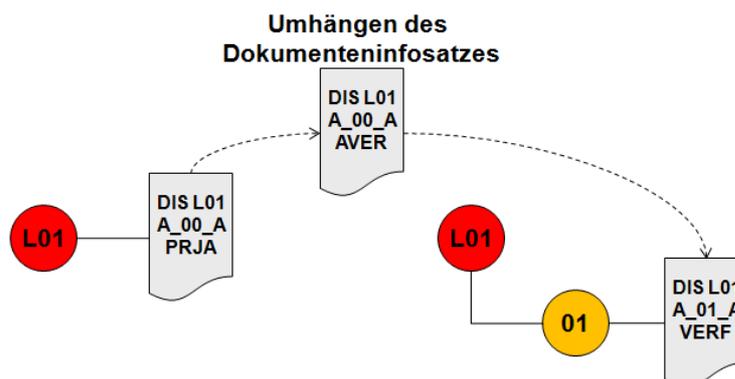


Abbildung 7-9: Umhängen des Dokumenteninfosatzes

Um diesen Stand in der Produktstruktur festzuschreiben, wird ein Tausch der Änderungsnummer vorgenommen. Die an der Positionsvariante stehende Änderungsnummer *Team001* wird durch die Änderungsnummer *A11111* getauscht. Diese Änderungsnummer hat die gleiche Gültigkeit, der Status wird aber auf geschlossen gesetzt.

Der letzte freigegebene Stand kann nun unter Auswertung der Änderungsnummer als erster Stand an der höchsten Materialversion identifiziert werden. Der neueste konstruktive Stand ist derjenige mit dem höchsten Zeichnungsindex an der höchsten Materialversion.

Weiterhin verläuft die Änderung mit geringem administrativem Aufwand für den Konstrukteur. Durch die Ablage der Instanz-Identifizierungsnummer wird der Konstrukteur von der erneuten Pflege instanzabhängiger Daten entlastet. Bei der Freigabe der Daten ist der Konstrukteur von administrativen Schritten befreit. Er muss seine Umfänge lediglich zur Freigabe anmelden.

### 3) Historische Lageänderung und Veröffentlichung:

Im weiteren Fortschritt des Entwicklungsprozesses wird das Modulteam *Multimedia* durch ein Abonnement auf die Fahrzeugtüren über eine veränderte Türgeometrie im Baustand VF1 informiert. Diese gilt ab dem *01.03.2008* ausschließlich für das Derivat XY1 im Baustand VF1. Durch diese geänderte Türgeometrie weisen die Türen an der aktuellen Position der Frontlautsprecher eine zu geringe Bautiefe für den 1-Weg-Lautsprecher *L01* auf. Beide Frontlautsprecher müssen daher weiter nach unten versetzt werden. Da der Serienstand in der Produktstruktur dokumentiert bleiben und die Änderung nur für *VF1* gelten soll, muss die Änderung mit einer neuen Änderungsnummer durchgeführt werden. Die Instanzenänderungsnummer *I-Team0002* für den *01.03.2008*, *Derivat XY* und *Baustand VF1* wird verwendet. Da unter dieser veränderten Gültigkeit aber auch die Hecklautsprecher gültig sein sollen, müssen diese mit dieser Gültigkeit ebenfalls erneut veröffentlicht werden.

Der Konstrukteur erstellt durch Kopieren der Arbeitsstruktur *P12345\_B\_1\_A (PRJA)* die neue Arbeitsstruktur *P98765\_A\_1\_A (KONZ)* und führt in dieser eine Kontextaktualisierung durch. Dabei vergleicht das System die Version und Position der geladenen Kontextbauteile mit den Daten der in der Produktstruktur hinterlegten Instanzen. Der Konstrukteur lädt die veränderte Geometrie für den Baustand VF01 in die geöffnete Arbeitsstruktur. Durch diese Kontextaktualisierung weisen die Türen nun den aktuellen Stand auf und zeigen den tatsächlichen Bauraum an. In der aktualisierten Arbeitsstruktur positioniert der Konstrukteur die Umfänge entsprechend neu. Dann startet er für die neu positionierten Verwendungen sowie die bestehende Verwendung für die Hecklautsprecher den Veröffentlichungsprozess. Folgender Stand ist in der Instanzentabelle danach dokumentiert.

PosVar.	Instanz	Name	Trafo	I-GUID	L-BZW	Ä-Nr.
PV00010	1_1	Frontlautsprecher links	1_1_2	1_1	*	I-Team0001
PV00010	2_1	Frontlautsprecher rechts	2_1_2	2_1	*	I-Team0001
PV00010	3_1	Hecklautsprecher links	3_1_1	3_1	*	I-Team0001
PV00010	4_1	Hecklautsprecher rechts	4_1_1	4_1	*	I-Team0001
PV00010	1_2	Frontlautsprecher links	1_1_3	1_2	*	I-Team0002
PV00010	2_2	Frontlautsprecher rechts	2_1_3	2_2	*	I-Team0002
PV00010	3_1	Hecklautsprecher links	3_1_2	3_1	*	I-Team0002
PV00010	4_1	Hecklautsprecher rechts	4_1_2	4_1	*	I-Team0002

Abbildung 7-10: Historische Lageänderung

Durch bereitgestellte Funktionalitäten der Instanzenverwaltung können nicht nur die Geometrien sondern auch die Lagen der Kontextbauteile bei einer Kontextaktualisierung auf den

neuesten gültigen Stand gebracht werden. Hiermit und mit der Möglichkeit über ein Abonnement frühzeitig über Bauteiländerungen informiert zu werden, kann der Konstrukteur frühzeitig Änderungen bekannt geben beziehungsweise auf diese reagieren. Damit steigt die Datenakutalität im gesamten Produktentwicklungsprozess.

Weiterhin wurde über das Änderungsmanagement die Möglichkeit geschaffen, Änderungen mit speziellen Gültigkeiten – hier für den Baustand VF1 – durchzuführen und in der Produktstruktur lückenlos zu dokumentieren.

#### 4) Einführung einer Langversion:

Für das Fahrzeug wird nun eine *Langversion* eingeführt. Die Ausstattungsvariante *Standard* soll auch für die Langversion angeboten werden. Dabei bleiben die Frontlautsprecher an derselben Position wie in der *Kurzversion* des Fahrzeugs. Lediglich die Hecklautsprecher wandern weiter nach hinten. Die Instanzen der Frontlautsprecher sollen nun für die Kurz- und die Langversion gelten. Da das Lagebeziehungswissen bereits mit *für alle* (\*) angeschrieben wurde, bedarf es keiner Änderung der beiden Frontlautsprecher-Instanzen. Zusätzlich werden zwei weitere Verwendungsinstanzen für die Hecklautsprecher nötig. Diese müssen im Fahrzeugkontext der Langversion positioniert werden.

PosVar.	Instanz	Name	Trafo	I-GUID	L-BZW	Ä-Nr.
PV00010	1_1	Frontlautsprecher links	1_1_2	1_1	*	I-Team0001
PV00010	2_1	Frontlautsprecher rechts	2_1_2	2_1	*	I-Team0001
PV00010	3_1	Hecklautsprecher links	3_1_1	3_1	Kurzversion	I-Team0001
PV00010	4_1	Hecklautsprecher rechts	4_1_1	4_1	Kurzversion	I-Team0001
PV00010	1_2	Frontlautsprecher links	1_1_3	1_2	*	I-Team0002
PV00010	2_2	Frontlautsprecher rechts	2_1_3	2_2	*	I-Team0002
PV00010	3_1	Hecklautsprecher links	3_1_2	3_1	Kurzversion	I-Team0002
PV00010	4_1	Hecklautsprecher rechts	4_1_2	4_1	Kurzversion	I-Team0002
PV00010	5_1	Hecklautsprecher links	5_1_1	5_1	Langversion	I-Team0001
PV00010	6_1	Hecklautsprecher rechts	6_1_1	6_1	Langversion	I-Team0001

Abbildung 7-11: Instanzentabelle nach Veröffentlichung der Langversion

Zusätzlich muss das Beziehungswissen an den beiden bestehenden Instanzen für die Hecklautsprecher angepasst werden. Da das Merkmal *Karosserielänge* nur die Merkmalswerte *Kurzversion* und *Langversion* kennt, kann alternativ zum Anschreiben von *Kurzversion* hier auch *minus Langversion* angeschrieben werden. Letztere Schreibweise würde bei Existenz eines dritten Merkmalswertes (z.B. *Kombiversion*) die entsprechenden Instanzen auch für diese Konfiguration des dritten Wertes gültig schreiben. Da die veröffentlichten Umfänge für den größtmöglichen Wertebereich angeschrieben werden sollen, wäre diese negierte Schreibweise richtiger. Im Zuge dieser Validierung soll der einfacheren Variante zur Wahrung der Übersichtlichkeit der Vorzug gegeben werden und das Beziehungswissen auf *Kurzversion* angepasst werden.

Die Lageverwaltung ist über das Instanzbeziehungswissen konfigurierbar. Somit kann die Lage des Gestaltobjektes durch den Konstrukteur für jede Fahrzeugkonfiguration richtig dargestellt werden. Das Arbeiten mit allgemeingültig angeschriebenem Beziehungswissen erfordert vom Konstrukteur einen planvollen Umgang und ein gutes Verständnis der Wirkungs-

weise des Beziehungswissens. Er wird dabei durch die erarbeiteten Möglichkeiten der Konsistenzprüfung unterstützt.

### 5) Konstruktion und Veröffentlichung Subwoofer:

Für eine neue Ausstattungsvariante *Surround* soll ein Subwoofer verwendet und auf die Abmessungen des Kofferraumes zugeschnitten werden. Er wird daher als Eigenteil intern konstruiert. Um die akustischen Eigenschaften zu testen, wird der Subwoofer zunächst nur für den nächsten Baustand *VF2* veröffentlicht. Der Subwoofer wird als Zusammenbau aus dem Gehäuse und dem Lautsprecher wie in der folgenden Abbildung dargestellt konzipiert.

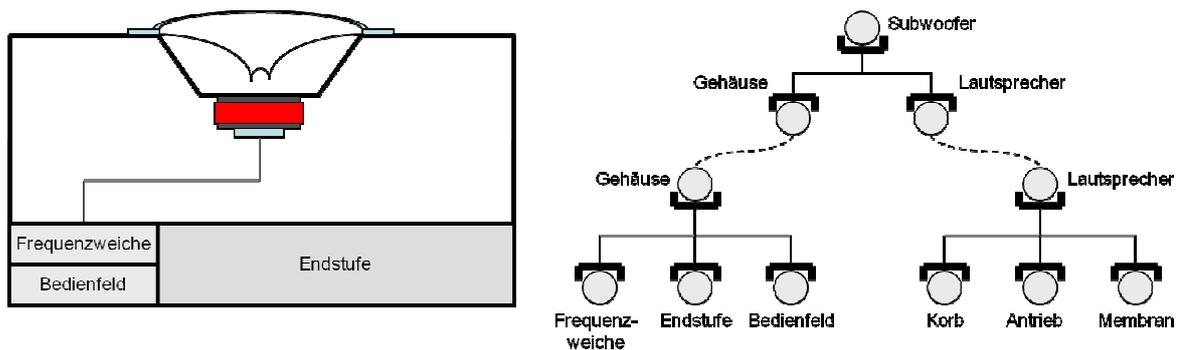


Abbildung 7-12: Subwoofer Zusammenbau

In der Produktvariantenstruktur wird für die Veröffentlichung des Subwoofers die Positionsvariante *PV00020* vorbereitet und der Materialstamm *S01* angeschrieben.

FB-Knoten	PosVar.	Name	Material-Nr.:	Menge	P-BZW	Ä-Nr.
Lautsprecheranlage	PV00010	1-Weg-Lautsprecher	L01	4 Stück	Standard	A11111
Lautsprecheranlage	PV00020	Subwoofer	S01	1 Stück	Surround	Team0002

Da auch in der Ausstattungsvariante *Surround* der 1-Weg-Lautsprecher in 4 Instanzen gelten soll, wird der Subwoofer mit derselben Gültigkeit, also der Änderungsnummer *Team0001*, an die Positionsvariante *PV00020* veröffentlicht. Der Subwoofer gilt zunächst nur für die *Kurzversion* und den Baustand *VF2*. Daher wird eine neue Instanz-Änderungsnummer mit den Gültigkeitsparametern dieses Baustandes benötigt. Es wird die Instanzänderungsnummer *I-Team0003* angelegt.

Änd.Nr.	Gültig ab	Gültig bis	Lösch-Kz.	Status	Derivat	Bauphase	Bed.Träg.
Team0001	01.01.2008	-	-	Offen	*	*	*
I-Team0001	01.01.2008	-	-	Offen	*	*	*
I-Team0002	01.03.2008	-	-	Offen	XY1	VF1	*
I-Team0003	01.06.2008	-	-	Offen	XY1	VF2	*

Bevor die Veröffentlichung durchgeführt werden kann, muss die Baukastenstruktur in SAP angelegt werden. Die Strukturänderung wird hier unter Verwendung der Änderungsnummer *Team00010* durchgeführt. Da es sich bei dem Subwoofer um einen mehrstufigen Zusammen-

bau handelt, werden unterhalb des Baukastenkopfs für den *Subwoofer* die Unter-Zusammenbauten *Gehäuse* und *Lautsprecher* als Baukastenpositionen angelegt. *Gehäuse* und *Lautsprecher* werden wiederum als Baukastenkopf angelegt und erhalten je drei Baukastenpositionen. Damit ergibt sich folgende Struktur in der Produktvariantenstruktur:

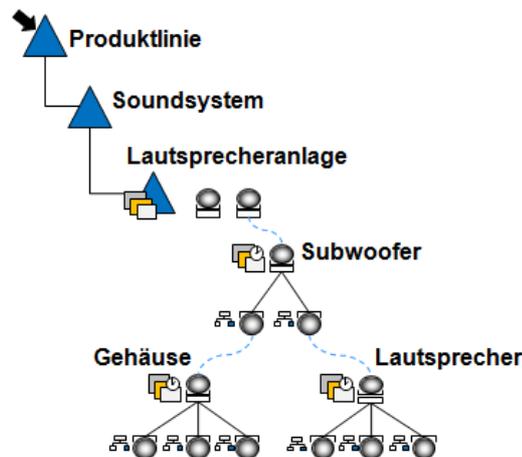


Abbildung 7-13: Strukturaufbau für den Subwoofer

Die Veröffentlichung vollzieht sich in denselben Schritten wie bei der eines Einzelteils. Der Zusammenbau wird dabei wie ein Einzelteil instanziiert. Die Transformationsmatrizen der Baukastenpositionen werden relativ zum jeweiligen Baukastenkopf im CAD-File mit abgespeichert.

Bei der Auflösung der Struktur kann über ein Kennzeichen gesteuert werden, ob der Zusammenbau als Ganzes oder aufgelöst in die Einzelteile geladen werden soll.

#### 6) Ausleitung eines Baustandes:

Nachfolgend soll der Baustand für das VF2 für die *Kurzversion* ausgeleitet werden. Der Filter wird mit einem *Gültig-ab-Datum* vom 01.07.07 gepflegt. Die Parametergültigkeit wird für das *Derivat XY1* und für den *Baustand VF2* gesetzt. Die merkmalsbezogene Gültigkeit wird mit *Kurzversion* in der Ausstattung *Surround* angegeben. Zusätzlich soll der neueste konstruktive Stand ausgeleitet werden.

Die Situation stellt sich wie folgt dar:

FB-Knoten	PosVar.	Name	Material-Nr.:	Menge	P-BZW	Ä-Nr.
Lautsprecheranlage	PV00010	1-Weg-Lautsprecher	L01	4 Stück	*	A11111
Lautsprecheranlage	PV00020	Subwoofer	S01	1 Stück	Surround	Team0002

Änd.Nr.	Gültig ab	Gültig bis	Lösch-Kz.	Status	Derivat	Bauphase	Bed.Träg.
Team0001	01.01.2008	-	-	Offen	*	*	*
I-Team0001	01.01.2008	-	-	Offen	*	*	*
I-Team0002	01.03.2008	-	-	Offen	XY1	VF1	*
I-Team0003	01.06.2008	-	-	Offen	XY1	VF2	*

PosVar.	Instanz	Name	Trafo	I-GUID	L-BZW	Ä-Nr.
PV00010	1_1	Frontlautsprecher links	1_1_2	1_1	*	I-Team0001
PV00010	2_1	Frontlautsprecher rechts	2_1_2	2_1	*	I-Team0001
PV00010	3_1	Hecklautsprecher links	3_1_1	3_1	Kurzversion	I-Team0001
PV00010	4_1	Hecklautsprecher rechts	4_1_1	4_1	Kurzversion	I-Team0001
PV00010	1_2	Frontlautsprecher links	1_1_3	1_2	*	I-Team0002
PV00010	2_2	Frontlautsprecher rechts	2_1_3	2_2	*	I-Team0002
PV00010	3_1	Hecklautsprecher links	3_1_2	3_1	Kurzversion	I-Team0002
PV00010	4_1	Hecklautsprecher rechts	4_1_2	4_1	Kurzversion	I-Team0002
PV00010	5_1	Hecklautsprecher links	5_1_1	5_1	Langversion	I-Team0001
PV00010	6_1	Hecklautsprecher rechts	6_1_1	6_1	Langversion	I-Team0001
PV00020	7_1	Subwoofer	7_1_1	7_1	Kurzversion	I-Team0003

Abbildung 7-14: Daten am Fachbereichsknoten

- 1) Auswertung der gültigen Stände an der Positionsvariante: An der Positionsvariante sind beide Änderungsnummern *A11111* und *Team-0001* gültig. Sie habe dieselbe Gültigkeit. Keine Positionsvariante wird ausgefiltert.
- 2) Auswertung der Merkmalsbewertung an den Positionsvarianten: *PV00010* ist für alle (\*) also auch für *Surround* gültig; *PV00020* ist für *Surround* gültig. Keine Positionsvariante wird ausgefiltert.
- 3) Auswertung der Gültigkeit an der Materialversion: für die Positionsvariante *PV00010* wird die Materialversion *L01\_01* als gültige Materialversion identifiziert. Für die Positionsvariante *PV00020* wird die Materialversion *S01\_\_\_* identifiziert. Der Subwoofer wurde noch nicht freigegeben und hat daher noch keinen Änderungsindex.
- 4) Auswertung des neuesten konstruktiven Standes: Da die freigegebene Version *L01\_01* gleichzeitig auch der neueste konstruktive Stand ist, führen neuester konstruktiver und letzter freigegebener Stand für die Positionsvariante *PV00010* auf dieselben Dokumente. An der Positionsvariante *PV00020* existiert nur ein Stand für den Subwoofer.
- 5) Auswertung der Lagegültigkeit: für die Positionsvariante *PV00010* gilt die Teamänderungsnummer *I-Team0001*. Mit der Parametergültigkeit werden die ersten vier Zeilen der Instanzentabelle als gültig selektiert. An der Positionsvariante *PV00020* wird mit der Änderungsnummer *I-Team0003* die letzte Zeile der Instanzentabelle selektiert.

Die Auflösung der Produktvariantenstruktur führt zu der semantisch richtigen Struktur für den gewählten Baustand.

Durch die getrennte Produkt- und Lagekonfiguration bei gleichzeitiger Steuerung über eigene Änderungsnummern, können die Gültigkeiten jedes Bauteils und Zusammenbaus semantisch richtig in der Produktstruktur dokumentiert und ausgeleitet werden.

#### 7) Konsistenzprüfung an der Instanz:

Die Prüfung der lokalen Konsistenz an der Instanz beschränkt sich auf die Abdeckung des Merkmals *Karosserielänge*. Für beide Merkmalswerte *Kurzversion* und *Langversion* werden an der Positionsvariante PV00010 jeweils vier Instanzen gefunden. Dieses deckt sich mit der Verwendungsmenge der Positionsvariante.

An der Positionsvariante PV00020 steht lediglich der Merkmalswert Surround. Eingang wurde festgelegt, dass es auch die Variante Standard und High-End geben sollte. Hier weist die Konsistenzprüfung eine Unterdeckung auf. Für die Variante Surround wird eine Instanz gefunden. Dies deckt sich mit der Verwendungsmenge.

Die Prüfung auf Positionierungskonsistenz kann nicht durchgeführt werden. Positionsvarianten und Instanzen verwenden unterschiedliche Merkmale um den jeweiligen Varianzraum aufzuspannen. Daher gibt es hier keinen gemeinsamen Varianzraum für den eine Prüfung der Konsistenz sinnvoll wäre.

Die lokale Konsistenz an der Positionsvariante nachgewiesen werden.

### **7.3 Erfüllung der Anforderungen**

Folgende Anforderung wurde an die Lageverwaltung formuliert:

Die Lageverwaltung muss, ein Gestaltobjekt an mehreren Verwendungsstellen in unterschiedlichen Lagen verwenden können. Dabei soll die Verbaulage aus der Konfiguration abgeleitet werden können. Für jede Konfiguration muss eine Transformationsmatrix, weitere Attribute und ggf. eine geometrische Repräsentation abgelegt werden können.

Diese Anforderung kann von den erarbeiteten Methoden und dem vorgestellten Datenmodell vollständig erfüllt werden. Das konnte die vorangehende Validierung untermauern. Auch die weitergehenden Anforderungen an das Instanzenmanagement konnten erfüllt werden.

<b>Zusammenstellung der Anforderungen an die Verwaltung der Bauteilverwendung (Instanzenverwaltung)</b>			
<b>Nr.</b>	<b>Titel</b>	<b>Bewertung</b>	<b>Beschreibung der Anforderungserfüllung</b>
AB1	Lagevarianzschema	OK	Die Instanzenverwaltung verwendet das für die Produktklasse definierte Varianzschema. In diesem Varianzschema sind alle Merkmale enthalten, die für das Produkt definiert sind. Eine Einschränkung ist für die Instanzenverwaltung nicht sinnvoll
AB2	Lagekonfiguration	OK	Die Merkmalswerte des Lagevarianzraums werden durch die Lagekonfiguration unter Verwendung derselben Syntax und Semantik wie für das Produktbeziehungswissen in Beziehung zueinander gebracht.
AB3	Spezifizierung der verwendungsabhängigen Bauteilinformation	OK	In der Instanzen-tabelle besteht die Möglichkeit für jede Konfiguration einer Lage, eine Transformationsmatrix und ggf. weitere Attribute abzulegen.
AB4	Repräsentation	OK	Durch die Einführung weiterer Instanztypen für spezielle Ersatzgeometrien können weitere geometrische Repräsentationen an der Instanz abgelegt werden.
AB5	Integration	OK	Das Instanzenmanagement wurde semantisch in das Produktstrukturmanagement integriert. Durch eine löse Koppelung insbesondere im Änderungsmanagement bleiben bei dieser Integration ausreichende Freiheitsgrade für beide Bereiche bestehen.
AB6	Gültigkeit	OK	Die administrative, zeitliche und parametrische Gültigkeit der Instanzen kann über eigene Änderungsnummern abgebildet werden. Die merkmalsbezogene Gültigkeit wird durch ein eigenes Beziehungswissen abgebildet.

Die Anforderungen an das Instanzenmanagement wurden erfüllt.

<b>Zusammenstellung der Anforderungen an die Produktstrukturverwaltung</b>			
<b>Nr.</b>	<b>Titel</b>	<b>Bewertung</b>	<b>Beschreibung der Anforderungserfüllung</b>
AP1	Organisations-neutral	OK	Das Produktmodell bildet keine organisatorischen Strukturen ab.
AP2	Prozessneutral	Teilweise OK	Das Produktmodell ist neutral gegen alle Prozesse und bietet keine Schwerpunkte in bestimmten Prozessen. Es unterstützt jedoch nur bedingt die Erarbeitung von Montagereihenfolgen.
AP3	Phasenneutral	OK	Das Produktmodell ist phasenneutral.
AP4	Übersichtlichkeit	OK	Die Tabellendarstellung der Instanzinformation erfüllt die Anforderung einer übersichtlichen und konsistenten Darstellung sowie einer einfachen Pflege.
AP5	Erweiterbarkeit	Teilweise OK	Das Modell ist nur bedingt für ein Wissensmanagement und als Erfahrungsspeicher geeignet oder erweiterbar. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf, Wissensmanagement und Produktstrukturmanagement miteinander zu verzahnen.
AP6	Strukturmanagement	OK	Das Strukturmanagement ist von den Veröffentlichungs- und Änderungsprozessen der Konstruktion entkoppelt und kann einem eigenen Verantwortungsbereich zugeordnet werden. Dadurch werden die Konstrukteure nicht zusätzlichen mit dieser Aufgabe belastet.
AP7	Änderungsdokumentation	OK	Durch die Fortschreibung der zeitlichen, organisatorischen und parametrischen Gültigkeiten über Änderungsnummern und die Möglichkeit Änderungsnummern für Struktur, Geometrie und Instanz zu verwenden können die Prozesse des Änderungsmanagement gut unterstützt werden. Änderungen können flexible, transparente, detaillierte und lückenlose dokumentiert werden.

Die Anforderungen an die Produktstrukturverwaltung konnten bedingt erfüllt werden.

<b>Zusammenstellung der Anforderungen an die Produktentwicklung</b>			
<b>Nr.</b>	<b>Titel</b>	<b>Bewertung</b>	<b>Beschreibung der Anforderungserfüllung</b>
AE1	Parametrik und Assoziativität	OK	Die parametrische-assoziative Konstruktion insbesondere das Design in Context wird durch die erarbeiteten Methoden unterstützt.
AE2	Konstruktion im Kontext	OK	Bauraumsuche und Nachbarschaftssuche helfen beim Aufbau des Konstruktionskontextes. Durch Abonnements können Aktualisierungen automatisch realisiert werden. Eine Prüfung der Dokumentenaktualität gegen die in der Dokumentenverwaltung gespeicherten Dokumente kann beim Laden des Kontextes durchgeführt werden.
AE3	System-technische Unterstützung	OK	Der vorgestellte Prozess der Veröffentlichung erfüllt die Anforderungen. Die Konsistenzprüfung unterstützt den Validierungsprozess.
AE4	Konsistenzprüfung	OK	Im Rahmen der Konsistenzprüfung werden Inkonsistenzen ausgewiesen.
AE5	Änderungsverantwortung	OK	Die Verantwortung für Änderungen verteilen sich auf Konstrukteure, Strukturverantwortliche und Teamleiter.
AE6	Verantwortungsbereich	OK	Instanzenmanagement und Produktstrukturmanagement sind lose gekoppelt. Die Verantwortlichkeiten können getrennt vergeben werden.  Die Verantwortung für die Instanz sowie das Instanzbeziehungswissen liegt ausschließlich beim Konstrukteur.
AE7	Allgemeines Beziehungswissen	OK	Es wurden die Möglichkeiten zum Anschreiben allgemeinen Beziehungswissens und die Auswirkungen auf die Konsistenzprüfung dargestellt.
AE8	Gültigkeit bei Änderung des Beziehungswissens	Teilweise OK	Mit dem vorgestellten Konstruktions- und Veröffentlichungsprozess kann die Anforderung lieber eine Lücke im Kontext als ein falsch positioniertes Bauteil, bedingt erfüllt werden. Voraussetzung ist der richtige Umgang mit allgemein angeschriebenem Beziehungswissen sowie die Durchführung der Konsistenzprüfung.
AE9	Absicherung in der Produktstruktur	OK	Mit Auswertungen zur Überlappung von Bounding-Boxen und zur Lagevalidierung wurden Möglichkeiten aufgezeigt wie Absicherungsschritte bereits in der Produktstruktur durchgeführt werden können.
AE10	Qualitätsbeurteilung	Teilweise OK	Die Ausleitung einer Fahrzeugkonfiguration aus der Produktstruktur kann über die Analyse des Übernahmeauftrages bereits vor der Verwendung der Daten in anderen Absicherungssystemen auf die Datenqualität hin geprüft werden.

AE11	Dokumentation	NOK	Das Datenmodell ermöglicht keine Dokumentation der Absicherungsergebnisse in der Produktstruktur. Eine semantische Verknüpfung zwischen Absicherungsergebnissen und Produktstruktur kann nur durch die Speicherung des jeweiligen Filters bzw. Übernahmeauftrages hergestellt werden.
------	---------------	-----	---

Die Anforderungen an die Konstruktion werden vollständig erfüllt. Die Anforderungen an die Absicherung konnten nur teilweise erfüllt werden. Hier ist ein weiterer Forschungsbedarf gegeben. Das vorgestellte Datenmodell muss weiterentwickelt werden, um den Anforderungen der Absicherung genügen zu können. Hierfür muss insbesondere die Dokumentation der Absicherungsergebnisse in der Produktstruktur ermöglicht werden.

## 7.4 Wirtschaftlichkeit

Generell ist es schwierig, die Wirtschaftlichkeit eines PDM-Systems oder die Wirtschaftlichkeit des PLM-Konzeptes zu beurteilen. Dies zeigt auch eine Auswertung der wissenschaftlichen Literatur (beispielsweise [Arno-05, S. 19ff]). Zu groß sind die Abhängigkeiten, die sich bei diesen Projekten ergeben, sowohl auf der Kosten- als auch auf der Nutzenseite. So bleiben die Entscheidungen für derartige Projekte zumeist strategischer Natur.

Auch die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit des Instanzenmanagements als ein PLM-Baustein gestaltet sich schwierig. Über verschiedene Wirkketten lassen sich jedoch Einsparungen abschätzen. Bei der BMW AG wurde die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung anhand einer Vielzahl dieser Wirkketten gezeigt. Hierbei wurde die Wirkung einer Maßnahme über die entsprechende Wirkkette dargestellt und nachher der Einsparungseffekt über eine Abschätzung der Kosten (z.B. gesparte Mannjahre, geringere Serverauslastung) beziffert.

Beispielhaft sind nachfolgend einige dieser Wirkketten thematisch gelistet:

1. Vermeidung von Mehrfachaufwand für Datenbereitstellung und Vermeidung redundanter Datenhaltung verschiedener Fachbereiche: Alle Prozesspartner bauen auf einem gemeinsamen Informationsstand auf, der konsistent ist und bei Änderungen über das genehmigende Änderungsmanagement durchgängig nachvollziehbar ist. Es entsteht eine verbindliche und phasenübergreifende Dokumentation von kostenrelevanten Änderungen im PDM-System über alle Entwicklungsphasen. Hierdurch entfallen Suchaufwände, Aufwände zur manuellen Datenaufbereitung sowie Plausibilisierungsaufwände zwischen Konstruktion und Fertigung sowie zwischen den Technologien. Es erhöht sich auch die Planungseffizienz und Planungssicherheit vor der Zielvereinbarung. Durch die permanente Verfügbarkeit und Aktualität der Daten können die Management- und Steuerungsfunktionen präventiv und rechtzeitig Maßnahmen festlegen, was dazu führt, dass Termine/ Meilensteine eingehalten werden können.
2. Reduzierung bei der Erstellung von virtuellen Fahrzeugen durch die Anbindung an die Produktstruktur: Die vereinfachte Konfiguration durch komprimierte Abbildung der Komponentenverwendung ermöglicht die maschinelle Generierung beliebiger Fahrzeugvarianten für Folgeprozesse. Der Aufwand für die Erstellung und Pflege von Fahrzeugvarianten in der Konzeptphase verringert sich.
3. Absicherungsfehler werden reduziert: Die Abbildung von Hardware-Versuchsträgern in der virtuellen Absicherung kann stücklistengenau vorgenommen werden. Problemfälle können frühzeitig erkannt werden. Das Risiko für fehlende Teile im virtuellen Fahrzeug wird reduziert und die Qualität der Hardwareabsicherung erhöht. Es werden die richtigen Teile und Berechnungsergebnisse aus der virtuellen Welt durch die Hardware getestet. Dadurch wird unnötiger Testaufwand durch falsche Teile vermieden.

den. Eine eindeutige Rückführung und Referenzierung in die virtuelle Welt kann erfolgen. Dadurch können die Ergebnisse der Hardware-Absicherung für die Weiterentwicklung und Verbesserung von Simulationen genutzt werden. Durch die vorbereiteten Absicherungsschleifen in der virtuellen Welt und die damit verbundenen zeitgerechten und mit weniger Fehlern behafteten Hardware-Absicherungen können die Anlaufkosten reduziert werden.

4. Etablieren eines Änderungsinformations-Systems in der Zusammenarbeit mit internen und externen Stellen: Relevante Umfänge in der Masterstruktur können im PDM-System für automatische Benachrichtigung bei Änderung abonniert werden. Der Aufwand zur Suche von Informationen über Änderungen in der Masterstruktur entfällt. Betroffene Stellen werden zuverlässig über Änderungen informiert und auf Änderungen kann zeitnah reagiert werden. Maßnahmen können rechtzeitig eingeleitet werden.
5. Die Unterstützung der bauteilübergreifenden parametrisch-assoziativen Konstruktionsmethodik durch ein geeignetes Datenmanagement verringert den Administrationsaufwand beim Konstrukteur. Durch die automatisierte Datenbereitstellung z.B. bei der Gewichts Berechnung, Erzeugung der rechten Bauteilgeometrie bei Links-/Recht-Bauteilen oder bei Zeichnungsverweisen entfällt der bisherige manuelle Aufwand. Durch die permanente Aktualität der Daten in der Konstruktion und der entsprechenden Konstruktionslogik reduzieren sich die Fehler, was einen direkten Effekt auf den Kümmereffekt, die Änderungsschleifen und Aufwände hat.
6. Auswirkungen auf Fertigungsstrukturen können bei der Produktentwicklung berücksichtigt werden. Hierdurch können Änderungsaufwände für Werkzeuge in der Serienentwicklung verringert werden. Die Verfügbarkeit der verbindlichen Produktstruktur mit konfigurierbaren Produkten durch ein geeignetes Front End in der Konstruktionsumgebung verringert den Administrations- und Datenbereitstellungsaufwand beim Fertigungsmittelkonstrukteur.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bei der BMW AG konnte die Einführung der Produktvariantenstruktur auf Basis der SAP iPPE und die Erweiterung des Systems um Funktionalitäten der Instanzenverwaltung rechtfertigen.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

„Was die Raupe Ende der Welt nennt, nennt der Rest der Welt Schmetterling.“  
*Laozi (chinesischer Philosoph, 6. Jahrhundert v. Chr.)*

Bisher ist es kaum möglich, Entwicklungsdaten über alle Lebensphasen des Produktes zu nutzen. Heutige IT-Systeme unterstützen zumeist nur wenige Produktlebensphasen. Schnittstellenprobleme sind die Folge. Mit dem in dieser Arbeit gewählten Ansatz wurde das Ziel verfolgt, Daten der Produktentwicklung auch für spätere Produktlebensphasen nutzbar zu machen. Hier mangelte es bisher insbesondere an der Bereitstellung der lageabhängigen Bauteilinformationen.

Grundlage zur Bereitstellung vollständiger Produktdaten ist die Verbindung der Bauteil- und Lageinformationen im selben Produktdatenmodell. Um dieses zu entwickeln, wurde zunächst das Instanzenmanagement eingeführt, welches alle Prozesse im Themenumfeld der Lagevarianz betrachtet. Für das Instanzenmanagement wurden sowohl die Grundlagen definiert als auch Methoden zur Planung, Vermeidung und Beherrschung der Varianz erarbeitet.

Ein Schwerpunkt der Arbeit lag dabei in der Betrachtung des Änderungsmanagements und dem Zusammenspiel zwischen Bauteil- und Lageänderungen. Es wurden die Veröffentlichungs- und Änderungsprozesse entworfen und Wege zur effizienten Durchführung dieser Prozesse aufgezeigt. Durch die Veröffentlichung aller Konstruktionsumfänge mit ihren definierten Gültigkeiten ist es möglich, nicht mehr nur in einer begrenzten Anzahl von virtuellen Fahrzeugen sondern im Gesamtkontext der Produktlinie zu arbeiten. Zudem können nachgelagerte Bereiche durch die frühe Bereitstellung von Entwicklungsdaten diese Daten frühzeitig nutzen und profitieren damit von dem entwickelten Produktmodell. Weiterhin wurde eine Möglichkeit erarbeitet, gleichzeitig Baustände und Serienvarianten des Produktes in einer Produktstruktur derart abzubilden, dass sowohl der neueste konstruktive Stand als auch der letzte freigegebene Stand extrahiert werden kann.

Mit der Konsistenzprüfung von Produktstrukturen, die auch die Lagekonfiguration abbilden, folgte ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit. Es wurde die lokale Konsistenzprüfung auf die Konsistenzprüfung der 2-Ebenen-Konfiguration erweitert. Zudem wurde aufgezeigt wie Änderungen am allgemeingültigen Beziehungswissen hinsichtlich ihres Konsistenzinflusses zu beurteilen sind.

Durch die Vervollständigung des Produktmodells mit den Daten der Verwendungsinstanzen und der gleichzeitigen Ablage der Bounding-Boxen, ist es möglich, einige Absicherungsaufgaben für beliebige Produktkonfigurationen bereits in der Produktvariantenstruktur durchzuführen beziehungsweise die virtuelle Absicherung im Digital Mock-Up zielgerichteter zu gestalten. Es lassen sich Absicherungsaufwände in frühere Entwicklungsphasen vorziehen, schneller durchführen und gegebenenfalls vermeiden.

Das Datenmodell des eingeführten Instanzenmanagements basiert auf der iPPE der SAP AG und erweitert dieses. Es wurden unterschiedliche Möglichkeiten zur Umsetzung des Instanzenmanagements untersucht und bewertet. Das gewählte Modell bietet die Möglichkeit, lageabhängige Attribute und lageabhängige Präsentationen der Gestaltobjekte mit zu verwalten.

Das Datenmodell wurde am einem Beispiel validiert. Hierfür wurden die vorher ausgearbeiteten Prozesse des Instanzenmanagements auf das Datenmodell angewendet. Es wurde abschließend der Erfüllungsgrad der erarbeiteten Anforderungen bewertet und die Wirtschaftlichkeit der Lösung beurteilt.

Während die verwendungsspezifischen Bauteilinformationen bisher manuell zwischen der CAD-Welt und der Stücklistenwelt abgeglichen wurden und Informationsnutzer jeweils in beiden Welten nach den richtigen Informationen suchen mussten, gelingt es mit dem Instanzenmanagement auf der Basis der Produktvariantenstruktur, eine zentrale Informationsquelle entlang des gesamten Produktlebenszyklus zu etablieren. Das Instanzenmanagement ist damit einer der Schritte, die zu einem erfolgreichen Produkt-Lebenszyklus-Management und zur Etablierung eines PLM-Systems führen können.

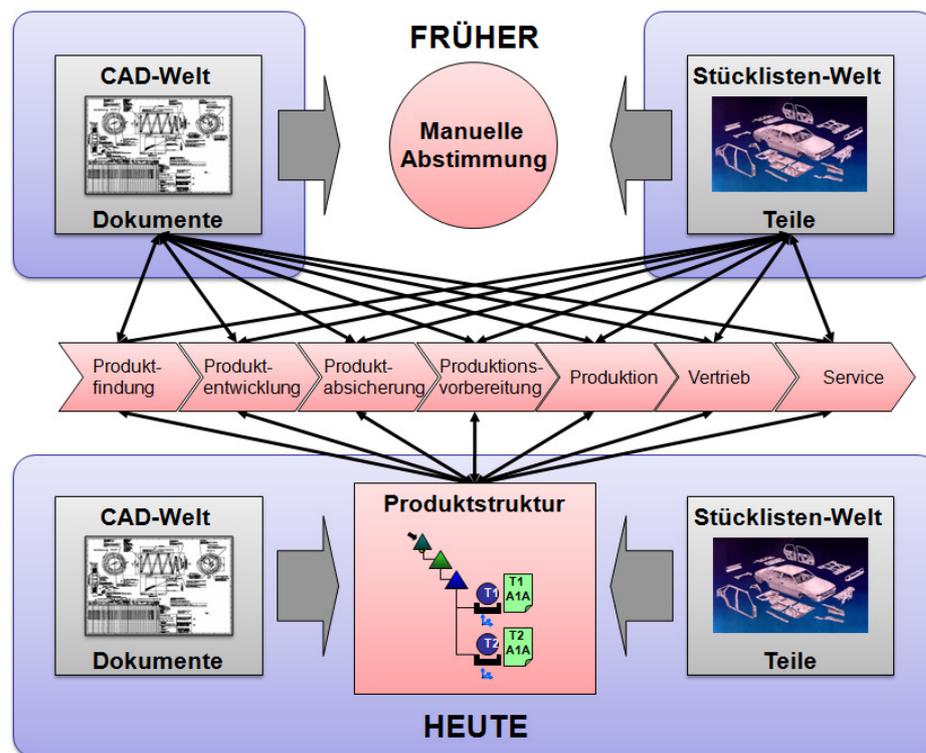


Abbildung 8-1: Integration der CAD- und Stücklisten-Welt

Die Denkanstöße dieser Arbeit sollen Ausgangspunkt für weitere Forschungstätigkeiten sein. Forschungsbedarf besteht bei der Analyse verschiedener Strukturierungsarten von Produkten und der Bewertung hinsichtlich ihrer informationstechnische Handhabung. Bei der frühen Strukturplanung individualisierter Produkte mangelt es an Methoden und Werkzeugen. Auch die Komplexitätsbewertung von Bauteiländerungen und die aufwandsminimalen Durchführung dieser Änderungen bedürfen weiterer Untersuchungen. Dabei ist die Änderungskomplexität als Summe der Bauteil-, Struktur- und Änderungsprozesskomplexität zu bewerten. Weiterhin sind die Absicherungsmöglichkeiten innerhalb der Produktvariantenstruktur zu detaillieren, um zu einer neuen Gewichtsverteilung zwischen Digital Mock-Up beziehungsweise Functional Mock-Up und einer produktstrukturbasierten Absicherung zu gelangen. Hiermit eng verknüpft ist auch die zielgerichtete Dokumentation der Absicherungsergebnisse. Diese erfordert eine bisher nicht vorhandene semantische Integration in das Produktstrukturmanagement. Das Produktstrukturmanagement muss die Nutzung der Absicherungsergebnisse und die Absicherungsplanung effizienter als bisher unterstützen können.

## 9 Literaturverzeichnis

- [AbGe-96] Abramovici, M; Gerhard, D.: Engineering Daten Management (EDM) – Anspruch, Wirklichkeit und Zukunftsperspektiven; In: Industrie Management 12 (1996) 5; S. E11 – E15; Special Engineering Management 1996/97
- [Abra-05a] Abramovici, M.: An die nächste Welle denken; CADplus Business+Engineering 2/2005  
[http://www.itm.rub.de/download/aktuelles/interview\\_cadplus.pdf](http://www.itm.rub.de/download/aktuelles/interview_cadplus.pdf); CADplus 2005
- [Abra-05b] Abramovici, M.: Innovation durch Product-Lifecycle-Management; [http://www.itm.ruhr-uni-bochum.de/intern/bibliothek/artikel/A073\\_Ip\\_2005-2\\_PLM-Abramovici.pdf](http://www.itm.ruhr-uni-bochum.de/intern/bibliothek/artikel/A073_Ip_2005-2_PLM-Abramovici.pdf); Intelligenter produzieren; VDMA Verlag GmbH, 2005/2
- [Abra-05c] Abramovici, M.: Digital Engineering und PLM – zwei unterschiedliche Ansätze?; [www.itm.ruhr-uni-bochum.de/.../artikel/A074\\_Digital-Engineering-und-PLM-zwei-unterschiedliche-Ansaetze.pdf](http://www.itm.ruhr-uni-bochum.de/.../artikel/A074_Digital-Engineering-und-PLM-zwei-unterschiedliche-Ansaetze.pdf); Digital Engineering; 2005
- [AbSc-05a] Abramovici, M.; Schulte, S.: PLM - Neue Bezeichnung für alte CIM-Ansätze oder Weiterentwicklung von PDM? In: Konstruktion - Zeitschrift für Produktentwicklung und Ingenieur-Werkstoffe 1/2 – 2005; Springer Verlag, Düsseldorf, 2005
- [AbSc-05b] Abramovici, M.; Schulte, S.: PLM – Wege aus der Strategiekrise in der Automobilindustrie, In: eDM-Report – Data-Management-Magazin 1/2005; Dressler Verlag e.K., Heidelberg, 2005
- [Allm-99] Allmannsberger, H.-G.: Erweiterung der Konstruktionsmethodik zur Unterstützung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung; Dissertation der Technischen Universität München; Verlag Dr. Hut, München, 2001
- [Ambr-97] Ambrosy, S.: Methoden und Werkzeuge für die integrierte Produktentwicklung; Dissertationsschrift der Technischen Universität München, Fakultät für Maschinenwesen; Shaker Verlag, Aachen, 1997
- [Ande-05] Anderl, R.: Produktdatentechnologie A, B, C; Skriptum zu Vorlesung an der Technischen Hochschule in Darmstadt; <http://www.dik.tu-darmstadt.de/>; Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion, Darmstadt, 2005
- [AnTr-00] Anderl, R., Trippner, D.: STEP Standard for the Exchange of Product Model Data, Eine Einführung in die Entwicklung, Implementierung und industrielle Nutzung der Normreihe ISO 10303 (STEP); B.G. Teubner Verlag, Stuttgart Leipzig, 2000
- [Aßma-00] Aßmann, G.: Gestaltung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung; Dissertation der Technischen Universität München; Utz Verlag, München, 2000

- [AP-02a] N.N.: Konzentration der OEMs; <http://www.automobilproduktion.de/themen/00459/index.php>; Automobil Produktion, 2002
- [AP-02b] N.N.: Mehr Segmente und Nischen; <http://www.automobilproduktion.de/themen/00215/index.php>; Automobil Produktion, 2002
- [AP-02c] N.N.: Mehr Risikoabschätzung in FuE; <http://www.automagazine.de/themen/00130/index.php>; Automobil Produktion, 2002
- [AP-04] N.N.: Eine Branche im Umbruch, Studie FAST 2015 von Mercer Management Consulting und Fraunhofer Gesellschaft; in [http://www.mercermc.de/fast\\_2015/FAST2015.pdf](http://www.mercermc.de/fast_2015/FAST2015.pdf); Sonderausgabe Automobil-Produktion; Verlag Moderne Industrie; April 2004
- [Arno-05] Arnold, V. et al: Product Lifecycle Management beherrschen, Ein Anwenderbuch für den Mittelstand; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2005
- [AuIn-05] N.N.: Newswire – OEMs: Deutschland hängt am Premium-Segment; [http://www.automobilindustrie.de/news/ai\\_beitrag\\_2191104.html](http://www.automobilindustrie.de/news/ai_beitrag_2191104.html); Automobilindustrie, 2005
- [Auto-05a] N.N.: Produktqualität stark im Fokus; <http://www.auto.de/content/view/2977/>; itm-pec IDEAS TO MARKET GmbH, 2005
- [Auto-05b] N.N.: Wahnsinn mit Methode; <http://www.noae.com/variants.html>; Automobil-Produktion, Januar 2005
- [BaKL-02] Baumann, R., Kaufmann, U., Leemhuis, H.: Funktionsorientiertes Entwerfen; in iViP Abschlussbericht; Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2002
- [BMW-02] BMW Group: Abschlusspräsentation V8 zum Projekt: Ausarbeitung eines Modells zur Optimierung des Konfigurationsprozesses der Produktentwicklung auf der Basis der strategischen Kooperation zwischen BMW und SAP; unveröffentlichte BMW PEP-PDM Projektunterlage, BMW Group, München, 2002
- [BMW-03a] BMW Group: Virtual Car Prozess – Standards: Das Virtuelle Fahrzeug in der BMW Group; BMW-interne Dokument, BMW Group, München, 2003
- [BMW-03b] BMW Group: Methodenbeschreibung Catia V5, Struktur eines Working Product; BMW-interne Dokument, BMW Group, München, 2003
- [BMW-05a] BMW Group: 2-Ebenen-Konfiguration, Zusammenfassung; unveröffentlichte BMW PEP-PDM Projektunterlage, BMW AG, München, 2005
- [BMW-05b] BMWGroup: Projekt ZGAF – Grobkonzept TP2; Funktionsorientierte Gestaltung; unveröffentlichte BMW ZGAF Projektunterlage; BMW Group, München, 2005

- [BMW-06] BMWGroup: Durchgängige Konfiguration: Prämissen und Anforderungen;; unveröffentlichte BMW PEP-PDM Projektunterlage; BMW Group, München, 2006
- [BMW07] BMW Group: Leitfaden Low Level Konfiguration; unveröffentlichte BMW PEP-PDM Projektunterlage, BMW AG, München, 2007
- [CIM-02] CIMdata: Product Lifecycle Management: Empowering the Future of Business; CIMdata, 2002
- [CIM-06] CIMdata Whitepaper: Electro-Mechanical Product Development: The Mechatronics Requirement for Automotive Competitiveness; [http://www.cimdata.com/php/download\\_reports.php](http://www.cimdata.com/php/download_reports.php); CIMdata Inc., 2006
- [Conr-97] Conrat Niernerg, J.-I.: Änderungskosten in der Produktentwicklung; Dissertation an der Technischen Universität München; München, 1997
- [Conr-05] Conrad, K.-J.: Grundlagen der Konstruktionslehre, Methoden und Beispiele für den Maschinenbau; 3. Auflage; Carl Hanser Verlag, München Wien, 2005
- [CzHe-04] Czichos, H., Hennecke, M.: Hütte: Das Ingenieurwissen; 32. Auflage; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2004
- [CuGü-91] Cunis, R.; Günter, A.: PLAKON – Übersicht über das System; in: Das PLAKON-Buch, Ein Expertensystemkern für Planungs- und Konfigurierungsaufgaben in technischen Domänen, Hrsg.: Cunis et al. 1991; Informatik-Fachberichte; Vol. 266; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1991
- [Daum-01] Daum, B.: Lifecycle-integrierte Produktentwicklungsumgebung; Dissertationsschrift im Fachbereich Maschinenbau der Technischen Universität Darmstadt; erschienen in: Forschungsberichte aus dem Fachgebiet Datenverwaltung in der Konstruktion, Band 10; Shaker Verlag, Aachen, 2002
- [DeHä-06] DeBloch, S.: Grundlagen betrieblicher Informationssysteme; Skriptum zur Vorlesung; Fachbereich Informatik – Arbeitsgruppe Heterogene Informationssysteme (AG DBIS); <http://www.dvs.informatik.uni-kl.de/>; Technische Universität Kaiserslautern; Kaiserslautern, 2006
- [Demi-86] Deming, W. E.: Out of the Crisis; 2.Auflage; Cambridge Massachusetts; USA: Massachusetts Institute of Technology Press, 1986
- [DIN-199] Norm DIN 199-1: Begriffe im Zeichnungs- und Stücklistenwesen: Zeichnungen; Beuth-Verlag, Berlin, 1984
- [DIN-4000] Norm DIN 4000: Sachmerkmal-Leisten, Begriffe und Grundsätze; Beuth Verlag, Berlin, 1992
- [DIN-8402] Norm DIN ISO 8402-1: Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung, Anmerkungen zu Grundbegriffen, Beiblatt zu DIN ISO 8402, Beuth-Verlag, Berlin, 1992

- 
- [DIN-9001] Norm DIN EN ISO 9001: Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen, Beuth-Verlag, Berlin, 2000
- [DIN10007] Norm DIN ISO 10007: Qualitätsmanagement – Leitfaden für Konfigurationsmanagement; Beuth-Verlag, Berlin, 1996
- [DoHB-02] Dombrowski, U. / Horatzek, S. / Bothe, T.: Prozessmodelle sinnvoll einsetzen – Veränderte Rahmenbedingungen erschließen in Unternehmen vielfältige Einsatzgebiete für Prozessmodelle; in: FB/IE Zeitschrift für Unternehmensentwicklung und Industrial Engineering 51 (2002), S. 201 – 206
- [EiSt-01] Eigner, M., Stelzer, R.: Produktdatenmanagement-Systeme: ein Leitfaden für product development und Life-Cycle-Management; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2001
- [EhKL-05] Ehrlenspiel, K., Kiewert, A., Lindemann, U.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren, Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung; 5. Auflage; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2005
- [Ehrl-03] Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung: Dankabläufe, methodeneinsatz, Zusammenarbeit; 2. Auflage; Hanser Verlag, München Wien, 2003
- [Ever-88] Eversheim, W., Schuh, G., Caesar, C.: Variantenvielfalt in der Serienproduktion. VDI-Zeitschrift 130 (1988) 12; VDI Verlag, 1988
- [Ever-89] Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik, Band 4, Fertigung und Montage; 2. Auflage; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1989
- [Ever-96] Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik, Band 1, Grundlagen; 3. Auflage; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1996
- [Ever-97] Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik, Band 3, Arbeitsvorbereitung; 3. Auflage; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1998
- [Ever-98] Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik, Band 2, Konstruktion; 3. Auflage; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1998
- [Ever-03] Eversheim, W.: Innovationsmanagement für technische Produkte; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2003
- [EvSc-96] Eversheim, W., Schuh, G.: Betriebshütte, Produktion und Management; 7. Auflage; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1996
- [EvSc-99a] Eversheim, W., Schuh, G.: Produktion und Management I; Integriertes Management; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1999
- [EvSc-99b] Eversheim, W., Schuh, G.: Produktion und Management II; Produktmanagement; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1999

- [EvSc-05] Eversheim, W., Schuh, G.: Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2005
- [EvSW-98] Eversheim, W., Schenke, F.-B., Warnke, L.: Komplexität im Unternehmen verringern und beherrschen – Optimale Gestaltung von Produkten und Produktionssystemen; in Adam, D.: Komplexitätsmanagement; Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, Wiesbaden, 1998
- [Fran-94] Frank, U.: Multiperspektivische Unternehmensmodellierung: Theoretischer Hintergrund und Entwurf einer objektorientierten Entwicklungsumgebung; Habilitation; Oldenburg, 1994
- [Fran-02] Franke, H.-J. et al.: Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung; Carl Hanser Verlag, München Wien, 2002
- [Freu-04] Freund, G.: Entwicklung eines methodischen Vorgehens zur Einführung von Digital Mock-Up-Techniken in den Produktentwicklungsprozess der Automobilindustrie; [http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=972663827&dok\\_var=d1&dok\\_ext=pdf&filename=972663827.pdf](http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=972663827&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=972663827.pdf); Dissertationsschrift der Technischen Universität Bergakademie Freiberg; Freiberg, 2004
- [Gabl-04] Gabler: Wirtschafts-Lexikon; 16. Auflage; Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, Wiesbaden, 2004
- [Gait-83] Gaitanides, M.: Prozessorganisation, Entwicklung Ansätze und Programme prozessorientierter Organisationsgestaltung; München; 1983
- [Geda-05] N.N.: Produktqualität stark im Fokus: Fraunhofer IPK und gedas spüren Entwicklungstrends in der Automobilindustrie auf; [http://www.gedas.de/gedasag/germany/company/de/press/2005/pressemitteilung\\_27\\_09\\_05\\_plm.html](http://www.gedas.de/gedasag/germany/company/de/press/2005/pressemitteilung_27_09_05_plm.html); gedas Pressemitteilung 27-09-2005
- [Geck-02] Geckler, D.: Änderungsschleifen in Fahrzeugprojekten: Simulation – Projektmanagement – Prozessgestaltung; Dissertation der Technischen Universität Clausthal; Shaker Verlag, Aachen, 2002
- [Grab-05] Grabowski, H. (Hrsg.): Unternehmensspezifisches Klassifikationssystem zur effizienten Datenverwaltung (mit Anwendungsszenarien aus der Praxis), Abschlussbericht des Verbundprojektes „Klassifikationssysteme automatisiert erstellen“ (KLAster); Universitätsverlag Karlsruhe; Karlsruhe, 2005
- [GrAP-93] Grabowski, H.; Anderl, R.; Polly, A.: Integriertes Produktmodell; Beuth Verlag; Berlin, Wien Zürich, 1993
- [GrFe-05] Grothe, K.-H., Feldhusen, J. et al: Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau; 21. Auflage; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2005

- [Gröp-06] Gröpfer, M.: Von der Produktidee zur Produktbegleitung; in IT&Produktion Zeitschrift für industrielle Informationstechnologie, PLM Wissen Kompakt 2006/2007; [www.it-production.com/media\\_container/PLM\\_Fuehrer\\_2006.pdf](http://www.it-production.com/media_container/PLM_Fuehrer_2006.pdf); TeDo-Verlag GmbH, Marburg, 2006
- [Gros+02] Grosse, A. G. et al.: SFB 346 – Integrationstechnologie als Innovationsmotor für Maschinenbauanwendungen; in: Grabowski, H. (Hrsg.): Rechnergestützte Produktentwicklung und –herstellung auf Basis eines integrierten Produkt- u. Produktionsmodells. Ausgewählte Beiträge des Sonderforschungsbereiches 346 der deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG); Shaker Verlag, Aachen, 2002, S. 33 – 42
- [GrSc-05] Gronau, N., Schmid, S.: Marktüberblick: Konfiguratoren in ERP-/PPS-Systemen; In: PPS Management, 1, 2005, S.55-61; [http://wi.uni-potsdam.de/impress/ppsneuline.nsf/0/A64BFB9DC58FDE54C12570C80080C12E/\\$FILE/PPS1-2005-recherche.pdf](http://wi.uni-potsdam.de/impress/ppsneuline.nsf/0/A64BFB9DC58FDE54C12570C80080C12E/$FILE/PPS1-2005-recherche.pdf); GITO Verlag mbH, 2005
- [Gött-90] Göttker, A.: Teilefamilienbildung, Vergleich rechnergestützter Verfahren; Schriftenreihe Technische Betriebsführung, Verlag TÜV Rheinland, 1990
- [GoFH-90] Gottlob, G., Frühwirt, T., Horn, W.: Springers Angewandte Informatik: Expertensysteme; Springer Verlag, Wien, 1990
- [Guld-05] Guldi, A. et al.: Unternehmensspezifisches Klassifikationssystem zur effizienten Datenverwaltung (mit Anwendungsszenarien aus der Praxis): Abschlußbericht des Verbundprojektes "Klassifikationssysteme automatisiert erstellen" (KLAUSTER); Institut für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion der Universität Karlsruhe; Universitätsverlag Karlsruhe, 2005
- [GuSo-06] Gumm, H.; Sommer, M.: Einführung in die Informatik; 7. Auflage; Oldenburg Wissenschaftsverlag GmbH, München, Wien, 2006
- [Güm-05] Gümbel, H.: Semiramis – Native Business Software der nächsten Generation; [www.ktw.com/backend/actions/download.php/White\\_Paper\\_Semiramis\\_V5.0.de.pdf](http://www.ktw.com/backend/actions/download.php/White_Paper_Semiramis_V5.0.de.pdf); White Paper der Strategy Partners International, 2005
- [GüKK-99] Günter, A., Kreuz, I., Kühn, C.: Kommerzielle Software-Werkzeuge für die Konfigurierung von technischen Systemen; in: KI-Markt 03/99; Gesellschaft für Informatik e.V., Bonn, 1999
- [GüKü-99] Günter, A., Kühn, C.: Knowledge-Based Configuration - Survey and Future Directions; Survey and Future Directions, Proceedings of the 5th Biannual German Conference on Knowledge-Based Systems (XPS99), Würzburg, 1999; Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1999
- [HaCh-95] Hammer, M.; Champy, J.: Business Reengineering; 5. Auflage; Campus Verlag, Frankfurt a. M., 1995
- [HaSc-04] Hartmann, G., Schmidt, U.: mySAP Product Lifecycle Management; Galileo Press, Bonn, 2004

- [Heeg-05] Heeg, C.: Entwicklung eines Produktdatenmodells zur designorientierten Gestaltanalyse; Dissertationsschrift; Fachbereich Maschinenbau der Technischen Universität Darmstadt; Shaker Verlag, Aachen, 2005
- [Hein-99] Heina, J.: Variantenmanagement: Kosten-Nutzen-bewertung zur Optimierung der Variantenvielfalt; Dissertation; Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH, Wiesbaden, 1999
- [Hinr-02] Hinrichs, H.: Datenqualitätsmanagement in Data Warehouse-Systemen; Dissertation der Universität Oldenburg; <http://docserver.bis.uni-oldenburg.de/publikationen/dissertation/2002/hindat02/hindat02.html>; Oldenburg, 2002
- [HoNW-93] Horváth, P., Niemand, S., Wolbold, M.: Target Costing – State of the Art, in Horváth (Hrsg.): Target Costing – Marktorientierte Zielkosten in der deutschen Praxis; Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1993
- [HoKr-03] Hotz, L., Krebs, T.: Configuration - State of the Art and New Challenges; In: Beiträge zum 17. Workshop "Planen, Scheduling und Konfigurieren, Entwerfen" (PuK'03) - 26. Jahrestagung Künstliche Intelligenz (KI'03); <http://lki-www.informatik.uni-hamburg.de/~krebs/publications/PuK2003hotz.pdf>; Universität Hamburg, 2003
- [IBM-06] N.N.: IBM WebSphere Produktportfolio: Product Information Management Solutions; <http://www-306.ibm.com/software/de/websphere/ws-pims.html>; IBM, 2006
- [ITWi-06] N.N.: Das große Online Lexikon für Informationstechnologie; [http://www.itwissen.info/definition/lexikon//\\_meta%20data\\_metadaten.html](http://www.itwissen.info/definition/lexikon//_meta%20data_metadaten.html); DATACOM Buchverlag, 2004-2006
- [ISO10303] Norm ISO 10303: Industrielle Automatisierungssysteme und Integration - Produktdatendarstellung und -austausch; Beuth Verlag, Berlin, 1994
- [Jani-04] Jania, T.: Änderungsmanagement auf Basis eines integrierten Prozess- und Produktdatenmodells mit dem Ziel einer durchgängigen Komplexitätsbewertung; Dissertation der Universität Paderborn; [http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=975239740&dok\\_var=d1&dok\\_ext=pdf&filename=975239740.pdf](http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=975239740&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=975239740.pdf); Paderborn; 2004
- [Jeck-04a] Jeckle, M.: Unified Modelling Language (UML); <http://www.jeckle.de/unified.htm>; 2004
- [Jeck-04b] Jeckle, M.: Extensible Markup Language (XML); <http://www.jeckle.de/xml/index.html>; 2004
- [KaBr-03] Kamiske, G. F., Brauer, S.-P.: Qualitätsmanagement von A bis Z, Erläuterungen moderner Begriffe des Qualitätsmanagements; 4 Auflage; Carl Hanser Verlag, München Wien, 2003

- [Kers-02] Kersten, W.: Vielfaltsmanagement, Integrative Lösungsansätze zur Optimierung und Beherrschung der Produkte und Teilevielfalt; TCW-Report Nr. 31; TCW Transfer Centrum GmbH; 2002
- [Knoc-95] Knoche, Th.: Die neue Rolle des Konstrukteurs und wie er sie bewältigt; Konstruktion 47, Zeitschrift für Konstruktion und Entwicklung im Maschinen-, Apparate- und Gerätebau; Organ der VDI-Gesellschaft Konstruktion und Entwicklung; Springer Verlag; 1995
- [Köhl-02] Köhler, P.: Moderne Konstruktionsmethoden im Maschinenbau; Vogel (Kamprath Reihe), Würzburg, 2002
- [Kohl-05] Kolhoff, S.: Produktentwicklung mit SAP in der Automobilindustrie; Gallileo Press, Bonn, 2005
- [Kord-04] Korduan, P.: Metainformationssysteme für Precision Agriculture; Dissertationsschrift; Interner Bericht, Heft Nr. 17; Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Universität Rostock, 2004
- [Kras-03] Krastel, M.: Neue Potentiale für KMUs durch PLM; Whitepaper der IBM; <http://www-03.ibm.com/solutions/plm/country/de/download/kmu.pdf>; IBM Corporation, 2003
- [KrFG-02] Krallmann, H., Frank, H., Gronau, N.: Systemanalyse in Unternehmen, Vorgehensmodelle, Modellierungsverfahren und Gestaltungsoptionen; 4. Auflage; Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München Wien: Oldenbourg, 2002
- [KrFG-07] Krause, F.-L., Franke H.-J., Gausemeier, J. (Hrsg.): Innovationspotentiale in der Produktentwicklung; Hanser Verlag, München, 2007
- [KrWH-04] Krebs, T.; Wolter, K.; Hotz, L.: Mass Customization for Evolving Product Families. In: Proc. of International Conference on Economic, Technical and Organizational Aspects of Product Configuration Systems, S. 79–86; [http://www.productmodels.org/conference2004/papers/PETO4\\_Krebs.pdf](http://www.productmodels.org/conference2004/papers/PETO4_Krebs.pdf); Universität Hamburg, 2004
- [Kühn-01] Kühn, C.: Vergleich unterschiedlicher Konfigurationsmethoden im Hinblick auf die Nutzbarkeit von Wissens über das Zustandsverhalten der Konfigurationsobjekte; DaimlerChrysler AG - Forschung und Technologie; <http://www-is.informatik.uni-oldenburg.de/~sauer/puk2001/papers/kuehn.pdf>; 2001
- [Kurb-99] Kurbel, K.: Produktionsplanung und –steuerung, Methodische Grundlagen von PPS-Systemen und Erweiterungen. In: Endres, A. et al (Hrsg): Handbuch der Informatik; R. Oldenbourg Verlag, München, 1999
- [Leem-05] Leemhuis, H.: Funktionsgetriebene Konstruktion als Grundlage verbesserter Produktentwicklung; Dissertation der Technischen Universität Berlin; Berlin, 2005

- [Lesz-05] Leszinski, C.: Vorstellung der Studie “Benefits of PLM in the Automotive Industry”; [http://www.pdm.informatik.uni-oldenburg.de/presentations/Benefits\\_of\\_PLM.pdf](http://www.pdm.informatik.uni-oldenburg.de/presentations/Benefits_of_PLM.pdf); IBM Business Consulting Services; Universität Oldenburg, 2005
- [Li-03] Li, J.: Die Beherrschung der Variantenvielfalt im Vertriebsprozess mit Hilfe des Variantenkonfigurators am Beispiel der Implementierung der „SAP R/3 Variantenkonfiguration“; Dissertation der Universität Mannheim; Mannheim, 2003
- [Lind-06] Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte, Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden; VDI Buch; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2006
- [Lind-07] Lindemann, U.: Methoden der Produktentwicklung - Vorlesungsfolien zur Lehrveranstaltung (VO01 Einführung Produktentwicklung, VO02 Vorgehensmodelle); <http://www.pe.mw.tum.de/index.php?inhalt=unterlagen&name=MPE>, Technische Universität München, Fakultät für Maschinenbau; München, 2007
- [LiRe-98] Lindemann, U.; Reichwald, R.: Integriertes Änderungsmanagement; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1998
- [MaKO-07] Marinov, M.; Krappe, H.; Ovtcharova, J.: Anwendung der Funktionsmodellierung; CAD-CAM Report 6/2007; Dressler Verlag, Heidelberg, 2007
- [Mark-03] Markworth, R.: Entwicklungsbegleitendes Digital Mock-Up im Automobilbau; Dissertationsschrift der Technischen Universität Berlin; Shaker Verlag, Berlin, 2003
- [MaSc-97] Maurer, G.; Schwickert, A. C.: Kritische Anmerkungen zur Prozessorientierung; Arbeitspapier WI Nr.9/1997; [http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2004/1696/pdf/Apap\\_WI\\_1997\\_09.pdf](http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2004/1696/pdf/Apap_WI_1997_09.pdf); Universität Mainz, 1997
- [Maßb-93] Maßberg, W.: Fertigungsinseln in CIM Strukturen; Springer Verlag, Berlin, 1993
- [Meff-0] Meffert, H.: Marketing - Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung: Konzepte – Instrumente – Praxisbeispiele; 9. Auflage; Verlag Dr. Th. Gabler GmbH, Wiesbaden, 2000
- [Mend-99] Mendgen, R.: Methodische Vorgehensweise zur Modellierung in parametrischen und featurebasierten 3D-CAD-Systemen; Dissertationsschrift aus dem Fachbereich Maschinenbau der Technischen Universität Darmstadt, erschienen in: Forschungsberichte aus dem Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion; Shaker Verlag, Aachen, 1999

- [Meng-01] Menge, M.: Ein Beitrag zur Beherrschung der Variantenvielfalt in der auftragsbezogenen Einzel- und Kleinserienfertigung komplexer Produkte; Dissertation der Universität Braunschweig; Vulkan-Verlag, Essen, 2001
- [Mill-1969] Miller, G. A.; Galanter, E.; Pribram, K. H.: Plans and the Structure of Behavior; Holt, Rinehart and Winston, Wisconsin 1960
- [MüMi-92] Mühlbradt, T., Mirwald, D.: Mit Komplexitätsmanagement handlungsfähig bleiben; IO Management Zeitschrift, Nr. 10, 1992
- [Nort-99] North, K.: Wissensorientierte Unternehmensführung, Wertschöpfung durch Wissen; 2. Auflage; Verlag Dr. Th. Gabler GmbH, Wiesbaden, 1999
- [Ober-03] Obermann, K.: CAD CAM PLM Handbuch 2003; Carl Hanser Verlag, München Wien, 2003
- [Otto-03] Otto, T.: PLM darf nicht CIM 2 sein, Mittelstandsexperten im Gespräch; in Digital Engineering 4/2003; IWT Magazin Verlags-GmbH/WIN-Verlag GmbH & Co.KG, 2003
- [Pahl-05] Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. Grote, K.H.: Konstruktionslehre, Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung, Methoden und Anwendungen; 6. Auflage; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2005
- [PaSu-91] Paul, R.; Sutter, B.: Technisches Modellieren - Ein Zugang zur integrierten Produktdatenverwaltung; in: Fachtagung "Datenbanksysteme in Büro, Technik und Wissenschaft"; Kaiserslautern, 1991  
<http://www.dvs.informatik.uni-kl.de/pubs/papers/PS91.BTW.pdf>
- [PLM-05] N.N.: PLM-Portal; Forschungsbereich Prozess- und Datenmanagement im Engineering (PDE) des Forschungszentrum Informatik (FZI) an der Universität Karlsruhe; <http://www.plmportal.de/index.php>; Universität Karlsruhe, 2005
- [Pfli-89] Pflicht, W.: Technisches Änderungswesen in Produktionsunternehmen: Aufbauorganisation – PPS – Grunddatenverwaltung – Schwachstellenanalyse – Kostenminimierung; VDE-Verlag, Berlin, 1989
- [Polly-96] Polly, A.: Methodische Entwicklung und Integration von Produktmodellen; Dissertation der Universität Karlsruhe; Forschungsberichte aus dem Institut für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion der Universität Karlsruhe; Shaker Verlag, 1996
- [PPWi-99] Paul, R., Paul, G., Wierschin, H.: Mehr Flexibilität bei der Integration von ERP- und PDM-Systemen; [http://www.bim-consulting.de/berichte/IntegrationvonERPundPDM\\_Systemen.pdf](http://www.bim-consulting.de/berichte/IntegrationvonERPundPDM_Systemen.pdf); EDM Report Nr. 2, 1999
- [Prau-02] von Praun, S.: Toleranzanalyse nachgiebiger Baugruppen im Produktentstehungsprozess; Dissertation an der Technische Universität München; Forschungsberichte iwB, Band 171; Herbert Utz Verlag, München, 2002

- [ProS-06a] N.N.: Was ist Step? Architektur und Aufbau;  
<http://www.prostep.org/de/standards/was/aufbau/>; ProSTEP iViP Association, 2006
- [ProS-06b] N.N.: PDTnet - Produktdatentechnologie und Kommunikation im Netzwerk von Automobilhersteller und Zulieferer;  
<http://www.prostep.org/de/standards/pdtnet/>; ProSTEP iViP Association, 2006
- [Pulm-04] Pulm, U.: Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung; Dissertation; Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München; Verlag Dr. Hut, München, 2004
- [Pupp-91] Puppe, F.: Einführung in Expertensysteme; 2. Auflage; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1991
- [Quix-03] Quix, C. J.: Metadatenverwaltung zur qualitätsorientierten Informationslogistik in Data-Warehouse-Systemen; Dissertationsschrift; Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 2003
- [Rath-93] Rathnow, P. J.: Integriertes Variantenmanagement. Bestimmung, Realisierung und Sicherung der optimalen Produktvielfalt; Vandenhoeck & Rupprecht, Göttingen, 1993
- [REFA-78] REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V.: Methodenlehre des Arbeitsstudiums, Teil 2 "Datenermittlung"; Carl Hanser Verlag, München, 1978
- [Reis-02] Reischel, C.: Simulation von Produktkosten in der Entwicklungsphase; Dissertation; Verlag Dr. Hut, München, 2002
- [Reiß-93] Reiss, M.: Komplexitätsmanagement I, Zeitschriftenaufsatz in: WISU, Nr. 1, 1993; Lange Verlag, Düsseldorf, 1993
- [RoSe-94] Rollke, K.-H, Sennholz, K.: Grund und Leistungskurs Informatik; Cornelsen Verlag, Berlin, 1994
- [Rose-05] Rose, B.: Variantenvielfalt, Teure Kostentreiber;  
<http://www.noae.com/variants.html>; Automobil Industrie 1-2, 2005
- [Runt-06] Runte, W.: YACS: Ein hybrides Framework für Constraint-Solver zur Unterstützung wissensbasierter Konfigurierung; Diplomarbeit der Universität Bremen, 2006
- [SaIm-05] Saaksvuori, A., Immonen, A.: Product Lifecycle Management; 2. Auflage; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2005
- [SAP-01a] N. N.: „Managing the e-supply chain“ in der Automobilindustrie mit my-SAP<sup>TM</sup> Automotive; White Paper der SAP-AG, Walldorf, 2001

- [Sayn-99a] Saynisch, M.: Intensivseminar I – Was ist Konfigurationsmanagement, Konzept – Grundlegende und ergänzende Teildisziplinen und Methoden; in 3. Fachtagung Konfigurationsmanagement - Änderungsmanagement mit System; GPM Deutschen Gesellschaft für Projektmanagement e.V., Nürnberg, 1999
- [Sayn-99b] Saynisch, M.: Schlüsselfaktor Konfigurationsmanagement (KM) – Lebensfähigkeit in dynamischen, globalen Märkten bei steigender Produktkomplexität; in 3. Fachtagung Konfigurationsmanagement - Änderungsmanagement mit System; GPM Deutschen Gesellschaft für Projektmanagement e.V., Nürnberg, 1999
- [ScFi-96] Schwickert, A.; Fischer, K.: Der Geschäftsprozess als formaler Prozess – Definition, Eigenschaften, Arten; <http://wi.uni-giessen.de/gi/dl/det/Schwickert/1115/>; Arbeitspapiere WI, Nr. 4/1996, Fachbereich BWL und Wirtschaftsinformatik; Justus-Liebig-Universität Gießen, 1996
- [Sche-90] Scheer, A.-W.: CIM Computer Integrated Manufacturing, Der computergesteuerte Industriebetrieb, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1990
- [Sche-02] Scheer, A.-W.: ARIS – Vom Geschäftsprozess zum Anwendungssystem; 4. Auflage; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2002
- [Sche-06] Scheer, A.-W., Boczanski, M., Muth, M., Schmitz, W.-G., Segelbacher, U.: Prozessorientiertes Product Lifecycle Management; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2006
- [Schi-02] Schichtel, M: Produktdatenmodellierung in der Praxis; Hanser Verlag, München Wien, 2001
- [Schö-01] Schönsleben, P.: Integrales Informationsmanagement, Informationssysteme für Geschäftsprozesse – Management, Modellierung, Lebenszyklus und Technologie; 2 Auflage; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2001
- [Schö-02] Schönsleben, P.: Integrales Logistikmanagement, Planung und Steuerung der umfassenden Supply Chain; 3. Auflage; Berlin, Heidelberg 2002; S. 173
- [Schu-05] Schuh, G.: Produktkomplexität managen, Strategien – Methoden – Tools; 2. Auflage; Carl Hanser Verlag, München Wien, 2005
- [ScRe-05] Schneider, J., Reichart, M.: Neue Technologien im Produktinnovationsprozess; Arbeitsbericht; Fachhochschule Vorarlberg, Forschungszentrum Prozess- und Produkt- Engineering, 2005
- [Segh-96] Seghezzi, H. D.: Integriertes Qualitätsmanagement: das St. Galler Konzept; Hanser Verlag, München Wien, 1996
- [SeWa-05] Sandler, U., Wawer, V.: CAD und PDM: Prozessoptimierung durch Integration; Carl Hanser Verlag, München Wien, 2005

- [SFB392] Sonderforschungsbereich 392: Entwicklung umweltgerechter Produkte – Methoden, Arbeitsmittel und Instrumente: Arbeits- und Ergebnisberichte; Technische Universität Darmstadt, 1998
- [Soft-06] Softlab: Factsheet Collaborative Engineering; <http://www.softlab.com/globalContentSoftlab/factsheets/resDocuments/CollaborativeEngineering.pdf>; Softlab GmbH, München, 2006
- [Spec-98] Speck, H.-J.: Methode zur entwicklungsbegleitenden Ergebnisdokumentation bei der Produktdatenmodellentwicklung; Dissertationsschrift; Fachbereich Datenverarbeitung in der Konstruktion, Technische Universität Darmstadt; Shaker Verlag, Aachen, 1998
- [Stac-73] Stachowiak, H.: Allgemeine Modelltheorie; Springer Verlag, Wien, 1973
- [Stau-05] Staud, J.: Datenmodellierung und Datenbankentwurf, Ein Vergleich aktueller Methoden; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2005
- [Stum-00] Stumptner, M.: Wissensbasiertes Kongurieren. Vorlesungsskript, Technische Universität Wien, 2000.
- [Trip-02] Trippner, D.: Vorgehensmodell zum Management von Produktdaten in komplexen und dynamischen Produktentwicklungsprozessen; Forschungsberichte aus dem Institut für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion der Universität Karlsruhe; Shaker Verlag, Aachen, 2002
- [VDA-04] VDA Jahresbericht 2004; Verband der Automobilindustrie e. V.; [http://www.vda.de/de/service/jahresbericht/files/VDA\\_2004.pdf](http://www.vda.de/de/service/jahresbericht/files/VDA_2004.pdf); Frankfurt am Main, 2004
- [VDA-05] VDA Jahresbericht 2005; Verband der Automobilindustrie e. V.; [http://www.vda.de/de/service/jahresbericht/files/VDA\\_2005.pdf](http://www.vda.de/de/service/jahresbericht/files/VDA_2005.pdf); Frankfurt am Main, 2005
- [VDA-06] VDA Jahresbericht 2006; Verband der Automobilindustrie e. V.; [http://www.vda.de/de/service/jahresbericht/files/VDA\\_2006.pdf](http://www.vda.de/de/service/jahresbericht/files/VDA_2006.pdf); Frankfurt am Main, 2006
- [VDA-07] VDA Jahresbericht 2007; Verband der Automobilindustrie e. V.; [http://www.vda.de/de/service/jahresbericht/files/VDA\\_2007.pdf](http://www.vda.de/de/service/jahresbericht/files/VDA_2007.pdf); Frankfurt am Main, 2007
- [VDA-08] VDA Jahresbericht 2008; Verband der Automobilindustrie e. V.; [http://www.vda.de/de/service/jahresbericht/files/VDA\\_2008.pdf](http://www.vda.de/de/service/jahresbericht/files/VDA_2008.pdf); Frankfurt am Main, 2008
- [VDI 2215] VDI 2215; Datenverwaltung in der Konstruktion, organisatorische Voraussetzungen und allgemeine Hilfsmittel ; Hrsg. Verein Deutscher Ingenieure; Beuth Verlag, Berlin Köln, 1980

- [VDI 2219] Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung - Einführung und Wirtschaftlichkeit von EDM/PDM-Systemen, Hrsg. Verein Deutscher Ingenieure, Beuth Verlag, Berlin Wien Zürich, 2002
- [VDI 2221] VDI 2221; Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte; Hrsg. Verein Deutscher Ingenieure; Beuth Verlag, Berlin Wien Zürich, Ausg. 1993
- [VDI 2222] VDI 2222; Konstruktionsmethodik, Konzipieren technischer Produkte; Hrsg. Verein Deutscher Ingenieure; Beuth Verlag, Berlin Wien Zürich, Ausg. 1977
- [VeHe-00] Verworn, B; Herstatt, C.: Modelle des Innovationsprozesses; Arbeitspapier NR. 6; [http://www.tuhh.de/tim/downloads/arbeitspapiere/Arbeitspapier\\_6.pdf](http://www.tuhh.de/tim/downloads/arbeitspapiere/Arbeitspapier_6.pdf); Department for Technology and Innovation Management, Technical University of Hamburg (Harburg), 2000
- [Voeg-99] Voegele, A.: Konstruktions- und Entwicklungs-Management; 2. Auflage; Verlag Moderne Industrie, Landsberg Lech, 1999
- [WaPS-03] Warschat, J., Potinecke, T., Slama, A.: Digitale Produktentstehung – Einsatz digitaler Systeme und deren Auswirkungen; Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation; Stuttgart, 2003
- [Wasm-98] Wasmer, A. M.: Methodische Vorgehensweise beim Entwurf von Mappings zwischen Produktmodellen; Dissertation der Technischen Universität Darmstadt; Forschungsberichte aus dem Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion; Shaker Verlag, Aachen, 1998
- [WeSc-03] Wettklo, M., Schultze, M.-A.: ERP-Strategien im collaborative Business; [http://download.messe-muenchen.de/media\\_pub/mediacenter/gb3portale.messe-muenchen.de/systems-world.de/systems-world/business/unternehmensfuehrung/deteconerp.pdf](http://download.messe-muenchen.de/media_pub/mediacenter/gb3portale.messe-muenchen.de/systems-world.de/systems-world/business/unternehmensfuehrung/deteconerp.pdf); White Paper der Detecon International GmbH, 2003
- [Wibo-91] Wiborny, W.: Datenmodellierung CASE Datenmanagement; Addison-Wesley, Bonn München (u.a.), 1991
- [Wild-98] Wildemann, H.: Komplexitätsmanagement durch Prozess- und Produktgestaltung. In: Adam, D. (Hrsg): Komplexitätsmanagement; Gabler Verlag, Wiesbaden, 1998, S. 47 – 68
- [Wild-99] Wildemann, H.: Komplexität: Vermeiden oder beherrschen lernen; in: Harvard Business Manager 6/1999 (1999), S. 31 – 42
- [Wien-05] Wiendahl, H.-P.: Betriebsorganisation für Ingenieure; 5. Auflage; Carl Hanser Verlag, München Wien, 2005
- [Wöhe-05] Wöhe, G.: Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften: Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre; 22. Auflage; Verlag Franz Vahlen GmbH, München, 2005

[Zrim-02] Zrimsek, B.: Letter from the Editor, LE-15-6448, 04.02.2002;  
[http://gartner.lib.depaul.edu/gartner\\_intraWeb/research/104800/104860/104860.pdf](http://gartner.lib.depaul.edu/gartner_intraWeb/research/104800/104860/104860.pdf); Gartner Inc., 2002

## 10 Anhang

### 10.1 Datenmodellierung

#### Wichtige Methoden der Modellierung

- Entity Relationship Modell (ERM)
- Structured Entity Relationship Modell (SERM)
- Strukturierte Analyse nach DeMarco (SA)
- Structured Analysis and Design Technique (SADT)
- Unified Modeling Language (UML)
- Architektur integrierter Informationssysteme (ARIS)
- Objektorientierten Geschäftsprozessmodellierung (OOGPM)
- exemplarische Geschäftsprozessmodellierung (eGPM)
- Objektorientierte Methode zur Geschäftsprozessmodellierung und -analyse (OMEGA)
- Integrierte Unternehmensmodellierung (IUM)
- Business Process Modeling Notation (BPMN)
- SQL Transaktionskonzept

#### Das Entity Relationship Modell (ERM):

Ein generell einsetzbares Modellierungswerkzeug ist die semantische Modellierung mit **Entity Relationship Modellen (ERM)**<sup>1</sup>. ER-Modelle sind (datenbank-)systemunabhängig. Sie können in hierarchische Modelle, Netzmodelle, relationale und objektorientierte Modelle überführt werden [vgl. Stau-05, S. 20], eignen sich jedoch besonders für den Entwurf relationaler Datenbanken. Für ER-Modelle wurden zahlreiche Notationen entwickelt, zu denen unter anderem auch die Unified Modeling Language (UML) gehört<sup>2</sup>.

In ER-Modellen werden Entitäten über Beziehungen in einen semantischen Zusammenhang gebracht. Die Entität repräsentiert hierbei ein individuelles Objekt der realen oder Vorstellungswelt. Ein Entitätstyp fasst dagegen eine Gruppe von Entitäten mit gleichen Merkmalen zusammen [vgl. Wibo-91, S 58]. Die mögliche Anzahl der an einer Beziehung beteiligten Entitäten wird als Kardinalität bezeichnet [vgl. KrFG-02, S. 235 / Stau-05, S. 129ff]. Es wird also die Struktur der Datensätze und nicht der Inhalt der einzelnen Datensätze abgebildet [KrFG-02, S. 235]. Weiterhin werden die Beziehungen mittels Abstraktionskonzepten verfeinert. Hierzu gehören die Generalisierung und Vererbung, Assoziationen mit Mengeneigenschaften und Mitgliedschaftsimplicationen, Aggregation und implizierte Prädikate sowie Integration der Abstraktionskonzepte mittels objektzentrierter Darstellungen [Vorlesungsskript Informationssysteme – K3 Informationsmodelle S.3-67 unter Modellierung].

#### Die Unified Modeling Language (UML):

UML ist heute nicht mehr nur eine Notation für ER-Modelle, sondern liefert allgemeine Techniken für die objektorientierte Modellierung, mit denen eine Brücke zwischen Produktdatenmodell und Softwareentwicklung geschlagen werden kann [vgl. Schi-02, S. 158]. Es ist eine durch die Object Management Group (OMG) standardisierte graphische Sprache zur Beschreibung objektorientierter Modelle [Jeck-04a]. UML entwickelte sich in den 90er Jahren

<sup>1</sup> Neben den ER-Modellen gibt es eine Vielzahl weiterer klassischer Modellierungsmethoden (z.B.: Structured Analysis and Design Technique (SADT), Jackson Structured Design (JSD), Struktogramme, Aktionsdiagramme, Petri-Netze, Warnier-Orr Diagramm usw.). Eine Klassifikation einiger der genannten Modellierungsmethoden findet sich bei [Schö-01, S. 153].

<sup>2</sup> Eine Liste der bekanntesten Notationen findet sich im Anhang A.

durch die strukturierte Zusammenführung der vorherrschenden objektorientierten Modellierungssprachen Booch (Grady Booch), OOSE (Ivar Jacobsen) und OMT (James Rumbaugh). Im Jahr 2000 wurde UML zum ISO Standard und stellt in der heutigen Version UML2.0 ein umfangreiches Set an Begriffen und Beziehungen zur Modellierung zur Verfügung [vgl. Schi-02, S. 180]. Der Vollständigkeit halber findet sich eine Liste der wesentlichen objektorientierten Entwicklungsmethoden im Anhang A.

### Die eXtensible Markup Language (XML):

XML in Verbindung mit der Browsertechnologie ist besonders dafür geeignet, Produktdaten über digitale Dateien online bereit zu stellen. XML ist eine Metasprache, also eine Sprache, mit der Sprachen beschrieben werden können. Technisch gesehen bildet XML eine Untergruppe der durch die ISO standardisierten Sprache „Standard Generalized Markup Language“ (SGML) (ISO-Standard 8879 von 1986) [Jeck-04b].

In dem Pilotprojekt PDTNet, in dem viele namhafte Hersteller und Zulieferer aus der Automobilindustrie unter der Koordination der Firma ProSTEP beteiligt waren, wurde die Koppelung von PDM-Systemen über das Internet untersucht [vgl. Schi-02, S. 202f]. Zentrales Szenario war die neutrale, systemunabhängige Produktdatenkommunikation zwischen Automobilherstellern und Zulieferern unter Nutzung von XML und der Internettechnologien. Zur Formalisierung der Kommunikation baute man auf dem integrierten Produktmodell der ISO 10303 auf, welche auch unter dem Namen **STandard for the Exchange of Product data (STEP)** bekannt ist [ProS-2006].

### Vorgehensmodelle des Software Engineering

- Wasserfallmodell
- Spiralmodell
- V-Modell (IT-Entwicklungsstandard der öffentlichen Hand in Deutschland / Modell der deutschen Bundesverwaltung)
- W-Modell (eine Weiterentwicklung des V-Modells mit vorgezogener Testphase)
- Generik
- ISOTEC
- Rational Unified Process (RUP)
- Unified Process
- Extreme Programming (XP)
- XUP: XP + RUP + MSF
- OPEN
- Scrum
- Stage-Gate-Model
- Personal Software Process
- Plastic Interface for Collaborative Technology Initiatives through Video Exploration
- Process Patterns
- Enterprise Unified Process
- Microsoft Solutions Framework
- Catalysis
- Team Software Process
- Feature Driven Development
- Test Driven Development
- Bundesvorgehensmodell (Österreich)
- Hermes (EDV): Das (IT-)Projektführungsmodell der Schweizer Bundesbehörden
- actiF: Agiler Entwicklungsprozess

**Notationen für ER-Modelle**

- Chen-Notation von Peter Chen
- IDEF1X (Integrated Definition Methods)
- Bachman-Notation von Charles Bachman
- Martin-Notation (Krähenfuß-Notation)
- Min-Max Notation
- UML (Unified Modelling Language)

**Objektorientierten Entwicklungsmethoden**

- OOA/OOD (Coad, Yourdon)
- OMT (Rumbaugh)
- Booch Method
- OOSA (Shlaer, Mellor)
- Jackson System Development (JSD)
- Jacobson Method
- Fusion Method (HP)
- Unified Modelling Language (UML)

## 10.2 Geschäftsprozessmodellierung

ARIS ist als Rahmenkonzept zur ganzheitlichen Modellierung computergestützter Informationssysteme vom Fachkonzept bis zur Implementierung entwickelt worden. Die Unterstützung von betriebswirtschaftlichen Geschäftsprozessen hat dabei zunehmend an Bedeutung gewonnen und das ARIS-Konzept sowie die mit diesem Konzept zur Verfügung gestellten Methoden beeinflusst. ARIS entwickelt sich heute weiter zu einem Rahmenkonzept des Wissensmanagements [Sche02, S. 1f].

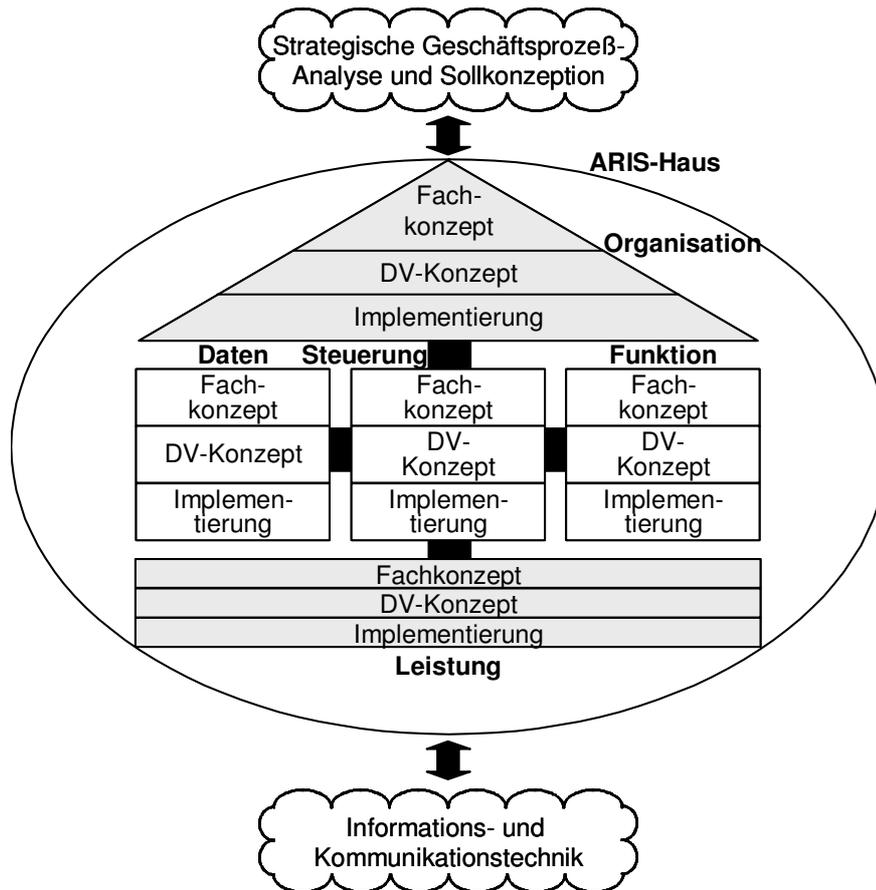


Abbildung 10-1: ARIS-Haus mit Phasenkonzept und Sichten des ARIS-Hauses<sup>1</sup>

Die Grundidee des ARIS-Konzepts ist die prozessorientierte Zerlegung des Gesamtmodells in fünf Sichten und drei Ebenen. Die fünf Sichten auf das Gesamtmodell sind die Leistungssicht, die Datensicht, die Funktionssicht, die Organisationssicht und als integrierendes Element die Steuerungssicht.

- Die **Leistungssicht** enthält alle materiellen und immateriellen Input- und Output-Leistungen. Sie bildet das Fundament des ARIS-Hauses.
- Die **Organisationssicht** beschreibt die Aufbauorganisation der Unternehmung und enthält deren Aufgabenträger (Mitarbeiter und Betriebsmittel) und deren Strukturierung. Wesentliche Darstellungsmethode der Organisationssicht ist das Organigramm. Die Organisationssicht bildet das Dach des ARIS-Hauses

<sup>1</sup> nach [Sche02]

- Die **Datensicht** enthält die Umfelddaten des Prozesses und die Eingangs- und Ausgangsnachrichten. Wesentliche Darstellungsmethode ist das ER-Modell.
- Die **Funktionsicht** stellt die auszuführenden Funktionen<sup>1</sup> und ihre Anordnungsbeziehungen dar. Aufgrund der engen Verknüpfung enthält sie auch die Ziele der Funktionen und die Anwendungssoftware mit den Bearbeitungsregeln der Funktion. Wesentliche Darstellungsmethode ist der Funktionsbaum.
- Die **Steuerungssicht** stellt die Beziehung zwischen den Sichten her und bildet somit den gesamten Geschäftsprozess ab. Die zentrale Modellierungsmethode der Steuerungssicht und des ARIS-Konzepts ist die **ereignisgesteuert Prozesskette (EPK)**. Die Steuerungssicht bildet den Mittelpunkt des ARIS-Hauses.

Grundlage dieser Sichtenbildung ist das Basis-Geschäftsprozessmodell. Es umfasst verschiedene Flussdarstellungen des Geschäftsprozesses, die nur in ihrer Gesamtheit einen Geschäftsprozess vollständig beschreiben. Da der Funktionsfluss der Definition des Geschäftsprozesses als einer Funktionsfolge zur Erstellung einer Leistung am ehesten entspricht, bildet die Funktion das zentrale Element des Basis-Geschäftsprozessmodells sowie der EPK.

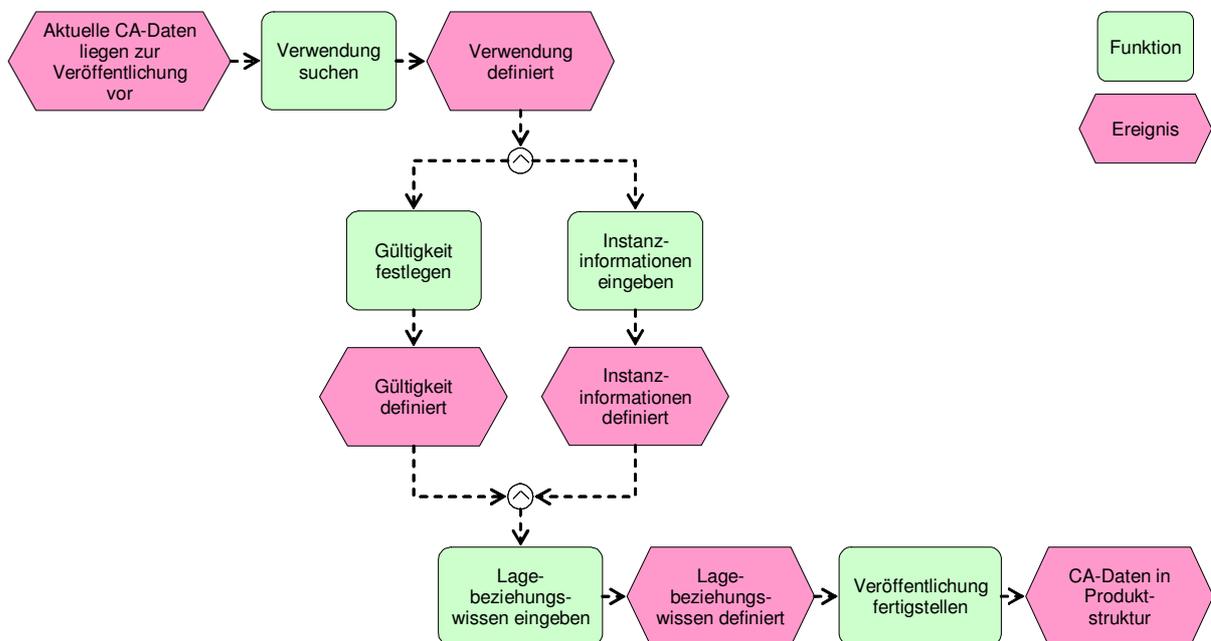


Abbildung 10-2: Vereinfachter Prozess „Veröffentlichung“ als EPK

Die drei Beschreibungsebenen des ARIS-Konzepts, **Fachkonzept**, **DV-Konzept** und **Implementierung**, werden für jede der ARIS-Sichten angewendet. Das Fachkonzept beschreibt die betriebswirtschaftliche Anwendung, welches durch das DV-Konzept in die Begriffswelt der Informationstechnik transformiert wird. Im Rahmen der Implementierung wird das DV-Konzept in Hardware, Datenstrukturen und Programme umgesetzt.

<sup>1</sup> Bei SCHEER werden die Begriffe Funktion, Vorgang und Tätigkeit synonym verwendet [vgl. Sche-02, S. 36].

### 10.3 Produktbegriff

Als Grundlage für diese Dissertation soll folgende Begriffssystematik ohne Durchführung einer detaillierten Begriffsanalyse verwendet werden:

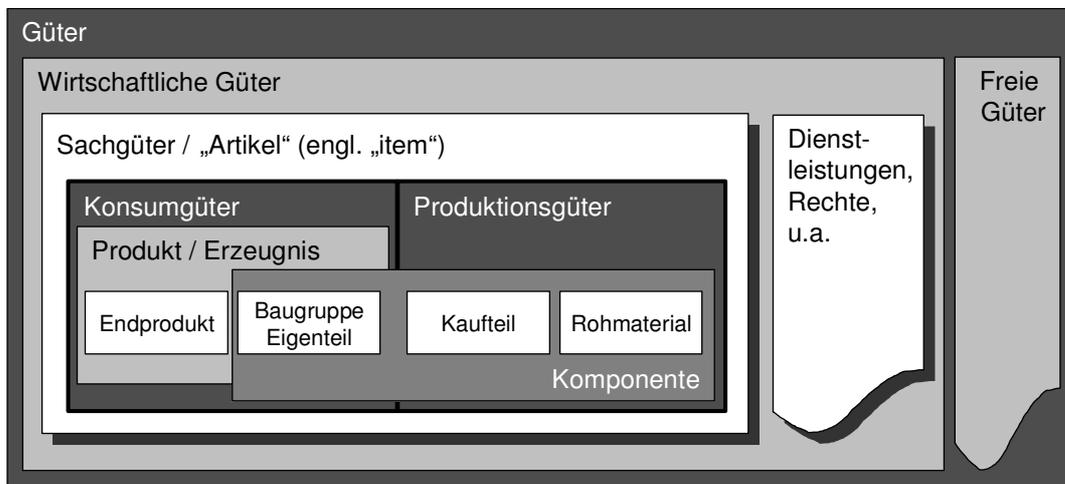


Abbildung 10-3: Spezialisierung von Gütern<sup>1</sup>

Ein Endprodukt geht in kein anderes Produkt als Komponente ein. Ein Zwischenprodukt oder Halbfabrikat wird an Lager gehalten oder ist ein Zwischenzustand im Verlauf der Produktion. Es kann in übergeordnete Produkte eingebaut werden und ist damit gleichzeitig auch eine Komponente. Eine Baugruppe ist ein Zwischenprodukt und besteht aus mindestens zwei Einzelteilen. Ein Einzelteil wird entweder produziert (Eigentel) oder zugekauft (Kaufteil) und geht in übergeordnete Produkte ein. Rohmaterial gilt für das Unternehmen als unbearbeitetes Material oder Ausgangsgut für die Herstellung [Schö-01, S. 535f].

Der Produktbegriff wird im täglichen Sprachgebrauch auch synonym für den Begriff „Gut“ verwendet. Der Begriff des **Gutes** entstammt der Betriebswirtschaftslehre. Ein Gut wird definiert als ein Mittel, welches einen Nutzen stiftet beziehungsweise Bedürfnisse befriedigt. Ein Produkt ist nicht zwangsläufig ein materielles Gut (Sachgut), da der Begriff Produkt im betriebswirtschaftlichen Sinn auch für Dienstleistungen gilt. Da diese Arbeit sich jedoch auf materielle Güter des verarbeitenden Gewerbes beschränkt, soll hier der Begriff Produkt wie in obiger Abbildung dargestellt in seiner technisch orientierten Form, synonym mit dem Begriff des Erzeugnisses verwendet werden. Die Bestandteile des Produktes werden - so es sich nicht um Produktionsfaktoren handelt - als Teile, Bauteile oder Komponenten bezeichnet. Der Begriff Material wird anders als in DIN 199 nicht nur für Rohstoffe, sondern aufgrund des starken SAP-Bezugs dieser Arbeit im SAP Sprachgebrauch verwendet. Demnach bezieht sich der Begriff des Materialstamms oder Materials auf alle Arten von Materialien, z.B. auch auf Halbfabrikate und Erzeugnisse [vgl. HaSc-04].

<sup>1</sup> in Anlehnung an [Schö-01]

## 10.4 Beziehungswissen-Syntax

Nachfolgend wird die in dieser Arbeit sowie bei der BMW AG verwendete Syntax des Beziehungswissens dargestellt [BMW07, S. 6f]:

Operatoren

Bei BMW wurden folgende Operatoren für die Beziehungswissen-Syntax festgelegt:

+	<b>Und</b>
/	<b>Oder</b> („Und-Oder“)
+–	<b>Und Nicht</b>
/–	<b>Oder Nicht</b>

Werden zwei Merkmale mit „**Und**“ verknüpft, müssen immer beide richtig sein, damit das Beziehungswissen gültig ist.

Werden zwei Merkmale mit „**Oder**“ verknüpft, muss immer mindestens eines richtig sein, damit das Beziehungswissen gültig ist.

**Beispiel:**

+D70+LL	<i>gültig für alle D70-Fahrzeuge, die Linkslenker sind</i>
+D70/D71	<i>gültig für die Entwicklungsbaureihen D70 oder D71</i>
+–N11B11O1	<i>gültig bei allen Motoren, außer N11B11O1</i>
+N11B11O1/–S205A	<i>gültig für alle Fahrzeuge mit N11B11O1 sowie alle Fahrzeuge ohne S205A haben</i>

Klammerung

+ wird grundsätzlich vor / ausgewertet. Soll der Oder-Ausdruck zuerst ausgewertet werden, muss dieser geklammert werden. Es sind auch mehrere Klammern-Ebenen möglich.

**Beispiel:**

+(D70/D71)+LL	<i>gültig bei allen Linkslenkern von D70 oder D71</i>
+S402A / D71+S403A	<i>gültig bei Panoramadach oder D71 mit Schiebedach</i>
+LL+(N11B11O1/N12B11O0)	<i>gültig bei allen Linkslenkern mit einem der Motoren</i>
+(D70/D71)+–(S407A/S408A)	<i>gültig für D70 oder D71, die weder S407A noch S408A haben</i>
+(D70/D71)+(S407A/S408A)	<i>gültig für D70 und D71, die entweder die S407A oder die S408A oder beide haben</i>

Sobald man im Beziehungswissen den Operator „/“ verwendet, sollte man die ggf. dazugehörige Klammersetzung überprüfen!

**Beispiel:**

+D87+RL+S606A/S609A	<i>Hier wurde mit Sicherheit die Klammer vergessen!</i>
+D87+RL+(S606A/S609A)	

### Minus-Anschreibung

Mit der Minus-Anschreibung werden implizit alle anderen Merkmalswerte eines Merkmals gültig gesetzt. Bei Einführung zusätzlicher Merkmalswerte (z.B. neuer Motor) werden diese dann automatisch ebenfalls gültig.

Je nachdem, ob die Minus-Logik in Verbindung mit einem „Und“ oder einem „Oder“ zu sehen ist, muss der Operator „+-“ bzw. „/-“, lauten:

**Beispiel:**

+D90 +-S407	alle D90, die nicht die SA S407A haben
+D90 /-S407A	alle D90 und zuzüglich alle Typen der Produktlinie, welche nicht die SA S407A haben

Über die Minus-Logik lässt sich mit Typmerkmalen immer dann einfacher konfigurieren, wenn man einen bestimmten Merkmalswert ausschließen will. So kann man diesen einen Wert mit Minus anschreiben anstatt die restlichen alle explizit auflisten zu müssen:

**Beispiel:**

+N11B1101	gültig für alle Motoren, außer N11B1101
+D13	gültig bei allen Derivaten der PL1 außer dem D13

Speziell bei SAs kann mit Hilfe der Minus-Logik auf die bisher verwendete Anschreibung des Merkmalswertes „NOT\_SA“ verzichtet werden. Unbedingt zu vermeiden ist die Kombination des Merkmalswertes „NOT\_SA“ in Verbindung mit dem Operator +-!

**Beispiel:**

+ NOT_S205A	=	+-S205A
<b>+ - NOT_S205A</b>	<b>→</b>	<b>+S205A</b>

Das Minus kann auch vor Klammersausdrücke gesetzt werden. Man beachte, dass beim Ausklammern des Minus-Zeichens in der Klammer aus dem **Und** ein **Oder** wird!

**Beispiel:**

+- S101A+-S102A	<b>→</b>	+- (S101A / S102A)
-----------------	----------	--------------------

Nicht möglich ist jedoch das Verwenden von mehreren Merkmalswerten desselben Merkmals in einem verneinten Ausdruck.

**Beispiel:**

**+ - (N11B11 / N12B11)**