

Package-Features für die Kommunikation in den frühen Phasen der Automobilentwicklung

vorgelegt von
Diplom-Ingenieur
Karsten Gessner
aus Würzburg

Vom Fachbereich 11 - Maschinenbau und Produktionstechnik
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften
- Dr.-Ing. -
genehmigte Dissertation

Promotionsausschuß:

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. H. Mertens

Berichter: Prof. Dr.-Ing. H.-J. Franke

Berichter: Prof. Dr.-Ing. F.-L. Krause

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 5. Februar 2001

Berlin 2001

D 83

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Doktorand in der Abteilung Entwicklung Design der BMW AG in München.

Herrn Prof. Dr.-Ing. F.-L. Krause, Leiter des Fachgebiets Industrielle Informationstechnik des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der Technischen Universität Berlin und des Bereichs Virtuelle Produktentwicklung am Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik, danke ich für die Gelegenheit zur Promotion sowie für seine wohlwollende Unterstützung und Förderung dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr.-Ing. H.-J. Franke, Leiter des Instituts für Konstruktionslehre, Maschinen- und Feinwerkelemente der Technischen Universität Braunschweig, danke ich für die kritische Durchsicht der Arbeit und die Erstellung des Gutachtens.

Herrn Prof. Dr.-Ing. H. Mertens, Geschäftsführender Direktor des Instituts für Maschinenkonstruktion und Leiter des Fachgebiets Konstruktionslehre der Technischen Universität Berlin, danke ich für das Interesse an meiner Arbeit und seine Bereitschaft, den Vorsitz im Promotionsausschuß zu übernehmen.

Von der BMW AG danke ich Herrn Dr.-Ing. H. Brunner für die Förderung dieser Arbeit, seine Unterstützung und seine Geduld, die er bei vielen Diskussionen und Besprechungen der Arbeit bewiesen hat. Herrn Dipl.-Ing. S. Alber danke ich für seine Unterstützung und Herrn Dipl.-Wirtsch.-Ing. T. Kohler für die mehrmalige Durchsicht dieser Arbeit. Herrn R. Seethaler, Ph.D. danke ich für seine stetige Bereitschaft, meine Ideen kritisch zu reflektieren.

Mein ganz besonderer Dank gilt meiner Familie und speziell meiner Frau Aimee, die gemeinsam durch großes Verständnis und motivierenden Beistand zum Gelingen dieser Arbeit wesentlich beigetragen haben.

München, im Februar 2001

Karsten Gessner

**HANDLE SO, DASS DIE MAXIME DEINES WILLENS
JEDERZEIT ZUGLEICH ALS PRINZIP EINER
ALLGEMEINEN GESETZGEBUNG GELTEN KÖNNE.**

IMMANUEL KANT

Package-Features für die Kommunikation in den frühen Phasen der Automobilentwicklung

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit.....	3
2 Untersuchung der Produktdefinitionsphase und der Unterstützung verteilter Arbeitsumgebungen	6
2.1 Untersuchung der Produktdefinitionsphase	6
2.1.1 Diskussion verschiedener Produktplanungsstrategien.....	6
2.1.2 Ansätze zur Optimierung der Produktentstehung	10
2.1.3 Systematisierung des Produktentstehungsprozesses unter Berücksichtigung von Simultaneous Engineering	12
2.1.4 Bedeutung der frühen Phase für die Festlegung der Projektziele	16
2.1.5 Diskussion alternativer Strukturen der Aufbauorganisation.....	19
2.2 Unterstützung verteilter Arbeitsumgebungen mittels Telekooperation	21
2.2.1 Ausprägungen der Telekooperation.....	21
2.2.2 Betrachtung von Computernetzwerken	24
2.2.3 Überblick über Groupware	27
3 Konzeption einer interagierenden Produktdefinitionsphase.....	31
3.1 Konzeption interdisziplinärer Konzeptteams	31
3.1.1 Einführung des Konzeptwettbewerbs in der frühen Phase	31
3.1.2 Reorganisation des strukturellen Projektablaufs bei der interdisziplinären Konzepterstellung	34
3.1.3 Festlegung der Aufbauorganisation und Leitung interdisziplinärer Konzeptteams	36
3.2 Adaption der produktdefinierenden Teilprozesse.....	38
3.2.1 Einschränkung des Betrachtungsraumes.....	38
3.2.2 Reorganisation des Designprozesses	39
3.2.2.1 Analyse der Struktur des Designprozesses	39
3.2.2.2 Untersuchung des digital unterstützten Clay-Prozesses.....	43

3.2.2.3 Entwicklung eines durchgängig rechnerunterstützten, modularen Designprozesses	47
3.2.2.4 Darstellung von Präsentationen als Kommunikationsmedium	52
3.2.3 Analyse des Packageprozesses	54
3.3 Erstellung einer interagierenden Ablauforganisation.....	57
3.3.1 Adaption des Zielvereinbarungsprozesses bei Konzeptteams.....	57
3.3.2 Diskussion unreifer Daten	59
3.3.3 Entwicklung eines Reifestufenkonzepts	61
3.3.4 Erarbeitung des Ablaufs einer interagierenden Produktdefinitionsphase.....	61
4 Entwicklung einer Methodik zur Gestaltung einer global verteilten, interdisziplinären Produktdefinitionsphase	66
4.1 Aufbau der Gestaltungsmethodik.....	66
4.2 Untersuchung der Teilschritte	70
4.2.1 Erstellung der Projektdefinition und Klärung der Projektziele.....	70
4.2.2 Klärung des Verteilungsprofils.....	71
4.2.3 Festlegung der Ablauforganisation.....	75
4.2.4 Erstellung der Infrastruktur - Methoden- und Werkzeugauswahl	76
4.2.5 Gestaltung der endgültigen Aufbauorganisation	78
4.2.6 Systematik der resultierenden Rahmenbedingungen	79
4.2.7 Durchführung der Fehlermöglichkeits- und -einflußanalyse	82
4.3 Aspekte beim Aufbau eines temporären Entwicklungsstandorts	84
5 Gestaltung eines Kooperationsmediums für die frühe Phase	88
5.1 Bedeutung des Packages für die Kooperation innerhalb der Prozeßkette und Anforderungen an ein Kooperationsmedium.....	88
5.2 Entwicklung der Grundlagen des Kooperationsmediums.....	90
5.2.1 Herleitung des Designgestaltungsraums.....	90
5.2.2 Geometrische Ausprägungen von Packagemaßen.....	92
5.2.3 Festlegung des Reduktionsmechanismus.....	94
5.2.4 Diskussion eines Konzepts zur informationstechnischen Umsetzung des Designgestaltungsraums.....	95
5.3 Entwicklung einer Featureunterstützung für den Designgestaltungsraum	97
5.3.1 Diskussion von Features und ihre Darstellung in PDGL	97
5.3.2 Untersuchung des Ansatzes der virtuellen Räume	98
5.3.3 Entwicklung der Grundlagen für Packagefeatures	100

5.3.4 Festlegung der Ausprägungsformen von Packagefeatures	102
5.3.5 Darstellung von Packagefeatures in PDGL.....	107
5.3.6 Featurebasierte Durchführung der Reduktionsschritte.....	109
5.4 Anwendungsfelder für die Technologie der Packagefeatures.....	110
5.4.1 Nutzung von Packagefeatures innerhalb der Prozeßkette	110
5.4.2 Skizzieren mit unscharfen zweidimensionalen Features.....	112
5.5 Idealtypische Umsetzung des featurebasierten Designgestaltungsraums	114
5.5.1 Darstellung bestehender featurebasierter CAx-Systeme	114
5.5.2 Auswahl einer objektintegrierenden Systemarchitektur.....	116
5.5.3 Erstellung eines Konzepts für eine ideale informationstechnische Umsetzung von Packagefeatures	121
6 Plausibilisierung der vorgestellten Konzepte	124
6.1 Nachweis zum Prozeßansatz für interdisziplinäre Konzeptteams.....	124
6.2 Plausibilisierung der Gestaltungsmethodik	125
6.2.1 Anwendung der Methodik im Projekt <i>Dark Star</i>	125
6.2.2 Bewertung des Einsatzes.....	128
6.3 Prototypische Umsetzung des Kooperationsmediums für die frühe Phase ...	129
6.3.1 Integration des DPF-Moduls in das CAS-System ALIAS	129
6.3.2 Darstellung der Packagefeatures im DPF-Modul	130
6.3.3 Beschreibung der Funktionen des DPF-Moduls.....	132
6.3.4 Typische Arbeitssitzung mit dem DPF-Modul.....	133
7 Zusammenfassung.....	136
8 Literaturnachweis.....	139
9 Anhang: Darstellung von PDGL in der Backus-Naur-Form	154

Abkürzungsverzeichnis

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ATM	Asynchronous Transfer Mode
bzw.	beziehungsweise
CAD	Computer-Aided Design
CAS	Computer-Aided Styling
CAX	Computer-Aided Anwendungen
COM	Common Object Model (ehemals Component Object Model)
CORBA	Common Object Request Broker Architecture
DCOM	Distributed Common Object Model
DPF-Modul	Design-Package-Feature-Modul
engl.	englisch
etc.	et cetera
FMEA	Fehlermöglichkeits- und Einflußanalyse
Gbps	Gigabits per second
GSM	Global System for Mobile Communication
ISDN	Integrated Services Digital Network
kbps	kilobits per second
LAN	Local Area Network
Mbps	Megabits per second
NC	Numeric Control
NURBS	Non Uniform Rational B-Splines
OMG	Object Management Group
OSI	Open Systems Interconnection
PC	Personal Computer
PDGL	Part Design Graph Language
QFD	Quality Function Deployment
SCM	Service Control Manager
TCP/IP	Transmission Control Protocol/ Internet Protocol
VPN	Virtual Private Network
WAN	Wide Area Network
WWW	World Wide Web
XDSL	Digital Subscriber Line
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die Öffnung der Märkte und die fortschreitende Globalisierung haben zu einer weiteren Verschärfung des Wettbewerbs in der Industrie geführt. Die Kernmärkte in Westeuropa, Nordamerika und Japan sind weitgehend gesättigt und leben maßgeblich vom Ersatzbedarf /1/. In diesem Verdrängungskampf sind Zuwächse primär auf Kosten der Mitbewerber und durch die Plazierung neuartiger Nischenprodukte zu erreichen. Zudem machen es die rasante technische Entwicklung und die damit einhergehende Steigerung der Produktkomplexität, die stetige Verkürzung der Produktlebenszyklen und der ständig steigende Investitionsbedarf und Innovationsdruck für kleinere Anbieter zunehmend schwieriger, innovative, konkurrenzfähige Produkte zu entwickeln /2/.

Weiter hat sich das Kundenverhalten fundamental gewandelt. Der Trend geht vom „Standardmodell“ zu Produkten, die den individuellen Vorstellungen und Bedürfnissen der Kunden entsprechen. Diese Individualisierung findet ihren Ausdruck in der Entwicklung von Nischenprodukten, die explizit für eine begrenzte Zielgruppe in einem definierten Zielmarkt entwickelt werden. Eine Schlüsselposition kommt dabei dem Design zu, da die Produktdifferenzierung bei sich weiter verkürzenden Produktlebenszyklen nur noch begrenzt durch technische Innovationen möglich ist. Zur Unterstützung dieser Trends haben beispielsweise die großen Automobilhersteller in den wichtigen Zielmärkten Designstudios gegründet, um die Entscheidungsgrundlage bei der Fahrzeugentwicklung durch Designstudien aus unterschiedlichen Kulturkreisen und Märkten zu erweitern und um Trends und Ideen aus Schlüsselmärkten in den Produktentstehungsprozeß einfließen zu lassen.

Viele Unternehmen, vor allem in der Automobilindustrie, reagieren auf diese neue Marktsituation mit der Erweiterung ihrer Produktpalette zum Komplettanbieter. Dies kann durch die Ausweitung bestehender, bereits in den Markt eingeführter eigener Marken, durch die Schaffung neuer Marken oder durch die Übernahme von Konkurrenten erfolgen, die Produkte in Märkten und Segmenten anbieten, die vom eigenen Unternehmen nicht oder nur unzureichend abgedeckt werden /3/. Eine Folge ist die Zunahme von Firmenübernahmen und Fusionen. Mit dem Firmenzusammenschluß entstehen im erweiterten Konzern Überlappungen von Strukturen und Funktionen, die geographisch verstreut sind: So auch Design- und Marketingabteilungen, die unter anderem zur Unterstützung der Markendifferenzierung zumeist weitergeführt werden. Die Organisation eines konzernweiten Produktentstehungsprozesses und

die Integration verteilter Standorte sind Schlüssel zum Erfolg einer Fusion. Aufgrund unterschiedlicher, gewachsener, interner Strukturen und Unternehmenskulturen sowie divergierender Arbeitsweisen gestaltet sich dies vielfach als schwierig /4/.

Ihre Konkurrenzfähigkeit steigern Unternehmen durch die Reduzierung der Fertigungstiefe. Mit Outsourcing werden Teilprozesse konsequent ausgegliedert und fremd vergeben, die nicht als Kernkompetenz bzw. Kerneigenleistung identifiziert werden /5/. Prozeßorientierung und Reengineering-Projekte führen zur Analyse und Neugestaltung aller Teilprozesse der Produktentstehung mit den Zielen Zeit- und Kostenreduktion /6-9/. Reengineering erfolgt nach den Regeln des Simultaneous Engineering, das für die Abkehr vom traditionellen, sequentiellen Prozeßablauf steht und ein koordiniertes, simultanes Zusammenwirken aller Fachbereiche innerhalb der gesamten Produktentstehung fordert /10/. Durch die Parallelisierung der Teilprozesse bei gleichzeitiger Stärkung der frühen Phase wird eine drastische Verkürzung der Entwicklungszeiten erreicht /11/. Frontloading unterstützt diesen Vorgang durch Verlagerung von Entwicklungstätigkeiten an den Anfang der Produktentstehung. Dies garantiert ein hohes Produktwissen schon in der Definitionsphase, bedingt aber den Austausch und die Nutzung unreifer digitaler Daten innerhalb der Prozeßkette /12/. Digitale Produktdaten sind auch die Basis für die Einführung von Digital Mock-up, mit dem das Produkt entsprechend dem Entwicklungsstand komplett in CAx-Systemen aufgebaut wird. Dies erlaubt im Simultaneous Engineering die rechnerunterstützte Simulation des Produktionsprozesses parallel zum Konstruktionsprozeß /13, 14/. Außerdem lassen sich digitale Daten in Produktdatenmanagementsystemen zentral verwalten und allen Prozeßbeteiligten unabhängig vom Standort zugänglich machen /15/.

Die zunehmende Fragmentierung der Unternehmen, die steigende örtliche Verteilung der Entwicklungsstandorte und die verstärkte Integration externer Entwicklungspartner in die Produktentstehung erfordern zunehmend den Einsatz von Telekooperation /16/. Sie stellt Werkzeuge und Prozesse für die interagierende Zusammenarbeit in geographisch verteilten Prozessen bereit /17/. Damit lassen sich zusätzliche Ressourcen für den Produktentstehungsprozeß erschließen. Voraussetzung ist wiederum die durchgängige Rechnerunterstützung aller Teilprozesse. Allerdings fehlt der Telekooperation bislang eine Gestaltungsmethodik zur Erstellung verteilter Entwicklungsprozesse.

Die heute praktizierten Ansätze zur Konzepterstellung in der Produktentwicklung unterstützen diese Rahmenbedingungen nur ungenügend. Speziell die frühe Phase weist akuten Nachholbedarf auf. So kann die Produktdefinition und -planung aus-

schließlich durch die Entwicklungsbereiche nicht zielführend sein, wenn die Belange von Marketing, Design und Produktion nicht ausreichend berücksichtigt werden. Gerade in Großunternehmen fehlt bislang ein nachhaltiges Verständnis für die aktive Zusammenarbeit in dieser Phase /18/, was sich im Fehlen eines interdisziplinären Kooperationsmediums für die frühe Phase äußert. Eine Kooperation der produktdefinierenden Bereiche Marketing, Design, Package und Konstruktion sowie die Einbeziehung von Spezialisten für Marktbeobachtung und Produktinnovation (im folgenden kurz Innovation) bereits in der Produktdefinitionsphase ist derzeit nicht im Produktentstehungsprozeß etabliert. So werden alternative Designstudien bislang nicht parallel um technische Konzepte und Lösungsansätze ergänzt. Dies erweiterte zwar die Entscheidungsbasis in der frühen Phase erheblich, scheitert aber z.B. in der Automobilindustrie daran, daß der praktizierte Produktentstehungsprozeß den Ideenwettbewerb nur für das Design, nicht aber für die anderen produktdefinierenden Bereiche und Teilprozesse vorsieht.

Außerdem läßt sich der Designprozeß, der in der frühen Phase eine zentrale Rolle spielt, derzeit nicht in den parallelisierten Produktentstehungsprozeß integrieren, da er immer noch weitgehend analog abläuft. Zwar sind, angetrieben vom Innovationsdruck der Filmindustrie, Modellierwerkzeuge zur durchgängigen Rechnerunterstützung des Designprozesses verfügbar, doch steht ihre Integration in den ästhetisch gestaltenden Designprozeß erst am Anfang. So liegt z.B. der Schwerpunkt im Automobildesign weiter auf der Erstellung traditioneller, zeitaufwendiger Feststoffmodelle. Diese konventionelle Arbeitsweise erleichtert den Formfindungs- und Entscheidungsprozeß, erschwert aber die Integration des Designprozesses in einen verkürzten und weitgehend parallelisierten Produktentstehungsprozeß und behindert den Aufbau durchgängiger Prozeßketten. Die Einbindung global verteilter Designstudios, externer Entwicklungspartner und unabhängiger, konzernfremder Designstudios setzen den schnellen und reibungslosen Austausch digitaler Daten und ein interdisziplinäres Kooperationsmedium voraus. Auch dies bedingt durchgängig digitale Teilprozesse. Das einseitige Festhalten an traditionellen Arbeitstechniken im Design behindert somit die interdisziplinäre Zusammenarbeit in der frühen Phase.

1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

Zur Lösung der beschriebenen Problemstellung wird in dieser Arbeit eine zentrale These aufgestellt, deren Gültigkeit nachgewiesen werden soll:

„Die interagierende, globale Teamarbeit aller produktdefinierender Entwicklungsbereiche in einem Konzeptwettbewerb verbessert qualitativ die Entscheidungsbasis in der frühen Phase.“

Diese zentrale These postuliert bewußt eine qualitative Verbesserung der Entscheidungsbasis. Zeitliche Verkürzungen des Produktentstehungsprozesses sowie Kostenreduktionen sind mit der Umsetzung der in dieser Arbeit zu entwickelnden Konzepte wahrscheinlich, jedoch sind konkrete quantitative Aussagen aufgrund der hohen Komplexität des Gesamtprozesses nicht hinreichend abgesichert.

Ausgehend von der These ist eine Prozeßstruktur zu entwickeln, die die Erstellung alternativer, fundierter und abgesicherter Konzepte ermöglicht, um so die Entscheidungsbasis in der frühen Phase qualitativ zu verbessern. Die aktive Zusammenarbeit aller an der Konzepterstellung beteiligten Fachbereiche ist unter den Regeln des Simultaneous Engineering zu gewährleisten. Die Entwicklung der Basistechnologien zur Umsetzung der These ist weit fortgeschritten. In der Anwendung zeigt sich aber, daß speziell in den Bereichen der Prozeßgestaltung und Projektorganisation große Verbesserungspotentiale bestehen. Methodisch orientiert sich diese Arbeit am Prozeß. Zur Umsetzung der These sind Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in vier Bereiche zu gliedern:

1. Prozeßanalyse

Der heute geltende Produktentstehungsprozeß ist zu analysieren und zu systematisieren. Dabei sind alternative Produktplanungsstrategien zu diskutieren und die Bedeutung der frühen Phase für den Zielfindungsprozeß herauszuarbeiten. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die weiteren Ausführungen. Ferner ist der Stand von Prozeß und Technik im Umfeld der Telekooperation zu untersuchen.

2. Prozeßgestaltung

Auf der Grundlage der Prozeßanalyse soll in dieser Arbeit eine fachbereichsübergreifende, interagierende Produktdefinitionsphase entwickelt werden. Hierzu sind die produktdefinierenden Teilprozesse - insbesondere Design und Package - zu analysieren und der Konzeptwettbewerb in die frühe Phase einzuführen. Zudem sind interdisziplinäre Konzeptteams zu installieren. Auf Basis der Untersuchung verteilter Arbeitsumgebungen läßt sich eine Gestaltungsmethodik für verteilte Prozeßabläufe erstellen.

3. Prozeßunterstützung

Zur Unterstützung der Zusammenarbeit in den zuvor installierten, interdis-

ziplinären Konzeptteams und innerhalb der Prozeßkette ist ein neuartiges Kooperationsmedium zu entwickeln. Hierbei ist insbesondere die Behandlung unreifer Daten zu berücksichtigen.

4. Prozeßerprobung

Die Gestaltungsmethodik ist durch die exemplarische Anwendung in einem verteilten Entwicklungsprojekt zu plausibilisieren. Weiter ist das Kooperationsmedium prototypisch umzusetzen und zu testen.

Diese Grobstruktur spiegelt sich in der Gliederung der Arbeit wieder, wobei in Kapitel 2 die Problemstellung konkretisiert und der Ist-Stand analysiert wird. In den Kapiteln 3 bis 5 erfolgt die Entwicklung von Konzepten zur Problemlösung (Bild 1-1).

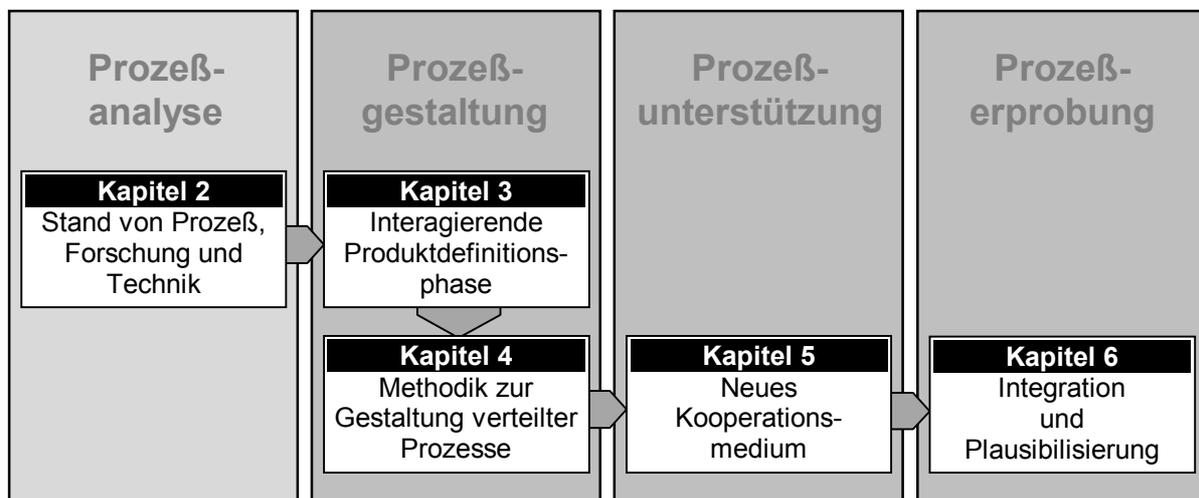


Bild 1-1: Struktur dieser Arbeit

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit der Produktdefinitionsphase bei der Entwicklung komplexer Gebrauchsgüter, die mehrjährige Entwicklungszeiten und lange Produktlebenszyklen aufweisen und bei denen eine Differenzierung durch das Design maßgeblichen Einfluß auf den Markterfolg hat. Dies gilt vor allem für die Automobilindustrie, die in den nachfolgenden Ausführungen beispielhaft als Referenz dient, in zunehmendem Maße aber auch für die Langläuferprodukte bei hochwertigen Elektrogeräten wie beispielsweise Hausgeräten (Waschmaschine, Herd etc.). Ein weiterer Anwendungsfall ergibt sich mit der Branche der Land- und Baumaschinen, in der sich Produkte in zunehmendem Maße durch Design differenzieren. Sinngemäß lassen sich die wesentlichen Aussagen dieser Arbeit auch auf die spezifischen Bedingungen anderer Branchen übertragen. So liegt z.B. das Hauptaugenmerk in der Luft- und Raumfahrtindustrie nicht auf dem Zusammenspiel von Design und Package, sondern auf der Kooperation von Aerodynamik und Package.

2 Untersuchung der Produktdefinitionsphase und der Unterstützung verteilter Arbeitsumgebungen

2.1 Untersuchung der Produktdefinitionsphase

2.1.1 Diskussion verschiedener Produktplanungsstrategien

Die finanzwirtschaftliche Zielsetzung eines privatwirtschaftlich orientierten Unternehmens besteht im Erzielen einer möglichst hohen Verzinsung auf das investierte Kapital /19/. Dagegen fordern die Märkte neue, authentische Produkte. Somit gibt es ein Optimierungsproblem zwischen Shareholder Value, kostenintensiver Produktneuentwicklung und Produktion. Ein Lösungsansatz ist in der Größendegression zu sehen. Sie beruht darauf, daß bei steigenden Stückzahlen aufgrund von Skaleneffekten Kostenvorteile in Produktion, Einkauf und Vertrieb erreicht werden /20/. Dies trifft auf das Gesamtprodukt, aber auch auf die Mehrfachverwendung von Komponenten und Bauteilen in verschiedenen Produkten zu. Ein weiterer Lösungsansatz liegt in der konsequenten Individualisierung der Produkte, wenn dadurch auch bei kleinen Stückzahlen Nischen besetzbar sind, die einen hohen Deckungsbeitrag garantieren.

In der Automobilindustrie wie auch in anderen Branchen, die hochwertige Gebrauchsgüter herstellen, bestehen die Hauptkaufargumente für die Kunden im Preis, in der technischen Differenzierung der Produkte sowie im Marken- und Produktimage, welches wiederum stark vom Design bestimmt wird. Diese Kaufargumente stehen in einer Konfliktbeziehung zueinander. Ein attraktiver Kaufpreis ist zwar über die Größendegression erreichbar, wobei aber eine Minimierung der technischen Differenzierung und damit eine reduzierte Eigenständigkeit der Produkte eintreten kann. Die Unternehmen versuchen, diesen Zielkonflikt mit der Entwicklung ausgefeilter, formalisierter Produktplanungsstrategien zu lösen. Sie bilden die Basis für die Planung und Umsetzung konkreter Entwicklungsprojekte, die sich durch die Einmaligkeit der Rahmenbedingungen auszeichnen /21/. Die jeweils gewählte Planungsstrategie ist unternehmensspezifisch und läßt sich nur sehr begrenzt auf Wettbewerber übertragen. Sie ist auf individuelle Rahmenbedingungen zurückzuführen, wie die strategische Ausrichtung des Unternehmens zum Wettbewerb, die Unternehmenstradition, -kultur und -philosophie, die grundsätzliche Positionierung der Produkte im Markt (Preis, Kundengruppe, Image, Markenwerte etc.) und das zu bedienende Marktsegment.

Die klassische Systematisierung der Produktplanungsstrategien unterscheidet lediglich zwischen Neuentwicklung, Variantenkonstruktion und Facelift, doch läßt sich diese Systematik um alternative Planungsstrategien erweitern.

Die Neuentwicklung beschreibt in der Automobilindustrie die Entwicklung eines kompletten Fahrzeugs inklusive Rohkarosse, Fahrwerk und den erforderlichen Produktionsanlagen. Die Entwicklung des Motors erfolgt weitgehend eigenständig und unabhängig von der Fahrzeugentwicklung. Werden für eine Neuentwicklung Bauteile aus anderen Fahrzeugmodellen oder von einem Zulieferer übernommen, der seine Produkte an mehrere Hersteller veräußert, dann beschreibt dies ein Gleichteilekonzept. Eine planvolle und konsequente Einführung des Gleichteilekonzepts über alle Bauweisen bzw. Modelle eines Unternehmens hinweg entspricht einem Baukastensystem /22, 23/. Die Ziele liegen in der Reduktion des eingesetzten Teilespektrums, in der Erhöhung der fertiger Losgrößen, in der Reduktion der Lagerbestände und Beschaffungsvorgänge sowie in der Vereinfachung der Verwaltung und Dokumentation der Bauteile /24/.

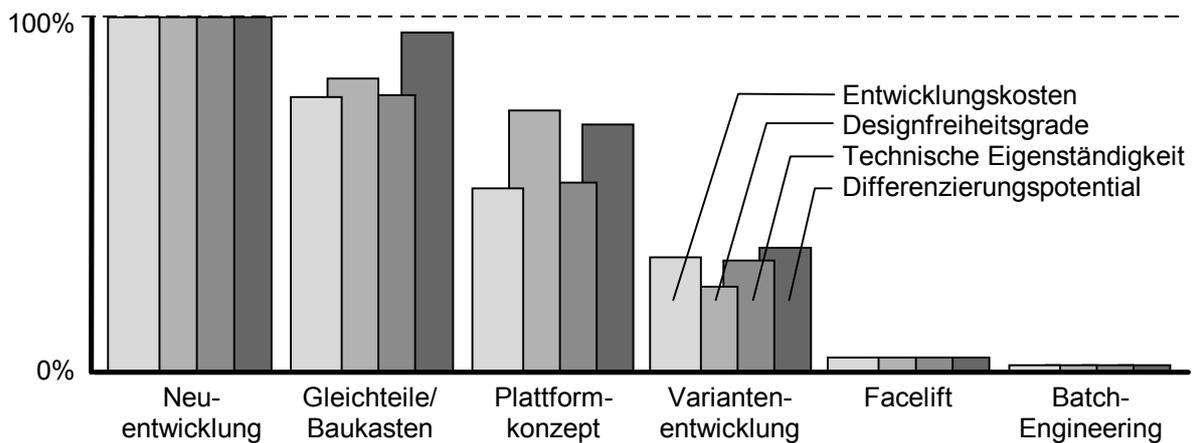
Die Weiterentwicklung des Baukastensystems führt zur Plattformstrategie. Eine Plattform bezeichnet ein Entwicklungskonzept, bei dem mehrere kostenintensive Baugruppen standardisiert und als Gesamtkomponente in verschiedenen Entwicklungsprojekten wiederverwendet werden. Hauptziel ist, im Konzern einheitliche technische Plattformen z.B. für Fahrzeuge der Luxusklasse, Mittelklasse und unteren Klasse zu schaffen. Sie bilden die Basis für die Entwicklung verschiedenartiger, differenzierter Fahrzeugvarianten. Dies steigert die Flexibilität des Unternehmens und bietet die Chance zur Diversifizierung in neue Märkte /25/. Für die Automobilindustrie bedeutet Diversifizierung dann die Besetzung neuer Marktsegmente auf Basis einer bereits vorhandenen technischen Plattform oder wenn nötig auf einer völlig neuen Plattform. Grundvoraussetzung ist die Standardisierung der Antriebsart (Front-, Heck- oder Allradantrieb). Kostenintensive Bauteile wie Antriebsstrang (inklusive Achsen, Lenkung und Bremsanlage), Unterbodengruppe und komplexe Teile der Trägerstruktur der Karosserie sind in einer Segmentplattform zusammengefaßt und damit als Norm für die Konstruktion obligatorisch. In der Segmentplattform sind bestimmte Bauteile flexibel definiert und mittels Variantenkonstruktion veränderbar /26, 27/. Dies ermöglicht individuelle Abmessungen und Proportionen eines Fahrzeugs. Allerdings ist diese Flexibilität physikalisch begrenzt. Die Plattform beschränkt aufgrund der Normierungen die Freiheitsgrade bei der Packageerstellung. Von der Standardisierung sind Bauteile ganz ausgenommen, die der Kunde mit der markentypischen Identität eines Produkts verbindet. Dies sind insbesondere sichtbare und

damit designrelevante Bauteile im Bereich des Interieur und Exterieur wie beispielsweise Instrumententafel, Sitzbezüge oder Schalterblenden. Markenunspezifische Bauteile wie Sitzgestelle oder Schaltermechaniken (ohne Blende) lassen sich konsequent standardisieren /28/. Ein weiteres Ziel liegt in der Nutzung der gleichen Fertigungsanlagen für alle Modelle einer Segmentplattform. Die Plattformstrategie findet grundsätzlich über alle Marken und Modellreihen eines Unternehmens Anwendung. Beispielhaft für diese Produktplanungsstrategie ist die Volkswagen Gruppe, bei der mindestens siebzehn Modelle auf der gleichen Plattform basieren. /29/

Variantenkonstruktion bezeichnet im Automobilbau die Ableitung einer Modellvariante aus einem Basisfahrzeug wie beispielsweise die Entwicklung eines Cabriolets aus einem Coupé. Hierbei werden wesentliche Teile des Basisfahrzeugs übernommen. Facelifts sind vor allem ein Marketinginstrument und haben zum Ziel, mit möglichst geringem Aufwand in der späten Phase des Produktlebenszyklus das Produkt optisch zu beleben. Änderungen beschränken sich zumeist auf wenige Bereiche der Außenhaut, wobei aus Kostengründen die bestehenden Flansche und Anbindungen der darunterliegenden Fahrzeugstruktur möglichst übernommen werden.

Ein weiterer Planungsansatz ergibt sich aus dem Batch Engineering, bei dem das gleiche Produkt von verschiedenen Marken vertrieben wird. Dieser Ansatz findet in der nordamerikanischen Automobilindustrie konsequente Umsetzung. So wird beispielsweise der Chrysler Neon in Nordamerika auch unter den Marken Dodge und Plymouth vertrieben. In Europa wird Batch Engineering bislang nur bei Nischenprodukten wie Großraumlimousinen praktiziert. Beispielhaft ist der Volkswagen Sharan, der auch als Ford Galaxy und Seat Alhambra vertrieben wird. Batch Engineering widerspricht einer differenzierten Markenprofilierung und Markenentwicklung, da die Produkte identisch sind und somit fast keine Differenzierungsmerkmale aufweisen. In der Gebrauchsgüterindustrie wird dieser Ansatz eingesetzt, um ein Produkt unter verschiedenen Marken global zu vermarkten. Dies ist wichtig, wenn das Marktsegment in den Zielmärkten von starken, lokalen Marken dominiert wird. /3/

In Bild 2-1 werden den dargestellten Planungsstrategien die Kriterien Entwicklungskosten, Designfreiheitsgrade, technische Eigenständigkeit und allgemeines Differenzierungspotential zugeordnet. Es wird deutlich, daß mit der Abnahme der Entwicklungskosten gleichzeitig auch die Differenzierungsmöglichkeiten des Produkts am Markt schwinden. Im Vergleich zur Neuentwicklung führt die Plattformstrategie dabei zu einer drastischen Senkung der Entwicklungskosten bei gleichzeitig immer noch relativ hohem Differenzierungspotential /3/.



Hinweis: Die Entwicklungskosten berücksichtigen nicht die Kosten für die Entwicklung des Grundmodells, sondern betrachten die Zusatzkosten für jedes weitere abgeleitete Modell.

Bild 2-1: Relativierung der Stufen der Produktplanungsstrategie nach /3/

Mit dem Plattformkonzept steht insbesondere den Massenherstellern ein Planungs- und Entwicklungsinstrument zu Verfügung, mit dem über die Mehrfachverwendung spezifischer Module große Stückzahlen darstellbar sind. Dies senkt schnittstelleninduzierte Kosten und über Skaleneffekte den Entwicklungsaufwand sowie die Herstellkosten /30/. Gleichzeitig ist eine Differenzierung über das Design möglich. Mit dem großflächigen Einsatz von Plattformfahrzeugen sind die Wettbewerber aber mit der gleichen oder vergleichbarer Primärtechnik ausgestattet. Damit gestaltet sich die Differenzierung über Technik schwierig und bleibt weitgehend Nischenanbietern vorbehalten, die individuelle Technik für ihre Produkte selbst entwickeln. Der verstärkte Einsatz der Plattformtechnologie auch im Luxussegment wie bei Audi deutet darauf hin, daß langfristig das Preisniveau auch in diesem Segment aufgrund der Größendegression eher sinkt und damit für kleinere Anbieter langfristig die Entwicklung von individueller Technik unrentabel wird /3/.

Da bei konsequenter Anwendung der Plattformstrategie nicht für jedes Fahrzeugprojekt eine Neukonstruktion erforderlich ist, reduzieren sich zwangsläufig die Entwicklungskosten und -zeiten. Dies verbessert die Fähigkeit der Unternehmen, schneller auf Veränderungen am Markt mit adäquaten Produkten reagieren zu können. Ziel ist somit, ein Instrument zu entwickeln, mit dem sich sehr schnell abgestimmte Produktkonzepte erstellen lassen. Hierin ist besonders das Design zu integrieren, da bei vergleichbarer Technik das Markenimage und das Produktdesign als Differenzierungsmerkmale immer stärker an Bedeutung gewinnen.

2.1.2 Ansätze zur Optimierung der Produktentstehung

Neben einer geeigneten Produktplanungsstrategie liefert die Optimierung des Produktentstehungsprozesses einen wichtigen Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens. Die Verkürzung der Entwicklungszeit wird als wesentliches Kriterium betrachtet /11, 31/. Dies läßt sich mit der Einführung von Simultaneous Engineering¹ und der damit verbundenen Parallelisierung der Teilprozesse erreichen /32, 33/. Zur Verdeutlichung finden sich Analogien zur Parallelverarbeitung in der Rechnertechnik /34, 35/. Eine Analyse des kritischen Pfads ermöglicht die Optimierung der zeitkritischen Teilprozesse /10/. Die rechnerunterstützte Analyse und Optimierung des Produktentstehungsprozesses ist mit objektorientierten Produktentwicklungs-Planungssystemen wie PEPSY möglich /36/. Mit dem Prozeßsimulationssystem CREATE! lassen sich mögliche Störeinflüsse auf den Prozeßablauf simulieren /37, 38/. Weiter zeigt sich, daß sich durch eine methodische Unterstützung beim Aufbau von Entwicklungsprozessen in den Bereichen der Produkt- und Prozeßanalyse, der anforderungsbasierten Produktentwicklung, der modularen Prozeßgestaltung und in der Kooperation mit externen Entwicklungspartnern Optimierungspotentiale realisieren lassen /39/.

Die Verbesserung der Zusammenarbeit der Entwicklungspartner unter Einsatz innovativer, rechnerunterstützter Konstruktionsprozesse wird als wichtiges Forschungsgebiet identifiziert /40/. Speziell wird eine enge und unmittelbare Zusammenarbeit als Optimierungspunkt gesehen. Eine Maßnahme besteht in der Verbesserung der Entscheidungsstrukturen innerhalb des Produktentstehungsprozesses /36/. Zur Gestaltung von Prozeßschnittstellen läßt sich ein Modell für cross-funktionale Kommunikationsprozesse erstellen. Es beschreibt die wesentlichen Bestandteile und Sachverhalte fachbereichsübergreifender Prozesse und dient zugleich als Entscheidungsmodell bei der Prozeßgestaltung. Weiter läßt sich ein logisches und zeitliches Vorgehen für die Prozeßgestaltung ableiten /41/. Im Rahmen der designintegrierten Produktplanung und -konzeption wird vorgeschlagen, die Teilprozesse des Produktentstehungsprozesses durch die fachbereichsübergreifende Erarbeitung und Gestaltung von gemeinsamen Produktpräsentationen zu synchronisieren. Dies ermöglicht einen multidisziplinären Ablaufzyklus für die Produktkonzeption mit den Teilschritten Entwurf, Analyse und synchronisierende Präsentation /42/. Dieser Ansatz fordert aber nicht die ständige, kooperative Zusammenarbeit der einzelnen Prozeß-

¹ Im Rahmen dieser Arbeit werden die Begriffe Simultaneous Engineering und Concurrent Engineering synonym verwendet, wobei Simultaneous Engineering im europäischen Sprachraum und Concurrent Engineering im angelsächsischen Sprachraum bevorzugt wird.

ketten, sondern läßt auch eine isolierte Arbeitsweise zu. Lediglich zur Präsentationsvorbereitung wird aktive Zusammenarbeit gefordert.

Bei steigender Parallelisierung sind verstärkt Änderungsschleifen zu erwarten. Werden diese als prozeßimmanenter Bestandteil der Produktentstehung akzeptiert, läßt sich ein dreiphasiger Änderungsprozeß definieren, der mit der Software ÄMsys abgewickelt und dokumentiert werden kann /43/. Ein weiterführender Ansatz schlägt vor, den Produktentstehungsprozeß entsprechend dem Simultaneous Engineering unter Berücksichtigung des Subsidiaritätsprinzips zu organisieren. Der Änderungsprozeß wird der Subsidiarität folgend von Simultaneous Engineering-Teams geleitet /44/. Gleichzeitig steigt unter anderem aus Gründen der Produkthaftung die Bedeutung der Projektdokumentation. Im Nachhinein ist oft nur schwer nachvollziehbar, wie und warum ein Produkt so beschaffen ist, wie es zu einem definierten Zeitpunkt vorliegt. Eine verbesserte Dokumentation optimiert den Wissenstransfer auf andere Projekte, vermeidet Mehr- und Blindleistungen und reduziert damit die Anzahl der Änderungsschleifen /45/.

Wichtig ist auch die Erweiterung des Produktwissens sowie die informationstechnische Unterstützung paralleler Prozeßstrukturen. Mit dem segmentierten totalen Produktmodell ist eine ganzheitliche Betrachtung des Produkts möglich. Dabei werden interne und externe Teilmodelle mit unterschiedlichen Sichtweisen definiert, die das Produkt über seinen ganzen Produktlebenszyklus hinweg beschreiben /1, 46/. Für die ständige Zugänglichkeit der Produktdaten läßt sich ein Produktdatenmanagementsystem auf die Besonderheiten parallel ablaufender Teilprozesse anpassen /34/. Die Produktdaten lassen sich mittels Produktdatenmanagementsystem auch bei einer global verteilten Arbeitsumgebung zentral verwalten und den Prozeßbeteiligten weltweit ständig und kontrollierbar zugänglich machen /15/. Die historisch gewachsene, fragmentierte informationstechnische Infrastruktur mit ihrer Vielzahl von Werkzeuginseln läßt sich durch die Entwicklung eines Engineering-Rahmensystems vereinfachen. Dieses integriert Entwicklungswerkzeuge, Produktdatenmanagementsysteme und Prozeßabläufe und ist dabei als Standardsystem individuell auf verschiedene Unternehmen und spezifische Arbeitsplätze adaptierbar /47/.

Die beschriebenen prozeßorientierten Ansätze fokussieren weitgehend auf die Optimierung quantitativer Aspekte des Produktentstehungsprozesses. Eine qualitative Optimierung besteht in der weiteren Verbesserung und Verbreiterung der Entscheidungsbasis in der frühen Phase. Die vorliegende Arbeit leistet hierzu einen Beitrag, indem ein bereichsintegrierender, wettbewerbsorientierter Ansatz vorgeschlagen

wird, der die parallele Entwicklung verschiedener Konzeptalternativen in der frühen Phase erlaubt.

2.1.3 Systematisierung des Produktentstehungsprozesses unter Berücksichtigung von Simultaneous Engineering

Die Produktentwicklung verkörpert den planerischen, gestalterischen und organisatorischen Anteil der Produktentstehung und gliedert sich in die Teilprozesse Produktplanung, Produktkonstruktion und Produkterprobung /1, 27, 48/. Diese Definition beschreibt schlüssig die Entwicklung von Investitionsgütern und Einzelkonstruktionen.

In der Automobilindustrie ist die Erfüllung der Qualitätsanforderungen bei Serienanlauf aufgrund der Komplexität des Produkts, der großen Varianten- und Modellvielfalt und des relativ hohen manuellen Montageanteils nach wie vor kritisch. Zudem fallen in diese Phase häufig konstruktive Änderungen am Produkt und den Fertigungsmitteln, die aus der Produkterprobung und der Fertigungsvorbereitung resultieren. Ein fertigungstechnischer Lösungsansatz ist, die Komplexität des Montageprozesses bei Serienanlauf durch eine Begrenzung der Modell- und Ausstattungsvarianten niedrig zu halten und die Stückzahlen durch eine flache Anlaufkurve nur langsam zu steigern. Dies steht im Konflikt zu den Anforderungen von Betriebswirtschaft und Marketing, die hohe Anfangsnachfrage bei Markteinführung zu befriedigen. Der Begriff *Produktentstehungsprozeß* umfaßt die Phasen Vorentwicklung, Projektvorbereitung, Serienentwicklung und Serienanlauf und beschreibt damit die Gegebenheiten in der Automobilindustrie am treffendsten.

Der Produktentstehungsprozeß im Automobilbau unterliegt seit einigen Jahren dem Einfluß des Simultaneous Engineering, das eine weitgehende Parallelisierung der Teilprozesse vorsieht. Primärziel ist die Verkürzung der Entwicklungszeiten und die Verbesserung der Aussagen, die in der frühen Phase über das Endprodukt zu treffen sind. Dies bedingt fundamentale, strukturelle Änderungen im Entwicklungsablauf. In der Literatur wird die Produktentwicklung in zahlreichen Publikationen dargestellt /49, 50/. PAHL/ BEITZ beleuchten die Produktentwicklung aus Sicht der Konstruktion und gliedern den Prozeß in die Phasen Klären der Aufgabe, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten /23/. Die VDI-Richtlinie 2221 bietet eine Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte und beinhaltet auch die Produkterstellung. Sie faßt damit eine Vielzahl von Ansätzen zusammen /51/. SPUR/ KRAUSE beschreiben den kompletten Produktlebenszyklus und spannen einen Bogen von der Produktforschung, über die Herstellung bis zur Demontage des Produkts und zum

Recycling. Mit der Produktforschung definieren sie eine Vorentwicklungsphase, die dem Produktentstehungsprozeß vorausgeht /1/.

Viele in der Literatur beschriebene Ansätze folgen einem konventionellen, stark sequentiell ausgerichteten Entwicklungsansatz und unterstützen parallel ablaufende Teilprozesse nur bedingt. Allerdings weichen einige Ansätze die Sequenz durch Überlappungen von Phasen und Iterationen auf. Die meisten Prozeßbeschreibungen sind sehr allgemein gehalten, damit sie auf den gesamten Maschinenbau anwendbar sind. Dies läßt die unterschiedliche Komplexität der Produkte in den verschiedenen Branchen unberücksichtigt. Die Spezifika der Automobilindustrie mit ihrer hohen Integrationstiefe verschiedenster Entwicklungspartner, Systemlieferanten und Zulieferer und dem enormen Zeitdruck in der Entwicklung werden in der Betrachtung vernachlässigt. Die Kritik an den bestehenden Ansätzen zur Beschreibung des Produktentstehungsprozesses aufnehmend, wird nachfolgend eine am Simultaneous Engineering orientierte und auf die Belange der Automobilindustrie zugeschnittene Systematik entwickelt.

	Projektunabhängige Phase	Projektabhängige Entwicklungsphase				Produkt-herstellung
PAHL/ BEITZ²		Klären d. Aufgabe	Konzipieren	Entwerfen	Ausarbeiten	
VDI 2221³		Systemvorstudie	Systementwicklung		Systemherstellung	Systemeinführung
SPUR/ KRAUSE	Produktforschung ⁴	Produktplanung	Produktkonstruktion	Produkt-erprobung	Produkt-herstellung	
SE-PEP¹	Vorentwicklung	Projektvorbereitung	Serienentwicklung		Serienanlauf	

¹ SE-PEP: Nach Aspekten des Simultaneous Engineering reorganisierter, parallelisierter Produktentstehungsprozeß

² Die Konstruktionsmethodik nach PAHL/ BEITZ berücksichtigt die Vorentwicklung und Produkterstellung nicht.

³ Die Lebensphasen Systembetrieb und Systemwechsel der VDI-Richtlinie lassen sich nicht dem PEP zuordnen.

⁴ Nach SPUR/ KRAUSE ist die Phase Produktforschung nicht Teil des eigentlichen PEP.

Bild 2-2: Gegenüberstellung verschiedener Definitionsansätze zur Produktentstehung

Die an das Simultaneous Engineering angepaßte Beschreibung der Produktentstehung gliedert den Produktentstehungsprozeß in eine projektunabhängige Vorentwicklungsphase und eine projektabhängige Entwicklungsphase, die in den Serienanlauf übergeht und damit einen fließenden Übergang von der Entwicklung zur Produktherstellung ermöglicht. In Bild 2-2 wird der nach Aspekten des Simultaneous

Engineering strukturierte Produktentstehungsprozeß (SE-PEP) den konventionellen, oben erläuterten Prozeßbeschreibungen gegenübergestellt.

Die projektunabhängige Vorentwicklung verläuft stetig und unabhängig von Serienprojekten. Sie folgt strukturell einem sequentiellen Entwicklungsansatz. Ziel der Vorentwicklung ist neben der Grundlagenforschung die konzeptionelle Entwicklung von Fahrzeugkomponenten, Aggregaten und neuen Fahrzeugkonzepten sowie die Untersuchung neuartiger Werkstoffe. Die Entwicklungstätigkeiten finden fortlaufend und unabhängig von Fahrzeugprojekten statt. Der Fokus bei der projektunabhängigen Komponentenentwicklung liegt aber schon auf einem möglichen Serieneinsatz. So ist beispielsweise eine Klimaanlage für ein definiertes Preissegment, aber nicht zwangsläufig für ein definiertes Fahrzeugprojekt zu entwickeln. Aufgabe des Designs ist in dieser Phase, neue Entwicklungen in das Designportfolio des Unternehmens zu integrieren und diese in innovative Designkonzepte einzuarbeiten. So ermöglicht beispielsweise der Einsatz neuartiger Kunststoffe die technische Umsetzung komplexer Designideen wie sehr enge Radien oder Hinterschneidungen, die mit Stahl oder Nichteisenmetallen nicht realisierbar wären.

Im Unterschied zur Vorentwicklung verlaufen die Teilprozesse der projektabhängigen Entwicklungsphase stark parallelisiert. Diese Phase untergliedert sich in Projektvorbereitung, Serienentwicklung und Serienanlauf. Die Vorbereitungsphase dient der Definition und Planung eines konkreten Fahrzeugprojekts. Sie wird auch als frühe Phase bezeichnet. Ein interdisziplinärer Konzeptwettbewerb findet bislang nicht statt. Weiter erfolgt die Auswahl von Übernahmeteilen aus dem Unternehmensportfolio bzw. von Bauteilen aus Vorentwicklungsprojekten. Das Design beginnt mit der Erstellung verschiedener Designkonzepte. Mit Beginn der Serienentwicklung erfolgt die Auswahl eines Designvorschlags und die Verabschiedung des Produktkonzepts, das zur Serienreife entwickelt wird. Fundiertes Produktwissen schon in der frühen Phase ist Voraussetzung für die schnelle Umsetzung des Konzepts. Die Serienentwicklung umfaßt neben Design und Package die Teilprozesse Konstruktion, Produkterprobung, Fertigungsplanung und -vorbereitung. Ihr schließt sich der Serienanlauf an.

Eine detaillierte Betrachtung der projektabhängigen Entwicklungsphase zeigt die zentrale Bedeutung von Design und Package innerhalb des restrukturierten Produktentstehungsprozesses und den parallelen Ablauf dieser produktdefinierenden Teilprozesse (Bild 2-3). Das Design- und Packagefreeze stellt für diese Prozesse eine Zäsur dar, da ab diesem Zeitpunkt keine design- und packagegetriebenen Formänderungen mehr erfolgen, sondern Design und Package nur noch auf veränderte, aus

dem Konstruktionsprozeß resultierende Rahmenbedingungen reagieren. Aufgrund des parallelen Ablaufs dieses Produktentstehungsprozesses ergeben sich für Design und Package zu (fast) allen Teilprozessen der Prozeßkette Schnittstellen, in der Vorbereitungsphase vor allem zum Marketing und im weiteren Prozeßverlauf zur Konstruktion und zur Fertigungsvorbereitung. Innerhalb der Prozeßkette kommt der eindeutigen Definition der Schnittstellen immer größere Bedeutung zu, da zunehmend unreife Daten zwischen den Prozeßbeteiligten übergeben werden, die nicht zwangsläufig abgesicherte Arbeitsstände darstellen und somit Änderungen unterworfen sind /12/. Die Einhaltung von Vereinbarungen zwischen den Entwicklungspartnern ist damit prozeßentscheidend. Zur Unterstützung dieser Arbeitsweise ist in dieser Arbeit ein Kooperationsmedien zu erstellen, das Arbeiten mit unreifen Daten unterstützt, nicht abgesicherte Produktdaten als Arbeitsgrundlage akzeptiert und den Austausch von Arbeitsständen ermöglicht.

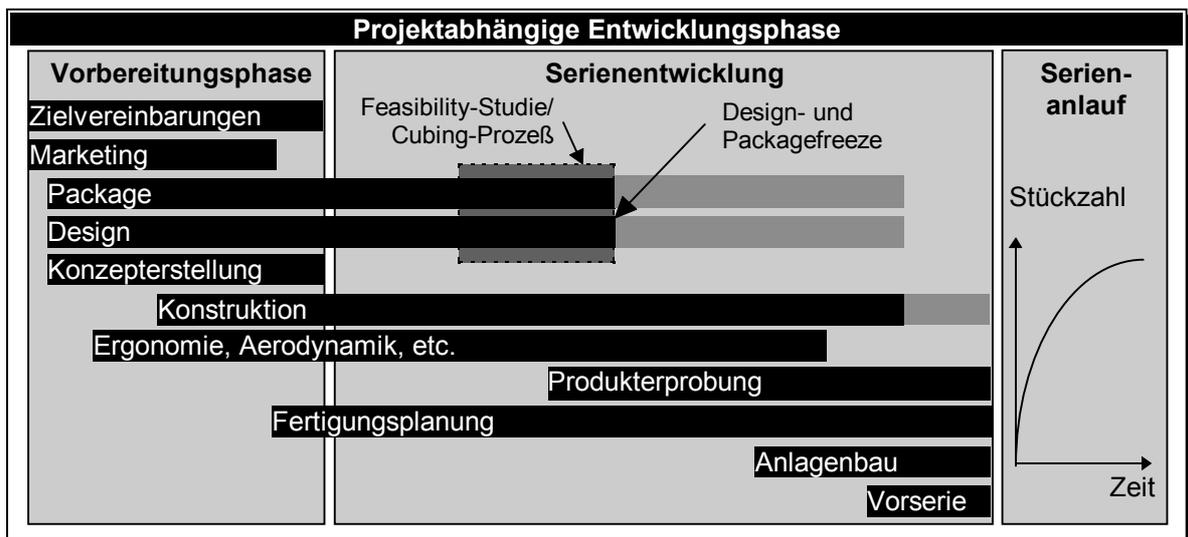


Bild 2-3: Nach Gesichtspunkten des Simultaneous Engineering erstellter Produktentstehungsprozeß am Beispiel der Automobilentwicklung

Die Umsetzung des in Bild 2-3 dargestellten Prozeßablaufs stellt hohe Anforderungen an die Zusammenarbeit innerhalb der Prozeßkette sowie den reibungslosen Datenaustausch, da nur die ständige Verfügbarkeit aller prozeßrelevanter Daten paralleles Arbeiten entsprechend dem Simultaneous Engineering garantiert. Dies gilt insbesondere, wenn eine verteilte Arbeitsumgebung zu realisieren ist. Zur Erfüllung der zentralen These dieser Arbeit ergeben sich für die Prozeßgestaltung somit folgende Prämissen:

Integration aller Teilprozesse zu einer durchgängigen Prozeßkette

Idealerweise werden in der Prozeßkette alle Daten durchgängig in CAx-Systemen

repräsentiert. Dies verhindert Datenverluste durch Medienbrüche, ermöglicht paralleles Arbeiten auf einem Datenmaster und ist somit Grundlage für den reibungslosen Informationsaustausch innerhalb der Prozeßkette. Diese Forderung ist insbesondere für die Erweiterung des Digital Mock-up um Designdaten elementar.

Ständiger Zugang zu allen projektrelevanten Daten

Der ständige, kontrollierbare und sichere Zugang zu allen projektrelevanten Daten ist Grundvoraussetzung für parallele und verteilte Arbeitsstrukturen. Dies kann durch die Verwendung eines global zugänglichen Produktdatenmanagementsystems erfolgen. Es bietet den Entscheidungsträgern die Möglichkeit, sich fortwährend über den Projektfortgang zu informieren und dokumentiert zudem ständig den Projektverlauf.

2.1.4 Bedeutung der frühen Phase für die Festlegung der Projektziele

Der formale Beginn der Fahrzeugentwicklung erfolgt auf Anweisung des zuständigen Entscheidungsgremiums des Unternehmens. Das Marketing definiert gemeinsam mit strategischen Planungsabteilungen und der für die Projektsteuerung verantwortlichen Abteilung im Rahmen des Zielfindungs- und Zielvereinbarungsprozesses die wichtigsten Anforderungen an das Produkt. Im Projektzielkatalog werden die Kundenwünsche an das Produkt zusammengefaßt, beschrieben und in technische Anforderungen übersetzt. Dies beinhaltet die Marktpositionierung, Kosten und angestrebten Stückzahlen. Weiter enthält der Projektzielkatalog alle wesentlichen technischen Anforderungen (Abmaße, Antriebsart etc.) und bildet die Basis für die weitere Entwicklung. Der Planungshorizont erstreckt sich im Regelfall auf einen Zeitraum von drei Jahren (Markteinführung) bis elf Jahre (Produktionsende) und ist mit großen Unsicherheiten behaftet, wobei das Risiko bei der Erschließung eines neuen Produktsegments naturgemäß größer ist, als bei der Nachfolgeentwicklung für ein bereits eingeführtes Produkt. Somit kommt dem Projektzielkatalog strategische Bedeutung zu, da falsche oder ungenaue Festlegungen im günstigsten Fall während der Produktentwicklung in mitunter kostspieligen Änderungsschleifen revidiert werden, im ungünstigsten Fall aber zu einem Produkt führen, das nicht die Markterfordernisse trifft.

Diese Planungsunsicherheit wird mit der Reichweite der Marktprognose größer. Eine Verkürzung der Entwicklungszeit und das planvolle Hinauszögern möglichst vieler produktdefinierender Entscheidungen reduziert das Risiko. Im sequentiellen Produktentstehungsprozeß werden bereits in der frühen Phase, also der Konzeptphase, wesentliche Teile der produkt- und prozeßrelevanten Kosten festgelegt, während zu

diesem Zeitpunkt aber nur geringes Wissen über das Endprodukt und den Herstellungsprozeß verfügbar und abgesichert ist. Dies schränkt schon sehr früh die Entscheidungsfreiheit massiv ein. Produktänderungen, die vielfach aus nicht abgesicherten, frühen Festlegungen resultieren, sind später nur unter großem Zeit- und damit Kostenaufwand durchführbar (Bild 2-4).

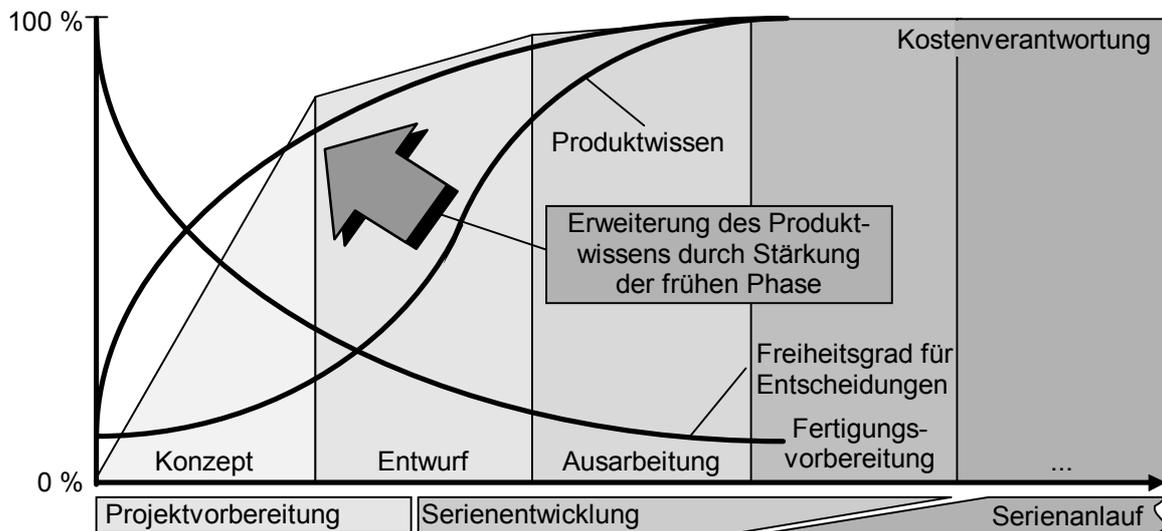


Bild 2-4: Produktwissen und Kostenverantwortung im Produktentstehungsprozeß /52/

Der restrukturierte Produktentstehungsprozeß reduziert das Planungsrisiko durch eine starke Verkürzung der Entwicklungszeit. Dies wird durch die weitgehende Parallelisierung der Entwicklungsprozesse und den (fast) gleichzeitigen Start aller produktdefinierenden Teilprozesse zu Beginn der Projektvorbereitung erreicht. Eine empirische Untersuchung in der Elektroindustrie zeigt, daß die Parallelisierung von Entwicklungsprozessen dann besonders erfolgreich ist, wenn es gelingt, frühzeitig die dem Entwicklungsprozeß inhärente Unsicherheit zu reduzieren. Ziel des parallelisierten Produktentstehungsprozesses ist daher, bereits in der frühen Phase möglichst großes Produktwissen zu schaffen und gleichzeitig die Entscheidungszeitpunkte so spät wie möglich im Prozeß nahe an den Serienanlauf zu legen. Dieser Ansatz wird auch unter dem Begriff Frontloading diskutiert /53/. Weiter können zur Erhöhung der Entscheidungsbasis in der frühen Phase alternative Lösungsvorschläge erstellt werden. Dies führt zu fundierteren Entscheidungen, da die Auswirkungen einer Entscheidung auf das Gesamtkonzept besser untersucht und abgeschätzt werden können, und somit zur Reduktion von Änderungsschleifen.

Festlegung der Projektziele - Quality Function Deployment

Die produktdefinierenden Bereiche legen die Projektziele in einem zweiphasigen Prozeß fest. Zunächst werden im Zielfindungsprozeß die Ziele identifiziert. Im nach-

folgenden Zielvereinbarungsprozeß erfolgt die Erstellung des Projektzielkatalogs, der die Ziele in technische Anforderungen übersetzt und quantifiziert. Anzustreben ist immer eine Konsensentscheidung, da nur so Einigkeit aller Fachbereiche über verbindliche Projektziele besteht. Basis ist die Quality Function Deployment (QFD), eine umfassende Methodik zur Qualitätsplanung. QFD, die auch unter dem Stichwort „Ganzheitliches Anforderungsmanagement“ diskutiert wird /54/, ist ein kundenwunschorientiertes Produktplanungsverfahren /55/, das die „Stimme des Kunden“ in die „Sprache des Ingenieurs“ übersetzt. QFD beschreibt einen viergliedrigen Prozeß, mit den Phasen Produktplanung, Einzelteilbestimmung, Prozeß- und Produktionsplanung und unterstützt somit die Planung des Produkts inklusive seiner Bauteile über den gesamten Produktentstehungsprozeß hinweg bis zur Produktion. Die Festlegung der Projektziele umfaßt die erste Phase (Produktplanung), in deren Mittelpunkt die Erstellung eines House of Quality steht.

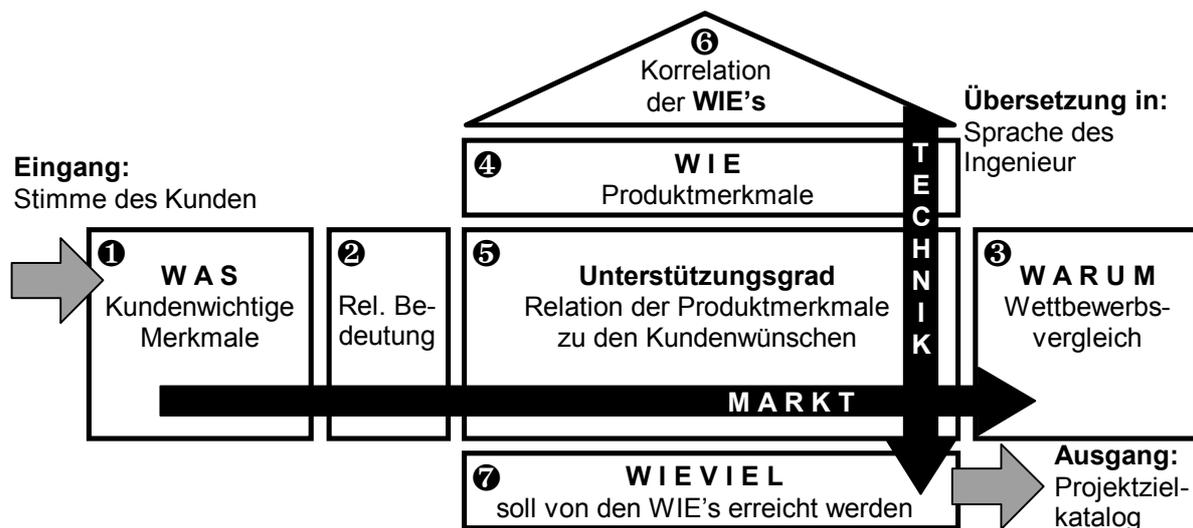


Bild 2-5: Schema des House of Quality für die erste Phase einer Produkt-QFD /56/

Das House of Quality ist ein System von hierarchischen Listen, Tabellen und Matrizen (Bild 2-5). In der horizontalen Marktschiene werden in der hierarchischen Liste ① kundenrelevante Produktmerkmale abgelegt und in ② relative Bedeutungen zugeordnet. In der Tabelle ③ werden diese Kundenmerkmale mit den Wettbewerbern verglichen. In der vertikalen Technikschiene werden in eine hierarchische Liste ④ technische Produktmerkmale eingetragen. Konflikte zwischen den technischen Merkmalen lassen sich in der Kopfmatrix ⑥ darstellen. In der Hauptmatrix ⑤ erfolgt die Verknüpfung der Kundenwünsche mit den technischen Anforderungen. Dabei wird ermittelt, wie stark die gewichteten Kundenwünsche die technischen Produktmerkmale beeinflussen. In der Tabelle ⑦ kommt es zum Abgleich der technischen Zielwerte in einem technischen Wettbewerbsvergleich. Dies beschreibt den Zielfin-

dungsprozeß. Der anschließende Zielvereinbarungsprozeß komplettiert den Projektzielkatalog und legt die Zielwerte für die weitere Prozeßkette verbindlich fest. Bei der Erstellung des House of Quality sind die Merkmale und Ziele in geeigneter Granularität zu wählen, da die Datenmenge mit jeder Phase der QFD quasi exponentiell ansteigt und die Gefahr besteht, daß das System am Ende nicht mehr handhabbar ist. Die Detaillierung im Projektzielkatalog kann auch als Basis für eine mögliche Fehlermöglichkeits- und Einflußanalyse (FMEA) herangezogen werden.

Die Kundenwünsche des House of Quality sind jedoch zu relativieren, da der Kunde nicht alle Wünsche explizit verbalisiert. So definiert das Kano-Modell Basisanforderungen, die der Kunde unausgesprochen als Selbstverständlichkeit annimmt und deren Fehlen automatisch zum Nichtkauf führt (Fahrfähigkeit, gesetzliche Zulassung etc.). Leistungsanforderungen verbalisiert und erwartet der Kunde als Leistung. Das Fehlen empfindet er als negativ (Airbags, Radio etc.). Begeisterungsanforderungen stellen für den Kunden eine unerwartete, aber angenehme Überraschung dar. Diese definieren die Alleinstellungsmerkmale des Produkts. /57/

2.1.5 Diskussion alternativer Strukturen der Aufbauorganisation

Die am Produktentstehungsprozeß beteiligten Fachbereiche lassen sich entsprechend ihrer Aufgabe und Positionierung innerhalb des Prozeßablaufs systematisieren (Bild 2-6). Die produktdefinierenden Bereiche Marketing, Design, Package und Innovation legen alle wesentlichen Produktmerkmale fest und bestimmen damit Gestalt und Erscheinungsbild des Endprodukts. Die produktentwickelnden Bereiche entwickeln aus diesen Vorgaben das Endprodukt. In der Serienentwicklung lassen sich die produktdefinierenden Bereiche Design und Package auch den produktentwickelnden zuordnen, da sie nach der Produktdefinition ihr eigenes Konzept detaillieren und ausarbeiten. Die produktbewertenden Bereiche überwachen die Einhaltung wesentlicher Parameter, die im Projektzielkatalog festgelegt sind oder sich aus Normen und Gesetzesanforderungen ergeben. In der Gebrauchsgüterindustrie sind dies die Fachbereiche Produkt-Controlling und Qualitätssicherung. Hinzu kommen branchenabhängig weitere Fachbereiche, z.B. in der Automobilindustrie Ergonomie und Aerodynamik. Die prozeßgestaltenden Bereiche legen den Produktions- und Fertigungsprozeß fest.

In der Literatur werden verschiedene Ansätze zur Organisation von Entwicklungsprozessen und Projekten diskutiert /58-61/. Konventionelle Organisationsstrukturen sind Linienstruktur, Stab-Linienstruktur und Divisionen. In der Automobilindustrie ist die

Matrixstruktur weit verbreitet. Sie vereint eine funktionale Aufbauorganisation mit einer überlagerten prozeßorientierten Produkt- oder Baureihenstruktur. Die Baureihe nimmt die Produktverantwortung und das Projektmanagement wahr. Die Fachbereiche verbleiben in der Linienstruktur und agieren gegenüber der Baureihe als Dienstleister. Die Freizeichnungskompetenz kann entweder beim Fachbereich oder bei der Baureihe liegen. Problematisch ist bei diesen funktionalen Organisationsformen die Gestaltung der Schnittstellen zwischen den Fachbereichen. In der frühen Phase des parallelisierten Produktentstehungsprozesses sind dies insbesondere die Teilprozesse Design und Package. Eine weitere Schwachstelle funktionaler Strukturen besteht darin, daß die Mitarbeiter auf ihr Spezialgebiet beschränkt sind und der Überblick auf das Gesamtprojekt bzw. das Produkt verloren geht.

Produktdefinierende Bereiche	Produktentwickelnde Bereiche	Produktbewertende Bereiche	Prozeßgestaltende Bereiche
<ul style="list-style-type: none"> • Marketing • Design • Package • Innovation 	<ul style="list-style-type: none"> • Karosserieentwicklung • Antrieb • Fahrwerk • Elektrik/ Elektronik • Prototypenbau 	<ul style="list-style-type: none"> • Produkt-Controlling • Ergonomie • Aerodynamik • Qualitätssicherung 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabrikplanung • Fertigungsplanung • Montageplanung • Preßwerk • Gießerei • Lackiererei

Bild 2-6: Einteilung der am Produktentstehungsprozeß beteiligten Entwicklungsbereiche nach Hauptfunktionen

Im Rahmen einer verstärkten Prozeßorientierung in den Unternehmen gewinnen prozeßorientierte Organisationsprinzipien an Bedeutung /58/. Hervorzuheben sind Gruppen- und Teamarbeit. Von Gruppenarbeit spricht man, wenn mindestens zwei Personen interagieren und dabei eine gegenseitige Beeinflussung stattfindet /62/. Sie wird stark in der Fertigung eingesetzt. Ziel ist eine Abkehr vom Tayloristischen System der Arbeitsteilung zugunsten einer Vergrößerung des Aufgabenbereichs der Mitarbeiter (Job Enlargement) und der Erweiterung des Verantwortungsbereichs (Job Enrichment) /61/. Die Gruppenmitglieder rekrutieren sich meist aus einer Disziplin bzw. Fachrichtung. Teamarbeit setzt zusätzlich ein gemeinsames Ziel der Mitglieder voraus /49/. Das ist in Entwicklungsprojekten gegeben. Hierbei sind interdisziplinäre Teamstrukturen üblich, die spezifische Teilbereiche der Prozeßkette abbilden. Dieser Ansatz findet auch zunehmend Eingang in die wissenschaftliche Ausbildung von Ingenieuren /63/.

Die Führung einer Gruppe bzw. eines Teams erfolgt durch einen Leiter, der entweder von den Vorgesetzten bestellt ist oder von den Mitgliedern gewählt wird. Alterna-

tiv besteht auch die Möglichkeit, daß das Team die Leitungsfunktion gemeinschaftlich oder situativ ausübt, also ohne einen festen Leiter tätig ist /64/. Teilautonome Arbeitsgruppen führen die interne Arbeitsorganisation und -aufteilung weitgehend selbständig durch /59/. In interdisziplinären Teams ist die Leitung durch einen Moderator gängige Praxis.

Für die Bestandszeit einer Gruppe bzw. eines Teams ergeben sich unterschiedliche Planungshorizonte. Während in Japan überwiegend temporäre, interdisziplinäre Teams für spezifische Projekte installiert werden, besteht in Europa eine Tendenz zu permanenten Gruppenstrukturen, die operative Tätigkeiten übernehmen /65/. Temporäre Gruppenstrukturen, bei der sich die Mitarbeiter aus der Linie rekrutieren, können eine klassische Linienorganisation problemlos ergänzen. Nach Projektende kehren die Mitarbeiter in ihre Fachbereiche zurück. Permanente Arbeitsgruppen innerhalb der Linie sind entweder monodisziplinär oder tendieren zur Untergrabung der funktionalen Grundorganisation. Ein Problem permanenter Strukturen besteht darin, daß sich im Unternehmen viele weitgehend identische Organisationen bilden, zwischen denen kaum Kommunikation und Wissensaustausch besteht und die einen hohen Mehraufwand an Investitionen und Ressourcen verursachen.

2.2 Unterstützung verteilter Arbeitsumgebungen mittels Telekooperation

2.2.1 Ausprägungen der Telekooperation

Voraussetzung für die Umsetzung der zentralen These ist die Unterstützung von Prozessen mit verteilter Arbeitsumgebung. Hierbei hat sich die Telekooperation bzw. die Computer-Supported Cooperative Work (CSCW) als eigenes Forschungsgebiet herausgebildet. Sie untersucht, wie Individuen in Arbeitsgruppen oder Teams zusammenarbeiten und dabei durch Informations- und Kommunikationstechnologie unterstützt werden können /62/. Telekooperation bezeichnet die medienunterstützte, arbeitsteilige Leistungserstellung zwischen verteilten Aufgabenträgern, Organisationseinheiten und/ oder Organisationen /17/. Aufgrund weitgehend deckungsgleicher Definitionen werden beide Begriffe in dieser Arbeit synonym verwendet. Groupware oder CSCW-Applikationen bezeichnet Anwendungen, die im Rahmen der Telekooperation entstehen und diese unterstützen. In der Forschung sind Telekooperation und Groupware vielbeachtete Forschungsgebiete /66, 67/. Die Telekooperation umfaßt die drei Teilbereiche Telearbeit, Telemanagement und Teleleistung /17/, die nachfolgend beschrieben werden.

Telearbeit bezeichnet den Einsatz von Groupware, um die Arbeit zum Arbeitenden anstatt den Arbeitenden zur Arbeit zu transportieren. Bei permanenter Telearbeit kommt der Mitarbeiter seinen arbeitsvertraglichen Verpflichtungen vollständig, bei alternierender Telearbeit zeitweise zu Hause bzw. wohnortnah nach /68/. Telearbeit erhöht die räumliche Flexibilität der Mitarbeiter um den Preis einer frei gewählten verteilten Arbeitsumgebung. Telearbeit ist in der Prozeßintegration primär auf die Unterstützung von Routineprozessen ausgelegt. Zudem ermöglicht sie die zeitweise Integration externer Spezialisten in den regulären Arbeitsprozeß. Damit ist die Grenze von der Telearbeit zur Teleleistung fließend. Motive zum Einsatz von Telearbeit liegen beispielsweise in Tätigkeiten, die Kontakt mit Partnern in anderen Zeitzonen aufweisen oder in der Verbesserung der Arbeitsintegration berufstätiger Eltern. In der Industrie hat die Telearbeit als zukünftige Arbeitsform einen hohen Stellenwert, wie das Projekt *Teleworking in flexiblen Strukturen* (TWIST) der BMW AG zeigt /69/. Beleg sind auch die European Telework Awards, die Telearbeitsprojekte der Industrie prämiieren /70/.

Telemanagement bezeichnet alle Aspekte der Koordination und Führung medienunterstützter Aufgabenbewältigung in verteilten und standortunabhängigen Leistungsprozessen. Dies beinhaltet sowohl die Führung von Telearbeitern, als auch das Management und die Führung von verteilten Abteilungen und Organisationen. Wesentlich für die Umsetzung ist die Schaffung eines neuen Führungsparadigmas, das Leistung nicht nach quantitativen Aspekten wie Anwesenheitszeit sondern nach qualitativen Arbeitsergebnissen bewertet /71/. Ein weiteres Gestaltungskriterium besteht in der Definition des Anforderungsprofils an Mitarbeiter in verteilter Arbeitsumgebung. Telemanagement untersucht sowohl die Aspekte der Arbeitsverteilung in der eigenen Organisation, als auch die Führung von externen Partnern in Projekten.

Teleleistung beschreibt Informationsprodukte, die mit Hilfe der neuen Telemedien über räumliche Entfernungen hinweg angeboten, nachgefragt und ausgetauscht werden können /17/. Somit setzt sie eine Strategie zur Schaffung einer verteilten Wertschöpfungskette voraus. Die Leistungsspanne ist weit gefaßt und beinhaltet beispielsweise die Bereiche Telemedizin, Televerwaltung, Telelearning, aber auch den gesamten Bereich der E-Commerce und M-Commerce Anwendungen /72/. Im Umfeld der verteilten Produktentwicklung ergibt sich ein großes Potential für kleine und mittelständische Unternehmungen, Fremdleistungen in der parallelisierten Produktentstehung der Prozeßkette direkt zur Verfügung zu stellen, auch wenn sich die Anbieter nicht am Standort des Auftraggebers befinden. Im Designumfeld entstehen neue Perspektiven für kleine Designstudios und Freelancer, ihre Leistungen global

und auch im Umfeld des Produktentstehungsprozesses direkt zu vermarkten. Dies ermöglicht eine Umsetzung der Forderung, Designtrends aus den Zielmärkten in den Produktentstehungsprozeß zu integrieren, auch wenn dort kein eigener Designstandort besteht.

Telekooperation steht für die Überwindung geographischer Grenzen durch den Einsatz von Groupware und anpaßter Prozesse. Dies führt zu einer Modularisierung und Virtualisierung von Organisationen und schließlich zu virtuellen Unternehmen /73/. Der Begriff wurde in Anlehnung an die virtuelle Speichertechnik in der Informatik geprägt. Wie durch virtuelle Speicher zusätzliche Ressourcen (Speichererweiterung) erübrigt werden, indem die Informationsflüsse geschickt zwischen dem vorhandenen Hauptspeicher und Paging-Bereichen auf Festplatten gesteuert werden, sollen virtuelle Unternehmen den Aufbau zusätzlicher Institutionen vermeiden /74/. Für Außenstehende ergibt sich ein fast konturloses Gebilde mit durchlässigen und ständig wechselnden Trennlinien zwischen Unternehmen, Lieferanten und Kunden. Intern ergibt sich ein ähnliches Bild: Herkömmliche Arbeitsgruppen, Abteilungen und Unternehmensbereiche befinden sich im Fluß, wobei sich Aufgaben und Einflußbereiche ständig verschieben. Der Begriff des Mitarbeiters gewinnt eine neue Facette, weil mitunter Kunden und Lieferanten mehr Zeit im Unternehmen verbringen als manche Betriebsangehörige /75/. Die Organisationslehre diskutiert verschiedene Ausprägungen der Virtualität. So bestehen Konzepte zu virtuellen Unternehmens-einheiten, Unternehmen und Unternehmensnetzwerken. Sie können vertikal oder horizontal ausgerichtet sein. Die Bestandsdauer virtueller Konstrukte variiert zwischen temporär, projektabhängig und permanent.

Virtuelle Unternehmen geben kleinen und mittelständischen Unternehmen ein Instrument zur Expansion und Globalisierung an die Hand, ohne dabei ihre formale Eigenständigkeit wie bei Fusionen aufgeben zu müssen. Beispielhaft ist die Expansionsstrategie der Rosenbluth International Alliance /76/. Der Zusammenschluß in einem virtuellen Unternehmen bietet lokal ausgerichteten Unternehmungen die Möglichkeit, globale Ressourcen zu nutzen. So kann beispielsweise ein deutsches Designstudio in einem horizontalen virtuellen Unternehmen mit einem japanischen und einem kanadischen Studio verbunden sein und damit Designstudien aus drei Zielmärkten anbieten. Eine horizontale Ausrichtung virtueller Unternehmen bezieht etwa ein Ingenieurbüro und ein Marketinginstitut ein und bildet Teilaspekte der frühen Phase ab.

Die Telekooperation mit ihren beschriebenen Ausprägungen ist ein geeignetes Medium zur Unterstützung verteilter Arbeitsumgebungen. Sie beinhaltet bislang keine konkrete Methodik, mit der sich verteilte Entwicklungsprojekte planen lassen.

2.2.2 Betrachtung von Computernetzwerken

Basis einer rechnerunterstützten Zusammenarbeit und damit der Telekooperation ist ein leistungsfähiges Kommunikations- und Computernetzwerk. Für den Aufbau lokaler Netzwerke (LAN - local area network) ist der Einsatz eines Ethernets mit einer Datenübertragungsrate von 10 Mbps, eines Fast-Ethernets mit 100 Mbps oder zunehmend eines Giga-Links mit 1 Gbps obligatorisch. Für die Anbindung an ein Weitverkehrsnetz (WAN - wide area network) ergeben sich alternative kabelgestützte und funkgestützte Netzwerke, die nachfolgend beschrieben werden (Tabelle 2-1). Zudem stellt das Internet ein öffentlich zugängliches Netzwerk dar, das zur Kooperation herangezogen werden kann.

	Übertragungsrate	Anschlußart	Kosten	Verfügbarkeit	Anmerkung
Kabelbasiert					
Analoges Telefon (POT)	56 kbps	S,D,I,P	niedrig	international	
ISDN	128 kbps bis 1920 kbps	S,D,I,P	proportional zur Bandbreite	international	Max. 30 Kanäle gebündelt
Breitband-ISDN ATM-basiert	2 Mbps 43 Mbps 155 Mbps	D,I,P	proportional zur Bandbreite	niedrig, aufwendige Installation	Bedingung: Durchgängiges Glasfasernetz
XDSL Beispiel: ADSL	<i>Downstr.:</i> 1,5 Mbps <i>Upstream:</i> 128 kbps	D,I	mittel	national	Problem: begrenzte Leitungslängen
Datex-M	155 Mbps	D	proportional zur Bandbreite	international, aufwendige Installation	LAN-to-LAN-Kommunikation
Funkbasiert					
GSM	9,6 kbps	S,D,I,P	mittel	hoch	Weltweit drei versch. Frequenzen
Satellitenkommunikation	max. 2 Mbps	S,D,P	hoch	hoch	Material- und Organisationsaufwand!

S: Sprache D: Daten I: Internet P: Punkt-zu-Punkt-Verbindung

Tabelle 2-1: Vergleich öffentlicher Weitverkehrsnetze /77/

Kabelgestützte Netzwerkverbindungen

Integrated Services Digital Network (ISDN) ist ein international standardisiertes, digitales Telekommunikationsnetzwerk das auf dem vorhandenen Telefonnetz aufbaut. Standardmäßig werden zwei Nutzkanäle (B-Kanal) mit einer Übertragungsrate von je 64 kbps und eine Steuerleitung (D-Kanal) angeboten, die gebündelt oder un-

abhängig verwendet werden können. Dies ergibt eine reale Übertragungsrate von 128 kbps. Maximal ist eine Bündelung von 30 B-Kanälen möglich, womit sich die Übertragungsrate auf bis zu 1920 kbps erhöht. /62/

Breitband-ISDN ist eine Weiterentwicklung von ISDN mit Übertragungsraten von bis 155 Mbps unter Verwendung der Glasfasertechnologie. Asynchronous Transfer Mode (ATM) ist ein verbindungsorientiertes Paketvermittlungsverfahren, das Daten in kleine Pakete zerlegt und die benötigte Bandbreite dynamisch anfordert. Es eignet sich zur Übertragung von Sprache, Daten und Bewegtbildern. ATM ist derzeit nicht vollständig normiert, doch erarbeitet das Comité Consultative International Téléphonique et Télégraphique (CCITT) Empfehlungen für Breitband-ISDN auf ATM-Basis, um zu gewährleisten, daß unternehmensweite Netze in Breitband-ISDN integriert werden können und deren länderübergreifenden Aufbau ermöglichen /62/.

Digital Subscriber Line (XDSL) bezeichnet eine Familie von Netzwerken, die auf dem bestehenden Telefonsystem beruhen und Übertragungsraten von 8 Mbps (ADSL) bis zu maximal 52 Mbps (VDSL) ermöglichen. Aufgrund geringer maximaler Leitungslängen von 1,5 km bis maximal 11,6 km ist XDSL nicht als eigenständiges Weitverkehrsnetz einsetzbar. Allerdings ermöglicht es einen breitbandigen Zugang zu ATM-basierenden Hochgeschwindigkeitsnetzen.

Datex-M ist ein verbindungsloses Weitverkehrsnetz der Deutschen Telekom mit dynamisch abrufbaren Bandbreiten bis maximal 34 Mbps, das auf Switched Multimegabit Data Service (SMDS) beruht. Es ist auf die LAN-to-LAN-Kommunikation zugeschnitten.

Funkgestützte Netzwerkverbindungen

Das Global System for Mobile Communication (GSM) ist ein weltweiter digitaler Mobilfunkstandard auf der Funkmittenfrequenz 900 MHz. DCS 1.800 basiert auf GSM und verwendet die Frequenz 1,8 GHz. In Nordamerika wird GSM mit 1,9 GHz eingesetzt. Das GSM-Netz integriert diverse Sprach- und Datendienste. Mittels SMS lassen sich Kurznachrichten verschicken. WAP-Technologie ermöglicht mobilen Internetzugang. Allerdings sind im GSM-Netz die Übertragungsraten auf 9,6 kbps begrenzt. Nachfolgesysteme wie das Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) ermöglichen Übertragungsraten von bis zu 2 Mbps, befinden sich aber noch im Aufbau.

Leistungsfähige Satellitenkommunikationssysteme verwenden Satelliten in einer geostationären Umlaufbahn in einer Höhe von etwa 36.000 km über dem Äquator.

Mittels Richtfunk werden Übertragungsraten von 2 Mbps (upstream) bzw. 34 Mbps (downstream) erreicht, wenn entsprechend große Antennen- und Sendeleistung zur Verfügung steht /78/. Satellitenkommunikationssysteme in niedrigen Erdumlaufbahnen von 700 km bis 1.400 km bestehen aus 60-70 Satelliten, die von einem festen Punkt auf der Erde nur kurzzeitig sichtbar sind. Daher ist kein Richtfunk möglich. Die Übertragungsrate ist auf 9,6 kbps begrenzt. Kommerzielle Systeme wie GlobalStar oder Iridium haben nur geringe Verbreitung.

Internet und World Wide Web

Das Internet ist ein weltweit zugängliches Netzwerk, dessen Wurzeln auf das amerikanische ARPANET zurückgehen, das Ende der 60er Jahre entwickelt und seit Anfang der 70er Jahre systematisch aufgebaut wurde. Ziel war ursprünglich die Schaffung eines dezentralisierten Computernetzwerks für das US-Militär /79/. Bei diesem zellenartig aufgebauten Kommunikationssystem führt der Verlust einer Zelle nicht zum Verlust des ganzen Systems. Im Internet verlaufen die Übertragungswege zufällig und variieren mit jedem Datenblock. Dabei schwanken die Übertragungsraten in Abhängigkeit vom Übertragungsweg. Ein konstanter Datenfluß, wie er zur Sprachkommunikation notwendig ist, kann derzeit nicht garantiert werden. Problematisch bei der Nutzung des Internets ist die Datensicherheit, da Daten standardmäßig unverschlüsselt übertragen und auf Servern teilweise unkontrolliert zwischengespeichert werden. Das World Wide Web (WWW) geht auf das Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (CERN) und das amerikanische National Centre for Supercomputing Applications (NCSA) zurück und baut auf dem Internet auf /80/.

Das Internet basiert auf dem Protokoll Transmission Control Protocol/ Internet Protocol (TCP/IP) /81/, dem das ISO-Schichtenmodell Open Systems Interconnection (OSI) /82/ angenähert wurde. TCP/IP unterstützt mit den Schichten eins und zwei verschiedene Übertragungswege wie z.B. Ethernet, ISDN oder ATM. Das IP liegt auf Schicht drei, TCP auf Schicht vier. Auf den Schichten fünf bis sieben stehen dem Anwender verschiedene Dienste zur Verfügung wie Web-Sites (z.B. Hypertext Transfer Protocol - HTTP), E-Mail (z.B. Simple Mail Transfer Protocol - SMTP) oder Datentransfer (z.B. File Transfer Protocol - FTP). TCP/IP bildet auch die Basis für „lokale“ Internets. Eine abgegrenzte Implementierung innerhalb eines Unternehmens oder einer Organisation heißt Intranet, eine private Installation, die definierten externen Partnern Zugang erlaubt, heißt Extranet /83, 84/. Zukünftig kommt auch privaten Branchennetzwerken größere Bedeutung zu wie dem European Network Exchange (ENX) der Automobilindustrie /85/. Kommerzielle Anwendungen im Internet werden

unter dem Sammelbegriff E-Commerce oder elektronischer Marktplatz zusammengefaßt. Sie gliedern sich in consumer-to-consumer, business-to-consumer, business-to-business, government-to-business/ consumer und business-to-employee Anwendungen /72/.

2.2.3 Überblick über Groupware

Eine Gliederung von Groupware ist bezüglich des zeitlichen Verlaufs (synchron oder asynchron) und des Fokus (Personen oder Material) möglich. Wie Tabelle 2-2 zeigt, lassen sich hierin alle wesentlichen Anwendungen einordnen. Aufgrund der kurzen Produktlebenszyklen dieser Systeme wird in diesem Abschnitt auf die Beschreibung einzelner Produkte weitgehend verzichtet. Stattdessen erfolgt eine kurze Darstellung von Groupware-Ansätzen, die zur Unterstützung verteilter Entwicklungsprozesse einsetzbar sind. Probleme können bei der Einführung von Groupware entstehen, wenn die Mitarbeiter nicht ausreichend vorbereitet und geschult werden /86/.

		Zeitlicher Verlauf	
Fokus		Synchron	Asynchron
Personen-bezogen	<ul style="list-style-type: none"> • Audiokonferenz • Videokonferenz • PC-Konferenz • ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Anrufbeantworter • Elektronische Post (E-Mail) • Faxcimile • ... 	
Material-bezogen	<ul style="list-style-type: none"> • Verteiltes, elektronisches Notizbuch • Anwendungsverteilung • Kollaborationssysteme • ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Datentransfer (FTP) • Multimedia-Mail • Produktdatenmanagementsysteme • ... 	

Tabelle 2-2: Gliederung von Groupware nach /87/

Videokonferenzsysteme

Ein wesentliches Anliegen der Telekooperation besteht in der Verbesserung der audiovisuellen Kommunikation. Kommerzielle Videokonferenzsysteme verwenden derzeit weitgehend ISDN. Sie sind als PC-Systeme und Raumsysteme in verschiedenen Größen verfügbar. Internet-basierte Systeme sind in der Erprobung /88/. Bislang mangelt es an ausreichenden Übertragungsraten, garantiertem Datenfluß und der Einhaltung einer definierten Quality of Services. Die Telekommunikationsstandards H.320 für ISDN-Verbindungen /89/ und H.323 für Videokonferenzen via Internet /90/ gewährleisten die Kompatibilität verschiedener Fabrikate. PC-Systeme lassen sich

zum Erreichen telekooperativer Zusammenarbeit um Anwendungsverteilungssysteme (engl.: Application Sharing) erweitern, bei denen die Konferenzteilnehmer Anwendungen an räumlich verteilten Computern gemeinsam nutzen. Dabei wird die Anwendung nur auf einem Rechner gestartet, das Arbeitsfenster aber an alle Teilnehmer verteilt. Neben der Visualisierung von Daten können die Teilnehmer alle Programmfunktionalitäten nutzen. Weitere Funktionalitäten bestehen im elektronischen Notizblock (engl.: Whiteboard) und im Datentransfer. /91/

Kollaborationssysteme

Die Zusammenarbeit läßt sich mittels Workgroup Computing deutlich verbessern. Dies umfaßt im wesentlichen Termin- und Konferenzplanung, Dokumenten- und Ressourcenmanagement, Benachrichtigungswesen (E-Mail) sowie PC-basierte Mitarbeiterkonferenzen. Externe Datenbanken und Produktdatenmanagementsysteme lassen sich einbeziehen. Diese Dienste sind weitgehend Server-basiert und mittels TCP/IP in einer verteilten Arbeitsumgebung einsetzbar. Die Erweiterung um Prozeßmanagementfunktionen (Workflow-Management) erleichtert die Organisation verteilter Entwicklungsprojekte. Die meisten Anwendungen sind im Entwicklungsstadium. Beispielhaft ist das Web-basierte BSCW-System der GMD, in das zusätzlich verschiedene Anwendungsverteilungssysteme integriert sind /92/.

Weiterführende Ansätze für Kollaborationssysteme bieten Umgebungen für verteiltes Entwickeln an. OpenSpace ist ein kommerziell verfügbares Produkt der Firma CoCreate. Es basiert auf dem Client-Server-Prinzip und umfaßt die drei Hauptfunktionen Datenbereitstellung, Zugriffskontrolle und Modellierung bzw. Visualisierung. Der Aufbau einer verteilten Datenhaltung ist durch Schnittstellen zu Produktdatenmanagementsystemen möglich, deren Zugriff kontrollierbar ist. Die Modellierung und Visualisierung erfolgt durch die plattformunabhängige, Java-basierte Collaboration Station. Konferenzen und Präsentationen werden über einen dedizierten Server gesteuert. /93/

Präsentationssysteme

Präsentationssysteme gehören nicht im eigentlichen Sinne zur Groupware, da sie zunächst lokal eingesetzt werden. Viele Systeme lassen sich mittels Anwendungsverteilungssystemen und hohen Übertragungsraten auch in einer verteilten Arbeitsumgebung anwenden. Hierbei ist zu unterscheiden, ob der Datensatz während der Präsentation in Echtzeit oder vor der Präsentation übertragen wird. Im zweiten Fall werden während der Präsentation nur Steuersignale etwa zum Drehen oder Zoomen des Modells ausgetauscht.

Bild- und Filmprojektionen auf Großleinwänden schaffen mittels aktiven oder passiven Stereosystemen einen dreidimensionalen Effekt. Dieser wird gesteigert, wenn die Projektionsleinwand um 160°-180° gewölbt ist. Großes Potential besteht in Systemen die mittels virtueller Realität auf eine immersive Darstellung abzielen. Beispiel ist die Responsive Workbench, eine Entwicklung der GMD. Das System besteht aus einem horizontalen Projektionstisch, auf den ein Stereobild projiziert wird. Weitere Anwendungen sind der ImmersaDesk, ein mobiles stereographisches Projektionssystem in Form und Größe eines Zeichentischs und die Infinity Wall, die eine stereographische Großprojektion zulässt /94/. Bei der CAVE wird das Modell auf drei Wände und den Boden in Stereo projiziert /95/. Die dreidimensionale Wahrnehmung wird bei diesen Systemen durch sogenannte Shutter-Brillen ermöglicht. Ein Positionierungssystem an der Brille ermöglicht die verzerrungsfreie, perspektivische Wahrnehmung /96/.

Objektorientierte Systemarchitekturen - Middleware

Middleware bezeichnet Softwarearchitekturen, die auf Basis standardisierter Schnittstellen und Protokolle Dienste für die transparente Kommunikation verteilter Anwendungen bereitstellen. Diese Dienste stellen eine Infrastruktur für die Integration von Anwendungen und Daten in einem heterogenen und verteilten Umfeld zur Verfügung /97/. Somit kann auch das Internet als Middleware bezeichnet werden /98/.

Ziel von Middleware ist die Definition einer allgemeingültigen, objektorientierten Systemarchitektur, um die Portabilität der Software, die Interoperabilität und Wiederverwendbarkeit der Komponenten und Netzwerktransparenz zu verbessern. Derzeit konkurrieren zwei Architekturen. Die Common Object Request Broker Architecture (CORBA) von der Object Management Group (OMG) ist am längsten am Markt und verfügt über die weiteste Verbreitung /99/. Die Common Object Model (COM) der Firma Microsoft unterstützt die Microsoft Produktfamilie /100/. Derzeit werden Werkzeuge zur Zusammenarbeit von COM und CORBA entwickelt /101/.

Datensicherheit

Datensicherheit gewinnt angesichts zunehmender Wirtschaftsspionage und vermehrter Verwendung öffentlicher WAN an Bedeutung /102/. Vertraulichkeit lässt sich durch Hardware- oder Softwareverschlüsselung erreichen. Anwendung finden verschiedene Chiffrierverfahren, die meist auf symmetrischen Schlüsseln (DES, Triple-DES, IDEA, RC2 etc.) oder asymmetrischen Schlüsseln (RSA, Diffie/ Hellman etc.) basieren. Hardwareverschlüsselungen, sogenannte Kryptoboxen, lassen sich bei Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zwischen die Endgeräte schalten, womit die gesamte

Kommunikation dazwischen verschlüsselt ist. Dies bildet die Basis zum Aufbau sogenannter Virtual Private Networks (VPN). Da bei Kryptoboxen üblicherweise alle Adreß-Protokolle mitverschlüsselt werden, sind sie nicht innerhalb von TCP/IP-Netzwerken einsetzbar. Hierfür wird Softwareverschlüsselung eingesetzt. Ziel ist, einzelne Dateien verschlüsselt zu transferieren oder auf der Festplatte zu speichern. Die derzeit am meisten verbreitete Anwendung ist Pretty Good Privacy (PGP), ein Verschlüsselungssystem mit asymmetrischem Schlüssel, das primär zur Verschlüsselung von E-Mails entwickelt wurde und frei verfügbar ist /103/. Ein generelles Problem der Verschlüsselung besteht darin, daß unterschiedliche Landesgesetze den Einsatz reglementieren.

3 Konzeption einer interagierenden Produktdefinitionsphase

3.1 Konzeption interdisziplinärer Konzeptteams

3.1.1 Einführung des Konzeptwettbewerbs in der frühen Phase

Der Projektzielkatalog, der zu Projektbeginn erstellt wird, enthält alle wesentlichen Festlegungen und Anforderungen an das Endprodukt. Die Mehrzahl dieser Festlegungen ist objektiviert, wie beispielsweise die Hauptabmaße oder das angestrebte Gesamtgewicht. Speziell Anforderungen des Marketing sind jedoch häufig subjektiv und bieten Raum für Interpretationen. Attribute wie „Sportlichkeit“ oder „Eleganz“ können in verschiedener Weise verstanden und unterschiedlich technisch und gestalterisch interpretiert werden. Für die Umsetzung ergonomischer Anforderungen gibt es nicht zwangsläufig eindeutige Lösungen. Insbesondere bei der Gestaltung des Interieurs führen unterschiedliche Produktphilosophien und Designvorschläge aus Sicht der Ergonomie häufig zu gleichwertigen Lösungen. So ist etwa die mittige Anordnung des Schalters der Warnblinkanlage auf der Instrumententafel bei Mercedes-Benz aus ergonomischer Sicht ebenso akzeptabel wie die Platzierung im vorderen Bereich der Mittelkonsole zwischen den Vordersitzen bei BMW.

Das Design trägt dem Umstand Rechnung, daß für die ästhetisch-gestaltende Umsetzung der Marktanforderungen verschiedene Lösungen möglich sind, die sich jedoch in einer subjektiven Bewertung unterscheiden. Daher startet der Designprozeß mit einem Ideenwettbewerb, bei dem die einem Projekt zugeordneten Designer ihre jeweils individuelle Interpretation des Auftrags entwickeln und konkurrierende Konzepte und Lösungsansätze erstellen. Diese werden ausführlich diskutiert und bis zu einem definierten Grad parallel weiterentwickelt. Die Entscheidung für das endgültige Design erfolgt zum spätest möglichen Zeitpunkt, um lange die Option auf unterschiedliche Stilrichtungen zu erhalten und um die Zeit zwischen Designfreeze und Serienanlauf kurz zu halten.

Zur qualitativen Verbesserung der Entscheidungsbasis für das geeignetste Designkonzept läßt sich der Designwettbewerb um die individuelle, kulturelle Sichtweise wichtiger Zielmärkte auf das Produkt erweitern. Hierzu haben die großen Automobilunternehmen Designstudios in den wichtigsten Zielmärkten gegründet, die bislang allerdings nicht vollständig in den Designprozeß integriert sind. Gründe hierfür liegen

unter anderem im weitgehend analog ablaufenden Designprozeß und am Fehlen einer Gestaltungsmethodik für verteilte Entwicklungsprozesse.

Die frühe Projektphase ist für das Design von besonderer Bedeutung, da die Designer bei Projektstart die größten Freiheitsgrade für ihre Arbeit haben. In dieser Phase steht die künstlerisch kreative Arbeit im Vordergrund, die sich im Prozeßverlauf immer weiter zu Gunsten einer Konvergenz zu den technischen Anforderungen wie Packagekonformität, technische Machbarkeit oder Kosten reduziert. Die Ästhetik eines Fahrzeugs wird aber nicht alleine durch das Design bestimmt. So hängt die Festlegung der Proportionen stark vom Package ab, auf dessen Erstellung das Design nur begrenzt Einfluß hat.

Da Design und Package teilweise divergierende Anforderungen an die Fahrzeugproportionen haben, weist die Schnittstelle zwischen diesen Teilprozessen bislang hohes Konfliktpotential auf.

Der Wettbewerbsgedanke ist seit langem integraler Bestandteil des Designprozesses. Im Ingenieurprozeß ist die Philosophie eines Ideenwettbewerbs bislang nur wenig bekannt und wird für Gesamtkonzepte kaum praktiziert. Das Package wird entsprechend gängiger Konstruktionsmethoden zunächst grob skizziert und dann im weiteren Verlauf des Produktentstehungsprozesses detailliert. Dieser singuläre Prozeßansatz schränkt die Entscheidungs- und Gestaltungsfreiheit in diesem für die Proportionsgestaltung des Fahrzeugs wesentlichen Teilprozeß bereits sehr früh entscheidend ein.

Die zentrale These dieser Arbeit fordert daher, die Entscheidungsgrundlage in der frühen Phase zu verbreitern und qualitativ zu verbessern, indem mehrere alternative, konkurrierende Fahrzeugkonzepte (Design und Package) parallel erstellt, untersucht und anschließend bewertet werden. Somit steht am Ende der Vorbereitungsphase eine Konzeptentscheidung auf der Grundlage verschiedener abgesicherter Produktkonzepte. Diese neue Arbeitsweise bedeutet für den Ingenieurprozeß einen Paradigmenwechsel von der absolutistischen, singulären Betrachtung bereits weitgehend ausgearbeiteter Konzepte hin zu einer gleichberechtigten, parallelen Entwicklung alternativer, technisch gleichwertiger Systeme. Somit erweitert die vorliegende Arbeit die gängige Konstruktionsmethodik, die eine Betrachtung alternativer Teillösungen lediglich als Medium zur Findung des besten technischen Lösungsprinzips vorsieht und keine ganzheitliche, interdisziplinäre Betrachtung unterstützt. Die Ausarbeitung unterschiedlicher Gesamtkonzepte erscheint erfolversprechender, wenn im Rah-

men eines Konzeptwettbewerbs interdisziplinäre Teamstrukturen etabliert werden, in denen Fachleute aus den produktdefinierenden Bereichen Design, Package, Marketing und Konstruktion aktiv mitwirken.

Der hier vorgeschlagene Konzeptwettbewerb im Ingenieurprozeß weist in Anlehnung an die Produktplanungsstrategien von Design und Marketing zwei unterschiedliche Grundrichtungen auf. So können bei der Neuentwicklung eines Pionierprodukts oder auch eines Me-Too-Produkts Studien über die grundsätzliche Gestalt und Positionierung des Produkts erstellt werden, in dem jedes Team einen differenzierten Projektauftrag erhält. Bei einer Nachfolgeentwicklung, bei der das bewährte Grundkonzept eines Vorgängermodells neu interpretiert werden soll, ist der Projektauftrag für die einzelnen Teams identisch. Der Prozeßablauf eines Konzeptwettbewerbs ist vom Ziel des Wettbewerbs bzw. dem Projektauftrag unabhängig und damit formal identisch.

Bei genauerer Betrachtung des restrukturierten Produktentstehungsprozesses (Bild 2-3) zeigt sich, daß schon in der Projektvorbereitungsphase hoher Kommunikationsbedarf zwischen den parallel arbeitenden, produktdefinierenden Bereichen Design, Marketing, Package und Konstruktion sowie dem Produkt-Controlling besteht. Dieser Kommunikationsbedarf verstärkt sich mit der Einführung eines Konzeptwettbewerbs insbesondere dann, wenn die Fachbereiche in Teamstrukturen aktiv interagieren. Der Projektzielkatalog ist bislang im sequentiellen Produktentstehungsprozeß das alleinige Kommunikationsmedium zwischen den produktdefinierenden Abteilungen, der die generellen Anforderungen an ein Fahrzeug beschreibt und aus dem sich letztlich das Grobpackage ableitet. In der Kommunikation zwischen den Prozeßkettenpartnern werden bei sequentiellm Prozeßverständnis nur abgestimmte Daten ausgetauscht. Zur Unterstützung des vorgeschlagenen Konzeptwettbewerb ist es nun notwendig, eine angepaßte Kooperationsform zu entwickeln, die schon zu Beginn der Projektvorbereitung abgestimmte Produktkonzepte erzeugt und im weiteren Prozeßverlauf die Zusammenarbeit zwischen den Prozeßkettenpartnern auf Basis unreifer Daten garantiert. Die Kooperation ist mit individuellen, abteilungsübergreifenden Prozeßabsprachen zu unterstützen, um die Leistungen und Schnittstellen zwischen den einzelnen Abteilungen zu definieren und um damit Konflikte zu vermeiden.

3.1.2 Reorganisation des strukturellen Projektablaufs bei der interdisziplinären Konzepterstellung

Ziel des vorgeschlagenen Konzeptwettbewerbs in der frühen Phase ist die Erweiterung der Entscheidungsbasis durch die Erstellung alternativer, stimmiger, ganzheitlicher Produktkonzepte. Für die Erstellung dieser Konzepte ist die ständige, aktive Zusammenarbeit aller produktdefinierenden Fachbereiche erforderlich, da diese die wesentlichen Merkmale des Fahrzeugs bestimmen und ihre Teilprozesse im Produktentstehungsprozeß parallel verlaufen (Bild 2-3). Dies ermöglicht einen inspirierenden, kontinuierlichen Gedankenaustausch, bei dem Synergien aus dem ständig verfügbaren Fachwissen aller Bereiche entstehen. Nachfolgend wird die formale Ablauforganisation im Sinne der vorgestellten wettbewerbsorientierten, interdisziplinären Konzepterstellung reorganisiert (Bild 3-1).

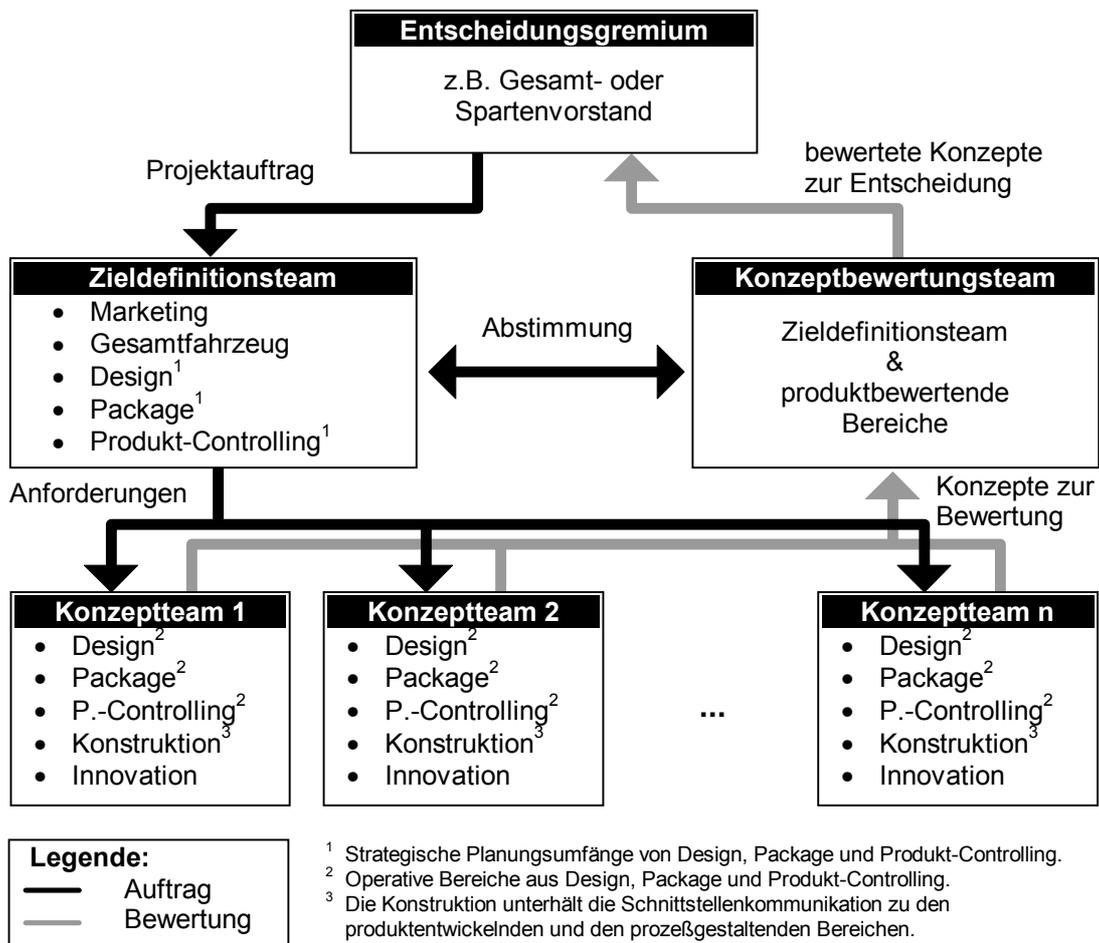


Bild 3-1: Schematischer Prozeßablauf für interdisziplinäre Konzeptteams in der frühen Phase

Der Auftrag für ein Entwicklungsprojekt erfolgt durch ein entsprechend autorisiertes Entscheidungsgremium. Dieses übernimmt die gesamtunternehmerische Verant-

wortung für die Konzept- und Produktentscheidung. Außerdem entscheidet es über die strategische Positionierung des Produkts innerhalb der langfristigen Unternehmensplanung und damit über die Produktstrategie.

Auf Basis des Projektauftrags wird zunächst der Projektzielkatalog von allen an der Produktentwicklung beteiligten Fachbereichen erstellt. Treiber dieses Prozesses sind die produktdefinierenden Bereiche Marketing, Gesamtfahrzeug, Design und Package sowie das Produkt-Controlling. Sie organisieren sich in einem Zieldefinitionsteam, das zum Projektstart die Projektziele zunächst grob skizziert und im weiteren Verlauf detailliert, aktualisiert und gegebenenfalls ergänzt. Weiter werden für alle Konzeptteams individuelle Vorgaben gemacht. Die Fachbereiche Design und Package nehmen in dieser Organisationseinheit eine Sonderstellung ein, da sie sowohl strategische als auch operative Aufgaben im Rahmen des Produktentstehungsprozesses wahrnehmen. In das Zieldefinitionsteam bringen sich die strategischen Teile dieser Fachbereiche ein, um langfristige Strategien wie beispielsweise eine Designstrategie oder eine Plattformstrategie in der Zieldefinition zu vertreten.

Die Produkthanforderungen bilden die Basis für die Arbeit der parallel arbeitenden interdisziplinären Konzeptteams, die aus den operativen Teilen der produktdefinierenden Fachbereiche Design, Package und Innovation sowie aus Konstruktion und Produkt-Controlling bestehen. Ziel dieser Teams ist die Erstellung unterschiedlicher, abgesicherter Konzepte, wobei ein Konzeptteam jeweils für die Erstellung eines Konzepts zuständig ist. Entsprechend sind für drei konkurrierende Konzepte drei interdisziplinäre Konzeptteams einzusetzen. Die Schnittstellen zu den produktentwickelnden und den prozeßgestaltenden Bereichen unterhalten primär die Bereiche Konstruktion und Package. Bei Bedarf lassen sich Experten aus diesen Fachbereichen hinzuziehen.

Da sich die interdisziplinären Konzeptteams im direkten Wettbewerb zueinander befinden, wird in dieser Arbeit vorgeschlagen, ein Kontrollorgan zu etablieren, das die einzelnen Konzepte untersucht, bewertet und eine objektive Beurteilung bezüglich des Erfüllungsgrads der Projektziele erstellt. Hierzu bilden die produktbewertenden Fachbereiche in der frühen Phase, vor allem das Produkt-Controlling, später auch Ergonomie, Aerodynamik und Qualitätssicherung, das Konzeptbewertungsteam. Auch das Zieldefinitionsteam ist mit zumindest einem Vertreter bei der Konzeptbewertung vertreten. Im Prozeßablauf ist der kontinuierliche Abgleich der Bewertungskriterien mit den Projektzielen des Zieldefinitionsteams erforderlich. Die einzelnen

Konzeptteams legen ihre bewerteten Konzepte einschließlich festgelegter Meilensteine dem Entscheidungsgremium zur Entscheidung vor.

In der Automobilindustrie ist es gängige Praxis, daß Entwicklungsprojekte angestoßen werden, um beispielsweise auf Wettbewerber oder vermutete Markttrends zu reagieren. Über die Anzahl der abgebrochenen Projekte liegen keine gesicherten Informationen vor, doch zeigen Erfahrungswerte, daß etwa die Hälfte aller Projekte nicht zu einem qualifizierten Abschluß kommen. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Jedoch lassen sich Projektabbrüche häufig damit begründen, daß die angestrebten Kostenziele nicht erreichbar sind oder daß die geplante technische Umsetzung des Fahrzeugkonzepts nicht das unternehmensinterne Image- und Produktverständnis trifft. Mit dem hier vorgestellten Ansatz einer gesamthaften Arbeits- und Betrachtungsweise auf ein Projekt im Rahmen interdisziplinärer Konzeptteams bietet sich die Chance, bereits sehr früh verlässliche Aussagen über Gestalt und Kosten des Endprodukts zu treffen. Somit kann eine Konsequenz aus der frühen Phase darin bestehen, daß ein Projekt gestoppt wird, da die geforderten objektiven Marketinganforderungen wie beispielsweise Abmaße, Gewicht, oder Kofferraumvolumen von den Konzeptteams nicht in der Weise umsetzbar sind, daß sie mit subjektiven Marketingansprüche wie Avantgarde, Sportlichkeit oder Eleganz in Einklang stehen oder daß der angestrebte Kostenrahmen mit den vorgelegten Konzepten nicht erreicht wird.

3.1.3 Festlegung der Aufbauorganisation und Leitung interdisziplinärer Konzeptteams

Unterstellt man, daß eine effiziente Routineorganisation dazu tendiert, Innovationen während des Produktentstehungsprozesses auszusteuern /104/, dann erscheint die Organisationsform der temporären Teamarbeit am geeignetsten, um die aktive Zusammenarbeit in Entwicklungsprojekten über Abteilungsgrenzen hinweg im Rahmen der Konzeptteams zu unterstützen. Die Installation permanenter Teams ist deshalb nicht zielführend, da die funktionalen Anforderungen und emotionalen Bindungen der Teammitglieder mit jedem neuen Projektauftrag variieren. So bedarf es beispielsweise der persönlichen Neigung aller Teammitglieder zu Off-Road-Fahrzeugen, um das bestmögliche Konzept für ein Fahrzeug in diesem Segment zu entwickeln. Auch sind in diesem Projektbeispiel Experten für Allradantrieb unverzichtbar, die in einem Roadster-Projekt durch Verdeckspezialisten zu ersetzen sind. Eine weitere Anforderung besteht in der Mobilität der Teammitglieder. Durch die Entsendung der Teams

in einen Zielmarkt (auf Zeit), lassen sich Trends und subjektive Sichtweisen aus diesen Märkten direkt in den Konzeptwettbewerb integrieren. Dies ist aber aufgrund persönlicher Bindungen der Teammitglieder an einen Standort bei permanenten Teamstrukturen nicht immer durchführbar. Diese Beispiele illustrieren, daß für jedes Projekt Änderungen in der Teamstruktur durchzuführen sind. Somit entspricht die temporäre Anlage individuell zusammengestellter Teams den Erfordernissen am besten.

Das Konzept der konkurrierenden interdisziplinären Konzeptteams ist darauf angelegt, die Zusammenarbeit aller beteiligter Fachbereiche zu optimieren. Allerdings zeigt sich, daß Gruppen mit zunehmender Größe ineffektiver werden /49/. Daher wird in dieser Arbeit vorgeschlagen, ein Kernteam zu definieren, in das die produktdefinierenden Fachbereiche ständige Vertreter entsenden. Das Kernteam sollte als aufgabenorientierte Gruppe nicht mehr als sieben oder acht Mitglieder haben. Zu spezifischen Fragen wird das Kernteam um Fachleute aus anderen Entwicklungsabteilungen wie Antrieb, Fahrwerk und Fertigung erweitert. Das Kernteam besteht idealtypisch mindestens aus

- zwei Designern, einer verantwortlich für Exterieur, der andere für Interieur,
- einem Packageingenieur, der in Zusammenarbeit mit den Designern für einen Designentwurf ein angepaßtes Grobpackage erstellt,
- einem Konstrukteur, der zusammen mit dem Packageingenieur die grundsätzliche technische Machbarkeit des Konzepts gewährleistet und die Schnittstellen zum parallel ablaufenden Konstruktionsprozeß pflegt und
- einem Innovationsexperten, der mit seinem Fachwissen die neuesten technischen Lösungen, Alleinstellungsmerkmale und alternative Ideen in das Projekt einbringt.

Die Leitung der Konzeptteams stellt einen kritischen Faktor für die Effizienz eines Teams und seine Akzeptanz nach innen sowie gegenüber der restlichen Prozeßkette dar /64/. Zunächst ist zu diskutieren, ob ein interdisziplinäres Konzeptteam überhaupt einen Leiter benötigt. Aus Sicht eines Entwicklungsteams, das unter starkem Zeitdruck ein stimmiges Konzept erstellen muß, erscheint ein als Moderator eingesetzter Teamleiter sinnvoller (primus inter pares) als ein autoritärer Vorgesetzter. Er muß über eine starke Persönlichkeit verfügen, da seine Aufgabe hauptsächlich im Lösen von Konflikten und im Aufzeigen von Maßnahmen besteht. Hierfür muß der Teamleiter über ein fundiertes Wissen über das Gesamtprodukt verfügen. Ohne Teamleiter besteht die Gefahr, daß sich bei Dissens das durchsetzungsstärkste Teammitglied und nicht die beste Lösung behauptet oder daß sich das Team auf

keine Lösung einigen kann. Ein Moderator ist auch bei der Durchführung eines Entscheidungsprozesses, wie etwa einer Nutzwertanalyse hilfreich.

Weiter besteht die Möglichkeit, daß sich das Team seinen Leiter selbst wählt. Aus Unternehmenssicht ergibt sich mit der Wahl des Teamleiters eine Gewichtung des Teams in Richtung des Fachbereichs des Teamleiters und damit eine Vorauswahl für eine Produktplanungsstrategie. Die Entscheidung über die Teamleitung ist somit auch von der Unternehmensstrategie abhängig. Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung des Projektauftrags kann die Projektleitung in einzelnen Konzeptteams bewußt variieren.

Mit der Berufung der Teamleiter aus unterschiedlichen Fachbereichen lassen sich strategisch unterschiedlich gewichtete Produktkonzepte generieren. Ein Designer als Teamleiter beispielsweise legt vermutlich den Schwerpunkt auf das ästhetische Erscheinungsbild des Endprodukts, wohingegen die technische Machbarkeit des Konzepts leiden könnte. Ein Teamleiter aus dem Bereich Marketing legt den Schwerpunkt auf die Kundenanforderungen, während Design und Technik unterrepräsentiert sind. Ein Teamleiter aus den Ingenieursdisziplinen Package oder Konstruktion dagegen fördert tendenziell die Übernahme von Gleichteilen und die Unterstützung der Plattformstrategie. Dies birgt wiederum die Gefahr emotionsloser und langweiliger Endprodukte.

3.2 Adaption der produktdefinierenden Teilprozesse

3.2.1 Einschränkung des Betrachtungsraumes

Für die Gestaltung eines interagierenden Prozeßablaufs für konkurrierende, interdisziplinäre Konzeptteams entsprechend der zentralen These ist es zwingend erforderlich, zunächst die bisher weitgehend autonom ablaufenden produktdefinierenden Teilprozesse zu untersuchen und bezüglich der Einhaltung der in Abschnitt 2.1.3 definierten Prämissen zu analysieren. Dies bildet die Basis für die Erstellung eines integrierenden Gesamtprozesses. Der Prozeßablauf im Design beschreibt einen typischen, ästhetisch-gestaltenden Prozeß, der stark von der allgemeinen Konstruktionsmethodik /23, 51/ abweicht. In der Praxis hat sich gezeigt, daß hieraus ein besonderes Konfliktpotential für die Zusammenarbeit zwischen dem Design und den anderen Teilprozessen in der Produktentstehung, vor allem dem Package, entsteht. Da diese beiden Prozesse maßgeblich für die ästhetische Gestalt des Endprodukts verantwortlich sind, bilden sie den Kern der interdisziplinären Konzeptteams.

Der in der Praxis eingesetzte Konstruktionsprozeß folgt weitgehend der von PAHL/BEITZ beschriebenen Konstruktionsmethodik /23/. Dieser Teilprozeß der Produktentstehung verläuft durchgängig rechnerunterstützt und ist somit problemlos auf interdisziplinäre Konzeptteams adaptierbar. Der Marketingprozeß stellt keine spezifischen Anforderungen an einen interagierenden Prozeßablauf. Beschreibungen dieses Prozesses finden sich in /105, 106/. Auch die Integration eines Experten für Produktinnovation ist unproblematisch, da er seine Informationen zum großen Teil aus Recherchen und Marktbeobachtungen erhält. Die Gestaltung von Innovationsprozessen wird zudem ausführlich in der Literatur diskutiert /107, 108/. Das Setzen von Kostenzielen von Entwicklungsprojekten und die Verfolgung ihrer Einhaltung erfolgt unter Anwendung von Target-Costing /109/. Somit beschränken sich die nachfolgenden Ausführungen auf die Integration und Adaption der Teilprozesse Design und Package.

3.2.2 Reorganisation des Designprozesses

3.2.2.1 Analyse der Struktur des Designprozesses

Der Begriff Design geht auf das lateinische Verb *designare* zurück, das sich aus der Präposition *de* und dem Wortstamm *signum* (Merkmal, Zeichen) zusammensetzt /110/. Der Begriff vollzog über die Jahrhunderte hinweg einen starken Bedeutungswandel. So bedeutete das italienische Wort *disegno* in der Renaissance Zeichnung, beschrieb aber auch die Planungs- und Entwurfsphase, die der Erstellung von Gemälden und Skulpturen voranging. Heute wird das Wort weitgehend indifferent verwendet. Beispielsweise soll es in der Sprache des Vertriebsmarketing einem Produkt nicht näher definierte, erstrebenswerte Eigenschaften zusprechen, wie bei der Designerjeans oder dem Designerhemd /111/. Demzufolge ist keine allgemeingültige, anerkannte Begriffsdefinition verfügbar. Weit gefaßt beschreibt Design die planmäßige Gestaltung serieller Artefakte mit starkem ästhetischen Bezug und deutlicher Wahrnehmungsorientierung /105/.

Wie schon der Renaissancebegriff *disegno* verdeutlicht, beschreibt Design sowohl das Endprodukt, als auch den kreativen Prozeß der Formgestaltung /112/. Im Rahmen dieser Arbeit wird, wie in Bild 3-2 dargestellt, das Design als komplexer Integrationsprozeß verschiedenster, teilweise divergierender Anforderungen aus Technik, Betriebswirtschaft, Kunst und Gesellschaft sowie den individuellen Bedürfnissen und Vorstellungen der Kunden charakterisiert.

Die Designaktivitäten lassen sich in der Automobilindustrie in zwei Leistungsbereiche untergliedern. Den Kern bilden die Designabteilungen der Unternehmen, die exklusiv für einen Hersteller arbeiten. Diese internen Kapazitäten werden bei Bedarf um externe Designstudios erweitert, die üblicherweise keine feste Bindung zu einem Hersteller haben. Sie werden als externe Entwicklungspartner in ein Designprojekt eingebunden /113/. Die Kommunikation dieser externen Designstudios mit der restlichen Prozeßkette verläuft in der Regel vollständig über die interne Designabteilung. Gründe hierfür liegen unter anderem darin, daß das Design als Kernkompetenz des Unternehmens angesehen wird und daß sich durch die Steuerung der Kommunikation durch die interne Designabteilung die unternehmensinternen Anforderungen an die Designqualität besser überwachen lassen. Auch gilt aufgrund gleicher Ausbildung die Kommunikation zwischen Designern als einfacher als die interdisziplinäre Kommunikation zwischen externen Designern und den internen Prozeßkettenpartnern. Eine Integration in den parallelisierten Produktentstehungsprozeß ist mit diesem Ansatz allerdings nicht realisiert.

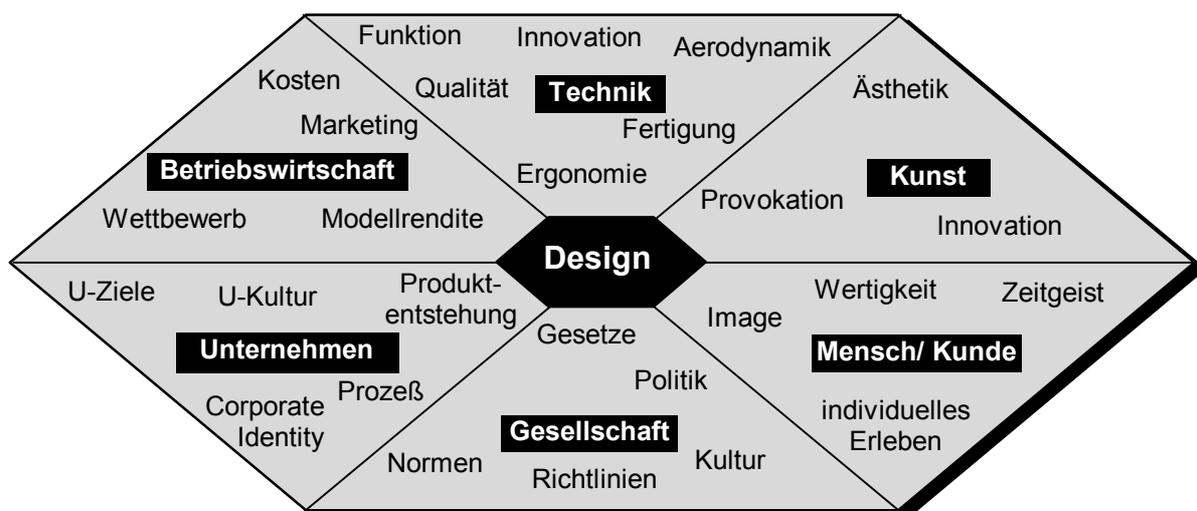


Bild 3-2: Design im Spannungsfeld verschiedener Einflußfaktoren (Beispiel)

Da sich die Produktlebenszyklen ständig verkürzen und sich die konkurrierenden Produkte auf hohem technischen Niveau immer mehr angleichen, treten am Markt neben den objektivierbaren Kaufgründen zunehmend subjektive Werte wie Produkt- und Markenimage und das individuelle Wohlbefinden bei der Nutzung in den Vordergrund. Damit verlagert sich die vom Kunden wahrgenommene Innovation eines neuen Produkts zunehmend von der Technik auf das Design /114/. In gleichem Maße steigt auch die Bedeutung des Designs als Schlüsselprozeß innerhalb der Produktentstehung.

Um eine möglichst breite Entscheidungsbasis zu erreichen, wird der Designprozeß in der Regel in Form eines Wettbewerbs durchgeführt, in dem mehrere Designer parallel zueinander konkurrierende Designkonzepte erstellen. Die Anzahl der im Wettbewerb befindlichen Konzepte wird im Zuge mehrerer Konzeptentscheidungen sukzessive reduziert. Erst in einer möglichst späten Phase des Designprozesses erfolgt die Auswahl eines einzigen Modells das dann zur endgültigen Reife gebracht und von der Konstruktion in ein konkretes Produkt umgesetzt wird. Im Automobildesign ist ein Designer für jeweils ein Konzept (Interieur oder Exterieur) gesamthaft verantwortlich. Dies garantiert eine ganzheitliche und durchgängige Umsetzung einer Designidee. Teamarbeit ist im ästhetisch-gestaltenden Designprozeß die Ausnahme.

In der Literatur wird die Produktentstehung diskutiert sowie der Konstruktionsprozeß systematisiert, analysiert und methodisch unterstützt. Für das Design finden sich zahlreiche Abhandlungen, die sich mit seiner Bedeutung als Marketinginstrument, aus Kundensicht und mit philosophischen Aspekten befassen /105, 110, 111, 115/. Eine Betrachtung des Designs aus Prozeßsicht und die detaillierte Untersuchung seiner Teilprozesse bleibt in der wissenschaftlichen Betrachtung weitgehend unberücksichtigt. Einige Ansätze diskutieren den Designprozeß, gliedern ihn in Phasenmodelle und strukturieren die einzelnen Prozeßschritte in anschaulicher Weise von der ersten Idee bis zum fertigen Modell bzw. dem Designfreeze (Bild 3-3):

- SPIES stellt einen projektorientierten, marketinggetriebenen Ansatz vor, der primär auf relativ einfach strukturierte Produkte anwendbar ist. Er definiert einen zweiphasigen Prozeß, bei dem in der Konzeptionsphase die Prozeßplanung und -organisation und in der Materialisierungsphase die eigentliche Designerstellung erfolgt. /116/
- MISCHOK ET AL. beschreiben explizit den Designprozeß im Automobilbau und unterscheiden zwischen einer divergenten und einer konvergenten Phase. In der divergenten Phase wird dem Designer ein großer Freiraum zur Entwicklung neuer Ideen und Konzepte eingeräumt, die in der konvergenten Phase zu einem Modell verdichtet und ausgearbeitet werden. /117/
- BANGLE ET AL. nehmen diesen Ansatz auf und unterscheiden zwischen Konzeptphase (conceptual design), Designphase (design) und Detailphase (detailing). Mit dem Catalytic Design skizzieren sie einen Prozeßablauf für das Automobildesign, der digitale Werkzeuge so weit wie möglich in den konventionellen, von Feststoffmodellen dominierten Designprozeß integriert. Aufgrund des Zusammenspiels von

innovativen, rechnerunterstützten Modellier-, Animations- und Präsentationstechniken mit der klassischen Tonmodellierung wird dieser Prozeß auch als *digital unterstützter Clay-Prozeß* (Clay, engl.: Ton oder Plastilin) bezeichnet. Er beschreibt den heute in der Automobilindustrie gängigen Designprozeß sehr treffend. /118/

- KEHLER verallgemeinert diesen Ansatz zu einem fünfphasigen, produkt- und branchenunabhängigen Prozeß in dem Skizzen, Maßstabsmodelle und von der Ausarbeitungsphase an auch digitale Modelle die Hauptkommunikationsmedien innerhalb der Prozeßkette darstellen. Er führt die dreidimensionale Konzeptskizze als multidisziplinäres Kommunikationsmedium ein, die auf einem proprietären Datenformat aufbaut /42/. Somit unterstützt dieser Prozeß den uneingeschränkten Datenaustausch innerhalb der Prozeßkette nicht durchgängig und ist nicht in den parallelisierten Produktentstehungsprozeß integrierbar.

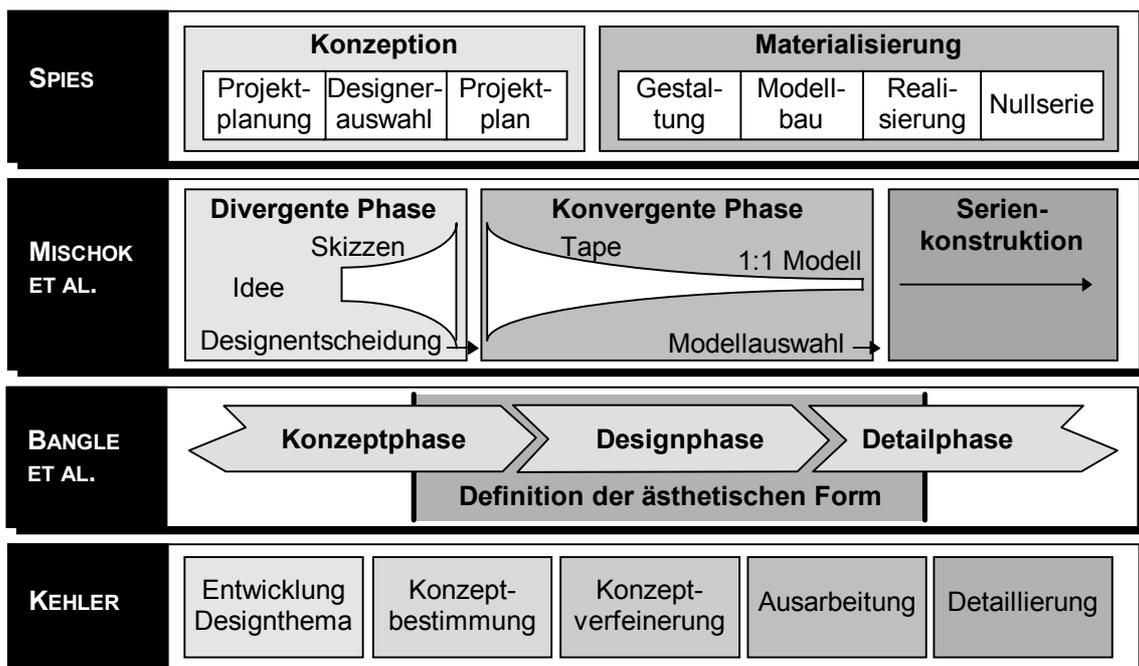


Bild 3-3: Ansätze zur Strukturierung des Designprozesses

Die folgenden Ausführungen betrachten detailliert die Ablauforganisation des Designprozesses und untersuchen ihn auf seine Tauglichkeit zur Anwendung im Rahmen der parallelisierten Produktentstehung. Auf die spezifische Aufbauorganisation des Designs und das Management von Designprojekten wird nicht weiter eingegangen. Hierfür wird auf die Literatur verwiesen /119-122/.

3.2.2.2 Untersuchung des digital unterstützten Clay-Prozesses

In der Praxis hat sich im Automobildesign der digital unterstützte Clay-Prozeß durchgesetzt, der auf dem Nebeneinander von konventionellen, analogen Werkzeugen und vollständig rechnerunterstützten Methoden basiert /118/. Bild 3-4 zeigt den formalen Prozeßablauf. Nachfolgend werden die eingesetzten Designmethoden und Werkzeuge erläutert:

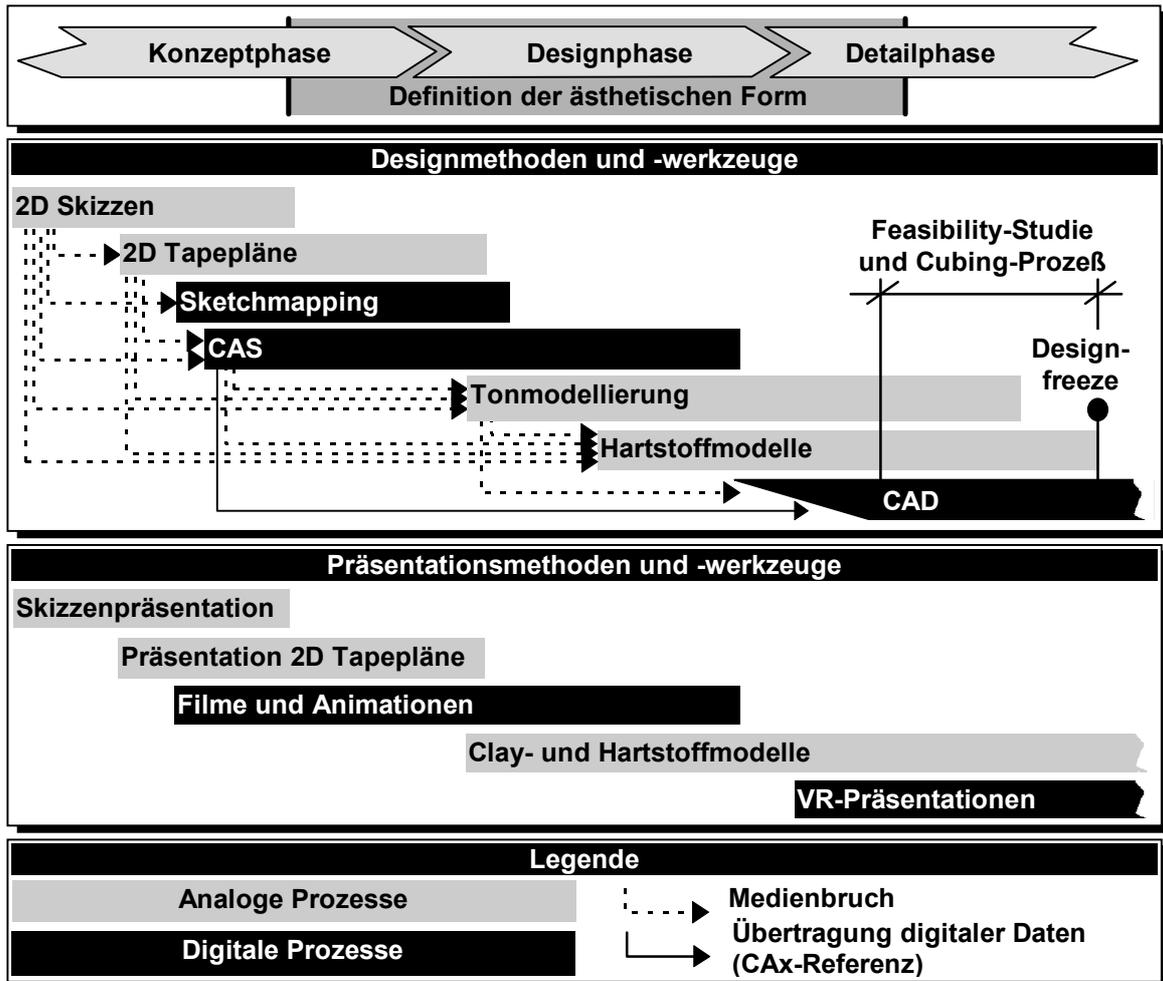


Bild 3-4: Methoden und Werkzeuge im konventionellen, digital unterstützten Clay-Prozeß

Zweidimensionale Skizzen

Perspektivische Skizzen werden üblicherweise mittels traditioneller Zeichentechnik mit Stiften, Kohle, Aquarellfarben oder Airbrush auf Papier erstellt. Ziel ist, Designideen, Stimmungen und Gefühle auszudrücken und dabei sozio-kulturelle Einflüsse einfließen zu lassen. Die Darstellungsart variiert von naturgetreu bis hyperrealistisch. Die digitale Bildbearbeitung findet in dieser Phase zunehmend Verwendung.

Zweidimensionales Taping

Beim Tapeprozeß skizziert der Designer mit Hilfe verschieden breiter, schwarzer, flexibler Klebebänder die Grobkonturen seines Modells im Maßstab 1:1 auf einem Packageausdruck. Dies ermöglicht ihm erstmals im Prozeß, sich mit seinem Modell im Originalmaßstab zu befassen, um ein Gefühl für die tatsächlichen Proportionen zu gewinnen. Ergebnis ist der analoge Tapeplan, der fotografiert oder aufwendig abgetastet und in ein digitales Datenformat überführt werden kann.

Sketchmapping

Das Sketchmapping-Verfahren bietet die Möglichkeit, aus digitalisierten zweidimensionalen Skizzen schnell einfache dreidimensionale Modelle zu extrahieren. Hierzu wird ein grobes CAx-Modell erstellt, auf das mindestens drei Designskizzen mit jeweils unterschiedlichen Perspektiven projiziert werden, so daß ein dreidimensionales Modell des Designentwurfs entsteht /42, 123/. Die Sketchmapping-Software ist von Designern anwendbar, das Ergebnis ist eine grobe, digitale Beschreibung der Gestalt des Designs.

Computer-Aided Styling (CAS)

Computer-Aided Styling (CAS) bezeichnet CAx-Systeme, die analog zu CAD-Systemen die Erstellung dreidimensionaler CAx-Modelle ermöglichen. Diese Systeme sind für den Designprozeß und damit für die Erstellung von Oberflächenmodellen optimiert, die üblicherweise mittels NURBS-Flächen (NURBS: Non Uniform Rational B-Splines) beschrieben werden. Die Anwendung übernimmt zumeist ein speziell ausgebildeter Formgestalter, der Skizzen und Anweisungen des Designers umsetzt. Im Automobildesign werden derzeit überwiegend die Produkte ALIAS von ALIAS | Wavefront und CDRS von ICEM Technologies eingesetzt.

Tonmodellierung

Clay- oder Tonmodellierung beschreibt die Erstellung physischer Modelle aus dem Werkstoff Ton. Hierfür wird auf ein Grundgestell aus Metall, Holz und Hartschaum eine etwa 5-10cm starke Tonschicht aufgetragen, die von Formgestaltern unter Zuhilfenahme von Schabern, Messern, Kurvenlinealen und Spachteln in Abstimmung mit dem Designer bearbeitet wird /124/. Tonmodelle können abgetastet oder berührungsfrei digitalisiert werden. Aus der entstandenen Punktwolke lassen sich mit CAS oder CAD Freiformflächen extrahieren, die rechnerunterstützt bearbeitet und bis zu einer begrenzten Oberflächengüte auch gefräst werden können. Digitalisierung und Flächenextraktion sind allerdings zeitaufwendig.

Hartstoffmodelle

Hartstoffmodelle bezeichnen sämtliche Formen physischer Modelle, die laminiert, aus Polyurethanschaum gefräst oder mit Hilfe von Stereolithographie erstellt werden. Diese Techniken ermöglichen bereits in der frühen Phase die schnelle Anfertigung physischer Modelle aus einem CAS-Modell. Physische Modelle lassen sich aber auch stark detailliert und sehr maßhaltig erstellen. Hartstoffmodelle vermitteln ein sehr gutes Proportionsgefühl. Ein weiterer Vorteil liegt in der Haptik und der sehr realitätsnahen Erscheinung.

Zur geometrischen und fertigungstechnischen Integration werden die Designmodelle weitgehend parallel zum Clay-Prozeß auch in CAD-Systemen dargestellt. Basis hierfür ist in der Regel eine Punktwolke, die sich aus dem Digitalisiervorgang des Tonmodells ergibt. Hierfür muß das physische Modell zumindest teilweise ausgearbeitet sein. Das CAD-Modell wird in der Konstruktion weiterverwendet. Der Feasibility-Prozeß am Ende des Designprozesses stellt abschließend die technische Machbarkeit des Designmodells sicher. Im Cubing-Prozeß erfolgt der Abgleich zwischen dem CAD-Modell der Konstruktion und dem Designmodell. Hierfür werden derzeit sehr detaillierte und maßhaltige physische Modelle erstellt.

Die in Abschnitt 2.1.3 aufgestellten Prämissen an die Prozeßgestaltung sind Basis einer Integration des Designprozesses in die parallelisierte Produktentstehung. Weiter ergeben sich für den Designprozeß spezifische Anforderungen, die im Konstruktionsprozeß bereits weitgehend erfüllt sind:

Vermeiden von Dimensionswechseln

Der mehrmalige Wechsel der Dimensionen bei der Produktgestaltung von zweidimensional nach dreidimensional und zurück birgt die Gefahr der Fehlinterpretation bzw. des Informationsverlusts. Somit gilt das Primat der dreidimensionalen Modelldarstellung.

Keine Verwendung physischer Modelle zur Produktmodellierung

Die Verwendung physischer Modelle als Werkzeug zur Produktmodellierung speziell im Design führt zur Erstellung von Unikaten, die innerhalb des Prozeßablaufs nicht jederzeit verfügbar und abrufbar sind. Auch sind sie in verteilten Präsentationen mit Videokameras nicht verzerrungsfrei übertragbar und damit nur eine ungenügende Diskussionsgrundlage.

Auswahl von Entwürfen und Modellen am Computer

Die Konzeptauswahl mit Hilfe des Computers reduziert die Zeit für die Datenaufbe-

reitung bei Präsentationen, da keine zeitaufwendigen physischen Modelle zu erstellen sind. Weiter besteht die Gefahr, daß das physische Modell und das Computermodell in ihrer Wirkung nicht deckungsgleich sind und somit der vom Designer gewünschte ästhetische Eindruck verfälscht wird.

Die Untersuchung des digital unterstützten Clay-Prozesses zeigt, daß er keine dieser Anforderungen erfüllt (Bild 3-4). Das größte Hindernis für die Integration des Designs in den parallelisierten Produktentstehungsprozeß besteht darin, daß mit dieser Ablauforganisation keine durchgängige Prozeßkette beschrieben wird, in der alle Daten in digitaler Form vorliegen. Somit ist der reibungslose Datenaustausch im Produktentstehungsprozeß und innerhalb der Prozeßreihe nicht gewährleistet, da die Modelldaten nicht durchgängig digital verfügbar sind. Als Konsequenz

- ist die Einbindung des Designs in interdisziplinäre Konzeptteams nicht möglich,
- sind die Voraussetzungen für die Unterstützung verteilter Arbeitsumgebungen nicht erfüllt,
- können Designdaten nicht in einem Kooperationsmedium für die frühe Phase verwendet werden,
- ist die Befüllung eines Produktdatenmanagementsystems und damit der ständige Zugang zu allen projektrelevanten Daten nicht möglich,
- werden Medienbrüche durch die Verwendung physischer Modelle zur Modellierung in Kauf genommen,
- ist der Übergang zum jeweils nachfolgenden Teilprozeß zumeist mit einem Dimensionswechsel verbunden und
- ist eine virtuelle Designauswahl nicht möglich.

Der digital unterstützte Clay-Prozeß ist damit nur im Rahmen eines sequentiellen Prozeßverständnisses sinnvoll anwendbar, bei dem der Designprozeß als separater, weitgehend autonomer Prozeß abläuft und auch nur eine begrenzte Kommunikation und Kooperation innerhalb der Produktentstehung verlangt wird. Für den Einsatz im parallelisierten Produktentstehungsprozeß ist nachfolgend ein angepaßter Designprozeß zu entwickeln. Dies ist auch Voraussetzung, um die in der zentralen These postulierten, interdisziplinären Konzeptteams umzusetzen.

3.2.2.3 Entwicklung eines durchgängig rechnerunterstützten, modularen Designprozesses

Aus Gründen der Prozeßsynchronisation wird von allen Teilprozessen in der re- strukturierten Produktentstehung eine angepaßte Grobstruktur gefordert. In dieser Arbeit wird im folgenden ein Phasenmodell entwickelt, das für die Erstellung komple- xer Gebrauchsgüter und für das Automobildesign gleichermaßen gültig ist. Es ordnet den Designprozeß in die projektabhängige Entwicklungsphase ein und gliedert ihn in drei Phasen (Bild 3-5). Entsprechend den Anforderungen des Simultaneous Engi- neering sind die Phasenübergänge in diesem neu gestalteten Prozeß fließend. Die einzelnen Phasen werden in dieser Arbeit wie folgt definiert:

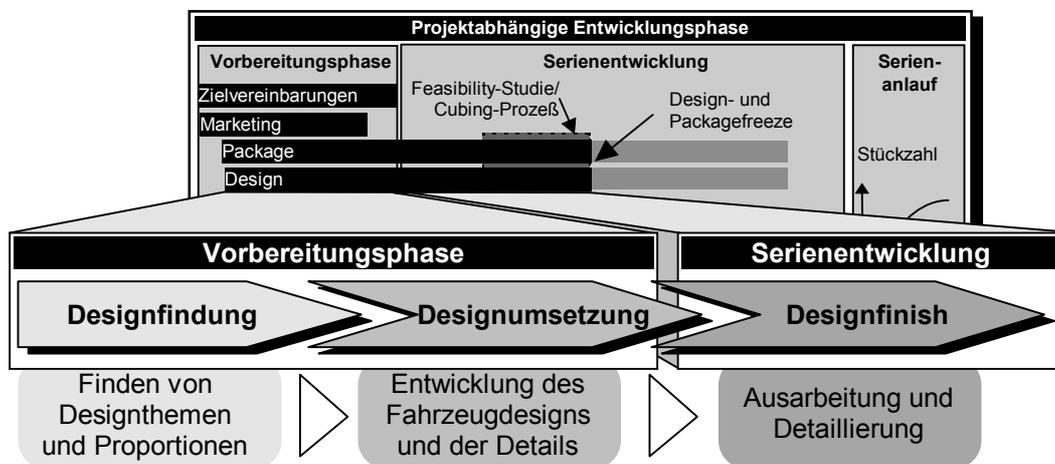


Bild 3-5: Prinzip eines mit der parallelisierten Produktentstehung synchronisier- ten Designprozesses

1. Designfindung

Ziel der hier vorgeschlagenen ersten Phase (Designfindung) ist analog zur divergenten Phase nach MISCHOK ET AL. die Erarbeitung von Designthemen und Konzepten in der frühen Phase /117/. Nach der Findung des Designkonzepts liegt der Schwerpunkt in der Festlegung der Fahrzeugproportionen, zunächst rein aus Sicht des Designs. Packagekonformität, also die Einhaltung der geometrisch- technischen Forderungen, ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht entscheidend. Wichtiger ist, die Designidee zunächst reifen zu lassen und erst anschließend bei Problemstellen den Kompromiß mit dem Package zu suchen. Dieser Ansatz birgt zwar die Gefahr von Doppelarbeit und Änderungsschleifen, ist aber zur Sicherstellung einer hohen Kreativität unerlässlich. Aufgrund der Fokussierung auf die großen Volumen wird auch auf die Darstellung von Details noch weitgehend verzichtet.

2. Designumsetzung

Der Schwerpunkt der zweiten Phase liegt in der Umsetzung einer Designidee zu einem Fahrzeugdesign, in der Verfeinerung der Proportionen sowie in der Gestaltung der Details. Dies erfolgt nun durchgängig unter Verwendung von 3D-Modellierwerkzeugen. Nach Abschluß dieser Phase ist das Design eines Fahrzeugs weitgehend definiert. Mit dem Übergang von der Designumsetzung zum Designfinish findet auch der Übergang von der Vorbereitungsphase zur Serienentwicklung im parallelisierten Produktentstehungsprozeß statt.

3. Designfinish

Die neugestaltete dritte Phase dient der Ausarbeitung des Designmodells und der Verfeinerung der Details. Ziel ist die Optimierung des Modells und damit die Erhöhung der Designqualität. Dies erfolgt unter konsequentem Einsatz von CAS-Systemen. Parallel dazu wird das Designmodell zur geometrischen und fertigungstechnischen Integration in CAD-Systemen abgebildet. Zum Ende folgen Feasibility- und Cubing-Prozeß. Die Phase endet mit dem Designfreeze.

Die hier vorgeschlagene Prozeßstruktur bildet die Grundlage für eine durchgängige Modellierung auf digitaler Basis. Hardwaremodelle sollen dabei in keiner Phase als Modellierwerkzeug zur Formfindung eingesetzt werden und dienen lediglich als Visualisierungsmedium bei Designentscheidungen, bei der Proportionsfindung und bei der Bestätigung von Details. Tabelle 3-1 stellt eine Bewertung der Teilprozesse des digital unterstützten Clay-Prozesses bezüglich ihrer Verwendbarkeit in einem durchgängig digitalen Designprozeß dar. Die Spalte *Status* zeigt an, ob das Prozeßergebnis analog oder digital vorliegt. In der Spalte *Substitution* werden Möglichkeiten beschrieben, wie ein analoger Teilprozeß in einen digitalen Prozeß umgestellt werden kann bzw. womit ein analoges Werkzeug zu ersetzen ist, um einen durchgängig digitalen Prozeß zu erreichen.

In dieser Arbeit wird nun vorgeschlagen, die vorab beschriebenen Designmethoden unter Berücksichtigung der in Tabelle 3-1 aufgeführten Substitutionsvorschläge in einen durchgängig rechnerunterstützten Designprozeß zu integrieren. Dieser zeichnet sich durch nur einen einzigen Dimensionswechsel beim Übergang vom Skizzieren zum Sketchmapping aus (Bild 3-6). Die Reihenfolge der aufgeführten Methoden und Werkzeuge ist nicht starr. So kann situativ der Einsatz eines oder mehrerer Werkzeuge verschoben, mit anderen getauscht oder übergangen werden und damit ein sehr stark individualisierter Prozeßablauf gewählt werden. Ziel ist, dem Designer eine Auswahl verschiedener Methoden und Werkzeuge zu geben, deren Einsatz ihm

letztlich selbst überlassen bleibt. Dieser Ansatz kann somit als *durchgängig rechnerunterstützter, modularer Designprozeß* bezeichnet werden. Nachfolgend werden die durchgeführten Veränderungen gegenüber dem digital unterstützten Clay-Prozeß im Detail erläutert.

Teilprozeß	Beschreibung des eingesetzten Werkzeugs	Status	Substitution	Beschreibung der Substitution
Erstellung von 2D-Skizzen	Traditionelle Zeichentechnik: Perspektivische Skizzen und Renderings auf Papier.	Analog	Digitale Bildbearbeitung	Wandelbar in einen digitalen Prozeß. Scannen von Papierbildern. 2D Computergrafik zur Bilderstellung und Retusche.
Sketch-mapping	Erstellung von 3D-Modellen aus 2D-Skizzen mit spezifischer Software.	Digital		
Computer-Aided Styling	3D Modellersysteme auf NURBS-Basis.	Digital		
Tapeplan	Erstellung traditioneller 1:1 Tapepläne mit Hilfe farbiger Klebebänder auf 2D-Packageausdrücken.	Analog	1:1 Projektion	Im digitalen Prozeß aufgrund des Einsatzes von CAS und 1:1 Projektionen nicht mehr notwendig.
Clay-Modell	3D Formgestaltung durch die Erstellung und iterative Bearbeitung von Clay-Modellen.	Analog	Computer-Aided Styling	Substitution mit CAS und angepaßten Visualisierungssystemen (z.B. mittels virtueller Realität).
Hartschaummodelle	Darstellung von CAx-Modellen mittels Hartschaum. Feasibility und Cubing Modelle.	Analog	1:1 und Projektion mittels virtueller Realität	Substitution mit CAS und angepaßten Visualisierungssystemen (z.B. mittels virtueller Realität).
Computer-Aided Design	Aufbau eines 3D-Modells mit Hilfe kommerzieller 3D CAD-Systeme.	Digital		

Hervorgehobene Teilprozesse sind in einem vollständig digitalen Designprozeß einsetzbar.

Tabelle 3-1 Bewertung der bislang eingesetzten Teilprozesse bezüglich ihrer durchgängigen Nutzung digitaler Daten und Substitution analoger Teilprozesse

Der postulierte, durchgängig rechnerunterstützte, modulare Designprozeß kann derzeit vor allem wegen des vollständigen Verzichts auf die Tonmodellierung in der Automobilindustrie nicht umgesetzt werden. Eine vollständige Umsetzung ist aber Voraussetzung für eine durchgängige Integration des Designs in den parallelisierten Produktentstehungsprozeß. Obgleich die Tonmodellierung aufgrund der Modellierfunktionen heutiger CAS-Systeme und der Darstellungsqualität verfügbarer Visualisierungssysteme nicht völlig aus dem Designfinish zu eliminieren ist, ist sie in der Praxis auf ein Minimum zu reduzieren und die Prozeßkettenpartner zwischenzeitlich mittels Digitalisierungstechniken mit digitalen Daten und CAx-Modellen zu versorgen.

Kommerziell verfügbare CAS-Systeme weisen bislang Schwächen in Bezug auf die Anwendbarkeit in der frühen Phase auf. So sind diese Systeme in ihrer Bedienung

sehr komplex und als intuitive Werkzeuge für die Verwendung durch Designer nur bedingt geeignet. In der Regel bedient deshalb bislang nicht der Designer das CAS-System, sondern ein speziell hierfür ausgebildeter Formgestalter, der die Anweisungen und Vorstellungen des Designers umsetzt.

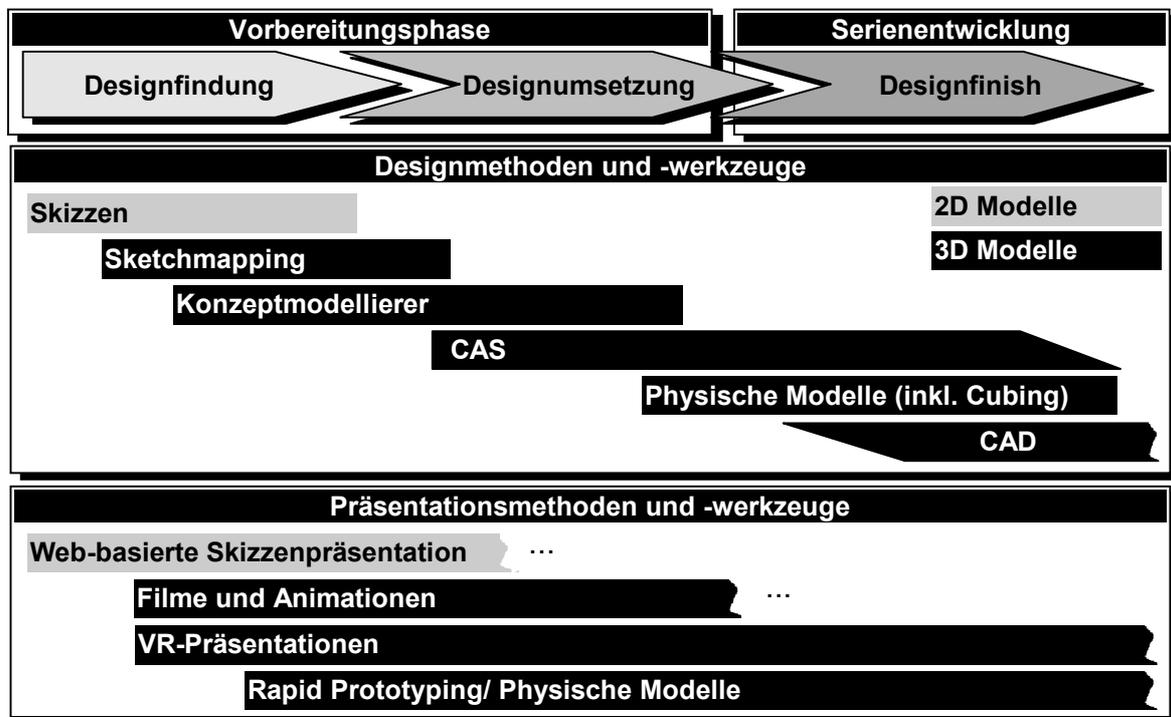


Bild 3-6: Methoden und Werkzeuge im durchgängig rechnerunterstützten, modularen Designprozeß

Somit ergibt sich die Forderung nach Werkzeugen, die den Designer in der frühen Phase besser unterstützen. Speziell werden intuitive Eingabemöglichkeiten ange-mahnt. Problematisch bei bestehenden, kommerziell verfügbaren Systemen ist, daß der Designer das Modell aus einzelnen Punkten, Linien und Flächen erstellen muß. Der natürliche Modellierprozeß geht aber von der Modellierung eines Körpers aus einer bereits bestehenden dreidimensionalen Grundform aus (anschaulich: Formen aus einem Tonklumpen). Die auf der Voxel-Technologie basierende virtuelle Tonmodellierung (engl.: Virtual Clay Modeller - VCM) bietet sich als Konzeptmodellierer an. Sie bietet dem Designer in der frühen Phase rechnerunterstützte Werkzeuge, die der konventionellen Tonmodellierung entliehen sind und in eine digitale Form unter Zu-hilfenahme von virtueller Realität übertragen wurden /125/. Problematisch sind der-zeit noch der Mangel an praxistauglichen Force-Feedback-Systemen und die benö-tigten großen Rechnerleistungen für den Voxelmodellierer. Ein weiteres Problem für die Akzeptanz von CAS-Systemen bei Designern besteht in der weit verbreiteten Ansicht, daß die NURBS-Mathematik nicht alle möglichen Designformen zuläßt

(zumindest nicht in einem Arbeitsgang). Auch hierfür bietet sich die Voxel-Technologie an. Zusätzlich sind zukünftig auch Konzeptmodellierer auf Basis der Multiresolution-Technologie und des Subdivision-Surfacing zu erwarten /126/. Diese Technologien befinden sich allerdings derzeit noch in der Entwicklung. In Bild 3-6 folgt die Konzeptmodellierung dem Sketchmapping und wird von der CAS-Phase abgelöst.

Die CAS-Phase ist in diesem neuartigen Prozeßablauf zeitlich und funktional deutlich nach hinten verschoben und substituiert weitgehend die Tonmodellierung. In der frühen Phase wird CAS vom Konzeptmodellierer ersetzt, den der Designer selbständig bedient. In der neu definierten, nach hinten verschobenen CAS-Phase erfolgt die Bedienung des Systems aber weitgehend durch einen Formgestalter, der die Anweisungen des Designers zusammen mit den vom Designer in der frühen Phase erstellten zweidimensionalen und dreidimensionalen Modellen in ein qualitativ hochwertiges CAS-Modell umsetzt.

Der Tapeprozeß ist in einem durchgängig rechnerunterstützten Designprozeß nicht mehr notwendig. An seine Stelle treten 1:1 Projektionen von Modellen der Konzeptmodellierung oder von CAS-Modellen. Der Package-Abgleich erfolgt durch Einblendung des dreidimensionalen Packages in das CAS-Modell.

Physische Modelle bezeichnen im neuen Prozeßablauf Hartstoffmodelle, die mittels Rapid Prototyping und 5-Achsen-Frästechnik aus Hartstoff (z.B. Polyurethanschaum) erstellt werden. Sie dienen der Visualisierung und somit der Designbeurteilung und stellen kein Modellierwerkzeug dar. Der Maßstab für diese Modelle ist frei wählbar. Mit der Montage eines Hartstoffmodells auf ein nach Radstand und Spurweite angepasstes, funktionsfähiges Chassis ergibt sich ein fahrbarer Designprototyp. Details wie Felgen, Lenkräder oder Türgriffe lassen sich sehr schnell mit Hilfe von Rapid Prototyping erstellen. Das in der Praxis gängige physische Cubing-Modell, das den Abgleich zwischen dem Designmodell und dem Konstruktionsmodell darstellt, ist derzeit nur bedingt durch Methoden der virtuellen Realität substituierbar.

Präsentationstechniken und -methoden

Aufgrund der durchgängigen Rechnerunterstützung des Prozesses liegen auch die einzusetzenden Präsentationsmethoden digital vor. In Verbindung mit einem global zugänglichen Produktdatenmanagementsystem ermöglicht dies einen ständigen, kontrollierbaren Zugriff auch auf Präsentationsdaten. Digitale Skizzen lassen sich über einfache Viewer und Browser auf allen gängigen Computersystemen darstellen.

Mit dem frühen Einsatz von Sketchmapping, Konzeptmodellierung und CAS ist auch die Erstellung von kurzen Filmsequenzen und Computeranimationen möglich. Präsentationen unter Zuhilfenahme virtueller Realität beispielsweise in einer Cave erlauben die Begutachtung von Designmodellen in einer voll immersiven Umgebung. Mit Hilfe von Force-Feedback-Systemen können Funktionen und Formen der Modelle heute schon rudimentär haptisch simuliert werden.

Der Einsatz physischer Modelle als reine Präsentationsmedien ermöglicht einen realen Eindruck vom Designmodell. Insbesondere die Haptik läßt sich so überprüfen. Hierzu werden kleinere Modelle mit Hilfe der Stereolithographie erzeugt, die zudem mechanisch belastbar sind. Modelle im Maßstab 1:1 lassen sich am einfachsten aus Polyurethanschaum fräsen, sind damit aber stoß- und druckempfindlich.

3.2.2.4 Darstellung von Präsentationen als Kommunikationsmedium

Der Designprozeß synchronisiert sich traditionell über Präsentationen, die das Hauptkommunikationsmedium innerhalb des Prozesses und zu den Prozeßkettenpartnern darstellen. Hierbei haben sich drei grundsätzliche Präsentationstypen herausgebildet, die je nach Situation und Prozeßfortschritt variierende Ausprägungen aufweisen. Sie stellen sowohl ein Arbeitsmedium als auch ein Managementwerkzeug zur Betreuung der Designer und Organisation des Prozesses dar. Im Rahmen dieser Arbeit gilt folgende Einteilung der Präsentationsformate /91/ (Tabelle 3-2):

1. Arbeitssitzung

Im Rahmen der täglich bis wöchentlich stattfindenden Arbeitssitzung diskutieren Designer den Fortschritt ihrer Arbeit im kleinen Kreis mit dem Design- und Projektmanagement und gegebenenfalls mit Prozeßkettenpartnern. Dabei handelt es sich durchweg um Designfachleute. Im Zuge der Diskussion von Designentwürfen, Skizzen und Designmodellen werden Proportionen und Details diskutiert und gemeinsam erarbeitet.

2. Informationspräsentation

Die Informationspräsentation findet im wöchentlichen bis monatlichen Turnus statt. Hierbei werden in einem größeren Kreis von etwa 15 Teilnehmern Designentwürfe und Modelle dem Designmanagement, den Prozeßkettenpartnern und dem Marketing vorgestellt. Bei der Zielgruppe handelt es sich primär um Fachleute, die aber nicht unbedingt täglich mit Designthemen betraut sind. Demzufolge ist eine im Vergleich zur Arbeitssitzung größere Projektionsfläche von idealer-

weise 7m Bildbreite für die Projektion eines Fahrzeugs im Maßstab 1:1 und damit einhergehend eine bessere Detaillierung und Auflösung der Modelle zu wählen. Nach Möglichkeit werden dreidimensionale Designmodelle mit Hilfe von Stereoprojektionen dreidimensional dargestellt. Ziel dieser Präsentationsform ist nicht primär die Erarbeitung von Designmodellen, sondern die Diskussion des Arbeitsstands. Zur Dokumentation ist eine Editierfunktion verwendbar.

3. Entscheidungspräsentation

Entscheidungspräsentationen finden zu fest definierten Zeitpunkten wie beispielsweise Meilensteinen statt. Ziel ist, dem Entscheidungsgremium ein oder mehrere Designmodelle in möglichst realistischer Umgebung zur Entscheidung vorzulegen. Bei den Teilnehmern der Entscheidungspräsentationen handelt es sich überwiegend nicht um Designfachleute. Demzufolge ist eine möglichst reale Darstellungsform etwa in Form einer Präsentation unter Einbeziehung virtueller Realität, einer Multimediapräsentation oder eines hochauflösenden Films beispielsweise im HDTV-Format vorstellbar. In der frühen Designphase beschränkt sich die Entscheidungspräsentation auf die Darstellung von Designskizzen und Konzeptplänen.

Art	Häufigkeit	Konventionelle Präsentation als Referenz für Präsentationsqualität	Virtuelle, verteilte Präsentationsformen
Arbeitssitzung	Täglich bis wöchentlich, bedarfsabhängig	<ul style="list-style-type: none"> • Skizze, Tapeplan • Unlackiertes Tonmodell ohne Hartstoffteile • Arbeitszustand, Präsentation im Clay-Studio 	<ul style="list-style-type: none"> • PC am Arbeitsplatz • CAS-Modell „geschadet“ oder als Rendering • Verteilte Präsentation: PC-Konferenzsystem
Informationspräsentation	Turnusmäßig (z.B. monatlich), bedarfsabhängig	<ul style="list-style-type: none"> • Arbeitszustand • Unlackiertes Tonmodell, keine Hartstoffdetails • Präsentationsort meist Clay-Studio 	<ul style="list-style-type: none"> • 1:1-Projektion • Editiermöglichkeiten • CAS-Modell „geschadet“ oder als Rendering • ev. via Videokonferenz
Entscheidungspräsentation	Fest definierte Meilensteine (z.B. quartalsweise)	<ul style="list-style-type: none"> • Lackiertes Tonmodell mit Hartstoffdetails • Repräsentative Präsentationsumgebung 	<ul style="list-style-type: none"> • 1:1-Projektion • Multimedia-Präsentation • Filme und Animationen • VR-Präsentation • ev. via Videokonferenz

Tabelle 3-2: Präsentationsformen im verteilten Designprozeß nach /91/

Die hier systematisierten und beschriebenen Präsentationsformen haben sich in der Praxis im digital unterstützten Clay-Prozeß bewährt und sind, wie in Tabelle 3-2 dar-

gestellt, vollständig auf den durchgängig rechnerunterstützten, modularen Designprozeß übertragbar. Im Rahmen der Einführung interdisziplinärer Konzeptteams bietet sich eine Adaption auf die Präsentation von Gesamtkonzepten an. Dann sind neben dem Design auch technische Inhalte zu berücksichtigen.

3.2.3 Analyse des Packageprozesses

Das Package ist die geometrisch-technische Umsetzung der technischen Produktanforderungen des Projektzielkatalogs und gleichzeitig die Interpretation verbaler Produktattribute wie Sportlichkeit oder Eleganz. Es beschreibt die geometrischen Abmessungen sowie die räumliche Anordnung aller im Fahrzeug befindlichen Bauteile und Aggregate. Zur Gewährleistung der kollisionsfreien Lage im Fahrzeug weist das Package allen Bauteilen einen Bauraum zu, der auch Montage- und Demontefähigkeit berücksichtigt. Gesetzliche Anforderungen an ein Fahrzeug sind zu erfüllen und individuelle Eigenschaften der Bauteile wie Kühlbereiche oder Zugänglichkeit sowie die Wechselwirkung der Bauteile miteinander zu berücksichtigen. So stört das elektromagnetische Feld der Lichtmaschine den Rechner des Motormanagements. Damit definiert das Package maßgeblich das Erscheinungsbild des Endprodukts und seine Anmutung, also die emotionale Wirkung auf den Betrachter.

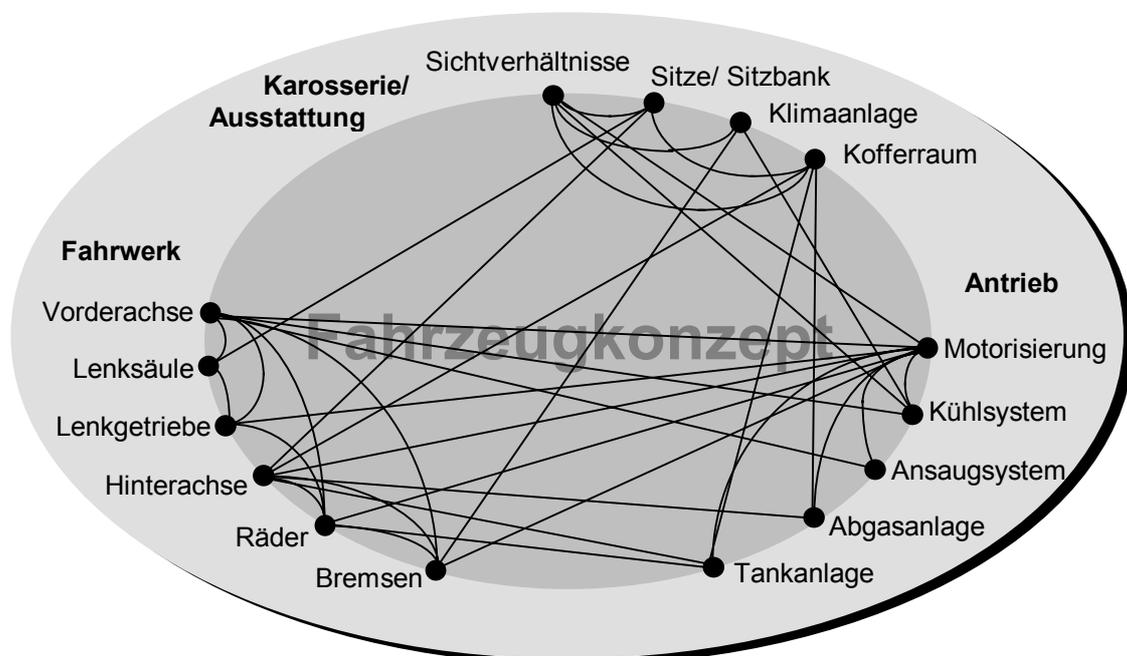


Bild 3-7: Abhängigkeiten bei Fahrzeugkonzepten in der frühen Phase

Der Packageprozeß selbst ist ein ingenieurmäßig geprägter Teilprozeß der Produktentstehung und folgt der Konstruktionsmethodik /23, 51/. Ziel ist die Erstellung

eines stimmigen und abgesicherten Packages unter Berücksichtigung aller Anforderungen mit technischem Bezug. Die Komplexität dieser Aufgabe wird in Bild 3-7 deutlich, das beispielhaft die gegenseitigen Abhängigkeiten in einem Fahrzeugkonzept in der frühen Phase darstellt, das nur 15 Aggregate und Bauteile berücksichtigt. Der Packageprozeß verläuft weitgehend singular. Bis auf die frühe Phase, in der das Grobpackage erstellt wird und alternative Lösungsansätze analysiert werden, findet keine Ausarbeitung von Alternativkonzepten statt. Alle Anstrengungen konzentrieren sich auf die Erstellung eines einzigen Lösungsansatzes. Der Packageprozeß hat aufgrund seiner zentralen Aufgabenstellung Schnittstellen zu allen Fachbereichen, die an der Produktentstehung beteiligt sind. Die wichtigsten Partner sind in der frühen Phase Design und Konstruktion. Später kommen Fertigungs- und Montageplanung hinzu.

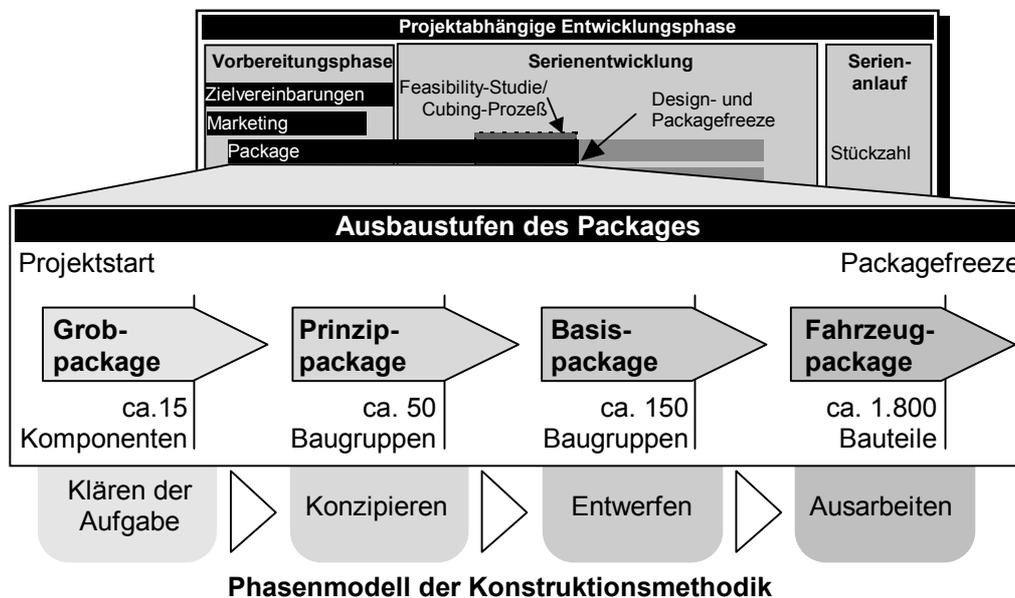


Bild 3-8: Prinzip des Packageprozesses in der parallelierten Produktentstehung

Die Erstellung des Packages verläuft gewöhnlich in einem mehrstufigen Prozeß, der in dieser Arbeit beispielhaft in vier Stufen beschrieben wird. Bild 3-8 zeigt den formalen Ablauf des Packageprozesses, ordnet ihn grob in die parallelierte Produktentstehung ein und stellt ihm die Phasen der Konstruktionsmethodik nach PAHL/BEITZ /23/ gegenüber. Im Bereich des Packageprozesses kommen analog zum Konstruktionsprozeß Workstation-basierte konventionelle CAD-Systeme wie Catia von Dassault /127/, Pro/ENGINEER von Parametric Technology, I-DEAS von SDRC oder Unigraphics zum Einsatz. PC-basierte Systeme wie AutoCAD von Autodesk finden im Packageprozeß kaum Verwendung.

In der frühen Phase des Produktentstehungsprozesses erfolgt die Erstellung eines Grobpackages, das die 15 bis 20 wichtigsten Komponenten eines Fahrzeugs sowie die Hauptmaße berücksichtigt. Neben dem Antriebsstrang sind dies Achsen, Lenkung, Heizklimaggerät, Tank sowie die Hauptabmessungen des Fahrzeugs. Die Insassen werden durch den Hüftpunkt repräsentiert. An diesen Grobpackages lassen sich fundamentale Konzeptalternativen wie beispielsweise Frontantrieb oder Heckantrieb im Hinblick auf ihre prinzipielle Machbarkeit untersuchen und gewichtsmäßig abschätzen. Die in dieser Phase verwendeten Modelle der Komponenten entstammen entweder Vorgängermodellen oder sind Platzhaltergeometrien. Mit der Auswahl einer Alternative ist das Grobpackage abgeschlossen.

Mit Beginn der zweiten Phase gibt es im Package keine Alternativkonzepte mehr. Das Grobpackage wird auf etwa 50 Baugruppen zum Prinzippackage erweitert. Das Prinzippackage beschreibt die wichtigsten Merkmale des Gesamtfahrzeugs, legt die Grundproportionen fest, definiert wesentliche ergonomische Maße wie Hüftpunkt, Sichtwinkel oder Kopffreiheit über Grenzpunkte und berücksichtigt wesentliche gesetzliche Vorgaben und Normen. Da zu diesem Zeitpunkt die grundsätzliche Lage der betrachteten Komponenten und Baugruppen innerhalb der Fahrzeugtopologie (etwa Batterie im Motorraum vorne links neben dem Sicherungskasten) untersucht wird, repräsentieren auch hier anfangs Platzhaltergeometrien und, wenn die endgültigen Komponenten noch nicht fertig sind, CAD-Modelle von Vorgängerteilen die betrachteten Komponenten.

Mit der Erstellung des Basispackages wird der Betrachtungsbereich auf etwa 150 Baugruppen und Aggregate erweitert. Damit sind alle Aggregate und Komponenten eines Fahrzeugs in einem Zusammenbau berücksichtigt. Die Komponenten (Tank, Achsen etc.) sind im Basispackage bereits über die tatsächliche Außenhaut beschrieben. Allerdings sind die Außenhautkanten der Baugruppen in dieser Phase noch nicht verrundet. Bei Blechteilen werden nicht alle Sicken oder Verprägungen ausmodelliert. Auf die Darstellung von Verbindungs- und Befestigungselementen wird weitgehend verzichtet.

In der letzten Phase wird das Package zum Fahrzeugpackage ausgearbeitet. Hierbei werden alle Baugruppen und Aggregate mit ihrer tatsächlichen Geometrie in die Fahrzeugtopologie integriert. Die Zahl der betrachteten Elemente steigt auf etwa 1.800. Dieser Zuwachs gegenüber dem Basispackage ergibt sich dadurch, daß alle Aggregate und Baugruppen in ihre Einzelteile aufgelöst werden. Somit beinhaltet das Fahrzeugpackage alle Bauteile des Gesamtfahrzeugs. Der Packageprozeß endet mit

dem Packagefreeze, ab dem keine packagegetriebenen Änderungen an der Fahrzeugtopologie mehr durchgeführt werden dürfen. Lediglich Änderungen, die aus dem weiterhin ablaufenden Konstruktionsprozeß resultieren, wie z.B. geänderte Abmessungen von Aggregaten, werden aber auch nach dem Packagefreeze berücksichtigt.

3.3 Erstellung einer interagierenden Ablauforganisation

3.3.1 Adaption des Zielvereinbarungsprozesses bei Konzeptteams

Basis für den Zielvereinbarungsprozeß ist die Identifikation der Produktanforderungen im Zielfindungsprozeß. Dies erfolgt beispielsweise im Rahmen einer QFD, deren Ergebnis in der ersten Phase die Erstellung der nach Kundenrelevanz gewichteten Produktmerkmale ist. Im konventionellen Produktentstehungsprozeß wird hieraus ein Projektzielkatalog entsprechend der Unternehmensstrategie abgeleitet. Der Projektzielkatalog stellt aber immer einen Kompromiß dar, da divergierende Kundenwünsche nicht gleichermaßen berücksichtigt werden können, auch wenn sie von herausragender Bedeutung für den Kunden sind. Technische Rahmenbedingungen begrenzen die Umsetzungsmöglichkeiten. Zusätzlich nimmt das Unternehmen eine Priorisierung der Anforderungen entsprechend der Unternehmensstrategie vor. Weiter werden nicht alle Merkmale gleichermaßen umgesetzt, auch wenn sie für den Kunden von großer Bedeutung sind. Tatsächlich werden bestimmte Merkmale entsprechend ihrer Bedeutung für das Unternehmen herausragend behandelt.

Eine wesentliche Voraussetzung für den Erfolg interdisziplinärer Konzeptteams ist die Definition eindeutiger, differenzierter und scharf abgegrenzter Projektziele. Hierzu ist der Zielfindungsprozeß und das House of Quality entsprechend anzuwenden. Zur Adaption des Zielfindungs- und Zielvereinbarungsprozesses auf die veränderte Produktdefinitionsphase mit konkurrierenden, interdisziplinären Konzeptteams wird in dieser Arbeit die in Bild 2-5 dargestellte Tabelle ⑦, die die technischen Zielwerte mit einem technischen Wettbewerbsvergleich abgleicht und Zielwerte für die weitere Prozeßkette festlegt, um eine Konzeptteam-spezifische Zielerfüllungstabelle erweitert (Bild 3-9). Entsprechend der Annahme, daß die Zielwerte einer konventionellen QFD in der Praxis nicht vollständig umgesetzt werden, wird für alle Konzeptteams eine verbindliche Mindestpunktzahl definiert. Die Gewichtung geht aus dem für jedes Konzeptteam individuellen Auftrag hervor und ist vom Team dann nicht veränderbar. Alternativ kann dem Team die Gewichtung zumindest von Teilzielen

übertragen werden. Dies steigert die Eigenverantwortung und letztlich auch die Kreativität der einzelnen Teams innerhalb des Konzeptwettbewerbs.

	Produktmerkmale												Σ
	Antrieb				Exterieur				Interieur				
	A ₁	A ₂	A ₃	A _n	E ₁	E ₂	E ₃	E _n	I ₁	I ₂	I ₃	I _n	
Absolut	30	40	80	70	60	10	50	90	30	90	20	10	580
Relativ													
Konzeptteam-spezifische Zielerfüllungen													
Konzeptteam 1	30	40	80	70	40	5	10	50	20	50	10	5	410
Konzeptteam 2	10	20	30	50	30	10	50	90	20	80	15	5	410
Konzeptteam n	15	20	40	50	50	5	40	40	30	90	20	10	410

Forderung je Konzept: **410**

Bild 3-9: Konzeptteam-spezifische Zielerfüllungstabelle für technische Produktmerkmale im House of Quality

In der Zielerfüllungstabelle ist zu berücksichtigen, daß zwar nicht jede Anforderung mit der vollen Punktzahl zu erfüllen ist. Dennoch ist eine Zielerfüllung „Null“ inakzeptabel, da dies bedeutete, daß die betreffende Kundenanforderung völlig unberücksichtigt bleibt. Somit ergibt sich ein hierarchischer, mehrstufiger Zielkatalog, wie in Bild 3-10 dargestellt. Die Hauptprojektziele sind für alle Konzeptteams gleichermaßen gültig und verbindlich. Dazu gehören alle im Kano-Modell als Basis- und Leistungsanforderungen definierten Merkmale sowie die betriebswirtschaftlichen Anforderungen wie Stückzahlen oder Kaufpreis. Begeisterungsanforderungen bzw. Alleinstellungsmerkmale sind nicht für alle Konzeptteams gleichermaßen bindend, zumal diese in der Regel kostenintensive Merkmale sind. Dies gibt den Teams eine Möglichkeit zur Differenzierung der eigenen Konzepte, gegebenenfalls auf unterschiedlicher Kostenbasis.

Das Projektmanagement organisiert und moderiert den Zielfindungs- und vereinbarungsprozeß. Im Projektzielkatalog werden auch wesentliche Meilensteine, wie der Markteinführungstermin festgelegt. Auf Basis der Produktspezifikationen und den festgelegten Zeitpunkten erstellt das Projektmanagement nun den Projektablaufplan, der neben der Bestimmung aller notwendigen Teilprozesse auch einen detaillierten Zeitplan mit allen Meilensteinen sowie eine Ressourcenplanung enthält. Im Rahmen der Definition der Meilensteine wird der Detaillierungsgrad aller Produktkonzepte

festgelegt. Für das Design beinhaltet dies etwa die Anzahl der parallel betrachteten Designkonzepte und die Festlegung der Prozeßmodule. Für den Packageprozeß wird der Detaillierungsgrad der parallel entwickelten Packages entlang der beschriebenen Logik von Grobpackage, Prinzippackage, Basispackage und Fahrzeugpackage festgelegt.

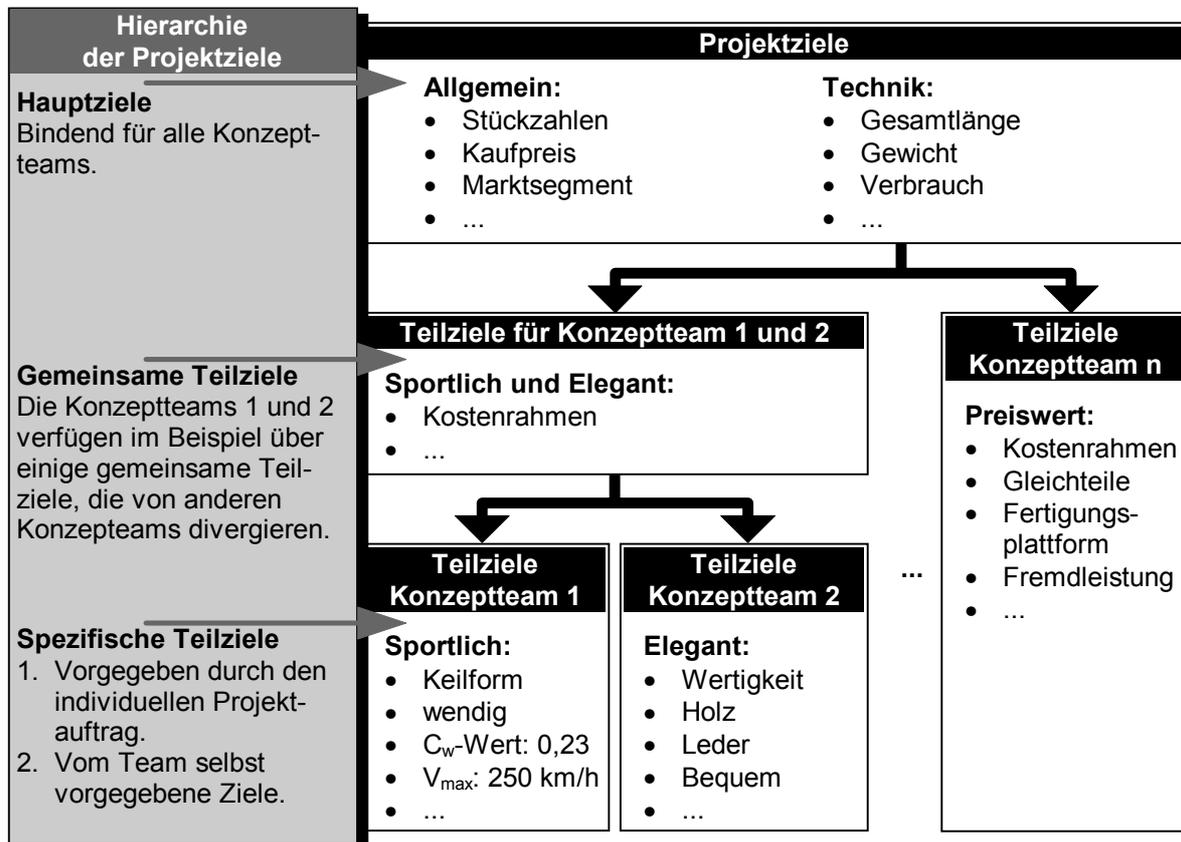


Bild 3-10: Hierarchische Gliederung der spezifischen Projektziele bei Konzeptteams

3.3.2 Diskussion unreifer Daten

Der Einsatz interdisziplinärer Konzeptteams in einem Konzeptwettbewerb in der frühen Phase bedingt den Umgang mit unreifen Daten. Unreife Daten werden im Sprachgebrauch häufig mit unscharfen Daten gleichgesetzt. Trotz der begrifflichen Nähe besteht jedoch ein konzeptioneller Unterschied. Für die beiden Begriffe gelten in dieser Arbeit folgende Definitionen:

Unreife Daten beschreiben eindeutig definierte Daten. Sie stellen einen Arbeitsstand dar und wurden daher im Rahmen des Freizeichnungsprozesses noch nicht offiziell freigegeben. Somit können sie ohne Einbeziehung von Änderungsmanagement und Benachrichtigungsprozessen modifiziert werden.

Unschärfe Daten beschreiben nicht explizit definierte Daten. Sie werden durch einen Wertebereich repräsentiert, innerhalb dessen sie jeden beliebigen Wert einnehmen können.

Unreife Daten können für ihre Nutzung im Produktentstehungsprozeß um einen Werte- bzw. Gültigkeitsbereich ergänzt werden, innerhalb dessen sie aber weiter eindeutig definiert sind. Die Verwendung von unreifen Daten ist zwischen den Prozeßkettenpartnern in Absprachen verbindlich festzulegen. Der Erfolg dieser Absprachen ist letztlich von der Bereitschaft der Prozeßkettenpartner abhängig, sich an getroffene Absprachen zu halten.

Unschärfe Daten sind aufgrund ihrer Mehrdeutigkeit innerhalb der Prozeßkette kaum kommunizierbar und verwendbar, da die heute gebräuchlichen Ingenieur Anwendungen immer auf eindeutige Zuordnungen angewiesen sind. Daher wird im folgenden nur die Definition für unreife Daten weiter verifiziert und im neu zu entwickelnden Kooperationsmedium für die frühe Phase prototypisch umgesetzt. Problematisch ist, daß sich die vorliegende Definition über die Negation der Reife erklärt und daher keine Zielorientierung aufweist. Somit ist es sinnvoll, den Begriff der *Reife* genauer zu definieren.

Qualität bezeichnet die Gesamtheit von Merkmalen einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen /128/. Im Produktentstehungsprozeß lassen sich spezifische Anforderungen an Daten allen Phasen zuordnen. Somit beschreibt der Erfüllungsgrad dieser zeitabhängigen Anforderungen die Qualität der Daten zu einem definierten Zeitpunkt. Dies gilt insbesondere für

- den Auflösungsgrad von Details bei der Bauteildarstellung,
- die informationstechnische Darstellungsform der Bauteile im CAx-System (Solid, NURBS-Fläche, Punktwolke etc.) und
- den Auflösungsgrad der Einzelteile bei der Betrachtung des Gesamtprodukts oder von Bauteilumfängen. /129/

Der Begriff Reife bezeichnet dementsprechend den Oberbegriff für die Ausprägungen zeitabhängiger Eigenschaften. Die Datenqualität unterliegt somit einem Reife-prozeß. Im Umkehrschluß entsprechen unreife Daten noch nicht den Anforderungen, die den höchsten Reifegrad im Prozeß bestimmen. Der Grad der Unreife, der noch akzeptabel ist, hängt vom betrachteten Zeitabschnitt ab. Stimmigkeit beschreibt die volle Erfüllung aller Anforderungen in der jeweils betrachteten Entwicklungsphase unter Berücksichtigung aller relevanten Teilprozesse. /129/

3.3.3 Entwicklung eines Reifestufenkonzepts

Der geforderte Reifegrad für die in einem Teilprozeß benötigten Daten wird mit der Prozeßplanung festgelegt. Hierzu sind die Anforderungen der Datenkunden und die Möglichkeiten der Datenlieferanten im Rahmen einer iterativen, bidirektionalen Abstimmung in Einklang zu bringen. Die Definition einer kontinuierlich anwachsenden Datenreife für jeden Zeitpunkt des Prozesses ist aber nicht möglich, da

- der Aufwand hierfür in keinem angemessenen Verhältnis zum Nutzen steht,
- der resultierende Zeitaufwand für die Abstimmung so groß wäre, daß die Ergebnisse letztlich veraltete Prozesse beschreiben würden und
- die Datennutzer und Erzeuger gar nicht in der Lage wären, ihre Anforderungen in beliebiger Granularität aufzulösen. /129/

Ein Lösungsansatz besteht in der Definition der erforderlichen Datenreife in diskreten Schritten. Dies ergibt ein Stufenmodell für definierte Datenreife, dessen Grundprinzip darauf beruht, daß mit jeder Reifestufe ein Entwicklungsniveau korreliert. Auf jeder Reifestufe finden so lange Abstimmungs- und Änderungsschleifen statt, bis auf dem jeweiligen Entwicklungsniveau Stimmigkeit erreicht ist. Dabei werden nur diejenigen Merkmale innerhalb der Prozeßkette festgelegt und abgestimmt, die für die betreffende Entwicklungsphase relevant sind. Damit werden die jeweils grundlegenden Konzeptmerkmale für die nächsten Stufen definiert und nachfolgende, aufwendige Änderungen vermieden (Bild 3-11). Außerdem verhindert dies unnötige Festlegungen. Ein Vorteil liegt darin, daß der Spielraum für Innovationen trotz eines gestrafften Prozeßablaufs groß gehalten und unnötiger Aufwand bei Detaillierung und Abstimmung reduziert werden kann. Die einzelnen Reifestufen orientieren sich an den Entscheidungspunkten bzw. Meilensteinen des parallelisierten Produktentstehungsprozesses. Von jedem Entscheidungspunkt aus läßt sich dann die Datenreife für die nächste Stufe ableiten, die notwendig ist, um die betreffende Entscheidung herbeizuführen. /129/

3.3.4 Erarbeitung des Ablaufs einer interagierenden Produktdefinitionsphase

Die technischen und stilistischen Entwicklungsleistungen der projektunabhängigen Vorentwicklung sind Grundlage für ein Fahrzeugprojekt. Im Projektzielkatalog werden bei Projektstart alle wesentlichen objektiven und subjektiven Anforderungen wie Zielgruppe, Preis, Abmaße, Antriebsart oder Werkstoffe an das neue Produkt zusammengefaßt. Für die Erstellung findet eine erste intensive Abstimmung zwischen allen am Prozeß beteiligten Fachbereichen statt, um stimmige Zielvorgaben zu er-

halten. Die hier beschriebenen Teilschritte der Packageerstellung entsprechen im wesentlichen den Ausführungen in Abschnitt 3.2.3. Nachfolgend wird der Ablauf einer interagierenden Produktdefinitionsphase entsprechend der zentralen These definiert.

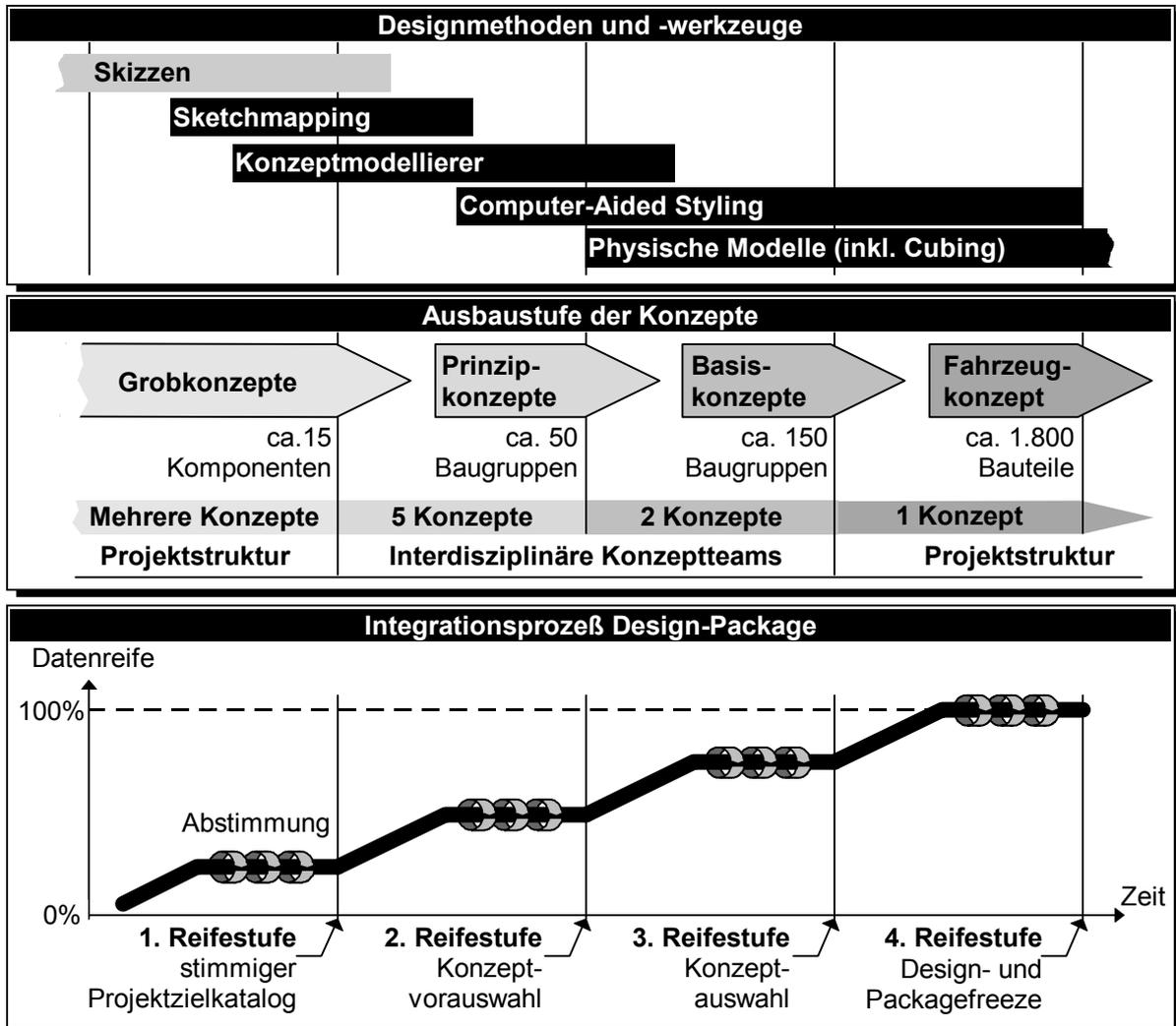


Bild 3-11: Ablauf einer interagierenden Produktdefinitionsphase am Beispiel Design-Package

Die erste Projektphase verläuft weitgehend innerhalb einer konventionellen, singulären Projektstruktur. Hierbei erstellen die Packageingenieure mehrere alternative Grobpackages mit jeweils etwa 15 Komponenten (Bild 3-11). Ziel ist, zunächst eine grobe Vorstellung über alternative Fahrzeugkonzepte zu erhalten und konkurrierende Lösungsansätze aus Sicht des Packages zu vergleichen. Das Design unterstützt den Packageprozeß, indem die Proportionen ausgewählter Grobpackages mit skizzenhaften Designmodellen visualisiert werden. Außerdem veranstaltet das Design einen internen Ideenwettbewerb, um Haupttrends für das Projekt zu erarbeiten. Wichtigste Designwerkzeuge sind Skizzen, Sketchmapping sowie die Erstellung dreidimensio-

naler Modelle mit Hilfe eines Konzeptmodellierers. Diese Vorarbeiten sind notwendig, um Klarheit über das grundsätzliche Gesamtkonzept des Fahrzeugs zu erhalten.

Für beispielsweise fünf ausgewählte Grobkonzepte² werden spezifische Projektzielkataloge erstellt, die auf Basis des Projektzielkatalogs individuelle Anforderungen an die einzelnen Konzepte beschreiben. Diese werden für die nächste Reifestufe von fünf interdisziplinären Konzeptteams parallel in einem Konzeptwettbewerb weiter entwickelt. Somit stellen die ausgewählten fünf Grobkonzepte zusammen mit den zugehörigen abgestimmten Projektzielkatalogen die erste Reifestufe dar.

Zum Erreichen der zweiten Reifestufe ist es notwendig, daß jedes der interdisziplinären Konzeptteams sein Grobkonzept zu einem Prinzipkonzept erweitert. Dies bedingt die Erstellung eines Prinzippackages, das mit den 50 kritischsten Baugruppen die Proportionen des Fahrzeugs festlegt und die Bauraumaufteilung weitgehend abschließt. Im Design erfolgt der Aufbau dreidimensionaler Modelle mittels CAS zunächst auf Basis der Grobpackages aus der ersten Reifestufe. Diese werden im Prozeßverlauf durch parallel zu erstellende Prinzippackages substituiert. Die Designmodelle haben den Zweck, die Fahrzeugproportionen weiter zu erarbeiten. Da die maßlichen Festlegungen der alternativen Designmodelle stark divergieren und mit großen Unsicherheiten behaftet sind, bildet in diesem Fall das Package eine vereinheitlichte Grundlage für die Kooperation innerhalb des Konzeptteams. Um ein Kooperationsmedium für alle Designmodelle eines Prinzipkonzepts zu erhalten, ist ein verbindlicher Designgestaltungsraum zu installieren, der darauf basiert, daß die Packagepunkte um einen Gestaltungsbereich erweitert werden, in dem sich die Formgestaltung vollzieht. Dieser Gestaltungsbereich wird mit dem Erreichen einer Reifestufe sukzessive reduziert, bis seine Ausdehnung Null ist. Eine ausführlich Diskussion der Grundlagen des Designgestaltungsraums erfolgt in Kapitel 5. Mit dem Medium des Designgestaltungsraums lassen sich alternative Designmodelle mit dem Package abgleichen und dadurch Unsicherheiten für die Prozeßkette relativieren. Die Auswahl von zwei Prinzipkonzepten für die weitere Entwicklung bildet den Abschluß dieser Phase. Mit der Reduktion des Designgestaltungsraums ist die zweite Reifestufe erreicht.

Im Mittelpunkt der sich anschließenden Phase des Konzeptwettbewerbs steht die Erweiterung der verbliebenen zwei Prinzipkonzepte zu Basiskonzepten. Hierfür wird

² Die hier definierte Anzahl der parallel bearbeiteten Konzepte ist beispielhaft und kann variieren.

das Package auf etwa 150 Baugruppen erweitert. In der Konstruktion erfolgt die Detaillierung der Bauteile der inneren Karosseriestruktur. Im Rahmen des Designprozesses erfolgt die Ausarbeitung der verbliebenen Designmodelle auf Basis des reduzierten Designgestaltungsraums. Mit der Reduktion der Designalternativen auf jeweils ein Modell je Basiskonzept kann parallel der Aufbau der Außenflächen in CAD durch die Konstruktion erfolgen. Die dritte Reifestufe ist mit der endgültigen Festlegung auf ein Basiskonzept (Design und Package) sowie der weiteren Reduktion des Designgestaltungsraums erreicht. Hiermit endet auch der Konzeptwettbewerb, und das verbleibende Konzeptteam kann in eine singuläre Projektstruktur überführt werden.

Ziel der vierten Reifestufe ist die Absicherung des Fahrzeugkonzepts. Das Design bringt das verbliebene Modell zur endgültigen Reife. Die abschließende Überprüfung der technischen Machbarkeit des Designs erfolgt im Feasibility- und Cubingprozeß weitgehend rechnerunterstützt, wobei die Designdaten als Referenz dienen und das Cubing-Modell die physische Umsetzung der Designdaten darstellt. Das Package umfaßt alle etwa 1.800 Bauteile eines Gesamtfahrzeugs. Computersimulationen sichern die statische und dynamische Kollisionsfreiheit der Komponenten für den Montage- und Demontageprozeß ab. Mit dem Erreichen der vierten Reifestufe wird die Ausdehnung des Designgestaltungsraums auf Null reduziert. Damit sind die Anforderungen an das Design- und Packagefreeze erfüllt, und die Fahrzeuggeometrie ist vollständig beschrieben.

Es ist durchaus möglich, daß in der zweiten Phase (Prinzipkonzept) mehrere konkurrierende Designalternativen von einem Konzeptteam erstellt werden. Hierzu werden diesem Team entsprechend der Anzahl der geplanten Designmodelle weitere Designer zugeordnet, die dann alle auf Basis des gleichen Packages arbeiten. Zum Ende der Phase ist eine gesonderte Designauswahl zu treffen, damit das Team in der nächsten Phase wieder auf einer durchgängigen Datenbasis arbeiten kann.

Adaption von Präsentationen als Kommunikationsmedium

Zur Formalisierung der Kommunikation im Rahmen einer interagierenden Produktdefinitionsphase wird nun weiter vorgeschlagen, die für das Design beschriebenen Präsentationsformen auf die Belange der interdisziplinären Konzeptteams zu adaptieren. Hierbei sind die Präsentationsinhalte um die Ergebnisse aller produktdefinierenden Fachbereiche zu erweitern. Der Prozeßablauf interdisziplinärer Konzeptteams synchronisiert sich durch das Erreichen der jeweils nächsten Reifestufe, bei der alternative Konzepte dem Entscheidungsgremium zur Entscheidung vorgelegt

werden. Dieser Vorgang entspricht den für das Design definierten Entscheidungspräsentationen. Die Arbeitssitzung findet in der täglichen Arbeit der Teammitglieder Anwendung. Die Informationspräsentation ist um eine Entscheidungskomponente zu erweitern und entspricht regelmäßig durchzuführenden Treffen des gesamten Teams.

Aus technischer Sicht ergeben sich bei der Adaption dieser Präsentationsformate keine größeren Schwierigkeiten, da das Design bereits sehr hohe Ansprüche an die Darstellungsqualität der Präsentationsinhalte stellt. Für die Zusammenarbeit in einer global verteilten Arbeitsumgebung kommt den dargestellten Präsentationsformaten entscheidende Bedeutung zu, da sie ein machtvolleres Mittel zur Integration externer Teammitglieder sowie zur Betreuung und Kontrolle von Zulieferern darstellen. Somit sind diese Präsentationsformate in einen global verteilten Prozeßablauf zu integrieren.

4 Entwicklung einer Methodik zur Gestaltung einer global verteilten, interdisziplinären Produktdefinitionsphase

4.1 Aufbau der Gestaltungsmethodik

Basis für die erfolgreiche Durchführung eines Entwicklungsprojekts ist eine genaue Projektplanung. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Projektorganisation auf mehrere Standorte verteilt ist. Ein Projekt kann als temporäres System angesehen werden, das sich in die drei Phasen Systembildung, Systemüberwachung/ -steuerung und Systemauflösung gliedert /50/. Die Projektplanung unterstützt das Projekt in allen Phasen seiner Laufzeit. In diesem Kapitel liegt das Hauptaugenmerk auf der Systembildung.

Prozeßabläufe und die darauf aufbauenden Organisationsstrukturen von Projekten mit verteilter Arbeitsumgebung sind von den angestrebten Projektzielen, den spezifischen Rahmenbedingungen des Projekts sowie dem Verteilungsprofil, das Art und Zweck der Verteilung von Projektstandorten beschreibt, abhängig. Aufgrund dieser Vielzahl zu berücksichtigender Parameter erscheint es nicht zielführend, einen universell einsetzbaren Standardprozeß zu entwickeln, der die Erfordernisse für alle möglichen oder zumindest wahrscheinlichen, verteilten Arbeitsumgebungen berücksichtigt. Dieser Standardprozeß ließe sich nicht mehr sinnvoll auf den konkreten Anwendungsfall adaptieren. Andererseits ist es auch nicht empfehlenswert, alle bzw. alle wenigsten halbwegs realistischen Prozeßabläufe zu untersuchen und daraus eine Auswahlmatrix zu erstellen, da sich aufgrund der unbekanntenen Anzahl von Parametern eine nach den Regeln der Kombinatorik unlösbare Aufgabe ergäbe.

Ein Ausweg aus diesem Dilemma besteht in der Entwicklung einer Methodik für die Planung und Konzeption von Projekten in verteilter Arbeitsumgebung. Diese Methodik ist so allgemeingültig zu definieren, daß sie alle wahrscheinlichen Anwendungsfälle abdeckt und dabei alle projektrelevanten Rahmenbedingungen und Verteilungsprofile berücksichtigt. Gleichzeitig muß die Methodik so offen gestaltet sein, daß sie zu einem späteren Zeitpunkt um bislang unberücksichtigte Anforderungen erweiterbar ist. Die im folgenden vorgestellte Gestaltungsmethodik basiert auf praktischen Erfahrungen, die der Verfasser im Rahmen verteilter Entwicklungsprozesse in der Automobilindustrie im Schwerpunktprozeß Design gesammelt hat. Sie ist auf eine entsprechend dem parallelisierten Produktentstehungsprozeß interagierende Produktdefinitionsphase ausgelegt und berücksichtigt das mit der zentralen These

implizierte Konzept interdisziplinärer Konzeptteams. Zur Unterstützung verteilter Prozesse werden Methoden und Organisationsformen der Telekooperation herangezogen, die von Groupware-Lösungen informationstechnisch unterstützt werden.

Die Ablauforganisation bezeichnet die Gestaltung von Arbeitsprozessen und definiert die Ordnung von Handlungsvorgängen /130/. Ausgehend von der Konzernstrategie beschreibt sie die prozeßtechnische Umsetzung der Projektziele. Die Aufbauorganisation, also die Beschreibung der strukturellen Aspekte des Projekts, ergibt sich idealtypisch direkt aus dem gewählten Prozeßablauf. Hieraus leitet sich für die Prozeßplanung folgende Gestaltungsprämisse ab:

Strategie → Ablauforganisation → Aufbauorganisation

In der Praxis ist jedoch häufig eine Anpassung der Ablauforganisation an die bestehende Aufbauorganisation vorzufinden, da die Arbeitsumgebung bei institutionalisierten und gewachsenen Strukturen oft schwer veränderbare Realitäten schafft. Damit stellt das Endergebnis einer an die Unternehmensorganisation angepaßten Aufbauorganisation oft einen Kompromiß dar und nicht die effizientest mögliche Struktur. Die Implementierung eines an sich idealen Prozesses, der die spezifischen Unternehmensstrukturen jedoch nicht berücksichtigt, läuft damit Gefahr, von den Mitarbeitern nicht akzeptiert zu werden. Diesem Umstand leistet die Gestaltungsmethodik folge und paßt die idealtypische Aufbauorganisation an die Belange einer realen Organisation an.

Die Gestaltungsmethodik gliedert sich in sieben Teilschritte. Fünf Planungsschritte dienen der Projektplanung. Sie sind miteinander verknüpft und nacheinander abzuarbeiten (Bild 4-1, Px-Schritte):

P1. Erstellung der Projektdefinition

Im Rahmen der Projektdefinition erfolgt eine detaillierte Festlegung der Projektziele und Anforderungen an den Entwicklungsprozeß. Wichtiges Planungsmedium ist der individuelle Projektzielkatalog für das jeweilige interdisziplinäre Konzeptteam.

P2. Untersuchung des Verteilungsprofils

Der zweite Schritt der Gestaltungsmethodik untersucht Kriterien für die verteilte Arbeitsumgebung. Hierbei ist zu unterscheiden, ob der Grund für die Prozeßverteilung in einer Integration von Designrends in den Prozeß besteht, ob der

optimale Ressourceneinsatz im Mittelpunkt steht oder ob beide Gründe Gültigkeit haben.

P3. Festlegung der Ablauforganisation

Die Projektion der Projektanforderungen auf den Prozeßablauf einer interagierenden Produktdefinitionsphase ergibt eine spezifische Ablauforganisation, aus der zusammen mit den Projektanforderungen eine ideale Aufbauorganisation abzuleiten ist. Mit dem Ablauf ergeben sich spezifische Anforderungen an die Gestaltung der Schnittstellen zu den Prozeßkettenpartnern. Die Schnittstellenbetrachtung kann zudem die Auswahl der Teammitglieder beeinflussen, etwa um bestehende Netzwerke zu nutzen.

P4. Methoden- und Werkzeugauswahl

Abhängig von den Projektanforderungen und der Ablauforganisation sind die einzusetzenden Methoden und Werkzeuge auszuwählen. Die informationstechnische Infrastruktur wird festgelegt. Besonderes Augenmerk liegt auf der Auswahl der Prozeßmodule für den Designprozeß und den Designwerkzeugen. Weiter ist ein Produktdatenmanagementsystem entsprechend dem Projektaufbau und Projektablauf zu konfigurieren.

P5. Auswahl der Teammitglieder und Gestaltung der Aufbauorganisation

Auf Basis der Ablauforganisation inklusive der Prozeßschnittstellen, der idealen Aufbauorganisation und der eingesetzten Methoden und Werkzeuge erfolgt die Erstellung der endgültigen, angepaßten Aufbauorganisation. Da ein verteilter Prozeßablauf grundsätzlich prozeß- und nicht personengetrieben sein sollte, muß jedes Teammitglied eine Eignung für verteilte Prozeßabläufe aufweisen. Wichtigste Kriterien sind Teamfähigkeit, Akzeptanz der Prozeßziele und im Design zusätzlich die Akzeptanz rechnerunterstützter Designwerkzeuge.

Parallel zu den fünf Planungsschritten sind zwei Kontrollschritte durchzuführen, die der Projektabsicherung dienen (Bild 4-1, Kx-Schritte):

K1. Analyse der Rahmenbedingungen

Die detaillierte und systematische Analyse der Rahmenbedingungen ist wesentlich für die erfolgreiche Initialisierung eines Projekts. Gleichzeitig bildet diese Systematisierung die Grundlage für die spätere Erstellung einer FMEA. Beispiele für Rahmenbedingungen sind Anzahl, geographische Lage und technische Ausstattung der Standorte, Anzahl, Qualifikation, Motivation und Integrationsfähigkeit der Mitarbeiter sowie Prozeßschnittstellen.

K2. Durchführung einer FMEA über die gesamte Projektplanung

Im letzten Schritt der Gestaltungsmethodik erfolgt die Durchführung einer FMEA, um Probleme bei der Prozeßumsetzung und während des Projektablaufs schon im Vorfeld zu analysieren und nach Möglichkeit zu vermeiden.

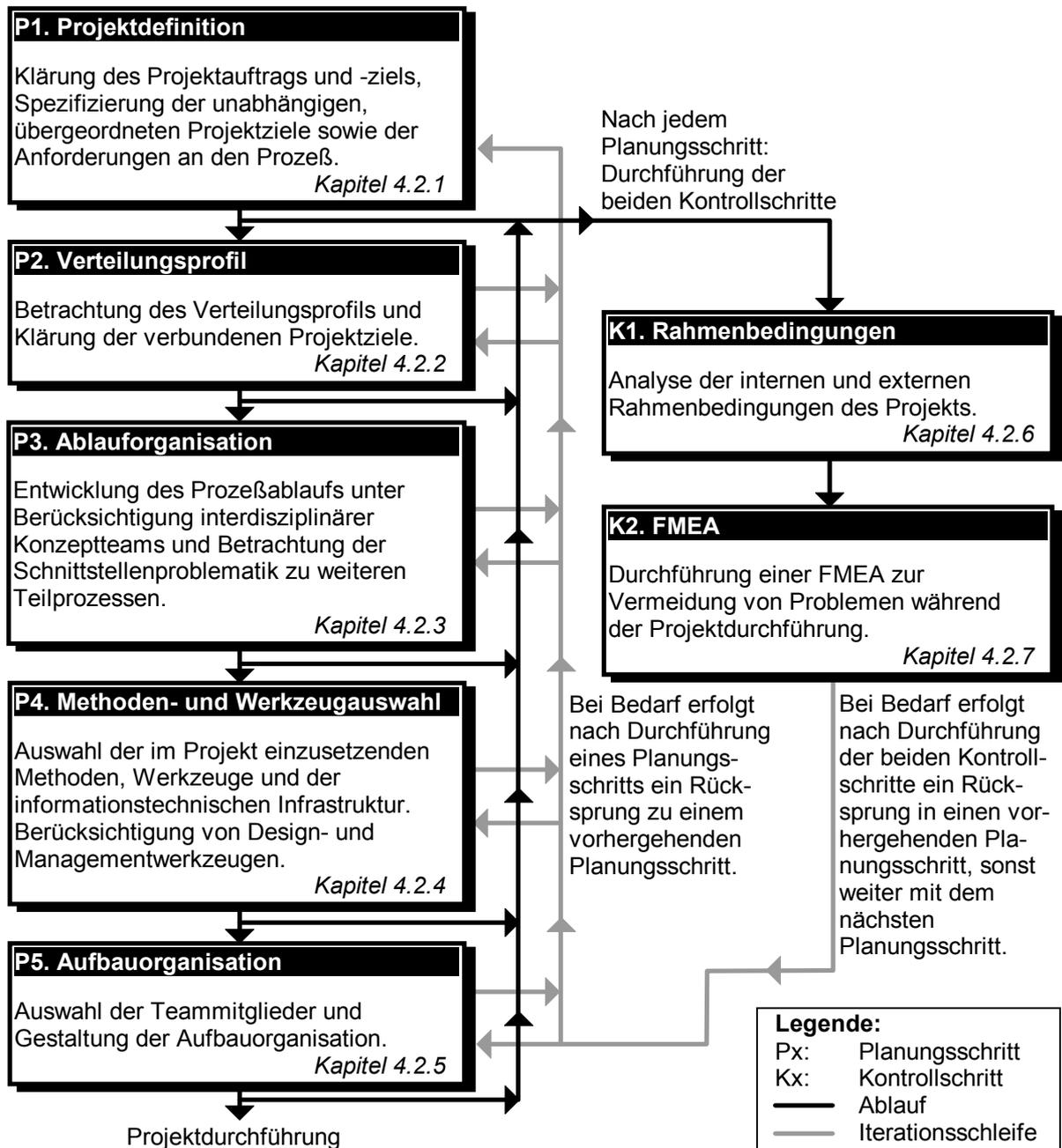


Bild 4-1: Ablauf der Gestaltungsmethodik

Vor Projektstart ist die Projektplanung zu institutionalisieren. Sie wird vom Projektleiter mit Unterstützung eines Stabs durchgeführt, der später auch die Projektsteuerung übernehmen kann. Einzelne Teilschritte der Methodik sind in einer iterativen Projektplanung mehrmals zu durchlaufen. Die hier eingeführte Gestaltungsmethodik

ist nicht nur bei der Projektplanung anwendbar, sondern auch als Werkzeug der Projektsteuerung zu verstehen. Aufgrund sich dynamisch verändernder Rahmenbedingungen und Projektziele sind die Teilschritte der Methodik bei Bedarf auch während der Projektdurchführung zu aktualisieren und die nachfolgenden Schritte entsprechend nachzuführen.

4.2 Untersuchung der Teilschritte

4.2.1 Erstellung der Projektdefinition und Klärung der Projektziele

Basis jeder Projektplanung ist die Erstellung einer Projektdefinition, also die Klärung der Gründe für das aufgesetzte Projekt. Anschließend ist eine detaillierte Untersuchung der Projektziele notwendig. Diese Untersuchung erfolgt zunächst unabhängig von einer verteilten Arbeitsumgebung. Das Zieldefinitionsteam legt für das Gesamtprojekt gültige Projektziele fest, die für alle Konzeptteams gleichermaßen verbindlich sind. Weiter existieren Konzeptteam-spezifische Projektziele. Im Rahmen der Gestaltungsmethodik ist diese Unterscheidung zu vernachlässigen. Relevant ist hier nur das Gesamtpaket an Projektzielen für das jeweilige Konzeptteam. Für die Projektplanung ist wichtig zu wissen, welche Anforderungen und Ziele den Projekt-ablauf bzw. den Aufbau determinieren und welche explizit das Projektergebnis beeinflussen.

Zu den Anforderungen, die den Projektlauf direkt beeinflussen, zählt der Projekt-ablaufplan mit der Festlegung der Meilensteine und der Projektzielkatalog. Er beinhaltet die Festlegung von Produktspezifikationen und technischen Sachzielen (vergleiche Abschnitt 3.3.1). Beispielhaft sind der Detaillierungsgrad der Produktkonzepte zu definierten Zeitpunkten, die Anzahl der parallel betrachteten Designkonzepte und die Festlegung der Prozeßmodule im Designprozeß. Für den Packageprozeß wird der Detaillierungsgrad der parallel entwickelten Packages entlang der beschriebenen Logik von Grobpackage, Prinzippackage, Basispackage und Fahrzeugpackage festgelegt. Häufig sind mit dem Projektzielkatalog und dem Projektlaufplan bereits konkrete Anforderungen an die Aufbauorganisation festgelegt, wie die Nennung von Designstandorten, die in den Prozeß einzubeziehen sind. Der Projektzielkatalog stellt aber auch explizite Anforderungen an das zu erstellende Produktkonzept und an das Projektergebnis. Hierzu zählen die Definition des Ausarbeitungsgrads sowie die Festlegung der einzusetzenden digitalen Datenformate (Bild 4-2).

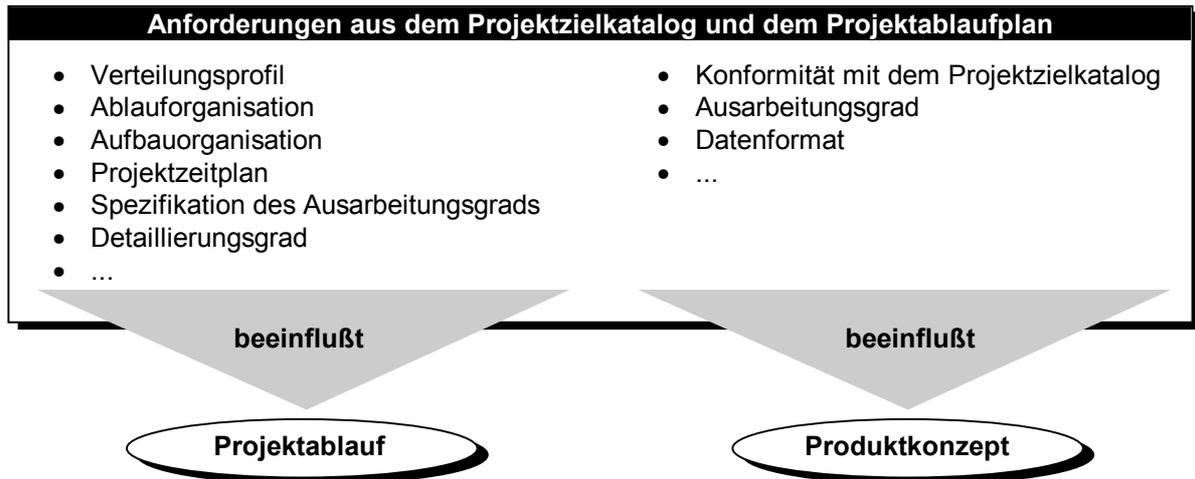


Bild 4-2: Beispiele für Anforderungen, die sich aus dem Projektzielkatalog und dem Projektablaufplan ableiten lassen

Aus den Projektzielen lassen sich konkrete Aufgaben ableiten, die vom Konzeptteam auszuführen sind. Diese sind zu strukturieren und dabei Abhängigkeiten und Zusammenhänge aufzuzeigen. Ziel ist die Definition konkreter Arbeitspakete, aus denen sich eine grundsätzliche Ablauforganisation erstellen und durch eine Aufwandsbewertung grob der Ressourcenverbrauch abschätzen zulässt. Die Arbeitspakete sind weiter zu priorisieren und im Sinne einer Risikoanalyse bezüglich ihrer Bedeutung für das Konzept zu bewerten. Hierbei ist die zeitliche Dimension unter anderem durch Untersuchung des kritischen Pfads zu berücksichtigen.

Die Zeit- und Ressourcenpläne der einzelnen Konzeptteams müssen koordiniert und abgestimmt werden. Hierfür nimmt das Zielvereinbarungsteam eine Kontroll- und Steuerungsfunktion wahr. So ist im Vorfeld eine Priorisierung der konkurrierenden Konzeptteams erforderlich, um bei eventuell auftretenden Kapazitätsengpässen in der weiteren Prozesskette oder beim gleichzeitigen Zugreifen mehrerer Konzeptteams auf die gleiche Ressource einen geregelten Ablauf zu garantieren. Weiter sind für alle Teams Meilensteine, Projektzeitpläne und Präsentationen abzustimmen.

4.2.2 Klärung des Verteilungsprofils

Im zweiten Planungsschritt erfolgt die Einbeziehung der verteilten Arbeitsumgebung in die Projektplanung. Es ist zu unterscheiden, ob der primäre Verteilungsgrund in der Produktgestaltung und -differenzierung, wie der Integration von alternativen Design-trends in den internen Entwicklungsprozess, oder in den spezifischen Vorteilen eines (global) verteilten Prozessablaufs, wie der Integration verteilter, externer Ressourcen in den Produktentstehungsprozess, liegt. Hieraus lassen sich zwei unter-

schiedliche Verteilungsprofile ableiten, die jeweils differenzierte Anforderungen an die Integration in den Produktentstehungsprozeß und speziell an die Schnittstellendefinition stellen.

Produktorientiertes Verteilungsprofil

Ziel des produktorientierten Verteilungsprofils ist die Integration verschiedener Produktideen und Designtrends aus den Zielmärkten in die Konzeptphase des Produktentstehungsprozesses und damit die Verbreiterung der Entscheidungsbasis. Der primäre Verteilungsgrund leitet sich damit aus den ergebnisdeterminierenden Anforderungen des Projektzielkatalogs ab. Dieser Ansatz stellt somit auf den internen Ideen- und Konzeptwettbewerb ab. Die globale Verteilung interdisziplinärer Konzeptteams läßt sich durch die Einbeziehung global verteilter Entwicklungsstandorte erreichen. Unterhält das Unternehmen im Zielmarkt keinen Standort, dann können interdisziplinäre Konzeptteams oder zumindest einzelne Teammitglieder entsandt werden. Dies bedingt aber, daß dort temporär ein externes Entwicklungsstudio gegründet wird. Der Ansatz impliziert somit einen Prozeßablauf, bei dem alle einbezogenen Entwicklungsstandorte (temporär und permanent) in einen Konzeptwettbewerb treten. Inhaltlich beschreibt er die Arbeitsweise horizontal ausgerichteter virtueller Unternehmen.

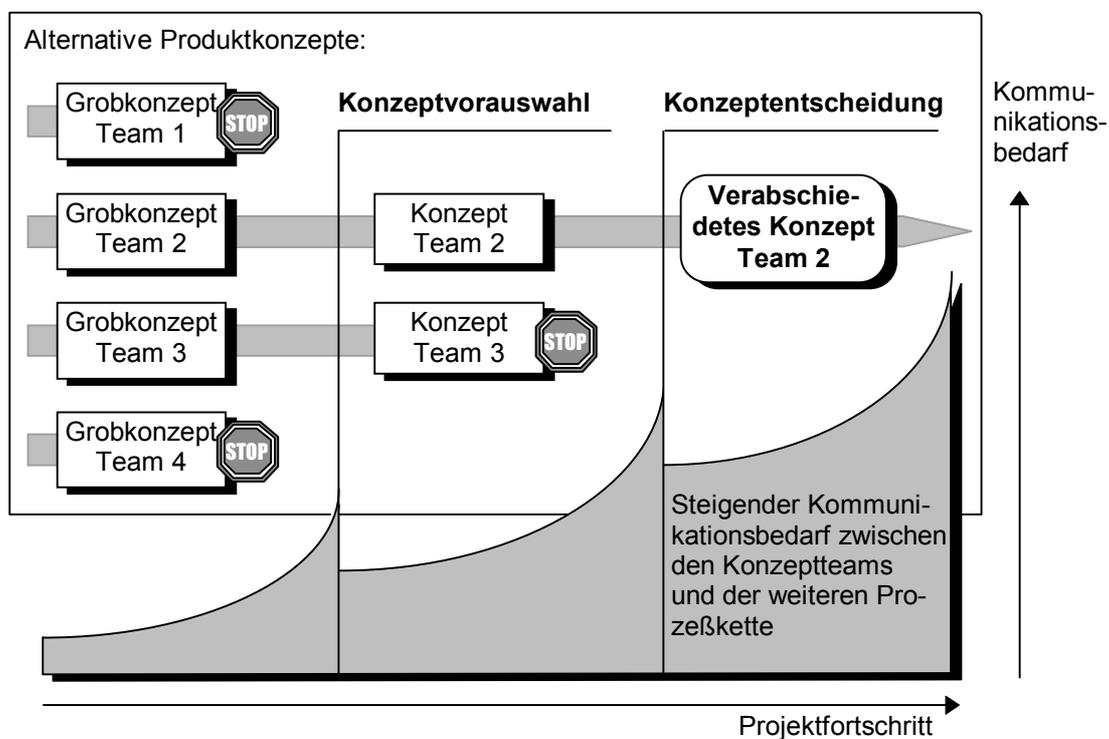


Bild 4-3: Produktorientiertes Verteilungsprofil: Global verteilte Konzeptteams

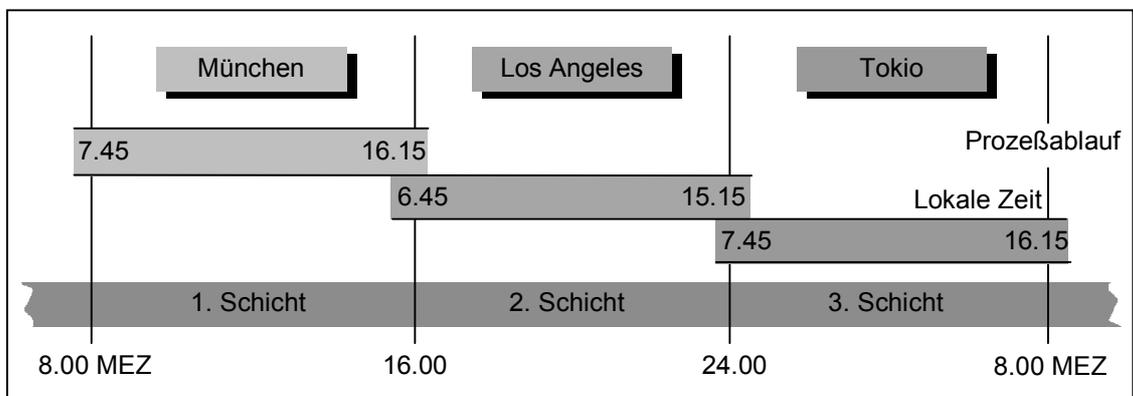
Bild 4-3 zeigt schematisch einen Prozeßablauf, an dem sich mehrere Konzeptteams an verschiedenen Standorten mit jeweils eigenen Konzepten beteiligen. Zu berücksichtigen ist, daß der Kommunikationsaufwand im Lauf des Projekts aufgrund der stetig steigenden Komplexität des Produktmodells kontinuierlich steigt und vor jeder Konzeptauswahl ein relatives Maximum aufweist. Im Rahmen dieses Ablauftyps liegen die Hauptkommunikationsströme zwischen den Konzeptteams und den Prozeßkettenpartnern aus den produktentwickelnden Bereichen. Die direkte Kommunikation zwischen den Standorten und damit zwischen den Konzeptteams ist von untergeordneter Bedeutung, da kaum Kooperationsbedarf zwischen konkurrierenden Teams besteht. Determinierendes Kriterium dieses Ansatzes ist, bis zu welcher Prozeßphase die verteilte Arbeitsumgebung erhalten bleiben soll. Ein verteilter Ablauf lediglich in der frühen Phase mit den Designmethoden Skizzen und Sketchmapping ist einfacher zu gestalten als ein Projektablauf, der bis zum Design- und Packagefreeze verteilt ist und bei dem somit Schnittstellen zu allen Entwicklungsabteilungen zu definieren sind.

Prozeßorientiertes Verteilungsprofil

Das prozeßorientierte Verteilungsprofil zielt auf die effiziente Nutzung geographisch verteilter Ressourcen und auf eine potentielle Verkürzung der Entwicklungsdauer ab. Dies wird durch die aktive, arbeitsteilige Zusammenarbeit mehrerer verteilter Standorte erreicht (Bild 4-4). Im Ansatz der „Schichtarbeit rund um den Globus“ (engl.: „Dusk Meets Dawn“ oder „Follow the Sun“) bearbeiten mindestens drei um den Globus verteilte Standorte einen Auftrag. Bei einer durchschnittlichen Arbeitszeit von acht Stunden ergibt sich bei idealer Verteilung der Standorte ein 24-Stunden-Zyklus. Der Arbeitsprozeß wird beispielsweise in Europa angestoßen und am Abend an einen Prozeßpartner an der Westküste Amerikas weitergeleitet, der wiederum einen Partner in Ostasien hat. Dieser gibt seine Arbeitsergebnisse wieder nach Europa zurück /131/. Dieses Verteilungsprofil ist auch so zu gestalten, daß verschiedene Teilprozesse im Rahmen der Produktentstehung parallel an mehreren Standorten durchgeführt werden und somit ein global verteiltes Simultaneous Engineering ermöglichen.

Innerhalb eines interdisziplinären Konzeptteams ist eine Verteilung von Teilprozessen darstellbar. So kann beispielsweise eine Gruppe von Aerodynamikspezialisten über Nacht ein Problem untersuchen, so daß am nächsten Morgen ein Lösungsvorschlag vorliegt. Auf den rein ästhetisch gestaltenden Teil des Designprozesses ist dieser Ansatz nur schwer anwendbar, da er der Prämisse widerspricht, daß ein De-

signer alleine für die Formgebung eines Modells verantwortlich zeichnet. Demzufolge ist eine Anwendung des Konzepts weniger in ästhetisch gestaltenden Tätigkeiten zu suchen, sondern eher bei unterstützenden Prozessen im Design wie der fertigungstechnischen Begutachtung eines Designkonzepts oder der Visualisierung und Animation von Designentwürfen. Digitale Modellierungstätigkeiten können im Dreischicht-Betrieb abgearbeitet werden, wenn keine direkten Designangaben nötig sind. Auch marketingrelevante Teilprozesse wie die Durchführung von Kundenkliniken, lassen mit dieser Variante des Simultaneous Engineering beschleunigen. Im Rahmen des Designprozesses liegt ein weiterer Schwerpunkt des Ansatzes in der Anbindung designnaher Tätigkeiten wie etwa die Erstellung physischer Modelle oder dem Aufbau von Show-Cars für Messen.



Anwendungsbeispiel für global verteiltes Simultaneous Engineering:



Eine Schicht entspricht 8 Stunden.

Bild 4-4: Prozeßorientiertes Verteilungsprofil: Global verteilte, parallele Prozesse und Anwendungsbeispiel für global verteiltes Simultaneous Engineering

Dieses Verteilungsprofil kann auch bei anderen Projektkategorien wie beispielsweise in der Softwareentwicklung eingesetzt werden und ist somit generell zur Optimierung von verteilten Projektstrukturen geeignet. Im Rahmen der Betrachtung virtueller Unternehmen in der Produktdefinition beschreibt das prozeßorientierte Verteilungsprofil primär die Arbeitsweise vertikal am Produktentstehungsprozeß ausgerichteter virtueller Unternehmen. Eine horizontale Ausrichtung ist bei prozeßunterstützenden Bereichen ebenfalls möglich.

Anwendung der Verteilungsprofile in der Praxis

Die Anwendung dieser Verteilungsprofile auf das Konzept der interdisziplinären Konzeptteams führt häufig zu einer Mischung beider Ansätze. Das Ziel der Konzept-

teams besteht darin, differenzierte, aber in sich jeweils stimmige Gesamtkonzepte zu erstellen. Differenzierung läßt sich durch die geographische Verteilung der Teams im Sinne eines ideenoptimierten, auf dem produktorientierten Verteilungsprofil basierenden Profil erhöhen. In der Praxis werden jedoch unter anderem aufgrund begrenzter Budgets häufig nicht alle Teammitglieder an einen anderen Standort entsandt. Damit ist bei der Realisierung eines produktorientierten Verteilungsprofils häufig auch ein prozeßorientiertes Profil mit einzubeziehen, was den Kommunikationsaufwand erhöht. Weiter sind unterstützende Teilprozesse wie die zeitaufwendige Erstellung physischer Präsentationsmodelle oder die Erstellung von CAS-Modellen und Animationen nicht sinnvoll in einem räumlich und an Ressourcen begrenzten Satellitenstudio durchzuführen. Auch dies entspricht eher einem prozeßorientierten Verteilungsprofil. Die Integration von Telearbeitern in ein Konzeptteam führt ebenfalls zu einem prozeßorientierten Verteilungsansatz, auch wenn das Grundschemata der Verteilung produktorientiert ist.

Die Kooperation in allen Verteilungsprofilen wird durch den konsequenten Einsatz von Groupware erreicht. Am Ende von Planungsschritt zwei steht die Realisierung der primären Infrastruktur. Bei der Einrichtung temporärer Entwicklungs- oder Designstandorte für interdisziplinäre Konzeptteams bedeutet dies die Auswahl und Anmietung geeigneter Räumlichkeiten und die Bestimmung der externen Entwicklungspartner.

4.2.3 Festlegung der Ablauforganisation

Ziel des dritten Planungsschritts ist die Festlegung der Ablauforganisation. Grundlage hierzu sind die bereits diskutierten Projektziele, alle einzubeziehenden Projektstandorte sowie die Auswahl externer Entwicklungspartner. Aus der Untersuchung der bereits identifizierten Rahmenbedingungen lassen sich gegebenenfalls weitere Anforderungen an den Prozeßablauf ableiten. Beispielsweise kann ein Mangel an Formgestaltern am gewählten Entwicklungsstandort zur Einbeziehung interner Mitarbeiter und damit zur Erweiterung der verteilten Arbeitsumgebung führen. Die ablauforganisatorische Basis für ein Projekt mit verteilter Arbeitsumgebung ist der Ablauf für eine interagierende Produktdefinitionsphase mit interdisziplinären Konzeptteams, wie in Abschnitt 3.3 beschrieben.

Aus dem im zweiten Planungsschritt identifizierten Verteilungsprofil ergibt sich bei interdisziplinären Konzeptteams eines der drei folgenden Grundszenarien, die das Kommunikationsverhalten und damit den Prozeßablauf bestimmen:

1. Das gesamte Konzeptteam befindet sich an einem entfernten Ort.
2. Die Teammitglieder sind über mehrere Standorte verteilt.
3. Lediglich unterstützende Teilprozesse laufen global verteilt ab.

Die Projektion aller Anforderungen auf den idealtypischen Prozeßablauf einer interagierenden Produktdefinitionsphase ergibt eine projektspezifische Ablauforganisation. Diese gibt auch eine ideale Aufbauorganisation vor. Aus der Ablauforganisation resultieren spezifische Anforderungen an die Gestaltung der Schnittstellen zu den Prozeßkettenpartnern. Diese schlagen sich insbesondere in der Auswahl der Projektpartner, in der Definition der Anforderungen an unscharfe Daten für die jeweils nachfolgende Reifestufe und damit in der Gestaltung des Datenstroms nieder. Mit dem Prozeßablauf ergibt sich somit ein Überblick über den gesamten resultierenden Kommunikationsbedarf. Die Schnittstellenbetrachtung beeinflusst die spätere Auswahl der Teammitglieder, etwa durch die Nutzung persönlicher Netzwerke innerhalb des Unternehmens oder durch profundes Wissen über das spezifische Marktsegment.

4.2.4 Erstellung der Infrastruktur - Methoden- und Werkzeugauswahl

Im vierten Planungsschritt erfolgt die Auswahl der zur Projektdurchführung notwendigen Methoden und Werkzeuge sowie die Erstellung der informations- und kommunikationstechnischen Infrastruktur zur Anbindung der externen Entwicklungsstandorte und zur Unterstützung der Kooperation innerhalb der Prozeßkette. Aufgrund der Bedeutung des zweckgerechten Einsatzes der Methoden und Werkzeuge für den Projekterfolg ergibt sich eine Erweiterung der Gestaltungsprämisse für Entwicklungsprozesse:

Strategie → Ablauforganisation → Methodenauswahl → Aufbauorganisation

Dieser prozeßorientierte Ansatz geht im Gegensatz zu einem personenorientierten Planungsansatz davon aus, daß gerade in einer verteilten Arbeitsumgebung das beste Projektergebnis mit den idealen Methoden und Werkzeugen erreicht wird.

Methoden und Werkzeuge

Basis für die Methoden- und Werkzeugauswahl sind die Projektanforderungen sowie die Ablauforganisation. Spezifische Anforderungen ergeben sich weiter aus der Festlegung des Detaillierungs- und Ausarbeitungsgrads der Konzepte zu definierten Zeitpunkten durch den Projektablaufplan und der innerhalb der Prozeßkette defi-

nierten Datenaustauschformate. Abhängig vom geforderten Ausarbeitungsgrad der Konzepte sind möglicherweise FEM-Berechnungen durchzuführen. Hierfür sind die entsprechenden Programme und Lizenzen zu beschaffen. Besonderes Augenmerk liegt auf der Auswahl der Prozeßmodule für den Designprozeß und den Designwerkzeugen entsprechend dem durchgängig rechnerunterstützten, modularen Designprozeß. Wird beispielsweise gefordert, daß Designkonzepte mittels Echtzeitsimulation präsentiert werden sollen, dann müssen hierfür entsprechende Computerprogramme und Computer mit hoher graphischer Rechenleistung eingeplant werden. Zur Unterstützung der Kommunikation und Kooperation sind Groupware-Lösungen wie Videokonferenzsysteme, Kollaborationssysteme und Präsentationssysteme auszuwählen. Auf der Werkzeugauswahl aufbauend, ist ein Produktdatenmanagementsystem projektspezifisch zu konfigurieren.

Informations- und kommunikationstechnische Infrastruktur

Die Ablauforganisation und die ausgewählten Methoden und Werkzeuge stellen spezifische Anforderungen an die einzusetzende CAx-Infrastruktur. Der Aufbau eines lokalen Computernetzwerks (LAN) ist mittlerweile fast obligatorisch, um den Datenaustausch am Standort zwischen den lokalen Computerarbeitsplätzen und um den Aufbau von Daten-, Programm- und Datensicherungsservern zu ermöglichen. Die Erstellung einer Analyse der voraussichtlichen Daten- und Kommunikationsströme ergibt einen Hinweis auf die Dimensionierung der Übertragungsraten.

Der Anschluß an ein öffentliches WAN ist abhängig vom Standort zu planen. Grundsätzlich sollte aus Kosten- und Leistungsgründen auf ein kabelbasiertes WAN zurückgegriffen werden. Satellitenkommunikation findet ihren Einsatz überwiegend in Regionen mit schlechter Netzwerkstruktur und gleichzeitig hohen, spontan abzufragenden Übertragungsraten und bei hochmobilen Arbeitsplätzen. Satellitenkommunikation ist in Betracht zu ziehen, wenn ein breitbandiges kabelbasiertes WAN nur selten benötigt wird und die Kosten für eine Anbindung an Hochleistungsnetzwerke wie ATM in keinem Verhältnis zu den eigentlichen Verbindungskosten stehen. In der Regel ist der Anschluß an ein kabelbasiertes WAN zeitaufwendig und liegt somit in dieser Phase der Projektplanung auf dem kritischen Pfad. Spezifische Anforderungen an die Datensicherheit und -vertraulichkeit lassen sich zumeist schon sehr früh definieren und sollten daher im Sinne einer Grobabschätzung bereits in Schritt zwei bei der Planung der physischen Infrastruktur berücksichtigt werden.

4.2.5 Gestaltung der endgültigen Aufbauorganisation

Im fünften Planungsschritt der Gestaltungsmethodik erfolgt die Erstellung der endgültigen Aufbauorganisation und die Auswahl der Teammitglieder. Dieser Ablauf folgt der erweiterten, prozeßorientierten Gestaltungsprämisse für Entwicklungsprozesse, um zu gewährleisten, daß die gewählten Teammitglieder mit den vorher bestimmten Methoden konform gehen und die Werkzeuge beherrschen.

Anforderungen an die Teammitglieder

Die enge Zusammenarbeit der Teammitglieder erfordert gerade in interdisziplinären Konzeptteams hohe Teamfähigkeit aller Mitglieder. Die Akzeptanz rechnerunterstützter Entwicklungswerkzeuge ist obligatorisch, da nur so ein interagierender Prozeßablauf möglich ist. Dies gilt besonders für den Designprozeß, in dem der Einsatz rechnerunterstützter Designwerkzeuge vielfach unter Akzeptanzproblemen leidet.

Aus der Arbeit in verteilter Entwicklungsumgebung und Prozeßstruktur ergeben sich weitere, differenzierte Anforderungen an die Mitarbeiter. So ist die grundlegende Akzeptanz einer verteilten Arbeitsumgebung vorauszusetzen. Hinzu kommt ein Grundwissen über die Anwendung ausgewählter Groupware wie Videokonferenz- und Kollaborationssysteme.

Da die Anzahl der Teammitglieder in verteilten Projekten aufgrund hoher Kosten meist beschränkt ist, ist die Forderung nach universal einsetzbaren Teammitgliedern, die alle wichtigen CAx-Werkzeuge beherrschen und gegebenenfalls auch einfache Wartungsarbeiten durchführen können, verständlich. Intuition und Improvisationsfähigkeit sind weitere Voraussetzungen, in Anlehnung an eine amerikanische Fernsehserie auch McGyver-Skills genannt.

Schaffung von Akzeptanz durch soziale Kooperationsstrukturen

Das Schaffen von Akzeptanz bei den Prozeßteilnehmern ist entscheidend für die erfolgreiche Einführung von Telekooperation. Diese Akzeptanz ist sowohl für neuartige Kommunikations-, Interaktions- und Kooperationswerkzeuge, als auch für global verteilte Prozeßformen zu erreichen. So ist das Entstehen sozialer Kooperationsstrukturen zwischen den Prozeßpartnern von entscheidender Bedeutung /132/. Diese lassen sich durch persönliche Erfahrungen der Teammitglieder in einer arbeitsfremden Umgebung wie beispielsweise bei einem Überlebenstraining stark erhöhen.

Hierzu eine praktische Erfahrung aus dem Produktentstehungsprozeß: Ein für die Einführung von Telekooperation in der Fahrwerksentwicklung bei der BMW AG verantwortliches Teammitglied berichtete, daß der einzelne Anwender nur dann aktiv handelt und seinen Prozeß neu gestaltet, wenn er Potentiale für seinen eigenen Prozeß erkennt. In diesem Prozeß wurde den einzelnen Teilnehmern ermöglicht, den Prozeß von Anfang an aktiv selbst zu gestalten und die verfügbaren Systeme zu nutzen. Vor allem durch den verstärkten Einsatz von Videokonferenzsystemen und Anwendungsverteilungssystemen ließen sich Abstimmungsprozesse vermehrt ad hoc durchführen und damit Tagesreisen zwischen München und Birmingham deutlich reduzieren. /16/

Mit der Erstellung der endgültigen Aufbauorganisation ist auch eine Organisationsstruktur zur Durchführung der Projektsteuerung während der Projektdurchführung zu implementieren. Idealerweise werden hierfür die Mitarbeiter eingesetzt, die auch die Projektplanung durchgeführt haben.

4.2.6 Systematik der resultierenden Rahmenbedingungen

Nach der Festlegung aller Projektstandorte und der Anmietung von Räumlichkeiten für temporäre Entwicklungsstandorte am Ende von Planungsschritt zwei läßt sich in Kontrollschritt eins nun erstmals eine Analyse der resultierenden Rahmenbedingungen durchführen. Diese ist Grundlage für die weitere Gestaltung und Organisation des Projekts und bildet die Basis für die im zweiten Kontrollschritt erfolgende Erstellung einer FMEA. Beispiele für Rahmenbedingungen sind die Anzahl, geographische Lage und technische Ausstattung der Standorte, die Anzahl, Qualifikation, Motivation und Integrationsfähigkeit der Mitarbeiter und die organisatorische Gestaltung von Prozeßschnittstellen. Folgende Gliederung der Rahmenbedingungen hat sich in der Praxis bewährt:

Physische Infrastruktur

In diesem Themenkomplex werden Rahmenbedingungen zusammengefaßt, die mit der physischen Errichtung eines entfernten Entwicklungsstandorts einhergehen. Dies betrifft geographische Fragestellungen wie die Zeitverschiebung und mögliche Kommunikationsfenster, die Lage des Studios und die Anbindung an öffentliche Verkehrsmittel, Flughäfen etc. Auch die Logistik wie das lokale Zuliefer- und Beschaffungswesen sowie die politische Lage vor Ort werden untersucht.

Digitale Infrastruktur und CAx-Ausstattung

Die getrennte Betrachtung der digitalen Infrastruktur von der physischen Infrastruktur unterstreicht ihre Bedeutung für die Kommunikation mit den Prozeßkettenpartnern. Ziel ist eine genaue Untersuchung aller infrastrukturellen Bedingungen, die zum Aufbau der Rechnerinstallation an einem externen Standort notwendig sind sowie die informations- und kommunikationstechnische Anbindung des Standorts in das Netzwerk der bestehenden Entwicklungsstandorte beinhalten.

Neben der digitalen Infrastruktur, die Schnittstellen zur physischen Infrastruktur aufweist, ist die CAx-Ausstattung vor Ort zu untersuchen. Hier liegt der Fokus auf der Integration der externen Standorte in den Produktentstehungsprozeß, da die eingesetzten Computerplattformen und die innerhalb der Prozeßkette verwendete Software zu betrachten ist. Hinzu kommt die Datenhaltung, Speicherung und Sicherung sowie die Verfügbarkeit von CAx-Support vor Ort.

Prozeßintegration

Dieser Bereich untersucht die Schnittstellenproblematik in verteilten Prozeßabläufen und hinterfragt die Rahmenbedingungen explizit bezüglich der Prozeßintegration. Auch beinhaltet dies die Betrachtung der Kommunikationsflüsse sowie die Abstimmungsprozesse und den Wissenstransfer innerhalb der Prozeßkette.

Mitarbeiter

Die Projektteilnehmer stehen im Mittelpunkt dieses Themenbereichs. Ziel ist, das Anforderungsprofil an die Teammitglieder mit den tatsächlich ausgewählten Mitarbeitern abzugleichen. Basis sind die aus den Projektzielen, dem Verteilungsprofil und der Prozeßintegration resultierenden spezifischen Anforderungen an die Teammitglieder.

Sicherheit

Das Thema Sicherheit ist für die erfolgreiche Durchführung eines Entwicklungsprojekts von so herausragender Bedeutung, daß es explizit zu untersuchen ist. Dabei wird sowohl die Einbruchssicherheit des Standorts, der gesamte Bereich der Datensicherheit und -vertraulichkeit, als auch die persönliche Sicherheit der Mitarbeiter im Ausland untersucht.

	<u>Interne Faktoren</u>		<u>Externe Faktoren</u>	
	Beeinflußbar	Nicht beeinflußbar	Beeinflußbar	Nicht beeinflußbar
Physische Infrastruktur				
Geographische Verteilung	<i>Standort B frei gewählt</i>	<i>Standort C vorgegeben</i>		
Zeitverschiebung	<i>Standort B 1 Stunde</i>	<i>Standort C 8 Stunden</i>	<i>Zulieferer gleiche Zeitzone</i>	
Zulieferer/ Versorgung			<i>Alle Standorte abgesichert</i>	
Politische Lage				<i>Alle Standorte sicher</i>
...				
Digitale Infrastruktur und CAx-Ausstattung	...			
Standortnetzwerk (Ethernet)				
Konzernnetzwerk (VPN)				
Netzwerk (ISDN)				
Kommunikationssysteme				
Videokonferenz				
Internet/ Intranet/ Extranet				
Eingesetzte Software				
Datenaustauschformate				
Datenspeicherung				
Datenzugang				
...				
Prozeßintegration				
Abstimmung				
Wissenstransfer				
Terminabstimmung				
...				
Mitarbeiter				
Qualifikation				
Motivation				
Teamfähigkeit				
...				
Sicherheit				
Standort				
Persönliche Sicherheit				
Daten				
Kommunikation				
...				

Tabelle 4-1: Darstellung der Hauptbereiche und beispielhafte Zuordnung von Rahmenbedingungen für ein verteiltes Entwicklungsprojekt (mit freundlicher Genehmigung der BMW AG)

Die gewählte Systematik der Hauptbereiche ist allgemeingültig und auf alle Phasen des Projekts anwendbar. Bei der spezifischen Anwendung auf ein Projekt ergibt sie eine individuelle Basis für die Einführung einer abgestimmten Ablauf- und Aufbauorganisation. Bei den einzelnen Bedingungen ist zu unterscheiden, ob es sich um *interne* oder *externe Faktoren* handelt. Interne Faktoren entstehen innerhalb der Pro-

jektorganisation, also innerhalb des Unternehmens oder des virtuellen Unternehmens oder sind vom Projekt zu verantworten. Externe Faktoren haben ihren Ursprung außerhalb des von der Projektorganisation zu verantwortenden Gestaltungsbereichs. Eine eindeutige Zuordnung ist vielfach nicht möglich, da viele Faktoren sowohl interne als auch externe Ursachen haben können. Weiter ist zu unterscheiden, ob die Rahmenbedingungen während der Prozeßgestaltung beeinflussbar oder nicht beeinflussbar sind.

In Tabelle 4-1 werden einzelnen Hauptbereichen beispielhaft Rahmenbedingungen zugeordnet, die für den Bereich der physischen Infrastruktur detailliert wurden. Die Tabelle ist nach Abschluß jedes Planungsschritts zu aktualisieren. Da sich mit jedem nachfolgenden Planungsschritt auch die Rahmenbedingungen bereits gefüllter Hauptbereiche verändern können, ist die gesamte Tabelle jeweils nachzuführen.

Im Rahmen der Projektplanung ist die Tabelle für jedes Projekt individuell zu erstellen. Dabei ist jede Bedingung hinsichtlich ihrer Beeinflussbarkeit zu überprüfen. Bei nicht beeinflussbaren Faktoren ist eine Ursachenanalyse nach dem Schema der FMEA durchzuführen. Gegebenenfalls ergibt sich dabei eine Lösung des Defizits durch die Reorganisation des Ablaufs. Ist dies nicht möglich, so ist zumindest ein Notfallszenario zu entwickeln, wie die zu erwartenden Probleme im Fall ihres Eintretens schnell zu lösen sind und die Mitarbeiter darauf zu schulen. Mit Abschluß eines Planungsschritts ist auch eine neue Prüfung und Abarbeitung aller bereits bestehender Rahmenbedingungen durchzuführen und die FMEA zu aktualisieren.

4.2.7 Durchführung der Fehlermöglichkeits- und -einflußanalyse

Erfolgskritisch an der Durchführung der Gestaltungsmethodik ist, daß die Erstellung eines Prozeßablaufs von vielen unbekanntem oder neu auftretenden Parametern abhängt. Daher fordert der Kontrollschritt zwei der Gestaltungsmethodik die präventive Untersuchung potentieller Fehlerquellen schon vor der Implementierung des Projekts. Diese gilt es nach Möglichkeit durch Änderungen bei der Projektplanung zu vermeiden oder zumindest mit Hilfe eines Szenarios oder Notfallplans einem möglichen Störfall präventiv zu begegnen. Hierfür bietet sich die Erstellung einer FMEA über die gesamte Projektplanung an.

Die analytische Vorgehensweise der FMEA wurde ursprünglich im Rahmen des Apollo-Mondflugprogramms in den USA entwickelt. Üblich ist die Anwendung der FMEA in der Konstruktion, im Kontext der Systembetrachtung und im Prozeßumfeld

Das Formblatt ist so angelegt, daß für jeden der in Kontrollschritt eins identifizierten fünf Bereiche an Rahmenbedingungen ein eigenes Blatt verwendet wird. In Spalte ① wird zunächst die spezifische Rahmenbedingung eingetragen. Die Hauptspalte ② untersucht den möglichen Fehler bezüglich der Art, der Auswirkung auf das Projekt und der möglichen Ursache. Anschließend erfolgt in der Hauptspalte ③ eine Bewertung des Fehlers. Dies beginnt mit einer Beschreibung von Kontrollmaßnahmen, die zur Entdeckung von Fehlern führen können. In einer Punktebewertung wird die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von eins (unwahrscheinlich) bis zehn (hoch) bewertet. Danach erfolgt eine Beurteilung der Bedeutung des Fehlers und die Wahrscheinlichkeit der Fehlerentdeckung von eins bis zehn. Durch einfache Multiplikation der Einzelwerte ergibt sich die Risikoprioritätszahl mit einem Wertspektrum von minimal eins bis maximal 1000 (vergleiche Gleichung 4-1):

$$\begin{aligned}
 \text{Risikoprioritätszahl} &= \text{Aufretenswahrscheinlichkeit} \\
 &\cdot \text{Fehlerbedeutung} \\
 &\cdot \text{Entdeckungswahrscheinlichkeit}
 \end{aligned}
 \qquad \text{Gleichung 4-1}$$

Hieraus sind nun Handlungsbedarfe abzuleiten, wobei sinnvollerweise der Fehler mit der höchsten Risikoprioritätszahl zuerst und der Fehler mit der niedrigsten Risikoprioritätszahl zuletzt abgearbeitet wird. In der Hauptspalte ④ werden Abstellmaßnahmen beschrieben, die trivialerweise auf die Fehlervermeidung und nicht auf die Fehlerentdeckung abzielen sollen. Diese werden nun in der Hauptspalte ⑤ analog zum Vorgehen in Hauptspalte ③ bewertet.

Mit der Durchführung der Projekt-FMEA sollte eine Iterationsschleife in der Gestaltungsmethodik durchgeführt werden, um die Ergebnisse in die Projektplanung einzuarbeiten und um mögliche Einflüsse auf andere Rahmenbedingungen auszuschließen. Mit der Projekt-FMEA steht auch ein Lerninstrument für die Projektorganisation zur Verfügung /136/.

4.3 Aspekte beim Aufbau eines temporären Entwicklungsstandorts

Bei der praktischen Umsetzung diverser Entwicklungsprojekte im Automobildesign hat sich gezeigt, daß für die Gestaltung temporärer Entwicklungsstandorte oder Designstudios kein Standardlayout für die Standort- und Raumgestaltung darstellbar ist. Dies liegt daran, daß bei individuellen Projekten immer mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen und Anforderungen respektive Standorten und Räumlichkeiten zu planen ist. Wichtigste Grundlage für die Standort- und Raumplanung sind die im Rahmen der Gestaltungsmethodik vorab definierten Sicherheitsanforderungen.

Wesentlich für die Gestaltung eines Entwicklungsstandorts bei interdisziplinären Konzeptteams in einer verteilten Arbeitsumgebung ist die Unterstützung der teaminternen Kooperation und Interaktion. Dies läßt sich bei einem Team von begrenzter Größe am besten dadurch erreichen, daß alle Mitglieder in einem gemeinsamen Raum zusammenarbeiten, um eine offene und kontinuierliche Kommunikation zu unterstützen. Für vertrauliche Gespräche und die externe Kommunikation sind Besprechungsräume einzurichten.

Aus informationstechnischer Sicht wird die Arbeitsqualität auch bei sehr kurzen Projektphasen entscheidend durch den Aufbau eines internen Computernetzwerks (LAN) verbessert. Dies vereinfacht den Datenaustausch und erlaubt eine zentrale Lösung für die Datenspeicherung und -sicherung auf einem dedizierten Datenserver. Der Zugang zu einem öffentlichen WAN wie dem Internet ist durch eine Firewall abzusichern. Als problematisch hat sich bei temporären Studios die Wartung der lokalen Rechnerinstallation erwiesen. Da Installation und Wartung zeitaufwendig sind und zudem Fachwissen erfordern, ist abhängig von der Größe des temporären Studios gegebenenfalls eine externe Wartungsfirma zu beauftragen. Dies kann jedoch zu Komplikationen bezüglich der Sicherheitsanforderungen führen. Die Kooperation mit anderen Standorten ist nach heutigem Stand der Technik am einfachsten durch den Aufbau eines VPN zu erreichen. Hierzu werden in der Regel öffentliche WAN verwendet. Datensicherheit und Vertraulichkeit läßt sich bei Punkt-zu-Punkt-Verbindungen am einfachsten durch Hardwareverschlüsselung mittels Kryptoboxen und bei offenen Netzwerken durch Softwareverschlüsselung herstellen.

Gewährleistung audiovisueller Kommunikation

Die audiovisuelle Kommunikation zwischen den Prozeßkettenpartnern ist auch in einer verteilten Arbeitsumgebung zu gewährleisten. Dies gilt insbesondere bei geographisch verteilten, interdisziplinären Konzeptteams. Hierbei sind die in Abschnitt 3.2.2.4 definierten Präsentationsformen zu unterstützen und zu adaptieren. Die Auswahl einer spezifischen Präsentationsform ergibt sich in Abhängigkeit von den zu kommunizierenden Inhalten und der Teilnehmerzahl. Die spezifische Ausprägung einer Präsentationsform ist weiter durch die verfügbare Datenübertragungsrate begrenzt. Von herausragender Bedeutung ist hier wiederum die Sicherheit vertraulicher Daten. Üblicherweise wird für den Aufbau eines Kommunikationszentrums derzeit ISDN als Übertragungsmedium mit mindestens zwei B-Kanälen eingesetzt. Die Beschaffung von Telefonverbindungen und Netzwerkzugängen hat sich in der Praxis

häufig als zeitkritischer Prozeß herausgestellt und hat daher bei der Planungsvorbereitung Priorität. Zur Datensicherheit sind auch hier Kryptoboxen einsetzbar.

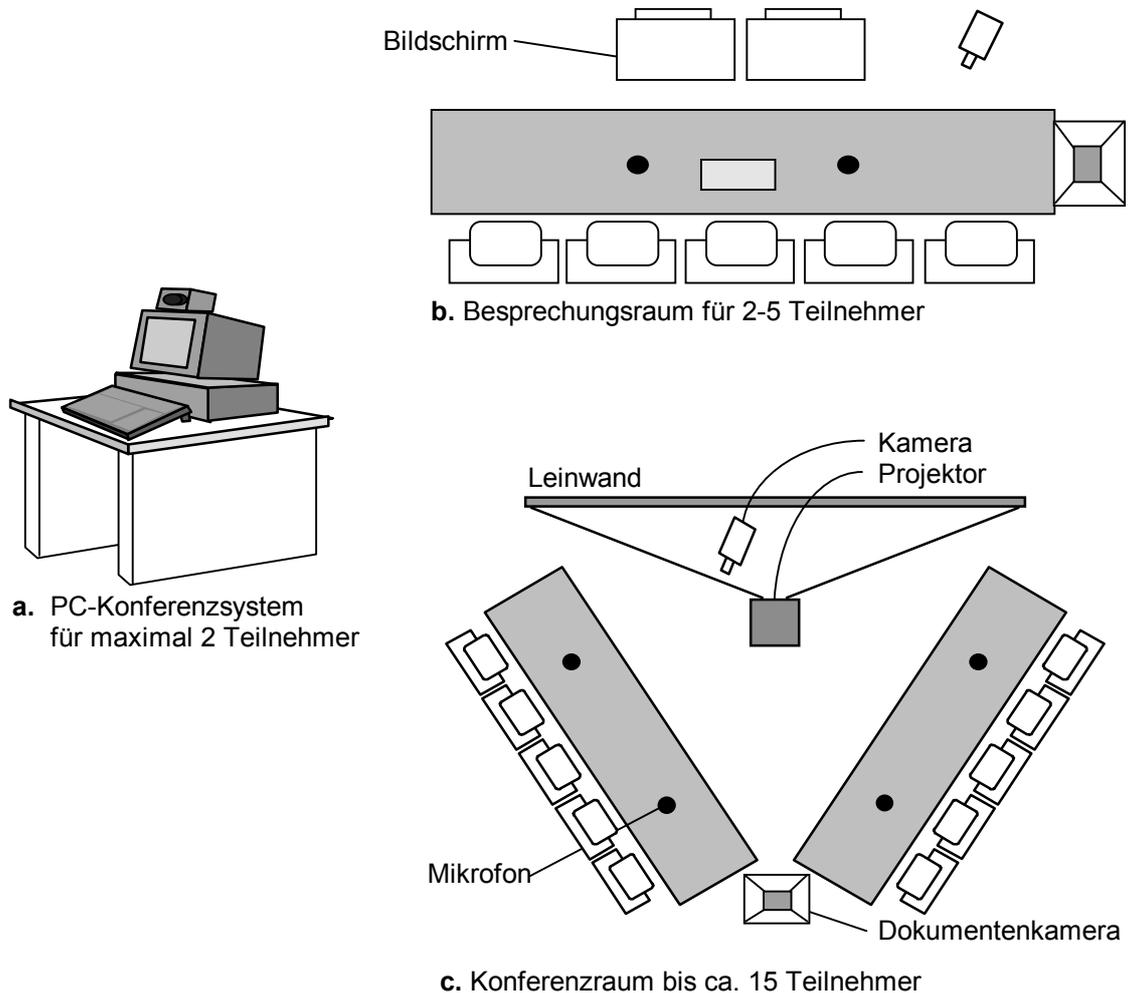


Bild 4-6: Aufbau von Videokonferenzräumen für unterschiedliche Teilnehmerzahlen

Eine spontane Videokonferenz mit maximal zwei Teilnehmern je Endgerät läßt sich mittels PC-Konferenzsystemen umsetzen (Bild 4-6a). Sie ist direkt am Arbeitsplatz über den Computer durchführbar, ermöglicht Anwendungsverteilungen und verfügt über eine elektronische Notizbuchfunktion. Allerdings ist das Videobild aufgrund der begrenzten Übertragungsrate auf etwa 12x8cm begrenzt. Zur optimalen Ausnutzung der Übertragungsrate wird bei Videokonferenzsystemen das Gesamtbild üblicherweise nur einmal am Anfang übertragen. Danach werden nur noch Veränderungen in dem zu übertragenden Videobild übermittelt. Daher ist speziell bei PC-Konferenzsystemen, die nur mit zwei B-Kanälen arbeiten, darauf zu achten, daß der Bildhintergrund unbewegt ist. Der Aufbau dieser Konferenzform entspricht einer Arbeitssitzung.

Für Besprechungen und Präsentationen mit mehr als zwei Teilnehmern sollte ein Besprechungsraum mit einem Raumvideokonferenzsystem ausgestattet werden. Diese Systeme lassen sich mit mehr als zwei B-Kanälen betreiben. Durch die erhöhte Übertragungsrate vergrößert sich das Videobild und die Bildqualität. Bei der Raumgestaltung ist bis maximal fünf Teilnehmern je Seite eine gestreckte Sitzordnung sinnvoll (Bild 4-6b). Bei mehr Teilnehmern sind die Bildschirme vom Tischrand aus nur schwer einsehbar. Hierfür hat sich eine V-förmige Anordnung von zwei Tischen bewährt (Bild 4-6c). Dann sollte jedoch zur Darstellung des Videobilds auf eine Leinwandprojektion übergegangen werden. Kollaborationssysteme und Anwendungsverteilungssysteme lassen sich aufgrund der großen Teilnehmerzahl nur noch zu Demonstrations- und Präsentationszwecken einsetzen. Diese Raumausstattung entspricht der Umsetzung einer verteilten Informationspräsentation und gegebenenfalls auch einer verteilten Entscheidungspräsentation.

5 Gestaltung eines Kooperationsmediums für die frühe Phase

5.1 Bedeutung des Packages für die Kooperation innerhalb der Prozeßkette und Anforderungen an ein Kooperationsmedium

Für die erfolgreiche Einführung interdisziplinärer Konzeptteams in den parallelisierten Produktentstehungsprozeß ist die Sicherstellung der Kooperation zwischen allen Teammitgliedern und den Prozeßkettenpartnern notwendige Voraussetzung. Im sequentiellen Produktentstehungsprozeß hat sich speziell der Informationsaustausch zwischen Design und Package immer wieder als Schwachstelle herausgestellt. Dies beruht unter anderem darauf, daß der Designprozeß bislang in wesentlichen Teilprozessen analog ablief, physische Modelle als Arbeits- und Präsentationsmedium eingesetzt wurden und daß daher der Abgleich von digitalen Packagedaten mit physischen Designmodellen problematisch war. Mit der Entwicklung des durchgängig rechnerunterstützten, modularen Designprozesses in dieser Arbeit sind die prozeßtechnischen Voraussetzungen geschaffen, daß in der Produktentstehung während des gesamten Prozeßablaufs durchgängig digitale Designdaten zur Verfügung stehen, die mit den ebenfalls digital vorliegenden Packagedaten abgleichbar sind. Ein weiteres Problem besteht in der unterschiedlichen Sprache bzw. Sichtweise der Fachbereiche auf die Thematik, hervorgerufen durch unterschiedliche Ausbildungen und Mentalitäten von Ingenieuren und Designern.

In der bereichsübergreifenden Kooperation innerhalb der Prozeßkette kommt dem Package eine zentrale Bedeutung zu, da mit der Definition der Fahrzeugtopologie der Projektzielkatalog geometrisch-technisch interpretiert wird und damit auch alle wesentlichen geometrischen Schnittstellen festgelegt sind. Im Kern dieses Prozesses steht das Zusammenspiel von Package und Design, bei dem die Gestaltung der Designaußenhaut die Packageerstellung direkt beeinflusst und umgekehrt. Neben dem Design mit seiner geometrisch-ästhetischen Interpretation des Projektzielkatalogs nehmen aber auch alle weiteren Fachbereiche das Package für ihre Teilprozesse zum Ausgangspunkt ihrer internen Planung und geben dabei zusätzlichen Input für die Packageerstellung. Damit wird ein Geflecht gegenseitiger Beeinflussungen und Abhängigkeiten skizziert, in dessen Mittelpunkt das Package steht (Bild 5-1).

Ziel ist somit die Entwicklung eines neutralen Kooperationsmediums, das allen Fachbereichen Zugang zum Package gibt, die jeweiligen spezifischen Sichtweisen und Bedürfnisse berücksichtigt und gleichzeitig die Grundlage zur Diskussion und Kooperation auf Basis des Packages bildet. Das Konzept eines Kooperationsmedi-

ums für die frühe Phase folgt den generellen Anforderungen an den parallelisierten Produktentstehungsprozeß.

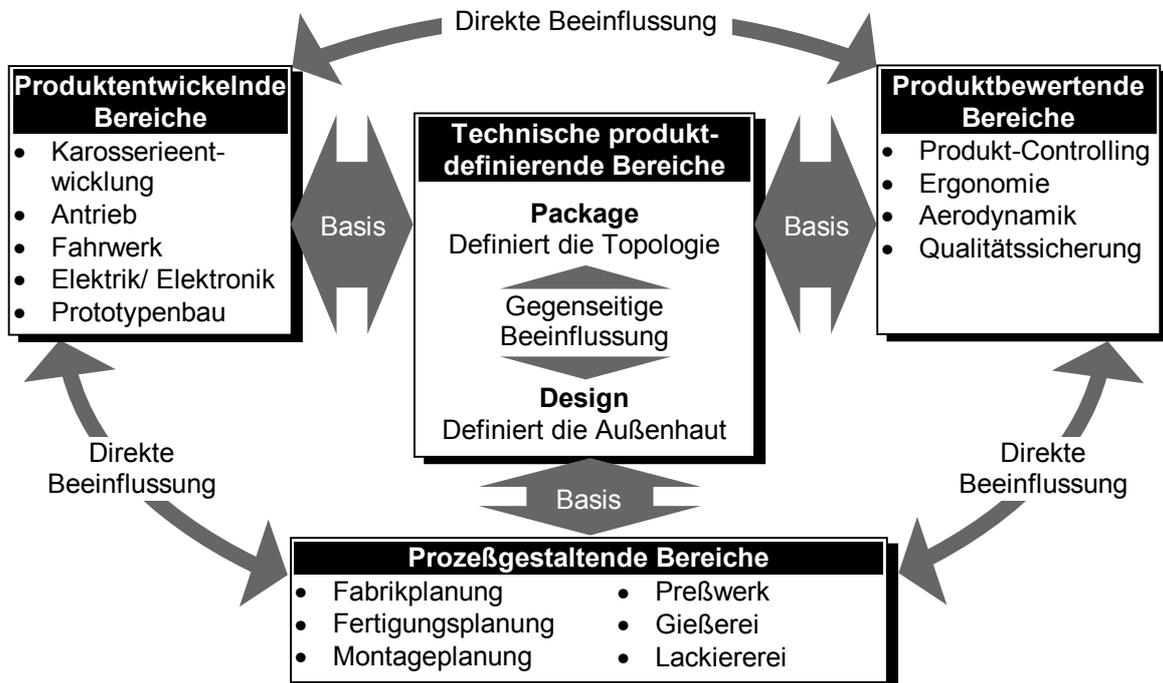


Bild 5-1: Zentrale Bedeutung von Design und Package innerhalb des Produktentstehungsprozesses

Folgende spezifischen Anforderungen sind weiter zu erfüllen:

- Das Package hat der Prozeßkette durchgängig als dreidimensionales Datenmodell zur Verfügung zu stehen.
- Das Kooperationsmedium muß das in dieser Arbeit entwickelte Reifestufenkonzept umsetzen, das die Kooperation von Design und Package zu jedem Zeitpunkt des Produktentstehungsprozesses eindeutig definiert.
- Der Abgleich zwischen digitalen, geometrisch-ästhetischen Designmodellen und geometrisch-technischen Packagemodellen ist zu vereinfachen.
- Es ist dem Umstand Rechnung zu tragen, daß (bei einigen Unternehmen) für das Design in der Phase der Designfindung die Proportionsfindung und nicht die Packagekonformität im Vordergrund steht.
- Dem Designer sind zu jedem Zeitpunkt der CAS-Modellierung die für den Designprozeß relevanten Packagedaten zugänglich zu machen.
- Das Medium muß als Managementwerkzeug verwendbar sein und einen schnellen Überblick über die Packagekonformität eines Designmodells bieten.
- Informationen zur Packagekonformität eines Designmodells sind (soweit vorhanden) einem kennzahlenbasierten Bewertungssystem zur Projektüberwachung zur Verfügung zu stellen.

5.2 Entwicklung der Grundlagen des Kooperationsmediums

5.2.1 Herleitung des Designgestaltungsraums

Das in Abschnitt 3.3.3 vorgestellte Reifestufenkonzept ist auf alle Teilprozesse der parallelisierten Produktentstehung anwendbar. Im Rahmen dieser Arbeit wird es auf die in der Produktdefinitionsphase maßgeblichen Teilprozesse Design- und Packageerstellung angewendet. Damit endet der Betrachtungszeitraum für das Reifestufenkonzept mit dem Design- und Packagefreeze, da danach definitionsgemäß kein wesentlicher Zuwachs der Datenreife für diese Teilprozesse mehr erfolgt.

Die Hauptaufgaben des Abstimmungsprozesses zwischen Design und Package bestehen einerseits in der Einhaltung aller geometrischen Grundgrößen des Fahrzeugs durch das Design und andererseits in der kollisionsfreien Anordnung aller Fahrzeugkomponenten innerhalb der vom Design definierten Außenhaut durch das Package. Für den Umgang mit unreifen Daten läßt sich ein Gestaltungsraum beschreiben, dessen räumliche Ausprägung das Package vorgibt. Nimmt man die nulldimensionalen Grenzpunkte und die eindimensionalen Grenzlinien des Packages (beide im folgenden Packagemaße) als Basis und verbindet sie, dann spannen sie eine grobe, flächenhafte Fahrzeugaußenhaut auf. Die dieser Außenhautbeschreibung zugrundeliegenden Packagemaße lassen sich orthogonal zu dieser rudimentären Außenhaut um eine individuell definierbare Bandbreite erweitern. Die Endpunkte bzw. Endlinien dieser Bandbreite als neuerliche Basis begreifend, läßt sich nun um die bereits erstellte grobe Außenhaut eine imaginäre, volumenhafte Beschreibung des Packages definieren. Dies ergibt für das Design einen verbindlichen Gestaltungsraum für die Formgebung und Gestaltung (Bild 5-2) /129/. Da der Designer zur Flächengestaltung weitgehend stetige Freiformflächen verwendet, sind partielle Austritte der Designfläche aus diesem Gestaltungsraum außerhalb des Bereichs der definierten Packagemaße nicht zu erwarten. In strittigen Bereichen ist gegebenenfalls die Anzahl bzw. die Dichte der Packagemaße zu erhöhen. Somit ist eine vollständige, volumenhafte, eindeutige Definition des Gestaltungsraums für die Bereiche zwischen den Packagemaßen nicht notwendig.

Der fachbereichsübergreifende Definitionsprozeß der Bandbreiten für jedes Packagemaß beschreibt die erste Reifestufe. Mit einer weiten Definition der Bandbreite ergibt sich für das Design ein hoher Gestaltungsspielraum für die Phase der Designfindung, in der die Findung von Designthemen und Proportion und nicht die Packagekonformität im Vordergrund steht.

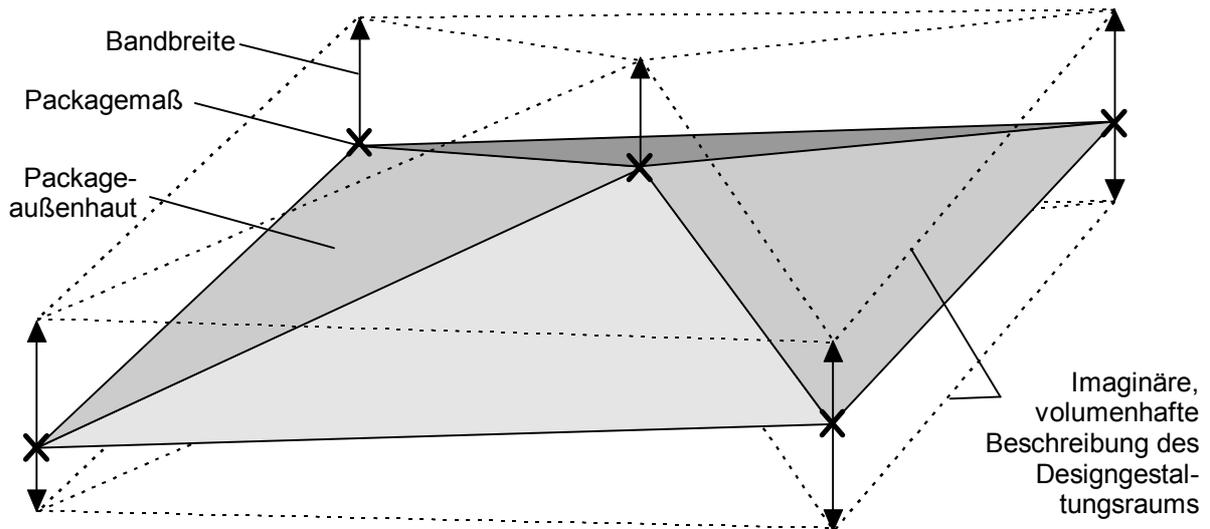


Bild 5-2: Aufspannen des Designgestaltungsraums

Das Reifestufenkonzept fordert beim Erreichen jeder Reifestufe eine Spezifizierung der Anforderungen für die nachfolgende Stufe. Die Adaption auf den Designgestaltungsraum bedeutet, daß sich die Bandbreite eines jeden Packagemaßes mit jeder Reifestufe verkleinert und so der Gestaltungsraum stufenweise gegen Null konvergiert (Bild 5-3). Dieser Reduktionsprozeß erlaubt eine Definitionserweiterung des Begriffs Design- bzw. Packagefreeze. Demnach bedeutet Designfreeze die Reduktion des Gestaltungsraums für das Design auf Null.

Bei der Festlegung des Gestaltungsraums wird das Package für die erste Reifestufe zunächst als konstant angenommen. Da die Fahrzeugtopologie zu Prozeßbeginn aber nicht exakt prognostiziert werden kann, unterliegt auch das Package bis zum Packagefreeze mehreren Änderungsschleifen, zumal sich das erste Grobpackage üblicherweise an Vorgänger- oder Vergleichsmodellen orientiert. Da für die Packagerstellung aber in der Regel übertragbare Erfahrungswerte vorhanden sind, ergibt sich im Vergleich zum Design ein signifikant geringeres Änderungspotential. Im übrigen können Packageänderungen von allen an der Produktentstehung partizipierenden Fachbereichen veranlaßt werden. Änderungen beeinflussen den Gestaltungsraum durch Verlagerung der Packagemaße oder Veränderung der Gestaltungsbandbreite. Wird das Package für die Definition des Gestaltungsraums als prozeßbestimmender Parameter angenommen, dann ist die Designaußenhaut bei Packageänderungen gegebenenfalls nachzuführen.

Die stufenweise Reduktion des Gestaltungsraums erfolgt für jedes Packagemaß individuell in definierbaren Schritten. Der ästhetisch-gestaltende Designprozeß erstellt

mit der Außenhaut kein objektives Gestaltungsoptimum, sondern eine subjektive ästhetische Präferenz. Da Designänderungen nicht zwangsläufig in kleinen Schritten gegen ein Optimum konvergieren, sondern sich durchaus auch in großen Gestaltänderungen vollziehen, kann der Designgestaltungsraum nicht sinnvoll automatisch reduziert werden. Grundsätzlich orientiert sich der reduzierte Gestaltungsraum an der Designaußenhaut. Um etwaige Designsprünge zu berücksichtigen, ist aber die Lage der reduzierten Bandbreite für die nächste Reifestufe innerhalb des Gestaltungsraums der vorhergehenden Reifestufe im Dialog zwischen Design und Package interaktiv festzulegen.

Der Gestaltungsraum bildet die Datenbasis für die weitere Prozeßkette, so beispielsweise für die Entwicklung und Detaillierung der Fahrzeugunterstruktur und für die Fertigungsmittelkonstruktion. Ziel des Reifestufenkonzepts ist, in definierten Schritten, beginnend mit den wesentlichen geometrischen Merkmalen eines Fahrzeugkonzepts wie den Hauptabmaßen oder der Personenzahl in immer stärkerer Detaillierung Festlegungen zu treffen, die den teilweise gegenläufigen Anforderungen aller Teilprozesse in der Produktentstehung gerecht werden. Weiter ist der Änderungsspielraum für diese Festlegungen gesteuert in Stufen zu reduzieren und damit der Designgestaltungsraum in definierten Schritten auf Null zu reduzieren.

5.2.2 Geometrische Ausprägungen von Packagemaßen

Packagemaße weisen unterschiedliche geometrische Formen und Ausprägungen auf. Das genotypische Hauptdifferenzierungsmerkmal besteht in der geometrischen Dimension. Zu unterscheiden sind Maße, die genotypisch nulldimensionale (Punkte) oder eindimensionale (Linie, Strahl) Ausprägungen aufweisen sowie Bauteile, die eine dreidimensionale Ausprägung besitzen. Zweidimensionale Packagemaße, also flächenhafte Beschreibungen von Gestaltungsrestriktionen, sind für den Prozeß der Packageerstellung in der Automobilindustrie derzeit nicht üblich. Sie werden in der Praxis prozeß- und informationstechnisch nicht unterstützt. Dies liegt unter anderem daran, daß zweidimensionale Packagemaße in ihrer geometrischen Form stark von der konkreten Designaußenhaut abhängen (Freiformflächen), diese aber bei Packageerstellung noch nicht eindeutig beschrieben ist. Somit werden zweidimensionale Anforderungen nur textuell beschrieben (z.B. Mindestgröße der Bremsleuchte in mm^2).

Phänotypisch können die geometrischen Maße drei variierende Ausprägungen annehmen. *Exakte* Maße sind immer eindeutig definiert und daher exakt einzuhalten.

Sie sind in ihrer phänotypischen Ausprägung zeitlich konstant (Bild 5-3, Punkt ②). So steht z.B. die Gesamtlänge eines Fahrzeugs schon zu Prozeßbeginn fest und ist nicht diskutabel. *Begrenzte* Maße weisen sowohl ein Minimum als auch ein Maximum auf. Die Designaußenhaut kann jeden beliebigen Wert zwischen diesen Extrema einnehmen (Bild 5-3, Punkt ③). Beispielsweise kann am Vorderwagen der Bereich zwischen der Oberkante des Motorblocks und dem 4^o-Sichtstrahl für die ästhetische Gestaltung zunächst freigegeben und dann schrittweise reduziert werden. *Offene* Maße weisen entweder ein Minimum oder ein Maximum auf (Bild 5-3, Punkt ⑤) und sind in der entgegengesetzten Richtung unbegrenzt. So muß etwa für das Dach eine Mindesthöhe angegeben werden, um die Kopffreiheit im Innenraum zu garantieren. Eine Maximalhöhe kann aber zunächst bewußt offen gelassen werden.

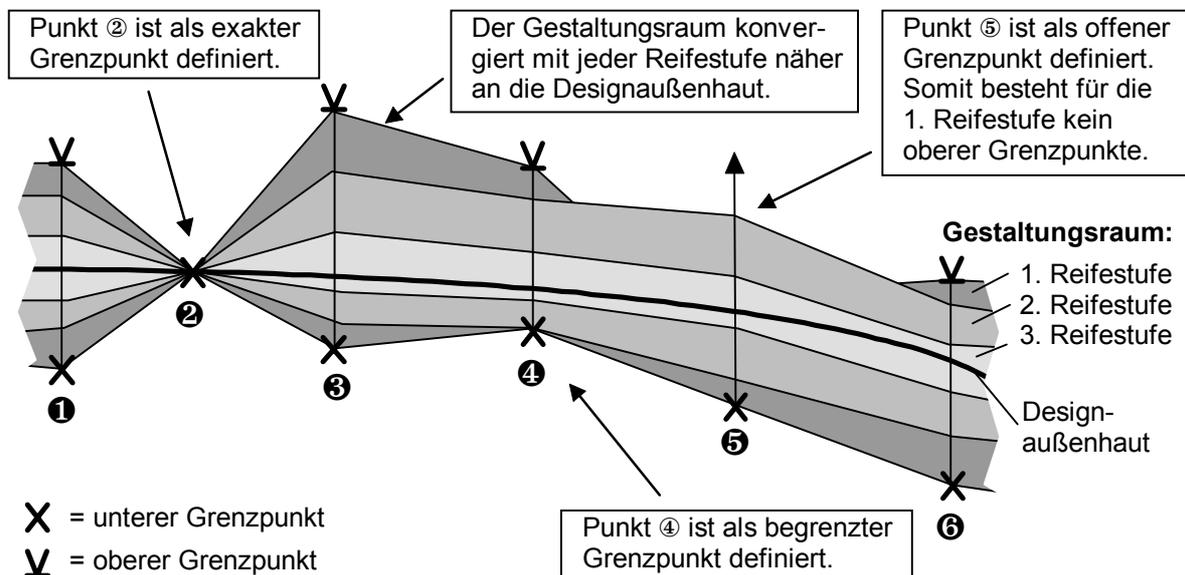


Bild 5-3: Schematische, zweidimensionale Darstellung des Reduktionsmechanismus des Designgestaltungsraums

Aufgrund der bereits erwähnten Anwendung weitgehend stetiger Flächen bei der Außenhautgestaltung durch den Designer sind von den Inkonsistenzen im Gestaltungsraum, die durch die Verwendung offener und exakter Packagemaße hervorgerufen werden, in der Praxis keine Probleme wie etwa große lokale Auswölbungen der Designflächen zu erwarten.

Bauteile haben üblicherweise den Phänotyp exakt und sind damit zeitlich in ihrer geometrischen Ausprägung konstant. Die Definition begrenzter dreidimensionaler Packagemaße erscheint nur dann sinnvoll, wenn bei der Entwicklung eines Bauteils eine zumindest teilweise flexible Außenhaut angenommen werden kann, wie dies beispielsweise bei Flüssigkeitstanks vorkommt. Der Phänotyp offen ist für Bauteile nicht sinnvoll darzustellen.

5.2.3 Festlegung des Reduktionsmechanismus

Der Reduktionsmechanismus dient dazu, den Gestaltungsraum in definierten Schritten auf Null zu reduzieren. Daher ist er nur für Packagemaße mit den Phänotypen offen und begrenzt von Bedeutung. Bei null- und eindimensionalen Packagemaßen erhöht sich mit der Zuordnung der Extrema die geometrische Dimension temporär um eins. Damit erscheint ein nulldimensionales Packagemaß als Linie und ein eindimensionales Maß als Fläche. Dieser Vorgang ist Voraussetzung zum Aufspannen des Gestaltungsraums. Mit dem Erreichen einer Reifestufe reduziert sich die Ausdehnung des Gestaltungsraums. In beliebig vielen Stufen läßt sich der Designgestaltungsraum auf Null reduzieren und damit die geometrische Dimension der Packagemaße formal wieder auf ihre ursprüngliche Ausprägung reduzieren. Bei einer Anwendung auf dreidimensionale Packagemaße erfolgt logischerweise keine Dimensionserhöhung, sondern lediglich eine temporäre Vergrößerung des Bauteilvolumens.

Einem begrenzten Packagemaß werden schon für die erste Reifestufe zwei definierte Extrema zugeordnet. Offene Maße zeichnen sich dadurch aus, daß in der ersten Reifestufe lediglich ein Extremum definiert ist, das Packagemaß in der entgegengesetzten Richtung aber als unendlich definiert ist. Mit der Festlegung der zweiten Reifestufe wird dem bis dato als unendlich definierten Extremum auch ein reeller Wert zugeordnet. Dies ist erforderlich, um bei der letzten Reifestufe eine Reduktion des Geltungsbereichs von unendlich auf Null zu verhindern. Außerdem schafft die Festlegung eines vollständig reell definierten Designgestaltungsraums für die Prozeßkettenpartner, insbesondere Konstruktion und Fertigungsmittelkonstruktion, eine fundiertere und quasi eindeutig beschriebene Planungsbasis. Damit mutiert ein offenes Packagemaß mit der Festlegung der zweiten Reifestufe zu einem begrenzten Maß.

Für den Wert „unendlich“ eines offenen Packagemaßes ist die Festlegung des Werts für die zweite Reifestufe manuell durchzuführen. Der Gestaltungsbereich sollte sich hierbei an den Festlegungen der benachbarten, begrenzten Packagemaße orientieren, um der Prozeßkette planbare und berechenbare Informationen zu übergeben. Dies ist sinnvollerweise in Absprache mit den Datenempfängern durchzuführen. Im Rahmen einer praktikablen Implementierungsstrategie für den Gestaltungsraum kann hierfür die maximal im gesamten Designgestaltungsraum festgelegte Bandbreite angenommen werden.

5.2.4 Diskussion eines Konzepts zur informationstechnischen Umsetzung des Designgestaltungsraums

Ziel einer informationstechnischen Umsetzung ist der Einsatz des Designgestaltungsraums im Rahmen der Prozeßkette. Dies ist grundsätzlich mit Hilfe einer prozeduralen Programmiersprache realisierbar. Hierbei werden die einzelnen Elemente des Designgestaltungsraums als Programmfunktionen aufgefaßt und in der Programmstruktur als jeweils eigene Unterprogramme fest definiert. Eine Erweiterung dieses Programms ist möglich. Allerdings ergibt sich mit einer prozeduralen Programmiersprache bei der hier gegebenen Aufgabenstellung eine unübersichtliche Programmstruktur, die nur schwer von dritten nachvollziehbar und erweiterbar ist.

Eine weitere Ansatz besteht in der Verwendung einer objektorientierten Programmiersprache wie beispielsweise C⁺⁺. Diese erlaubt die Definition von Klassen und Unterklassen. Das Klassensystem weist dabei eine Baumstruktur auf. Eigenschaften einer übergeordneten Klasse werden der untergeordneten Klasse vererbt. Eine untergeordnete Klasse kann aber auch eigene, spezifische Eigenschaften aufweisen, die in der Elternklasse nicht vorkommen. Im Quellcode werden nun Klassen bzw. Objekte entsprechend der Vererbungslehre definiert. Diese Objekte werden aufgerufen und/ oder manipuliert, wobei ein Objekt sich wiederum selbst oder aber andere Objekte aufrufen kann. Eine objektorientierte Programmstruktur ist offen und vereinfacht eine spätere Programmerweiterung durch Verwendung oder Änderung vorhandener Klassen bzw. Definition neuer Klassen.

Somit ist die Umsetzung des durchgängig beschriebenen Designgestaltungsraums mit Hilfe einer objektorientierten Programmstruktur sinnvoll. Eine Strukturierung ergibt sich dabei durch die genotypische Ausprägung der Packagemaße, wobei das nulldimensionale Packagemaß den einfachsten Anwendungsfall darstellt. Ein eindimensionales Packagemaß läßt sich erstellen, indem eine NURBS-Kurve mit beliebig vielen Kontrollpunkten definiert wird. Jeder dieser Kontrollpunkte kann dabei als nulldimensionales Packagemaß betrachtet werden, dem eine Bandbreite zugeordnet wird. Die jeweiligen Endpunkte der Gestaltungsbandbreite bilden dann wieder die Kontrollpunkte für eine begrenzende NURBS-Kurve, die den Designgestaltungsraum aufspannt.

Dreidimensionale Packagemaße lassen sich auf verschiedene Arten umsetzen. Für einfache Quader oder Zylinder können die Schwerpunkte der Bauteilaußenflächen als nulldimensionale Basis für die zuzuordnende Bandbreite herangezogen werden.

Hierauf läßt sich dann der Mechanismus eines nulldimensionalen Packagemaßes anwenden. Das Extremum bildet den Schwerpunkt für eine parallel verschobene Kopie der Außenfläche, das die imaginäre Begrenzung des dreidimensionalen Packagemaßes darstellt. Bei komplexeren dreidimensionalen Packagemaßen lassen sich die Flächen analog einer Boundary Representation in ihre begrenzenden NURBS-Kurven zerlegen. Jede dieser NURBS-Kurven ist dann als eigenständiges eindimensionales Packagemaß zu betrachten, das sich wiederum wie beschrieben aus nulldimensionalen Packagemaßen zusammensetzt (vergleiche Bild 5-6d).

Durch die Vererbung muß der Reduktionsmechanismus nur einmal für ein nulldimensionales Packagemaß definiert werden und gilt dann für alle Packagemaße gleichermaßen. Eine Änderung im Reduktionsmechanismus bei nulldimensionalen Packagemaßen wirkt sich dann entsprechend auf alle Maße gleichermaßen aus. Die Packagekonformität wird von einer Programmfunktion überwacht. Sie überprüft, ob sich eine Designaußenhaut im Bereich eines Packagemaßes innerhalb des Gestaltungsraums befindet.

Die phänotypische Ausprägung der Packagemaße wird standardmäßig als begrenzt definiert. Für ein exaktes Merkmal wird die Bandbreite auf Null gesetzt. Allerdings ist die Flächendefinition in handelsüblichen CAx-Systemen aufgrund des Sehnenfehlers nicht in jedem Punkt exakt bestimmbar. Daher muß der Wert Null in der Praxis durch einen Wert substituiert werden, der der programminternen Toleranz bei der Flächenerstellung entspricht. Sonst besteht die Gefahr, daß die Analysefunktion das Schneiden einer Designfläche durch ein exaktes Packagemaß nicht richtig erkennt. Bei offenen Maßen wird einem Extremum ein reeller Wert zugeordnet. Das andere Extremum erhält den Wert „unendlich“. Zur Vereinfachung des Programmieraufwands läßt sich der Wert „unendlich“ durch einen sehr großen bzw. sehr kleinen Wert substituieren.

Der hier beschriebene objektorientierte Ansatz zur systemtechnischen Umsetzung des Designgestaltungsraums erfüllt die Forderung nach einem Kooperationsmedium, das die Diskussion der geometrischen Gesichtspunkte des Packages und der Designaußenhaut ermöglicht. Eine Nutzung dieses Datenmodells in der weiteren Prozeßkette ist jedoch dadurch eingeschränkt, daß den geometrischen Packagedaten in diesem Ansatz keine weitere Semantik zugeordnet werden können. So ist die weitere Nutzung der Daten beispielsweise in einer Ergonomie- oder Crashsimulation nicht möglich. Ein Lösungsansatz ergibt sich mit der Definition der Packagemaße als sogenannte *Packagefeatures*.

5.3 Entwicklung einer Featureunterstützung für den Designgestaltungsraum

5.3.1 Diskussion von Features und ihre Darstellung in PDGL

Der Begriff *Feature* stammt aus dem Englischen und läßt sich mit Merkmal, Kennzeichen oder Charakteristikum übersetzen /137/. Im Rahmen des Maschinenbaus existieren zahlreiche Definitionen, die auf ein grundlegend unterschiedliches Verständnis von Features hindeuten. WEBER ET AL. stellen hierzu verschiedene Ansätze gegenüber /138/. In dieser Arbeit beschreibt der Begriff Feature ein zweiteiliges Konstrukt:

Feature := Formfeature v Semantik

und definiert sich als Formfeature und/ oder einer assoziierten Semantik /139/. Dabei beschreibt das Formfeature eine strukturorientierte Gruppierung geometrischer Elemente /140/. In der Semantik werden alle Informationen zusammengefaßt, die nicht geometriebeschreibenden oder -generierenden Charakter besitzen /141/. Hierbei lassen sich Datenattribute, die statische Informationen darstellen, Regeln und Methoden, die das Verhalten des Features bestimmen, und Relationen zur Bestimmung von Zusammenhängen zwischen verschiedenen semantischen Features unterscheiden /1/. Weiter kann die Semantik konstruktions-, technologie-, funktions-, fertigungs-, montage- und qualitätsorientiert sein /142/. Dem Semantikeil lassen sich unter anderem auch Multimediadaten zuordnen /143/. Beispielhaft für Regeln und Methoden, die das Verhalten des Features bestimmen, ist die Simulation des Alterungsprozesses von Bauteilen, bei der die erforderlichen Informationen in der Featuresemantik hinterlegt sind /144/. Zur Optimierung der Projektdokumentation und zur Verbesserung des Wissenstransfers von einem Projekt auf ein nachfolgendes, lassen sich entwicklungsbegleitend Wissensfeatures beschreiben, die der Erfahrungswertung dienen /45/.

Eine den Features verwandte Technologie stellen sogenannte *Gadgets* dar. Ein Gadget ist ein Element einer Konstruktion, das durch auftretende Ereignisse ihm zugeordnete Programme auslösen kann. Ereignisse können äußere Ergebnisse wie Benutzeraktionen oder innere Ereignisse wie Modelländerungen sein /145/. Punkte, Linien oder geometrische Körper können demnach Gadgets sein, wenn ihnen eine Funktion zugeordnet wird und sie dadurch auf das Eintreten bestimmter Ereignisse mit einer festgelegten Aktion reagieren /146/. Dabei ist das Gadget bei seiner Anwendung in einem Produktmodell ein selbständiges und zu jedem Zeitpunkt identifi-

zierbares Objekt. Dies unterscheidet Gadget und Feature vom Makro, bei dem die Semantik nach seiner Anwendung verloren geht. Zieht man eine Analogie zu der Featuretechnologie, dann beschreibt entsprechend der in dieser Arbeit angewendeten Featuredefinition die vorgegebene Geometrie eines Gadgets ein Formfeature. Die festgelegte Aktion übernimmt die Funktion einer Featuresemantik. Folglich ist jedes Gadget ein Feature, aufgrund der Notwendigkeit einer dem Gadget zugeordneten Geometrie ist ein Feature aber nicht zwangsläufig ein Gadget.

Im Rahmen des ESPRIT II-Projekts No. 2165 (IMPPACT) wurde am Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF) der Technischen Universität Berlin die schematisierte Featurebeschreibungssprache Part Design Graph Language (PDGL) entwickelt /142/. Die Syntax von PDGL basiert auf der bestehenden Programmiersprache EXPRESS /147/. Ziel war, eine allgemeingültige, in verschiedenste Applikationen implementierbare, interpreterbasierte Featurebeschreibungssprache zu entwickeln. PDGL ist ASCII-basiert, für Erweiterungen offen und läßt sich an neue Funktionalitäten anpassen. PDGL ist objektorientiert und ermöglicht die Vererbung von Eigenschaften. Damit können Klassen definiert und Features aus Subfeatures aufgebaut werden.

Features werden in PDGL in Schemata dargestellt. Diese unterteilen sich in zwei Bereiche. Der Entity-Teil enthält die Spezifikation eines Featureobjekts. Im Funktionsblock sind prozedurale Anweisungen für den Aufbau der rechnerinternen Repräsentation des Features abgelegt. Eine detaillierte Beschreibung findet sich in /142/. Für eine einfache Implementierung von PDGL in Anwendungen und den Aufbau von PDGL-Interpretern ist eine Darstellung in der Backus-Naur-Form sinnvoll, mit der in der Informatik die Grammatik von Programmiersprachen in standardisierter, symbolischer Form dargestellt werden kann /148/. Diese wird von der Literatur bislang nicht geliefert. Im Anhang findet sich eine Darstellung von PDGL in der Backus-Naur-Form.

5.3.2 Untersuchung des Ansatzes der virtuellen Räume

Der Ansatz der *virtuellen Räume* wird von KRAMER beschrieben /149/. Er ermöglicht die geometrische Darstellung funktional-technologischer Produkteigenschaften und erweitert somit den Anteil der rechnerintern repräsentierbaren, produktbezogenen Informationen im zugrundeliegenden Produktmodell. Ein virtueller Raum repräsentiert dabei Anforderungen von Teilbereichen eines Produkts an seine Umgebung, die notwendig sind, um die funktional-technologischen Eigenschaften zu erfüllen. Er

setzt sich aus virtuellen Geometrien und Funktionen sowie aus Bedingungen an diese zusammen. Weiter kann ein virtueller Raum Beziehungen und Bedingungen zu anderen virtuellen Räumen innerhalb des Produktmodells aufweisen. Virtuelle Räume lassen sich in drei Gruppen systematisieren:

1. Kontrolle von Produkteigenschaften innerhalb eines Festkörpers im Bauteil wie beispielsweise die Überprüfung der notwendigen Materialdicke um ein Gewindeloch,
2. Kontrolle von Rahmenbedingungen zu Produkteigenschaften in der festkörperleeren Umgebung eines Bauteils, wie beispielsweise die Beschreibung und Kontrolle des Einhaltens eines Montageraums und
3. Kontrolle eines definierten Übergangs vom Festkörper in die festkörperlose Umgebung, wie beispielsweise die Beschreibung und Kontrolle einer Formtoleranz (Bild 5-4). /149/

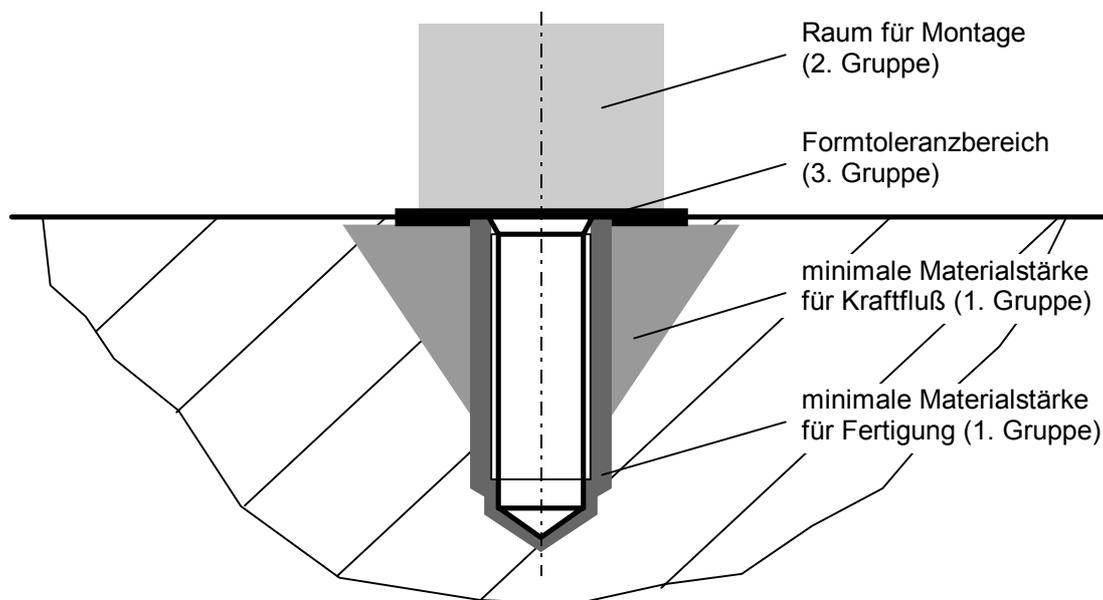


Bild 5-4: Virtuelle Räume am Beispiel einer Sacklochbohrung mit Gewinde /149/

Virtuelle Räume eröffnen breite Einsatzmöglichkeiten. So können beispielsweise mit einem erweiterten Konstruktionsfeature für Schraubenverbindungen minimale Materialstärken um das Gewinde überwacht und automatisch nachgefahren werden. Weiter lassen sich Toleranzbereiche definieren, Montage- oder Baugruppenräume darstellen. Ein interessantes Einsatzgebiet ergibt sich auch mit der Definition von Hilfsgeometrien und Bedingungen für die Erleichterung des Einbaus und der Positionierung eines Features im Bauteil. Hierfür lassen sich virtuelle Positionierungsgeometrien definieren, die mit gewählten Bezugsgeometrien am Bauteilmodell zur Dek-

kung gebracht werden müssen. Dabei muß kein räumlicher Zusammenhang zwischen der Bezugsgeometrie und der realen Featuregeometrie bestehen.

Für virtuelle Räume besteht auch eine Umsetzung mittels Featuretechnologie. Somit stehen sie der Prozeßkette als Entwicklungsmedium zur Verfügung. Eine Verifizierung des Ansatzes erfolgte im Featuremodelliersystem FEAMOS (vergleiche Abschnitt 5.5.1). Eine Featurebeschreibung besteht in PDGL, die ebenfalls in /149/ verifiziert wurde.

Mit der Betrachtung nicht real faßbarer, virtueller geometrischer Bereiche im Produktmodell weist der Ansatz der virtuellen Räume eine Analogie zu dem in dieser Arbeit vorgestellten Designgestaltungsraum auf. Allerdings beschreiben die virtuellen Räume nach KRAMER funktional-technologische Anforderungen an das Endprodukt und betrachten dabei nur lokale, zeitunabhängige Phänomene. Die im folgenden beschriebenen Packagefeatures definieren dagegen funktional-geometrische Bereiche des Produkts, deren geometrische Ausprägungen sich im Lauf des Produktentstehungsprozesses entsprechend dem Reifestufenkonzept zeitabhängig ändern. Zudem wird mit Packagefeatures der Bereich der Außenhaut gesamthaft betrachtet.

5.3.3 Entwicklung der Grundlagen für Packagefeatures

Im Rahmen dieses Abschnitts wird die These aufgestellt, daß sich die Packagemaße, die innerhalb des Designgestaltungsraums definiert werden, auch als Features darstellen lassen. Packagefeatures stellen dabei eine spezifische Teilgruppe der Features dar, deren funktional-geometrische Eigenschaften unter anderem durch das Reifestufenkonzept bestimmt werden.

Definitionsgemäß besteht ein Feature aus einem Formfeature und/ oder einer assoziierten Semantik. Im Fall der Packagefeatures repräsentiert das Formfeature die geometrische Ausprägung des Packagemaßes und beschreibt damit dessen Genotypen. Im Unterschied zu den Packagemaßen, bei denen zweidimensionale Ausprägungen aufgrund ihrer direkten Abhängigkeit zur konkreten Designaußenhaut keine Verwendung finden, werden Packagefeatures in dieser Arbeit für alle geometrischen Dimensionen (nulldimensional bis dreidimensional) definiert. Die Abhängigkeit von zweidimensionalen Packagefeatures zur Außenhaut wird dabei als Teil der Featuresemantik verstanden. Bild 5-5 zeigt beispielhaft Anwendungsfälle zu allen geometrischen Ausprägungen. Der Phänotyp eines Packagemaßes repräsentiert in der Umsetzung auf Packagefeatures zwar einen Teil der geometrischen Ausprägung des

Features, variiert aber in Abhängigkeit von der Projektphase und ist damit wesentlicher Bestandteil der assoziierten Semantik.

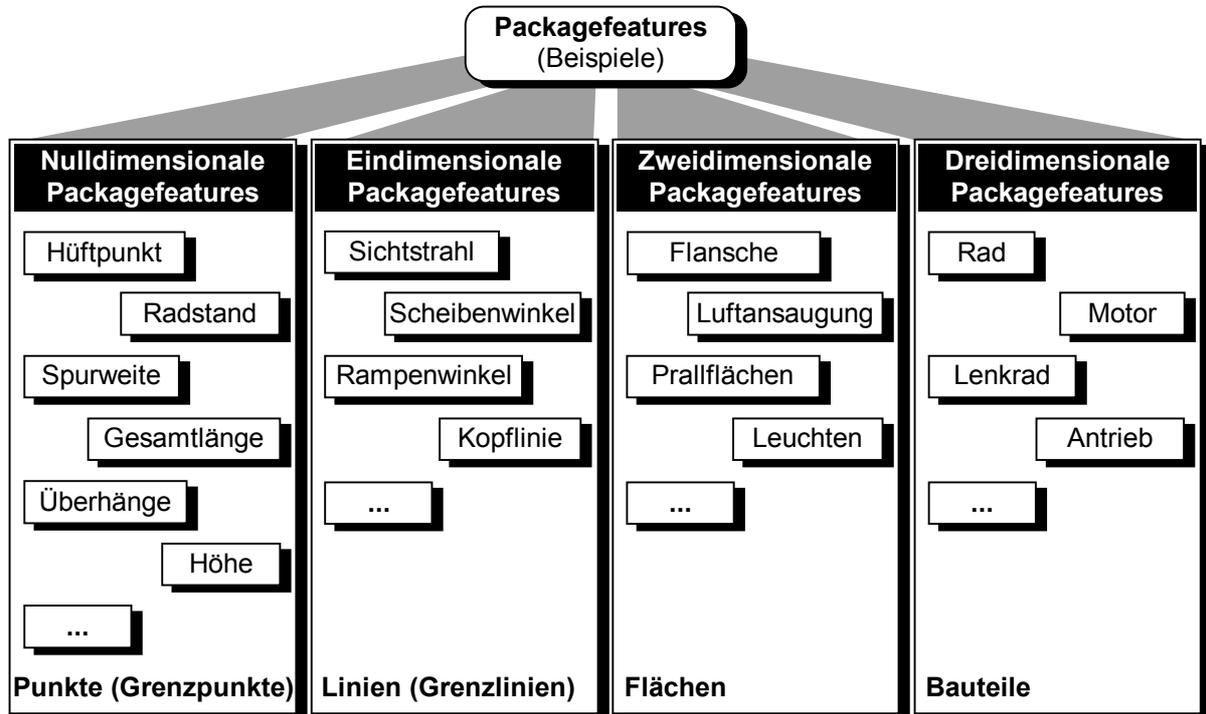


Bild 5-5: Taxonomie der Packagefeatures

In der semantischen Featurebeschreibung lassen sich Regeln und Methoden hinterlegen, die das Verhalten des Features beschreiben. Für Packagefeatures ergibt sich hier eine Zweiteilung. Im ersten Teil, der geometrieorientierten Featuresemantik, wird der Designgestaltungsraum definiert und damit der Reduktionsmechanismus für das Reifestufenkonzept umgesetzt. Darin werden die Anzahl der Reduktionsschritte und die Größe der einzelnen Reduktionsstufen individuell festgelegt. Der Phänotyp eines Packagefeatures variiert in Abhängigkeit von der zugeordneten Bedeutung des Packagefeatures zu Beginn des Projekts. Während des Projektablaufs wandelt sich der Phänotyp immer von offen zu begrenzt und schließlich zu exakt. Wichtigster Gesichtspunkt des Reifestufenkonzepts ist die phasengesteuerte Änderung des Gestaltungsraums und damit auch des Packagefeatures. Im zweiten Teil, der funktionsorientierten semantischen Beschreibung von Packagefeatures, lassen sich objektspezifische Informationen zur weiteren Unterstützung der Prozeßkette hinterlegen. Dies geschieht durch die Zuordnung individueller, prozeß- und projektrelevanter Daten. Beide Semantikteile zusammen ergeben eine funktional-geometrische semantische Featuredefinition.

Ziel der Einführung der Packagefeatures und des Gestaltungsraums ist die Kontrolle der Packagekonformität bei der Modellierung bzw. Bearbeitung der Designaußenhaut. Hierbei ist zu überprüfen, inwieweit die Bedingungen und Anforderungen der einzelnen Packagefeatures eingehalten werden. Bei Verletzung der Packagekonformität muß eine detaillierte Meldung an den Anwender erfolgen, so daß entweder die Außenhaut abgeändert wird oder gegebenenfalls das Package in Absprache mit den Prozeßkettenpartnern korrigiert wird. Hierzu ist ein Änderungsmanagement im Produktentstehungsprozeß zu installieren, damit alle Beteiligten in den Entscheidungsprozeß involviert werden.

Mit der Einführung von Packagefeatures mit ausgeprägter Funktionsorientierung, wie beispielhaft in Bild 5-5 dargestellt, ergeben sich zwei mögliche Varianten zur Gliederung der Features. Dies ist wichtig, da sich aus der Gliederung eine Nomenklatur ableitet. Eine funktionsorientierte Nomenklatur orientiert sich an der Prozeßkettenunterstützung, die im zweiten Teil der semantischen Featurebeschreibung definiert ist. Dies ergibt entsprechend der Funktion eine Systematisierung in Ergonomie-, Konstruktions-, Antriebsfeature etc. Bei dieser funktionsorientierten Gliederung ist jedoch die Zuordnung einzelner Elemente nicht immer eindeutig möglich. So kann ein Schalter aufgrund seines Aufbaus als Elektrik/ Elektronikfeature, aufgrund seiner Bedeutung für den Bedienungskomfort aber auch als Ergonomiefeature definiert werden. Die bislang in dieser Arbeit verwendete Gliederung nach der geometrischen Dimension, also dem Genotypen, führt zu null- bis dreidimensionalen Features. Der Vorteil besteht hierbei in der eindeutigen Zuordnung eines Features zu einer Klasse. Außerdem impliziert diese Nomenklatur einen objektorientierten Lösungsansatz, bei dem der erste Teil der Featuresemantik über Vererbungsmechanismen vereinfacht beschrieben wird.

5.3.4 Festlegung der Ausprägungsformen von Packagefeatures

Nulldimensionale Packagefeatures - Grenzpunkte

Nulldimensionale Packagefeatures setzen punktförmige Packagemaße, sogenannte Grenzpunkte, um. Sie sind in Bild 5-6a inklusive der möglichen Phänotypen dargestellt. Neben Grenzpunkten lassen sich auch Distanzen bzw. Abstände als Grenzpunkte darstellen, wenn zwei korrespondierende, nulldimensionale Packagefeatures eingesetzt werden. Innerhalb der Prozeßkette ist beispielsweise für die Erstellung eines Designmodells irrelevant, welchen Wert der Radstand einnimmt. Wichtig für den Designer bzw. den Formgestalter ist die absolute Lage jedes einzelnen Rads

innerhalb des Fahrzeugkoordinatensystems. Der Radstand ergibt sich implizit durch gegenseitige Referenzierung der beiden Koordinatenwerte. Dieser Wert ist speziell in der Diskussion innerhalb der Prozeßkette wichtig. Einem referenzierten Paar null-dimensionaler Features läßt sich auch eine Toleranz zuordnen.

Beispiele für nulldimensionale Packagefeatures sind Hüftpunkt, Gesamtlänge, Überhänge oder Gesamthöhe. Korrespondierende nulldimensionale Packagefeatures sind beispielsweise Radstand oder Spurweite.

Eindimensionale Packagefeatures - Grenzlinien

Eindimensionale Packagefeatures beschreiben linienförmige Packagemaße, sogenannte Grenzlinien. Hierfür sind drei Definitionsarten zu unterscheiden. Bei der Streckendefinition werden die Endpunkte definiert und mit einer Geraden verbunden. Statt zweier Endpunkte kann eine Festlegung auch über einen Startpunkt und einen Winkel α relativ zu einer Referenzlinie oder -fläche erfolgen. Komplexe Grenzlinien lassen sich mittels NURBS-Kurven beschreiben. Hierzu werden die Endpunkte und gegebenenfalls Kontrollpunkte definiert. Bei allen Liniendefinitionen werden die Kontroll- und Endpunkte der Kurven zum Aufspannen der Bandbreite des Gestaltungsraums herangezogen (Bild 5-6b). Eindimensionale Features können alle Phänotypen annehmen.

Beispielhaft für die Streckendefinition, die sich rein über Endpunkte definiert, ist die Höhenlage der Bremsleuchten. Winkelmaße spielen bei der Packageerstellung eine entscheidende Rolle. Beispiele sind der 4°-Sichtstrahl, der die Sichtverhältnisse einer „Fünf-Perzentil-Frau“ durch die Frontscheibe definiert, die Scheibenfallung, also die Winkellage der Scheiben oder der Rampenwinkel, der ein Fahrzeug vor dem Aufsetzen beim Befahren einer Rampe bewahren soll. Komplexe NURBS-Kurven repräsentieren beispielsweise die Kopflinie, die die Sitzverhältnisse eines Insassen im Fahrzeug darstellt.

Zweidimensionale Packagefeatures

Der Ansatz der Packagefeatures ist auch auf zweidimensionale Objekte, also auf Ebenen und Freiformflächen anwendbar. Drei unterschiedliche Modellierungsansätze für die Erstellung von beschränkten Features sind möglich. Im einfachsten Ansatz wird der Flächenschwerpunkt der zu betrachtenden Fläche bestimmt. Auf das Lot, das die Fläche im Schwerpunkt schneidet, läßt sich die Bandbreite festlegen. Mit der Parallelverschiebung einer Flächenkopie bis zum Endpunkt der Bandbreite ergibt

sich eine imaginäre Begrenzung des Gestaltungsraums. Dieses Verfahren eignet sich vor allem für plane Ebenen.

Die beiden anderen Gestaltungsansätze leiten sich aus der Betrachtung von Freiformflächen ab. Üblicherweise werden bei deren Modellierung zunächst NURBS-Kurven erstellt. Abhängig vom Modelliersystem sind zur Flächenerstellung mindestens zwei Kurven nötig. Für das Aufspannen des Gestaltungsraums lassen sich nun zwei Wege beschreiten. Im linienbasierten Ansatz werden die Kontrollpunkte der NURBS-Kurve als Basis für die Extrahierung der Flächen des Gestaltungsraums herangezogen, wobei jedem Kontrollpunkt eine eigene Bandbreite zugeordnet werden kann. Der flächenbasierte Ansatz nutzt das Kontrollpunktenetz für die Zuordnung der Bandbreite, die jeder NURBS-Fläche zugrunde liegt. Bei beiden Ansätzen bilden die Endpunkte der aufgesetzten Bandbreiten wieder die Basis für das Aufspannen einer begrenzenden Fläche des Gestaltungsraums. Vorteil der kontrollpunkt-basierten Ansätze ist, daß für jeden Kontrollpunkt variable Bandbreiten eingesetzt werden können. Im Vergleich zum schwerpunkt-basierten Ansatz ist aber ein höherer Rechenaufwand nötig. Geometrisch ist die Definition eines zweidimensionalen Packagefeatures mit den Phänotypen exakt, begrenzt und offen möglich (Bild 5-6c).

In der Praxis werden zwar zweidimensionale Packagemaße derzeit nicht angewendet. Dennoch ergeben sich für sie interessante Anwendungsbereiche innerhalb des Produktentstehungsprozesses. So lassen sich mit flächenbeschreibenden Packagefeatures Flansche zwischen Bauteilen eindeutig innerhalb der Fahrzeugtopologie festlegen. Gesetzliche Anforderungen an ein Fahrzeug werden häufig über Flächen definiert. Beispiele sind Bremsleuchten und Fahrtrichtungsanzeiger, bei denen der Gesetzgeber eine Mindestgröße und eine bestimmte Mindesthöhe festlegt. Auch lassen sich Prallflächen für den Insassenschutz auf der Instrumententafel definieren. Weiter lassen sich mit Freiformflächenfeatures beispielsweise Fensterscheiben beschreiben und damit eine Simulation und Berechnung der Aufheizung des Fahrzeugs bei Sonneneinstrahlung durchführen.

Für die Umsetzung ergibt sich ein Problem dadurch, daß der zugrundeliegende Ansatz der Freiformfeature nur in Forschungsansätzen beschrieben und prototypisch umgesetzt ist [150]. Eine Implementierung in einem kommerziell verfügbaren CAD-System ist derzeit nicht bekannt.

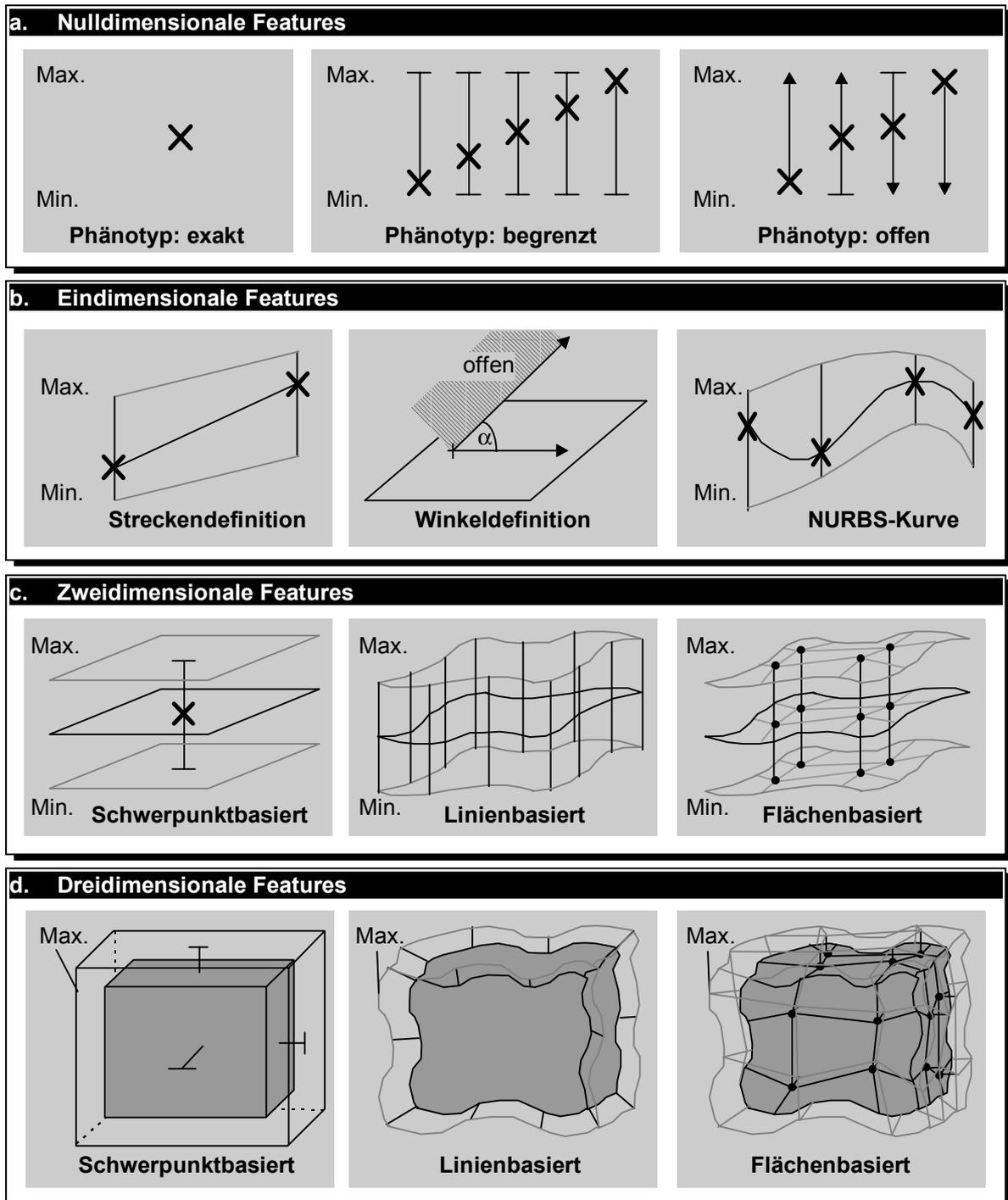


Bild 5-6: Genotypische Ausprägung von Packagefeatures und ihre geometrische Herleitung

Dreidimensionale Packagefeatures - funktional-geometrische Räume

Innerhalb der Gruppe der Packagefeatures beschreiben dreidimensionale Features einen Sonderfall, da hier im Gegensatz zu den null-, ein- und zweidimensionalen Features nicht alle mit einer Bandbreite beaufschlagten Flächen für den Gestaltungsraum relevant sind. Lediglich der Bereich, der auf der dem Gestaltungsraum zugewandten Seite liegt, wird Teil des Designgestaltungsraums. Ein Packagefeature

überwacht die Einhaltung der ihm inhärenten Gestaltungsrestriktionen so, daß sich die Designaußenhaut innerhalb des gesamten aufgespannten Gestaltungsraums befinden muß. Damit läßt sich mit der Funktionsbeschreibung von null- bis zweidimensionalen Packagefeatures definitionsgemäß nur ein offenes dreidimensionales Packagefeature definieren. Bei den Phänotypen „exakt“ und „begrenzt“ würde der Gestaltungsraum auf den fünf dem Gestaltungsraum abgewandten Seiten des Körpers eine Verletzung der Gestaltungsrestriktionen mit sich ziehen. Im Rahmen des Reifestufenkonzepts mutiert ein offenes Feature aber immer zu einem begrenzten und schließlich zu einem exakten Feature. Außerdem können exakte Packagefeatures Übernahmeteile symbolisieren, wie etwa Türgriffe oder Außenspiegel. Daher sind alle Phänotypen auch für dreidimensionale Packagefeatures zu implementieren. Der Überwachungsmechanismus ist hierfür bei einer Implementierung entsprechend zu adaptieren.

Eine mögliche prozeßunterstützende Anwendung ergibt sich in der Umkehr der Logik für die Funktionsweise dreidimensionaler Packagefeatures. Damit wird mit der Technologie des Gestaltungsraums analog einem virtuellen Raum ein Ausschlußbereich für die Gestaltung definiert /149/. Ein exaktes Feature beschreibt dabei eine Verbotzone, die einem Bauteil einen klar definierten Bauraum zuordnet. Ein begrenztes Feature definiert einen Bereich, der strittig ist. Hierbei wird erst im weiteren Prozeßverlauf entschieden, ob dieser Bereich als Modellier- oder als Verbotsbereich deklariert wird. Daher ist für diese Beschreibung eines virtuellen Raums durch ein dreidimensionales Packagefeature die Festlegung eines Reduktionsbereichs nicht sinnvoll. Damit können mit dreidimensionalen Packagefeatures funktional-geometrische virtuelle Räume beschreiben werden.

Dreidimensionale Packagefeatures repräsentieren innerhalb des Produktentstehungsprozesses Baugruppen, Bauteile und Einzelteile. Dabei beschreiben diese Features lediglich Hüllflächen (Bild 5-6d), die bereits in der frühen Phase der Produktentstehung einsetzbar sind. Im Grobpackage repräsentieren die Packagefeatures die 15 wichtigsten Komponenten und Bauteile wie Achsen, Lenkung, Heizklimateil oder Tankanlage. Eine Funktion wird dem Bauteil im zweiten Teil der semantischen Featurebeschreibung hinterlegt. Im Zuge des Projektfortschritts erfolgt die Substitution der Packagefeatures durch reale Bauteile, denen sich auch ein virtueller Raum zur Einbau- und Montagesimulation zuordnen läßt /149/.

Für die Umsetzung der dreidimensionalen Packagefeatures ist zunächst zu unterscheiden, ob der Körper im CAx-System als Volumenmodell oder als geschlossenes

Hüllflächenmodell auf Basis der Boundary Representation repräsentiert wird. Bei Volumenmodellen wird zur Erstellung des Gestaltungsraums der Schwerpunkt des Körpers verwendet. Auf diese Koordinate wird eine mittels der Skalierfunktion vergrößerte Kopie des Volumenkörpers gesetzt. Die Kopie wird mit dem Originalkörper geschnitten. Dies repräsentiert den Designgestaltungsraum.

Für Modelle, die auf der Boundary Representation basieren, verläuft die Erstellung des Designgestaltungsraums analog zu den zweidimensionalen Packagefeatures. Grundsätzlich lassen sich die dreidimensionalen Körper in ihre Einzelflächen auflösen. Als einfachster Ansatz ergibt sich die Erstellung einer begrenzenden Hüllfläche auf Basis der Bestimmung des Flächenschwerpunkts. Komplexere Ansätze basieren auch hier auf der Betrachtung der NURBS-Kurven bzw. ihrer Kontrollpunkte (linienbasierter Ansatz) und auf der Betrachtung der NURBS-Flächen bzw. ihres Kontrollpunktenetzes (flächenbasierter Ansatz). Für die Einschränkung von Designaußenflächen ist immer eine flächenorientierte Definition des Packagefeatures zu wählen, da nur so der Gestaltungsraum im Rahmen des Reifestufenkonzepts exakt gegen die Freiformfläche des Designs konvergieren kann.

5.3.5 Darstellung von Packagefeatures in PDGL

Eine Anwendung von Packagefeatures innerhalb der Prozeßkette und in verschiedenen Applikationen bedingt eine standardisierte oder zumindest herstellerunabhängige Featurebeschreibung. Hierfür bietet sich die bereits vorgestellte Featurebeschreibungssprache PDGL an, deren Funktionstauglichkeit mit der Implementierung in das Featuremodelliersystem FEAMOS bereits nachgewiesen wurde (vergleiche Abschnitt 5.5.1). Features, die funktional-technologische virtuelle Räume beschreiben, werden in /149/ umgesetzt. In diesem Zusammenhang erfolgt auch die Beschreibung der virtuellen Räumen in der Featurebeschreibungssprache PDGL und der praktische Funktionsnachweis dieses Ansatzes. Der Ansatz der Packagefeatures betrachtet demgegenüber funktional-geometrische Bereiche des Produkts. Trotz der fundamentalen technologischen Unterschiede zwischen beiden Ansätze ist die formale Darstellung der Packagefeatures in PDGL der Darstellung der virtuellen Räumen jedoch ähnlich. Daher wird an dieser Stelle nur die prinzipielle Darstellung von Packagefeatures in PDGL gezeigt. Der praktische Funktionsnachweis in Abschnitt 6.3 verwendet Packagefeatures in einer PDGL-nahen Struktur, fokussiert dabei aber auf die Verifizierung des Kooperationsmediums als Gesamtsystem innerhalb der Prozeßkette.

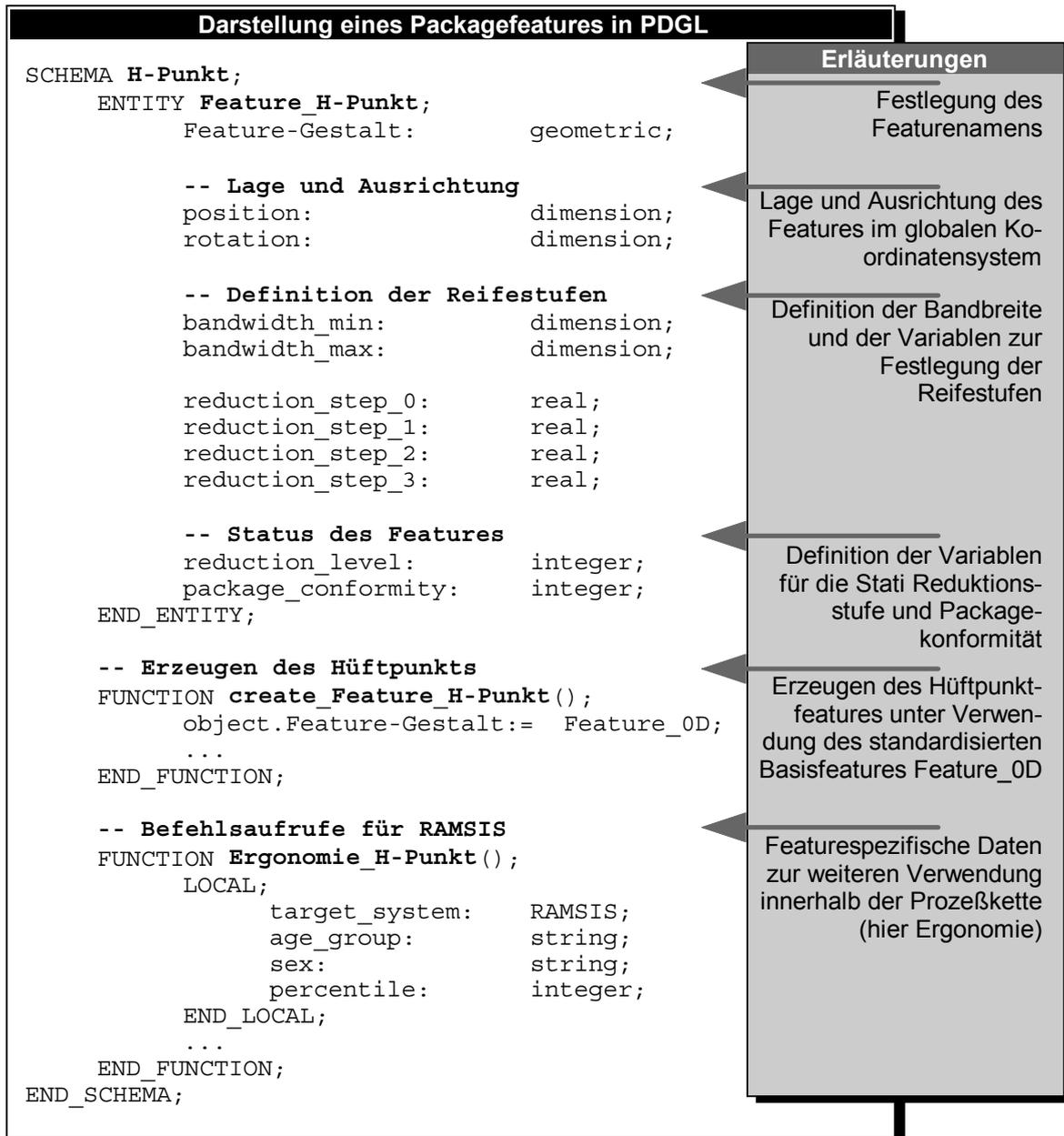


Bild 5-7: Darstellung eines Packagefeatures in PDGL am Beispiel Hüftpunktfeature

PDGL ist eine objektorientierte Featurebeschreibungssprache, die in ihrer Struktur den Aufruf von Features innerhalb eines Features erlaubt und damit Vererbungen zulässt. Für Packagefeatures wird zunächst ein nulldimensionales Basisfeature (Feature_0D) beschrieben, in dem alle wesentlichen Merkmale für Packagefeatures verbindlich definiert sind. Hierzu zählen die geometrische Gestalt, der Gestaltungsraum und der Reduktionsmechanismus. Dieses allgemeingültige Basisfeature wird dann in der Beschreibung der individuellen, objektspezifischen Packagefeatures aufgerufen und um objektspezifische Programmaufrufe erweitert.

Strukturell gliedert sich ein Packagefeature in mindestens zwei Teilbereiche. Die sogenannte Entity definiert den Genotypen des Features, der während der Interpretation als Instanz in der rechnerinternen Darstellung abgebildet wird. Der Entity schließt sich mindestens eine Funktion an, die die prozedurale Erzeugungsmethode definiert. Ihre Ausführung führt zur Instanziierung des entsprechenden Featureobjekts. Im folgenden wird beispielhaft ein nulldimensionales Hüftpunktfeature dargestellt und beschrieben (siehe Bild 5-7).

Die Entity `Feature_H-Punkt` definiert den Typ des Packagefeatures. Hier wird die Lage und Ausrichtung des Features, seine geometrische Gestalt, Minimum und Maximum der Bandbreite, die Reifestufen sowie der Status des Features festgelegt. Der deklarierte Typ wird während der Interpretation als Instanz in der rechnerinternen Darstellung abgebildet. Zur Verdeutlichung der Featurestruktur sind in Bild 5-7 die globalen Variablendefinitionen der Packagefeatures explizit aufgeführt. In der Praxis erfolgt dies bereits im Basisfeature `Feature_0D`.

Die Ausführung der Funktion `create_Feature_H-Punkt` führt zur Instanziierung des Featureobjekts „Packagefeature“. In Bild 5-7 wird zur Objekterzeugung das `Feature_0D` aufgerufen. Hierzu werden die globalen Variablen, die bereits im Entity-Teil definiert sind, umgesetzt. Diese erste Funktion ist notwendige Voraussetzung für die Erstellung eines Features.

Alle weiteren Funktionen eines Packagefeatures dienen der Unterstützung der Prozeßkette und enthalten prozeßkettenspezifische Daten. Somit ist ihre Existenz nicht zwingend für die Definition eines Packagefeatures erforderlich. Die in Bild 5-7 gezeigte Funktion `Ergonomie_H-Punkt` wäre beispielsweise der Ausführung in einem anthropometrischen Ergonomieprogramm wie RAMSIS vorbehalten. In diesem Funktionsbeispiel sind lokale Variablen wie etwa die Definition der Zielgruppe festgelegt.

5.3.6 Featurebasierte Durchführung der Reduktionsschritte

Mit den nun vollständig definierten Packagefeatures läßt sich der Designgestaltungsraum umsetzen. Wie in Bild 5-7 dargestellt, wird in der featurespezifischen Darstellung in PDGL auch der Status der aktuellen Reifestufe mit der globalen Variable `reduction_level` festgelegt, wobei der Variablenwert dem jeweiligen Reduktionsschritt entspricht. Zur Durchführung eines Reduktionsschritts kann dieser Wert bei jedem Feature einzeln verändert werden. Im Sinne der Bedienungsfreundlichkeit ist

dies ein sehr umständlicher Weg. Es besteht nun die Möglichkeit, den Reduktionsschritt mit Hilfe einer neu zu erstellenden Programmfunktion durchzuführen, die dann den Variablenwert von `reduction_level` in jedem Feature verändert. Problematisch an diesem Ansatz ist, daß für die Bereitstellung dieser Funktion der notwendige Funktionsumfang der eingesetzten Featuremodelliersysteme programmtechnisch erweitert werden muß. Daher ist dieser Ansatz für bestehende Systeme nicht geeignet.

Ein weiterer Ansatz ergibt sich aus der Variablendefinition von `reduction_level` selbst. `reduction_level` ist als globale Variable definiert und damit im gesamten Packagemodell über alle Packagefeatures gültig. Somit kann der Wert dieser Variable auch global geändert werden. Hierfür wird nun ein Reduktionsfeature definiert, das zwar eine Semantik besitzt, aber kein inhärentes Formfeature. Seine einzige Aufgabe besteht in der Veränderung der Reduktionsstufe. Bild 5-8 zeigt die Darstellung des Features in PDGL.

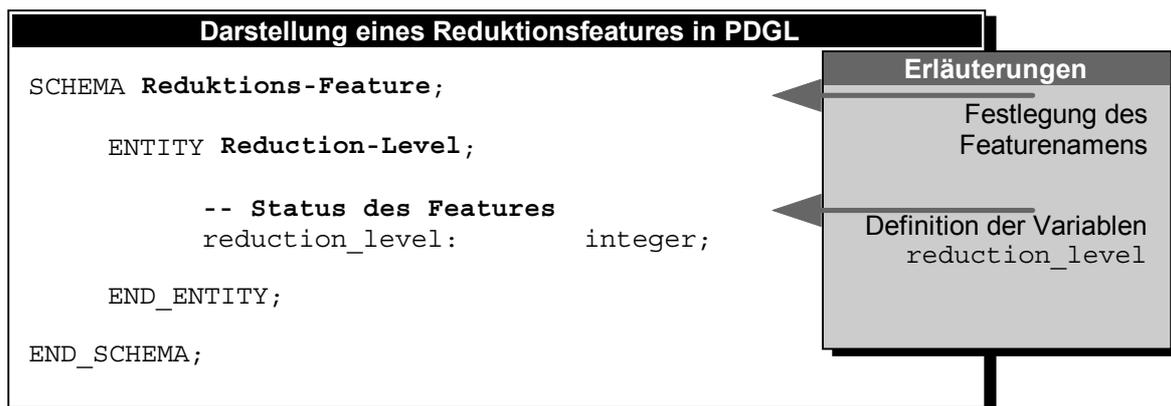


Bild 5-8: Darstellung eines Reduktionsfeatures in PDGL

Für die Durchführung des Reduktionsmechanismus wird ein einziges Reduktionsfeature benötigt. Wird auf die Durchführung eines globalen Reduktionsschritts verzichtet, kann das Packagemodell auch ohne das Reduktionsfeature bestehen.

5.4 Anwendungsfelder für die Technologie der Packagefeatures

5.4.1 Nutzung von Packagefeatures innerhalb der Prozeßkette

Mit Packagefeatures steht eine Gruppe von Werkzeugen zur Verfügung, mit denen ein Fahrzeug während des gesamten Produktentstehungsprozesses topologisch beschrieben wird. Basis hierfür ist eine herstellerunabhängige Featurebeschreibung-

sprache, die eine einheitliche Definition von Features ermöglicht und dabei in verschiedene Anwendungen der Prozeßkette implementierbar ist, wie in dieser Arbeit PDGL. Die Featurebeschreibungssprache kann auch als Grundlage für ein Datenspeicherungsformat verwendet werden, wenn in die Variablendefinition statt des Variablentyps ein expliziter Wert eingesetzt wird. Mehrere unabhängige Features werden in einer Liste nacheinander eingetragen. Da PDGL auch Boolesche Operationen zur Featuredefinition und Bearbeitung erlaubt, ergibt die Verknüpfung zweier Features ein übergeordnetes Feature, das wieder in die Liste eingetragen wird. Beim Laden der Featureliste instanziiert das Featuremodelliersystem beim Dateiaufruf das konkrete Featuremodell. Dieser Ansatz bestimmt auch das Datenformat zur Speicherung der in Abschnitt 6.3 implementierten Packagefeatures. Somit ergibt sich für die Prozeßkette ein herstellerunabhängiges Datenformat zur Definition und Speicherung von Features.

Packagefeatures können verschiedene Ausprägung annehmen. In Bild 5-5 sind bereits verschiedene Beispiele für die Anwendung innerhalb der Prozeßkette dargestellt. Entscheidend für die Implementierung ist der funktionsorientierte Teil der semantischen Featurebeschreibung. So lassen sich beispielsweise dem Hüftpunktfeature, das die spezifische Lage des Hüftmittelpunkts eines Passagiers im Fahrzeug und damit im wesentlichen die Sitzposition bestimmt, Ergonomie-spezifische Daten zuordnen. Dies ist Voraussetzung für eine schnelle ergonomische Analyse des Designmodells mit Hilfe eines rechnerbasierten, anthropometrischen Menschmodells wie beispielsweise RAMSIS /151/.

Weiter lassen sich Packagefeatures, die die Außenhaut begrenzen, um technologische Informationen wie Materialien oder Bombierungen erweitern. Dem dreidimensionalen Packagefeature, das den Motorblock repräsentiert, lassen sich die geplanten Motorisierungsvarianten mit den maximalen geometrischen Abmaßen und den Leistungsdaten beifügen. Unter Einbeziehung virtueller Räume können die Befestigungspunkte der einzelnen Motoren auf dem Motorträger festgelegt werden. Für die weitere Verarbeitung dieser Informationen sind anwendungsspezifische Schnittstellen in den nachfolgend eingesetzten Applikationen zu implementieren. Weitere Anwendungen der Packagefeatures bestehen beispielsweise in der Kontrolle zur Einhaltung gesetzlicher Richtlinien und Vorschriften. Da sich einem Packagefeature selbstverständlich auch textuelle und multimediale Informationen zuordnen lassen /143/, stellen sie ein Dokumentationsmedium zur Unterstützung von Total Quality Management (TQM) dar.

Im Rahmen des parallelisierten Produktentstehungsprozesses wird das Packagemodell zunächst von den Packageingenieuren unter Nutzung von Packagefeatures aufgebaut. Außerplanmäßige Änderungen an diesem Modell sind dann nur nach Absprache zwischen den Prozeßkettenpartnern möglich. Da das Packagemodell getrennt von den Datenmodellen der Prozeßkettenpartner (wie den Designern) geladen werden kann, unterstützt der Ansatz zur Definition eigenständiger Teilmodelle, wie er im segmentierten totalen Produktmodell /1/ verfolgt wird, die Zusammenarbeit auch in einer verteilten Arbeitsumgebung. Die Diskussion über Änderungen am Package kann dann innerhalb der Prozeßkette synchron durch die Verwendung von Anwendungsverteilungssystemen durchgeführt werden. Asynchron ist dies bei Einführung eines Produktdatenmanagementsystems und eines Benachrichtigungswesens für Modelländerungen auch über verteilte Standorte hinweg möglich.

5.4.2 Skizzieren mit unscharfen zweidimensionalen Features

Neben der Anwendung der Technologie der Packagefeatures als Kooperationsmedium im Rahmen der Gestaltung eines Fahrzeugpackages ergibt sich für zweidimensionale Features auch eine zweite, völlig eigenständige Anwendung. Eine Forderung für die Produktkonzeption in der frühen Phase besteht im skizzenhaften Erstellen von Freiformflächen. Hierbei ist bewußt Unschärfe bei der Flächenerstellung einzu beziehen, also Flächen anstatt mit exakten Werten mit einem definierten Wertebereich zu beschreiben. Innerhalb des Wertebereichs sind alle Werte gleichberechtigt.

Basis für die Erstellung von zweidimensionalen Unschärfefeatures ist die featurebasierte Erstellung von Freiformgeometrien. Hierbei werden Freiformfeatures definiert, die in PDGL darstellbar sind. Diese Freiformfeatures werden aus Bezier- bzw. NURBS-basierten Freiformflächen erstellt. Der Nachweis hierzu wurde in /150/ geführt. Bei der Anwendung von Freiformfeatures auf die Technologie der unreifen Daten wird jedem Kontrollpunkt des Kontrollpunktnetzes eines Freiformfeatures jeweils eine Bandbreite zugeordnet. Bedingung ist hierbei, daß alle Bandbreiten eines Features die gleiche Ausdehnung haben. Die beiden Enden der Bandbreite ergeben die Kontrollpunkte der oberen und unteren Begrenzung des Unschärfebereichs. Dies ergibt ein Unschärfefeature (Bild 5-9).

Jedem Unschärfefeature kann eine spezifische Datengüte zugeordnet werden, abhängig davon, welche Form eine einzelne Fläche innerhalb des Features annehmen kann. Bei einer niedrigen Datengüte besteht die Anforderung lediglich darin, daß sich die Fläche innerhalb der Grenzen des Unschärfebereichs befindet. Eine hohe Da-

tengüte bedingt, daß jede individuelle Fläche parallel zu den beiden Grenzflächen liegt. Eine hohe Datengüte ist notwendig, um beispielsweise aus einem Unschärfe-feature NC-Daten zu extrahieren, schränkt aber den Sinngehalt der Unschärfe ein.

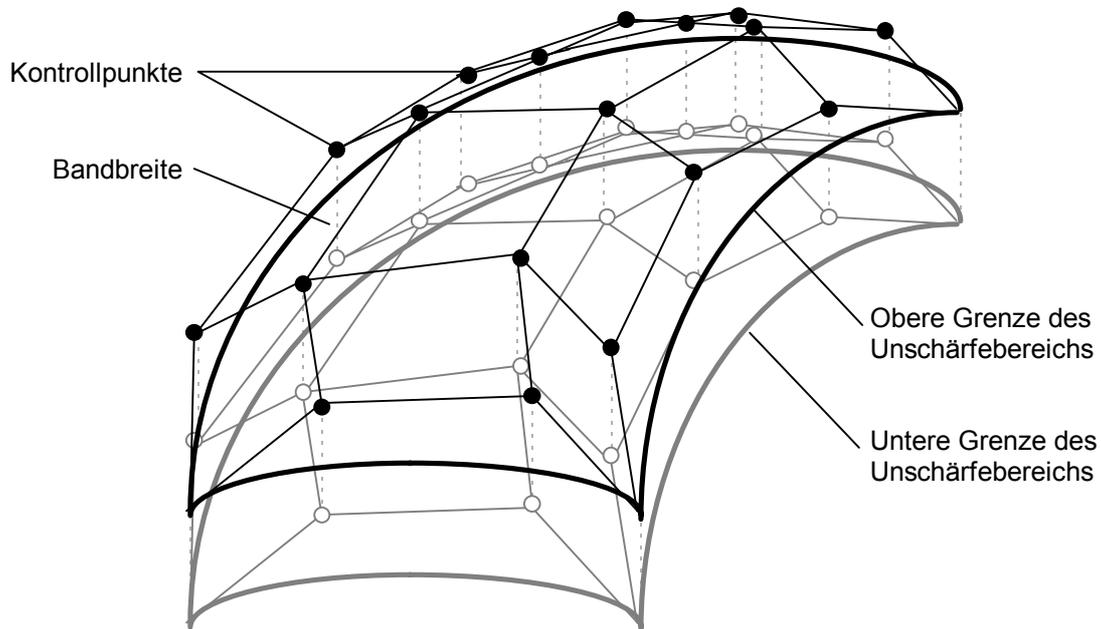


Bild 5-9: Darstellung der oberen und unteren Grenze eines Unschärfe-features

Programmtechnisch wird im Semantikeil des Unschärfe-features ein Freiformfeature definiert und analog einem zweidimensionalen Packagefeature mit einer Bandbreite beaufschlagt. Die Grenzen des Unschärfe-features ergeben sich durch Parallelverschiebung einer Kopie des Freiformfeatures parallel zur Bandbreite. In der Featuresemantik wird auch der Reduktionszyklus für die Unschärfe entsprechend den festgelegten Reifestufen hinterlegt. Mit der Festlegung der Reifestufen hat das Unschärfefeature eine zeitlich begrenzte Gültigkeit. Bei Änderung der Reifestufe wird das Freiformflächenfeature in seiner aktuellen Ausprägung ungültig. Wie den Packagefeatures lassen sich auch den Freiformfeatures weitere Informationen zuordnen, um die Prozeßkette zu unterstützen. Von Interesse ist für die frühe Phase die Hinterlegung von Oberflächen- und Materialinformationen, um Kostenabschätzungen für eine Oberfläche erstellen zu können.

Problematisch für den Einsatz von Freiformfeatures und insbesondere von unscharfen Daten ist, daß weiterführende CAD-Systeme derzeit nicht darauf ausgelegt sind, unscharfe Daten zu verarbeiten. Für weiterführende Anwendungen, wie die Finite Elemente Methode (FEM) zur Auslegung von Karosseriestrukturen und Blechstärken, ist immer eine scharf definierte Außenhaut notwendig. Diese wird zur Zeit im Zuge einer Prozeßvereinbarung ausgetauscht. Die technische Umsetzung dieses

Konzepts der unscharfen zweidimensionalen Features stellt ein interessantes Gebiet für zukünftige Arbeiten dar.

5.5 Idealtypische Umsetzung des featurebasierten Designgestaltungsraums

5.5.1 Darstellung bestehender featurebasierter CAx-Systeme

Die konkrete Umsetzung der Featuretechnologie wird seit dem Beginn der 90er Jahre vorangetrieben. Hierzu tragen internationale, interdisziplinäre Arbeitsgruppen wie Feature Modelling Experts (FEMEX) oder der VDI mit seiner Richtlinie 2218 Featuretechnologie bei [152]. Die Entwicklung erfolgt in zwei Stoßrichtungen. Ein Forschungsansatz befaßt sich mit der featurebasierten Unterstützung des Modellierprozesses, bei dem die Geometriemodellierung der Featuremodellierung untergeordnet wird. Die Umsetzung der Featuretechnologie in Modellersystemen weist drei Integrationsstufen auf. Ein einfacher Implementierungsansatz verarbeitet vorprogrammierte Features, die sich nicht weiter kombinieren lassen. Die Erweiterung dieses Ansatzes erlaubt die freie Kombination und Konfiguration vorprogrammierter Basisfeatures. Beispiele hierfür sind die Erweiterungen gängiger CAx-Systeme wie bei Pro/ENGINEER oder AutoCAD. Die höchste Integrationsstufe stellen eigenständige Featuremodelliersysteme wie FEAMOS oder EMOS dar, die Features verarbeiten, die in einer anwendungsneutralen Programmiersprache beschrieben sind. Betrachtet man Gadgets als eine Untergruppe der Features, dann ist auch der Gadget-Modellierer zu diesen Systemen zu zählen. Die Umsetzung dieses Ansatzes ist bislang weitgehend auf den wissenschaftlichen Sektor beschränkt.

Pro/ENGINEER verfügt neben den konventionellen Modellierfunktionen über eine proprietäre Erweiterung zur Anwendung vordefinierter und selbstdefinierbarer Features. Es lassen sich zwei Grundarten unterscheiden. Die Basisfeatures unterstützen die Geometrieerstellung und -manipulation. Sie unterteilen sich in Operationsfeatures, die Manipulationen (Drehen, Strecken, Extrudieren etc.) an vorher skizzierten Schnittflächen ermöglichen, und Referenzfeatures, die auf eine bereits existierende Geometrie eine vordefinierte Form (Bohrungen etc.) anwenden. Datenfeatures stellen dem Konstrukteur referenzierbare Modellierhilfsmittel wie Ebenen, Achsen und Punkte zur Verfügung, die das Modellieren vereinfachen sollen. [153]

FEAMOS ist ein am Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK) entwickeltes Featuremodelliersystem, das die featurebasierte Konstruktion ermöglicht. Zur Modellierung und Darstellung des Datenmodells wird der

geometrische Modelliererkern ACIS der Firma Spatial Technologies verwendet. Für die Beschreibung von Features wurde in FEAMOS erstmals die Featurebeschreibungssprache PDGL implementiert /142/. FEAMOS wurde sukzessive um die featurebasierte Konstruktion mit Freiformflächen /150, 154/, Gebrauchsfeatures /144/ und Multimediafeatures /143/ erweitert und unterstützt die Konstruktion komplexer Bauteile. Weiter erfolgte eine Implementierung virtueller Räume zur Unterstützung der Produktgestaltung /149/.

Einen ähnlichen Ansatz wie FEAMOS verfolgt das featurebasierte Modellersystem EMOS, das am Institut für Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen (IFW) der Universität Hannover entwickelt wurde. EMOS ermöglicht neben der Modellierung mit Regelgeometriefeatures (Bohrungen, Nuten etc.) auch die featurebasierte Konstruktion von Werkstücken mit Freiformgeometrie. Für die implizite Aufbaubeschreibung von Bauteilen wird die formale Beschreibungssprache TEBES (Technische Elemente Beschreibungssprache) verwendet. /155/

Für die Umsetzung der Gadgets wurde am Institut für Konstruktionslehre, Maschinen- und Feinwerkelemente der Technischen Universität Braunschweig ein Gadget-Modellierer entwickelt. Ziel des Systems ist die Unterstützung des Konstrukteurs in der Grobentwurfsphase, in der mit wenig detaillierter Geometrie, jedoch mit unterschiedlichen Funktionsmodellen gearbeitet wird /145/. Der Gadget-Modellierer ist modular aufgebaut. Wie bei FEAMOS findet auch im Gadget-Modellierer der geometrische Modelliererkern ACIS Verwendung /156/. Für den Betrieb des Modellierers sind neben dem Basissystem ein Mathematikmodul und ein Skizziermodul notwendig, in denen Grundfunktionen des Systems wie die Benutzungsoberfläche implementiert sind. Weiter existieren ein Mechanik-, ein Volumen- und ein Normteilmodul. Alle Module sind gekapselt und kommunizieren über die eigens entwickelte, interpreterbasierte Programmiersprache CLINT (C-Like Interpreter), die an die Programmiersprache C angelehnt ist. Alle Funktionen des Gadget-Modellierers sind in CLINT implementiert. Eine Funktionserweiterung des Modellierers erfolgt durch eine Befehlsenerweiterung von CLINT. Damit lassen sich neue Module einfach in das Gesamtsystem integrieren /146/.

Der zweite Entwicklungsansatz zur Umsetzung der Featuretechnologie besteht in featurebasierten CAx-Systemen, die ein Featuremodell aus einem bestehenden Geometriemodell extrahieren. Das Featuremodell ist hierbei notwendige Basis für weitere Anwendungen in der Produktions- und Fertigungsvorbereitung. Beispielhaft hierfür ist das System PART (Planning of Activities, Resources and Technology), ein

featurebasiertes Prozeßplanungssystem, das seit 1991 an der Universität Twente entwickelt wird und inzwischen auch kommerziell verfügbar ist. Ziel dieses wissensbasierten Systems ist die Generierung von Fertigungsanweisungen für die NC-Bearbeitung prismatischer Teile aus importierten, dreidimensionalen Modellen. Hierfür wurde in PART eine umfangreiche Feature-Erkennung (engl.: Feature Recognition) implementiert, die an dreidimensionalen Modellen selbständig Bereiche erkennt, an denen Halterungen und Spannvorrichtungen für den weiteren Fertigungsprozeß angebracht werden. Die Spannvorrichtungen generiert PART ebenfalls weitgehend autonom /157/.

Systeme wie Pro/ENGINEER, FEAMOS, EMOS und auch PART unterstützen die Konstruktion mechanischer Bauteile sowie die Prozeßschnittstelle zwischen Konstruktion und Fertigungsplanung und damit das Ende der Prozeßkette. Eine Unterstützung der frühen, konzeptionellen Phase des Produktentstehungsprozesses ist derzeit mit keinem bekannten Featuremodelliersystem möglich. In der industriellen Praxis haben sich eigenständige featurebasierte Systeme bislang kaum durchgesetzt. Die verfügbaren hoch integrierten Systeme sind üblicherweise komplette Neuentwicklungen, die wie FEAMOS einen prototypischen Charakter aufweisen oder wie PART zwar kommerziell verfügbar sind, aber als Insellösungen nicht in die Prozeßkette integriert sind. Eine tiefe Integration anwendungsneutraler Programmiersprachen zur Featurebeschreibung in bestehende CAx-Systeme fand bislang nicht statt. Gründe hierfür liegen unter anderem darin, daß solch eine radikale Änderung der Programmstruktur zu Kompatibilitätsproblemen mit früheren Versionen führt. Dies widerspricht Anwenderinteressen, da speziell Industrieunternehmen mit großer vorhandener Datenbasis auf Investitionsschutz und versionsübergreifende Anwendungssicherheit bestehen. Systeme wie Pro/ENGINEER stellen mit ihren proprietären Featurebeschreibungen Insellösungen dar und haben somit keine weitere Anwendung in der Prozeßkette.

5.5.2 Auswahl einer objektintegrierenden Systemarchitektur

Ein mit der Umsetzung der Packagefeatures verfolgtes Ziel besteht in der Implementierung der Featuretechnologie in die Prozeßkette des Produktentstehungsprozesses. Dies läßt sich durch die Integration von featureverarbeitenden Modelliersystemen in bestehende, in der Industrie operativ eingeführte CAx-Systeme erreichen. Dahinter steht die Überlegung, daß sich große Industrieunternehmen langfristig an ein CAx-System binden, da hohe Investitionen in Hardware, Softwarelizenzen und

-anpassungen sowie in Schulungsmaßnahmen der Mitarbeiter einem schnellen Systemwechsel entgegenstehen. Aus Sicht der Industrie ist somit von der Forschung der Nachweis zu führen, daß bestehende Systeme um neue Technologien wie beispielsweise die Featuretechnologie erweiterbar sind. Eine durchgängige Unterstützung der Prozeßkette läßt sich durch den Einsatz einer anwendungsunabhängigen Featurebeschreibungssprache wie beispielsweise PDGL erreichen.

Ein Problem bei der Umsetzung liegt darin, daß die CAX-Installation in einem Industrieunternehmen über Jahre mitunter unkoordiniert gewachsen und damit zumeist in hohem Maße heterogen ist. Eine konventionelle Implementierungsstrategie ergibt sich durch die Erstellung eines Featuremoduls, das über die programminterne Programmierschnittstelle (engl.: Application Programming Interface - API) direkt an die Applikation angepaßt wird. Diese Programmierschnittstelle ist zwar in der Regel dokumentiert, doch basiert sie bei unterschiedlichen Anwendungen auch auf verschiedenen Programmiersprachen (FORTRAN bei Catia Version 4, C⁺⁺ bei ALIAS etc.). Werden nun alle wesentlichen CAX-Systeme eines Unternehmens bei der Umsetzung berücksichtigt, dann sind sehr schnell zehn bis 20 einzelne Anwendungen mit samt ihrer Programmierschnittstelle zu unterstützen. Daraus resultiert ein kostenintensiver Programmieraufwand, der dadurch verstärkt wird, daß mit jeder Änderung der Programmierschnittstelle einer unterstützten CAX-Anwendung oder des Featuremoduls das Modul spezifisch angepaßt werden muß.

Ein Lösungsansatz ergibt sich aus der Verwendung einer plattformunabhängigen Middleware-Architektur. Im Umfeld der objektorientierten Systemarchitekturen haben sich zwei konkurrierende Architekturen etabliert: CORBA von OMG und COM von Microsoft. CORBA und COM ähneln sich in ihrem grundsätzlichen Aufbau. CORBA besteht im wesentlichen aus den Komponenten Object Request Broker (ORB), der Aufrufe zu einem gewünschten Objekt transportiert, den beiden Schnittstellen Dynamic Invocation Interface (DII) und Static Client Stub (SCS) sowie dem Basis Object Adapter (BOA), der in einer verteilten Umgebung die Objektregistratur übernimmt (Bild 5-10a).

COM ist die Weiterführung der OLE-Entwicklung von Microsoft aus dem Jahr 1990. Ziel war die Unterstützung der Zusammenarbeit von Applikationen auf einem Rechner. Diese Technologie wurde in den letzten Jahren sukzessive zu COM weiterentwickelt. Die Erweiterung auf eine Client/ Server-Umgebung führte zu Distributed Component Object Model (DCOM). COM besteht aus zwei Hauptkomponenten, der COM Spezifikation, die die Anforderungen an die bereitgestellten Dienste definiert

und den COM-Bibliotheken, welche die Kommunikation zwischen dem Client und dem Server ermöglichen. Kern der COM-Bibliotheken ist der Service Control Manager (SCM), der ähnlich wie der ORB Elemente markiert und Dienste aktiviert (Bild 5-10b). Zur Unterstützung von TCP/ IP findet das weitgehend identische DCOM-Protokoll Anwendung. Zur Definition der Objektschnittstellen verwenden sowohl COM bzw. DCOM als auch CORBA eine spezifisch angepaßte Version der Interface Definition Language (IDL), die von der Open Software Foundation (OSF) entwickelt wurde.

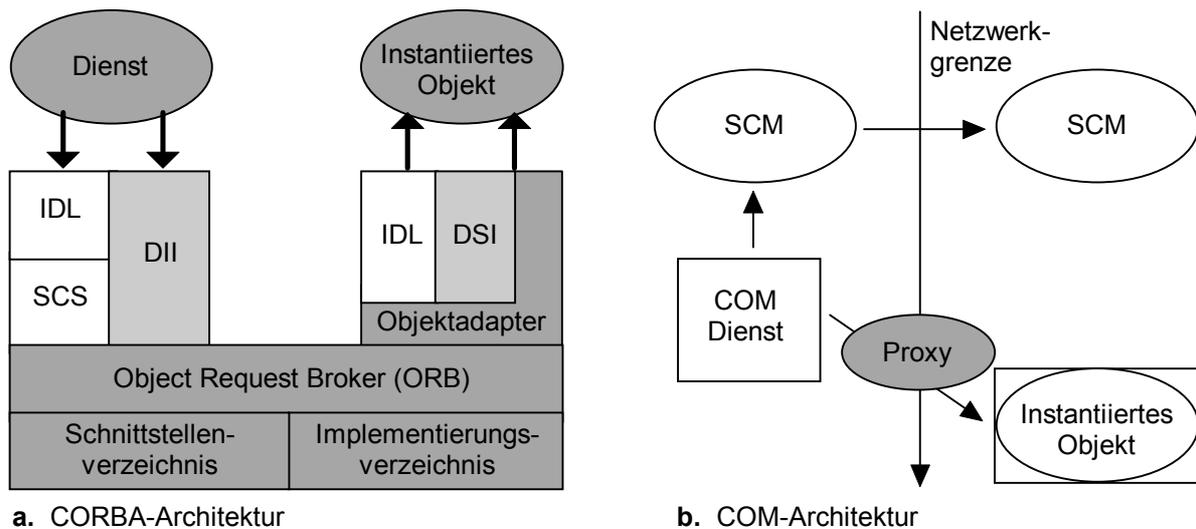


Bild 5-10: Schematischer Aufbau von CORBA und COM /101/

Entsprechend dem Schichtenmodell der ISO OSI wird bis zur vierten Schicht (Transportschicht) der Datentransport definiert. Dies wird in einem LAN oder WAN häufig durch das TCP umgesetzt. Die Middleware (CORBA oder COM) ist dabei schematisch auf die drei oberen Schichten begrenzt, die im Internet vom IP unterstützt werden. Der Vorteil beim Einsatz von Middleware für das Kooperationsmedium besteht nun darin, daß aufgrund dieses Aufbaus das zu entwickelnde Featuremodul nicht auf jedem Rechner zusammen mit dem CAX-System installiert werden muß. Es ist ausreichend, wenn das Modul über ein LAN oder WAN auf einem Server verfügbar ist und bei Bedarf aufgerufen wird. Dabei muß nur die Adresse des Servers bekannt sein. Wie aus Bild 5-10b hervorgeht, läßt sich die Kommunikation mittels Middleware auch über Proxy-Server routen.

Als Basis für die Auswahl der Middleware-Architektur werden die beiden konkurrierenden Systeme CORBA und COM miteinander verglichen (Tabelle 5-1). Hierzu

wurde auch die Meinung von Softwareentwicklern hinzugezogen³. Zunächst werden technische Aspekte der beiden Systeme miteinander verglichen. Hierbei hat CORBA aufgrund seiner besseren Programmiereigenschaften leichte Vorteile. Im einzelnen ergibt sich folgende Bewertung:

	CORBA Common Object Request Broker Architecture	COM/ DCOM Common Object Model
Technische Aspekte		
Schnittstellen	+	+
Programmierung	+	0
Dokumentation	++	++
Marktaspekte		
Verbreitung am Markt	0	-
Unterstützung von CAx-Anwendungen	0	-
Unterstützung von Windows-Anwendungen	-	++

Tabelle 5-1: Vergleich von CORBA und COM bezüglich technischer Aspekte und Markt-aspekte

- **Schnittstellen**

Die Programmschnittstellen beider Systeme sind weitgehend strukturiert. Allerdings liegt der Schwerpunkt auf unterschiedlichen Zielanwendungen. CORBA stammt aus dem Umfeld des Betriebssystems Unix und hat Vorteile bei Unix-basierten Anwendungen. COM ist eine Middleware, die aus der Windows-Entwicklung abgeleitet wurde. Daher sind Stärken in diesem Bereich zu nennen. Insgesamt wiegen sich die Vor- und Nachteile beider Systeme bei den Schnittstellen auf.

- **Programmierung**

Beide Systeme lassen sich zuverlässig programmieren. CORBA schneidet leicht besser ab, da hier eine vollständig neu strukturierte Programmierumgebung erstellt wurde. Die Weiterentwicklung von CORBA wurde dediziert als Version 2 ausgewiesen, in der Änderungen und Erweiterungen gebündelt und dokumentiert wurden. COM/ DCOM ist eine evolutorische Weiterentwicklung von OLE. Hier sind häufiger Kompromisse und Umgehungen etwaiger Struktur-mängel zu erwarten.

- **Dokumentation**

In der Primär- und Sekundärliteratur werden beide Systeme sehr gut dokumentiert und können daher als gleichwertig betrachtet werden.

³ Der Verfasser dankt der Herrn cand.-inform. F. Rodler und Herrn Dr.-Ing. C. Fischer von Accenture für ihre Unterstützung bei der Bewertung.

Bei der Einzelbetrachtung wichtiger Markt Aspekte schneidet COM aufgrund seiner sehr guten Unterstützung von Windows-Anwendungen leicht besser ab als CORBA:

- **Verbreitung am Markt**

Das für diese Arbeit wichtigste Ziel beim Einsatz einer plattformunabhängigen Middleware-Architektur besteht in der Unterstützung der in der Prozeßkette eingesetzten Applikationen. Grundsätzlich ist die Unterstützung von Middleware in kommerziellen Anwendungen noch gering, doch wird CORBA schon länger am Markt angeboten als COM. Da die Prozeßkette bisher überwiegend mit Unix-basierten Systemen unterstützt wurde, hat CORBA bislang innerhalb der Prozeßkette eine höhere Verbreitung gefunden als COM.

- **Unterstützung von CAx-Anwendungen**

Aufgrund seiner längeren Verfügbarkeit und die Fokussierung auf Unix-basierte professionelle Anwendungen hat CORBA derzeit auch einen Vorsprung im Umfeld von CAx-Anwendungen. Es bestehen für zahlreiche Systeme Ankündigungen, in absehbarer Zeit CORBA zu unterstützen (z.B. für Catia). Allerdings werden diese Systeme sukzessive auf die Windows-Plattform übertragen. Da viele der Windows-basierte Anwendungen nur COM und nicht CORBA unterstützen, ist zu erwarten, daß CAx-Anwendungen mittelfristig auch COM unterstützen werden.

- **Unterstützung von Windows-Anwendungen**

Aufgrund seiner Geschichte hat COM gegenüber CORBA deutliche Vorteile im Bereich der Windows-Anwendungen. Weiter ist zu berücksichtigen, daß Microsoft sowohl das Betriebssystem Windows, als auch die Middleware COM und viele der für den professionellen Bereich relevanten Anwendungen (z.B. MS Office oder MS Project) entwickelt. Daher ist zu erwarten, daß COM schneller an neue Versionen von Windows angepaßt wird als CORBA.

Die Bewertung der beiden plattformunabhängigen Middleware-Architekturen hat kein klar besseres System ergeben. Beide Systeme haben Stärken und Schwächen, die sich allerdings weitgehend ausgleichen. Im Rahmen einer interagierenden frühen Phase und dem Einsatz interdisziplinärer Konzeptteams sind neben den technisch orientierten CAx-Systemen auch Graphikprogramme und gängige Büroanwendungen (wie MS Office) von der Middleware zu unterstützen. Zwar ist keine Implementierung des Featuremoduls in diese Anwendungen geplant oder sinnvoll, doch wird die ausgewählte Middleware-Architektur auch für die Anbindung der Anwendungen an ein Produktdatenmanagementsystem verwendet. Gerade im Bereich der Büro- und Graphik-

programme ergeben sich Vorteile bei COM, das von Anwendungen der Firma Microsoft unterstützt wird. Zudem steigt die Bedeutung von PC-basierten Anwendungen bei CAX-Systemen, die auch unter dem Betriebssystem Windows arbeiten. Da die parallele Verwendung von zwei Middleware-Standards aufgrund des zu erwartenden Wartungsaufwands nicht sinnvoll ist, wird im Rahmen dieser Arbeit der Einsatz von COM vorgeschlagen. Hierbei steht die Erwartung im Vordergrund, daß COM sich aufgrund seiner Nähe zu Microsoft als zukünftiger Standard durchsetzen wird.

5.5.3 Erstellung eines Konzepts für eine ideale informationstechnische Umsetzung von Packagefeatures

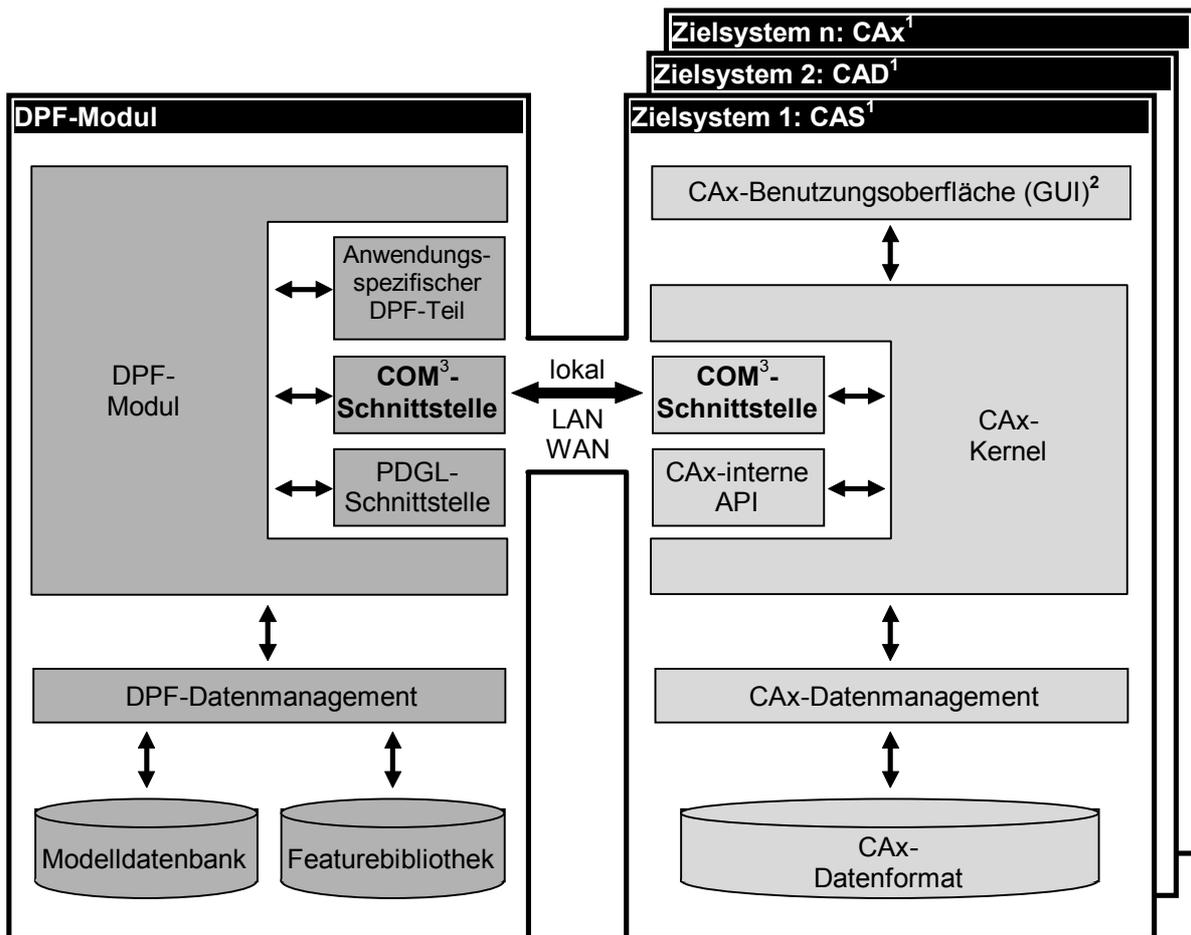
Kern der informationstechnischen Umsetzung der Packagefeatures ist das *Design-Package-Feature-Modul* (im folgenden DPF-Modul). Dieses Programmmodul wird über die ausgewählte Middleware-Architektur COM in alle relevanten CAX-Systeme der Prozeßkette integriert. Das DPF-Modul übernimmt dabei alle Programmfunktionen, die zum Einsatz der Packagefeatures notwendig sind. Folgende Funktionalitäten sind zu gewährleisten:

- Erstellung und Bearbeitung eines Packagemodells mittels Packagefeatures,
- Speicherung eines Packagemodells und Zurverfügungstellung für die weitere Prozeßkette,
- Import und Export von Featuredefinitionen mittels PDGL-Schnittstelle,
- ständige Kontrolle der Packagekonformität einer Designaußenhaut und
- Meldung bei Nicht-Packagekonformität der Designaußenhaut.

Die Interaktive Definition von Packagefeatures erfolgt über die graphische Benutzungsoberfläche (engl.: Graphical User Interface - GUI) des CAX-Systems.

Eine Implementierung der Packagefeatures soll unter konsequenter Anwendung von Normen und Standards erfolgen. Bild 5-11 zeigt eine integrative DPF-Architektur unter Verwendung von COM bzw. DCOM. Kern des DPF-Moduls ist das für alle Zielsysteme gültige Hauptmodul. Ihm ist der anwendungsspezifische DPF-Teil angeschlossen, der Anforderungen an das Zielsystem umsetzt. Hinzu kommen die COM-Schnittstelle und die PDGL-Schnittstelle zur Kommunikation mit weiteren Applikationen. Eine eigenständige DPF-Datenbank, die über eine Datenmanagementschicht verfügt, dient zur Ablage der Featuredaten. Damit ist die DPF-Architektur sehr offen konzipiert. Die Integration in bestehende CAX-Systeme erfolgt durch Anpassung der COM-Schnittstelle und des anwendungsspezifischen DPF-Teils. Die Benutzungsoberfläche des Zielsystems übernimmt die direkte Interaktion mit dem Anwender.

Die Kommunikation zwischen DPF-Modul und Zielsystem erfolgt direkt unter Verwendung der COM-Schnittstelle. Da die COM-Erweiterung DCOM die Kommunikation via TCP/IP über ein LAN oder WAN unterstützt, ist eine direkte Installation beider Systeme auf einem Server möglich, aber nicht zwingend notwendig. Kern ist die Implementierung eines klientenseitigen SCM. Es erlaubt die Definition von Diensten, die mit IDL beschrieben werden.



¹ Integration möglicher Anwendungen innerhalb der Prozesskette mittels DPF-Modul:

CAS, CAD, CAM, CAPP, Simulationswerkzeuge (Ergonomie, Montage) etc.

² Das CAx-System übernimmt die Funktion der Benutzungsschnittstelle für das DPF-Modul.

³ Bei der Umsetzung in einer Client/ Server-Umgebung ist DCOM zu implementieren.

Bild 5-11: Integration der Prozesskette mittels DPF-Modul - schematischer Aufbau des DPF-Moduls unter Einsatz einer COM-Architektur

Der erste geometrieorientierte Teil der semantischen Featurebeschreibung sowie das inhärente Formfeature wird direkt vom DPF-Modul interpretiert und unter Nutzung der COM-Schnittstelle im Zielsystem dargestellt. Dabei übernimmt das Zielsystem die graphische Darstellung des Designgestaltungsraums. Parallel dazu wird die graphische Darstellung der Designaußenhaut ebenfalls vom Zielsystem erzeugt. Das DPF-Modul überwacht auf Anfrage die Einhaltung der Packagekonformität und initi-

iert eine Fehlermeldung bei Verletzung der Packagerestriktionen. Bei der Instanziierung eines in PDGL beschriebenen Packagefeatures kommt dem zweiten Teil der funktionsorientierten semantischen Featurebeschreibung eine Schlüsselstellung zu. In diesem anwendungsspezifischen Semantikteil sind objektspezifische Informationen zur weiteren Unterstützung der Prozeßkette hinterlegt. Hierfür sind im anwendungsspezifischen Teil des DPF-Moduls Programmaufrufe zu berücksichtigen, die von anderen Applikationen unberücksichtigt bleiben. Die Speicherung des Packagemodells erfolgt in einer dem DPF-Modul zugeordneten eigenständigen Datenbank, getrennt von den CAx-Daten des Zielsystems. Dies garantiert ein anwendungsneutrales Speicherformat des Packagemodells, unabhängig vom Zielsystem, in welches das DPF-Modul integriert wird. Die DPF-Datenbank wird über eine eigene Datenmanagementschicht gesteuert.

Um bei der Packageerstellung die Vollständigkeit eines Packages bei einer definierten Reifestufe zu garantieren und um die Arbeit mit den Packagefeatures zu vereinfachen, lassen sich die einmal formal definierten Packagefeatures in einer eigenen Bibliothek hinterlegen. Die Vollständigkeit eines neuen Packagemodells orientiert sich dann an der Verwendung der vordefinierten und hinterlegten Features. Alternativ kann ein bereits bestehendes Featuremodell als Basis für die Erstellung eines neuen Modells verwendet werden. Dies kommt dem bisherigen Prozeßablauf der Packageerstellung entgegen, bei dem bei der Erstellung des Grobpackages üblicherweise ein Vorgängermodell modifiziert wird.

Das hier skizzierte Modell zur vollständigen Integration von Packagefeatures in die Prozeßkette unter Verwendung einer standardisierten Middleware-Architektur wie CORBA oder COM beschreibt aufgrund der einfachen Erweiterbarkeit auf andere CAx-Systeme eine idealtypische und zukunftsweisende Umsetzung. Problematisch an diesem Ansatz ist, daß keine der beiden Architekturen derzeit in den prozeßrelevanten CAx-Systemen produktiv verfügbar ist. Weder ALIAS noch Catia verfügen derzeit trotz entsprechender Ankündigungen der Hersteller über eine dokumentierte CORBA- oder COM-Schnittstelle. Deshalb wird zum jetzigen Zeitpunkt auf eine Verifizierung des dargestellten Integrationsmodells verzichtet. Der Markt für CAx-Systeme zeigt aber, daß sich die Systeme zukünftig in Richtung standardisierter Middleware entwickeln. Daher wird eine Umsetzung in Zukunft möglich sein. Somit erfolgt eine Verifizierung des Designgestaltungsraums und der daraus abgeleiteten Packagefeatures in Abschnitt 6.3 auf Basis einer internen Programmierschnittstelle beispielhaft für das CAS-System ALIAS.

6 Plausibilisierung der vorgestellten Konzepte

6.1 Nachweis zum Prozeßansatz für interdisziplinäre Konzeptteams

Die Verifizierung des in Kapitel 3 vorgestellten Prozeßansatzes für interdisziplinäre Konzeptteams gestaltet sich in der Praxis als komplex, da dies eine Umstrukturierung der frühen Phase des Produktentstehungsprozesses für ein automobiles Entwicklungsprojekt voraussetzt. Dies ist im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich gewesen. Die folgenden Ausführungen dienen daher dazu, die Wirkungsweise des Prozeßansatzes zu diskutieren und damit die erfolgreiche prozeßtechnische Umsetzung der zentralen These plausibel zu belegen.

Ziel ist, möglichst lange im Produktentstehungsprozeß alternative Konzepte zu entwickeln, um die Zeit zwischen Produktentscheidung und Markteinführung möglichst kurz zu halten. Im vorgestellten Konzept der interdisziplinären Konzeptteams wird die Anzahl der parallel untersuchten Produktalternativen nur durch die verfügbaren Entwicklungsressourcen limitiert. Durch die stufenweise Reduktion der Konzeptalternativen ergibt sich ein zielorientiertes Auswahlverfahren, bei dem die beiden interessantesten Alternativen sehr lang parallel bearbeitet werden können und eine Entscheidung theoretisch erst zum Design- und Packagefreeze getroffen werden muß. Da danach keine Änderungen mehr am Design und den Proportionen des Produkts möglich sind, ist ein weiteres Herausögern der Auswahl sinnlos.

Dieser neuartige Prozeßansatz ermöglicht weiter, Konzepte aus verschiedenen Zielmärkten im Rahmen des Produktentstehungsprozesses parallel zu betrachten und damit deren spezifische Sichtweisen und Anforderungen an das Endprodukt besser in die Produktentscheidung zu integrieren. Die Abbildung der Prozeßkette innerhalb eines interdisziplinären Konzeptteams ergibt zudem die Möglichkeit, Alternativkonzepte von externen Entwicklungspartnern oder virtuellen Unternehmen entwickeln zu lassen. Dieser Aspekt gewinnt im Zusammenhang mit der ebenfalls in dieser Arbeit entwickelten Gestaltungsmethodik für verteilte Prozesse zusätzlich an Bedeutung.

Die im Rahmen des Prozeßansatzes untersuchten Teilprozesse von Design und Package folgen den in Abschnitt 2.1.3 definierten Prämissen für die Prozeßgestaltung bei Simultaneous Engineering. Dies garantiert, daß alle relevanten Produktdaten zu jedem Zeitpunkt digital verfügbar und global zugänglich sind. Hierfür wird in Abschnitt 3.2.2.3 erstmals ein Designprozeß definiert, der nur Teilprozesse einsetzt,

die rein digitale Daten erzeugen. Der durchgängig rechnerunterstützte, modulare Designprozeß verzichtet vollständig auf die Verwendung von Hartstoffmodellen zur Modellierung und Formgestaltung. Dies ist Voraussetzung für die informationstechnische Verknüpfung aller Teilprozesse der Produktentstehung und ermöglicht die Integration in den regulären Produktentstehungsprozeß zunächst unabhängig von der Einführung interdisziplinärer Konzeptteams.

Zudem wird die Kooperation zwischen allen am Prozeß beteiligten Fachbereichen verbessert. Hierfür wird ein Reifestufenkonzept eingeführt, das den Umgang mit unreifen Daten regelt. Dies bewirkt, daß sich der Kommunikationsbedarf auf vorab definierte Anforderungen beschränkt. Somit erfolgt eine Fokussierung auf die zu diesem Zeitpunkt relevanten Anforderungen. Blind- und Doppelleistungen werden vermieden oder zumindest reduziert, da keine unnötigen und nicht abgestimmten Arbeiten erfolgen. Dies ist notwendig, um bei parallel zu entwickelnden Konzepten einen jeweils gleichwertigen Projektstand zu garantieren und um Ressourcen so effizient wie möglich einzusetzen. Nur so lassen sich mehrere Teilkonzepte parallel mit einem Minimum an Aufwand entwickeln.

6.2 Plausibilisierung der Gestaltungsmethodik

6.2.1 Anwendung der Methodik im Projekt *Dark Star*

Zum Nachweis der Funktionsfähigkeit der in Kapitel 4 vorgestellten Gestaltungsmethodik läßt sich das Entwicklungsprojekt *Dark Star*⁴ heranziehen, das von der BMW AG im Rahmen der Automobilentwicklung durchgeführt wurde. Die Teilschritte der Methodik werden im folgenden exemplarisch auf das Projekt angewendet und die Ergebnisse kurz beschrieben. Zunächst erfolgt gemäß der Gestaltungsmethodik die Durchführung der fünf Planungsschritte:

1. Planungsschritt (Projektdefinition)

Ziel des Projekts *Dark Star* ist die Erstellung alternativer Designstudien von Interieur und Exterieur für ein Fahrzeugprojekt in einem wichtigen Zielmarkt. Hierfür soll die Phase der Designfindung in einem temporären Designstudio (im folgenden T-Studio) in einer europäischen Großstadt durchgeführt werden. Die verteilte

⁴ Die Projektbeschreibung erfolgt mit Genehmigung der BMW AG, München. Projektname, Ziele und Inhalte wurden aufgrund der Geheimhaltung verallgemeinert und verändert.

Projektphase wird mit der Designauswahl abgeschlossen. Alle parallel ablaufenden Teilprozesse der Fahrzeugentwicklung (inklusive der Packageerstellung) erfolgen entsprechend dem Simultaneous Engineering im Münchner Forschungs- und Ingenieurzentrum (FIZ) der BMW AG.

2. Planungsschritt (Verteilungsprofil)

Ziel des Aufbaus des T-Studios ist die Einbeziehung der spezifischen Sichtweise des Zielmarkts auf das Fahrzeugprojekt. Das T-Studio ist dabei der einzige Designstandort. Damit folgt das Projekt keinem der definierten Verteilungsprofile. Am ehesten ist ein projektorientiertes Profil anzunehmen. Aufgrund der Standortwahl besteht keine relevante Zeitverschiebung. Das T-Studio wird für die Projektdauer angemietet. Hierbei handelt es sich um einen Bürostandort in bevorzugter Lage, erhöhtes kriminelles Potential ist nicht zu erwarten, die Anbindung an den öffentlichen Personennahverkehr und den Flughafen ist sehr gut.

3. Planungsschritt (Ablauforganisation)

Im T-Studio werden verschiedene Interieur- und Exterieurmodelle im CAS-System ALIAS erstellt. Die designtechnische Betreuung des Projekts erfolgt im FIZ. Den Kontakt zwischen der Prozeßkette im FIZ und dem T-Studio stellt die Münchner Designabteilung her. Als Kommunikationsmedien werden Videokonferenzen für die Diskussion von technischen und packagerelevanten Fragen erkannt. Präsentationen werden nicht verteilt durchgeführt, sondern lokal entweder im T-Studio oder in München abgehalten. Designtechnische Fragestellungen werden vor Ort diskutiert. Der Bedarf zum Datentransfer beschränkt sich auf das asynchrone Versenden von Design- und Packagemodellen, digitalisierten Designskizzen und Bürodokumenten.

4. Planungsschritt (Methoden- Werkzeugauswahl)

Innerhalb des T-Studios ist ein Ethernet einzurichten, um den Datenaustausch zwischen den Arbeitsplätzen zu erleichtern. Die Datenhaltung erfolgt lokal auf jedem Rechner. Die Datensicherung wird mit Hilfe von Wechseldatenträgern durchgeführt. Der Datenaustausch zwischen dem T-Studio und dem FIZ erfolgt durch eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung auf ISDN-Basis, Vertraulichkeit wird mittels Hardwareverschlüsselung durch Kryptoboxen gewährleistet. PC-Konferenzsysteme ermöglichen die audiovisuelle Kommunikation zwischen dem T-Studio und dem FIZ. Für die Erstellung der Designmodelle werden die Prozeßmodule Skizzen und CAS-Modellierung eingesetzt. Daher findet neben Apple-basierten Grafikpro-

grammen das CAS-System ALIAS Verwendung. Die CAD-Anteile werden im FIZ auf Catia umgesetzt.

5. Planungsschritt (Aufbauorganisation)

Im Rahmen der Projektorganisation der BMW AG wird eine Projektleitung bestellt, die im FIZ angesiedelt ist. Die Designer im T-Studio sind auf den Einsatz von Grafikprogrammen auf der Apple-Plattform geschult. Sie organisieren sich in einem Team, das ein erfahrener und von allen Teammitgliedern respektierter Designer vor Ort moderiert. Die disziplinarische Leitung obliegt den Vorgesetzten im FIZ. Für die CAS-Modellierung werden lokale Freelancer angeworben. Administrative Belange übernimmt eine Teamassistentin. Ein Wartungsvertrag mit einer ortsansässigen Computerfirma garantiert die Einsatzfähigkeit der gesamten digitalen Infrastruktur.

Die Durchführung der einzelnen Kontrollschritte der Gestaltungsmethodik erfolgt in Iterationsschleifen jeweils im Anschluß an einen Planungsschritt. Im folgenden werden die Ergebnisse des ersten Kontrollschritts für das Entwicklungsprojekt *Dark Star* zusammengefaßt:

1. Kontrollschritt (Rahmenbedingungen)

Eine Veröffentlichung der Tabelle für die spezifischen Rahmenbedingungen des Projekts verbietet sich, da dies mit BMW internen Interessen kollidiert. Daher erfolgt nur eine stichpunktartige Darstellung der Ergebnisse:

Physische Infrastruktur

T-Studio befindet sich in einer europäischen Großstadt, die über einen internationalen Flughafen verfügt. Eine Zeitverschiebung ist nicht relevant. Die persönliche Sicherheit der Mitarbeiter ist garantiert. Der Standort gilt als außerordentlich attraktiv.

Digitale Infrastruktur und CAx-Ausstattung

ISDN wird von einem lokalen Telekommunikationsunternehmen bereitgestellt. Im Gebäude wird ein Ethernet eingerichtet. Audiovisuelle Kommunikation stellt ein Hardware-verschlüsseltes PC-Konferenzsystem sicher, das auch den Datentransfer gewährleistet. Das Netzwerk verfügt über keinen externen Zugang. Internetzugang ist über einen nicht vernetzten Computer möglich. Dies erspart eine Firewall. Zur CAS-Modellierung wird das UNIX-System ALIAS eingesetzt. Die CAD-Modellierung erfolgt auf dem UNIX-System Catia. Bildbearbeitung wird auf der Apple-Plattform umgesetzt, Büroarbeiten und PC-Konferenzsystem arbeiten auf PC-Basis. Sicherheitskopien werden auf Wechseldatenträgern erstellt.

Prozeßintegration

Die Kommunikation zwischen T-Studio und der Prozeßkette erfolgt über die Designabteilung im FIZ. Der Datenaustausch zwischen ALIAS und Catia erfolgt über eine direkte Schnittstelle.

Mitarbeiter

Die Qualifikation und Motivation der internen Mitarbeiter ist unbestritten. Externe Mitarbeiter werden zur Geheimhaltung verpflichtet.

Sicherheit

Der Standort gilt als sicher, die Kriminalität vor Ort ist im üblichen Rahmen. Die Gebäudesicherheit wird vom BMW Werkschutz auditiert. Der Datentransfer wird mittels Hardwareverschlüsselung sichergestellt.

2. Kontrollschritt (FMEA)

Die Projekt-FMEA wurde erst als Konsequenz aus den praktischen Erfahrungen im Rahmen des Projekts *Dark Star* als zweiter Kontrollschritt in die Gestaltungsmethodik eingeführt.

6.2.2 Bewertung des Einsatzes

Der praktische Einsatz der in Kapitel 4 vorgestellten Gestaltungsmethodik hat bestätigt, daß der Projektorganisation eines Entwicklungsprojekts in einer global verteilten Arbeitsumgebung ein wirkungsvolles Werkzeug zur strukturierten Planung vorliegt.

Im einzelnen hat sich gezeigt, daß speziell die Rahmenbedingungen im ersten Kontrollschritt nach jedem Planungsschritt der Methodik exakt zu aktualisieren sind. Bei der Umsetzung des Projekts wurde deutlich, daß neben der Strukturierung der Rahmenbedingungen auch ihre Überprüfung mittels Projekt-FMEA im zweiten Kontrollschritt notwendig ist, auf die im Projekt *Dark Star* verzichtet wurde. Die Projekt-FMEA stellt sicher, daß zu eventuellen Problemstellen vorab Lösungsvorschläge geplant und erarbeitet werden. Gerade beim Aufbau der Infrastruktur ergaben sich Probleme bei der Installation einer ISDN-Leitung, die den Aufbau der Infrastruktur um etwa drei Wochen unterbrach. Ein adäquates Problemmanagement mittels Projekt-FMEA hätte dies verhindert.

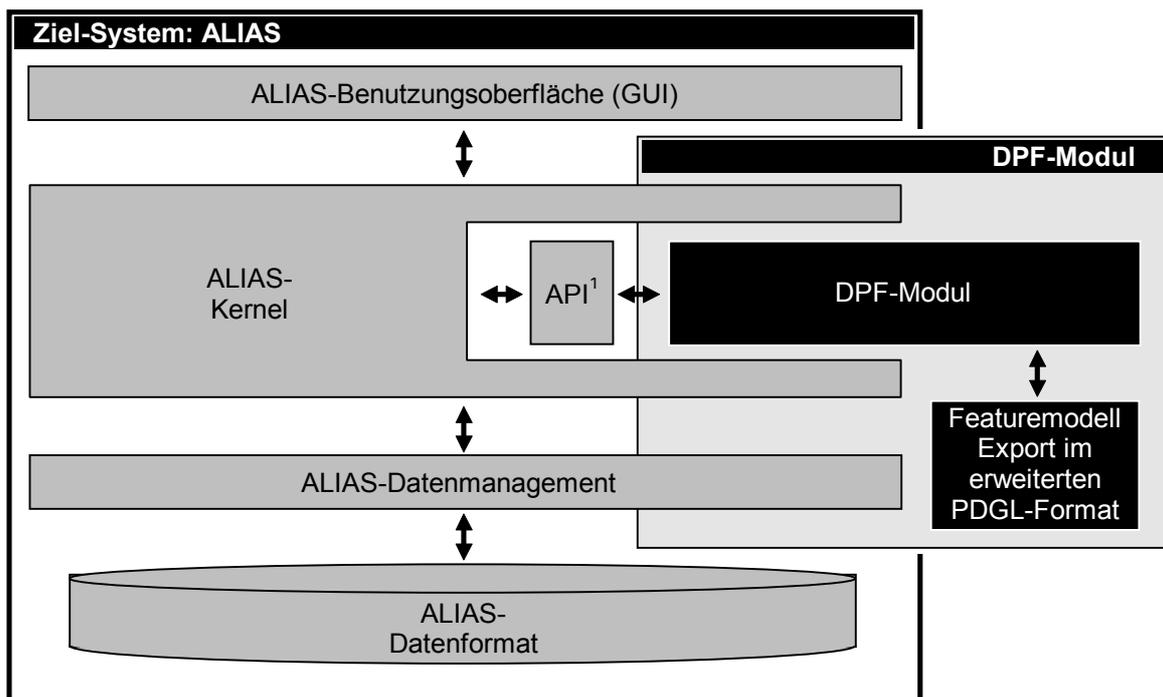
Weiter ist für die Umsetzung des Projekts und den Aufbau externer Entwicklungsstandorte ein ausreichend bemessener Zeitplan zu erstellen, der Pufferzeiten beinhaltet. Hierbei ist der kritische Pfad der Projektplanung zu analysieren. Damit lassen

sich Terminverschiebungen, die in der FMEA erkannt werden, berücksichtigen und gegebenenfalls abfangen.

6.3 Prototypische Umsetzung des Kooperationsmediums für die frühe Phase

6.3.1 Integration des DPF-Moduls in das CAS-System ALIAS

Der Funktionsnachweis des in Kapitel 5 vorgestellten Kooperationsmediums für die frühe Phase erfolgt durch die prototypische Realisierung des Designgestaltungsraums und damit der Packagefeatures. Hierfür wird das DPF-Modul in ein CAx-System integriert. Mit ihm lassen sich Packagefeatures erstellen, bearbeiten und das Packagemodell speichern. Ziel der Implementierung ist nicht die Erstellung eines produktiv einsetzbaren Systems, sondern rein der Funktionsnachweis. Der Prototyp dient auch als anschauliches Präsentations- und Diskussionsmedium für einen möglichen späteren Einsatz in der Prozeßkette.⁵



¹ API: Application Programming Interface, Programmierschnittstelle

Bild 6-1: Schematischer Aufbau der Integration des DPF-Moduls in die Systemarchitektur von ALIAS unter Verwendung der ALIAS-internen Programmierschnittstelle

Programmtechnisch wird das DPF-Modul im CAS-System ALIAS der Firma ALIAS | Wavefront in der Version 9.0 umgesetzt. In Ermangelung einer dokumen-

⁵ Bei der programmtechnischen Realisierung des DPF-Moduls wurde der Verfasser von Herrn cand.-inform. F. Rodler unterstützt.

tierten COM- oder CORBA-Schnittstelle für ALIAS erfolgt die Integration des DPF-Moduls über die ALIAS-interne Programmierschnittstelle. Bei der Programmierung findet OpenALIAS, ein Derivat der Programmiersprache C⁺⁺, Anwendung. OpenALIAS ist dokumentiert und unterstützt die ALIAS-interne Programmierschnittstelle. Damit ist das Aufrufen von ALIAS-Programmfunktionen innerhalb des DPF-Moduls möglich. Bild 6-1 zeigt schematisch die Integration des DPF-Moduls in die Systemarchitektur von ALIAS und den formalen Aufbau des DPF-Moduls. Bei der Implementierung des Designgestaltungsraums werden im übrigen Normen und Standards konsequent berücksichtigt.

Beim Arbeiten mit dem DPF-Modul übernimmt ALIAS die Visualisierung der Packagefeatures. Die Programmfunktionen des DPF-Moduls werden über die Benutzungsoberfläche von ALIAS ausgeführt. Für die Speicherung der Packagemodelle sind zwei Varianten vorgesehen. Zur Beschleunigung der Arbeitsgeschwindigkeit kann das featurebasierte Packagemodell zusammen mit dem Designmodell im ALIAS-Native-Format abgespeichert werden, wobei die Packagefeatures als eigene Elemente im ALIAS-Modell erhalten bleiben. Somit übernimmt ALIAS das Datenmanagement. Alternativ läßt sich das featurebasierte Packagemodell auch mit Hilfe einer Exportfunktion in dem oben beschriebenen, an die PDGL-Struktur angelehnten Datenspeicherformat getrennt vom Designmodell abspeichern und mittels Importfunktion laden. Dabei werden die einzelnen Features nacheinander in eine Liste ausgeschrieben. Anstatt der Variablendefinitionen werden aber konkrete Werte eingetragen. Zum Laden des Modells müssen dann neben dem Packagemodell auch die generischen Featuredefinitionen geladen werden, die die Variablendefinitionen enthalten. Dieses Datenspeicherformat vereinfacht die zukünftige Implementierung der Packagefeatures in weiteren Anwendungen innerhalb der Prozeßkette, zumal PDGL über eine in sich konsistente, öffentlich zugängliche Datenstruktur verfügt.

6.3.2 Darstellung der Packagefeatures im DPF-Modul

Mit dem DPF-Modul werden null-, ein- und dreidimensionale Packagefeatures realisiert. Auf die Implementierung zweidimensionaler Packagefeatures wird verzichtet, da diese derzeit nicht von der Prozeßkette unterstützt werden. Ebenso ist die Implementierung einer erweiterten Featuresemantik mit Funktionsaufrufen für weitere Schlüsselprogramme der Prozeßkette nicht zwingend für den Nachweis der Funktionsfähigkeit des Gestaltungsraums erforderlich. Das DPF-Modul erlaubt die Phänotypen offen, begrenzt und exakt.

Nulldimensionale Packagefeatures werden durch zwei Kegel symbolisiert, deren aufeinanderzeigende Spitzen durch eine Verbindungslinie miteinander verbunden sind. Ist der Abstand zwischen den Kegelspitzen und damit die Länge der Verbindungslinie Null, dann repräsentiert dies den geometrisch definierten Punkt eines exakten Features. In der Praxis wird die Verbindungslinie bei exakten Features im CAS-System nicht als Null dargestellt, sondern mit der im CAS-System eingestellten Toleranz zur Beschreibung von Freiformflächen. Aufgrund des Sehnenfehlers lässt sich nur so genau bestimmen, ob eine Fläche ein exaktes Feature tatsächlich schneidet. Bei begrenzten Features symbolisieren die Kegelspitzen die Extrema des Features und damit die Grenzen des aufgespannten Gestaltungsraums. Die Verbindungslinie zwischen den beiden Extrema beschreibt die Bandbreite des Features und definiert somit den freigegebenen Gestaltungsraum für die jeweilige Reifestufe. Bei offenen Features entfällt der Kegel auf der unbegrenzten Seite. Die Verbindungslinie ist in der offenen Richtung des Features unendlich. Die so definierte Darstellungsart beschreibt nulldimensionale Basisfeatures. Bild 6-2 zeigt schematisch die Darstellung von Packagefeatures im CAS-System ALIAS.

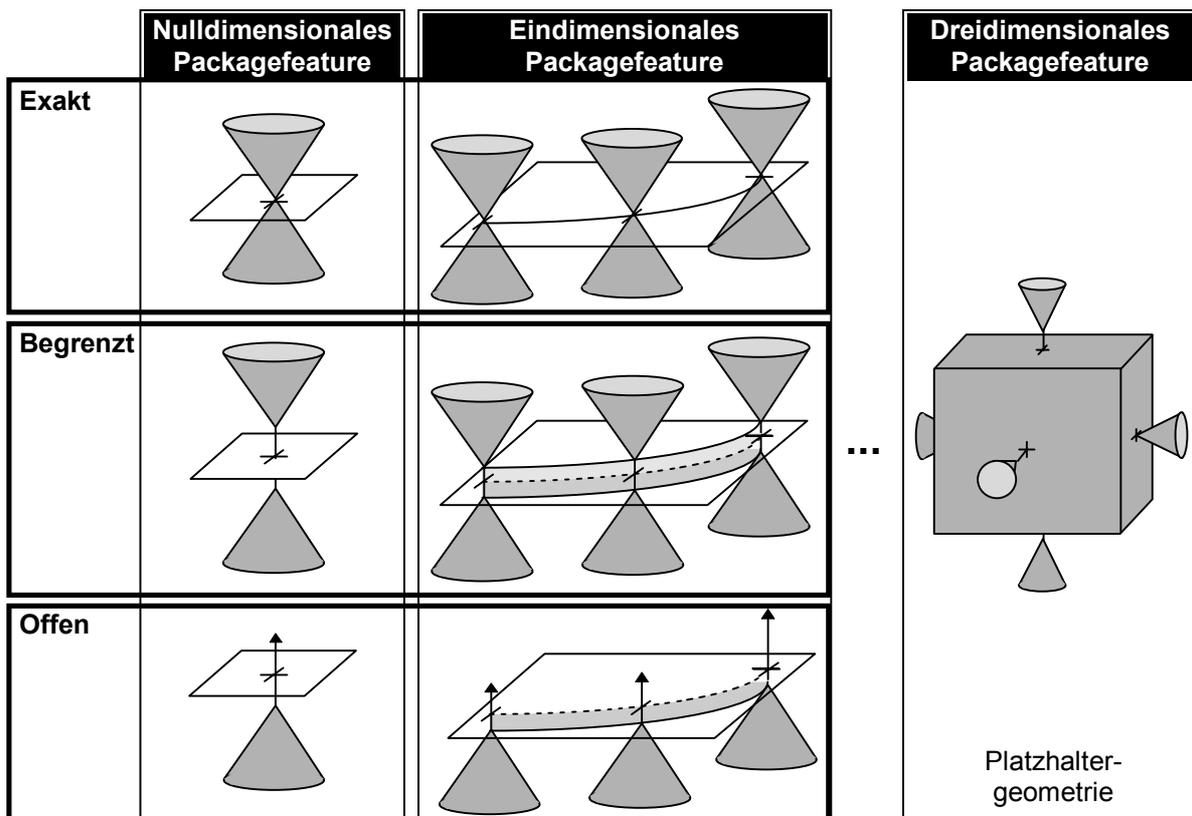


Bild 6-2: Schema der geometrischen Darstellung von Packagefeatures im DPF-Modul

Eindimensionale Packagefeatures werden durch linienförmige Packagemaße repräsentiert. Die grundsätzliche Darstellung erfolgt analog zu nulldimensionalen Features

ebenfalls durch Kegel. In ALIAS werden Linien üblicherweise als NURBS-Kurven dargestellt, die eindeutig durch ihre Kontrollpunkte definiert sind. Jedem dieser Kontrollpunkte läßt sich nun ein nulldimensionales Basisfeature zuordnen. Die Extrema dieser nulldimensionalen Basisfeatures stellen die Kontrollpunkte für die Begrenzungslinien des Features dar. Diese Begrenzungslinien spannen eine flächenförmige Bandbreite auf. Durch den Einsatz von Basisfeatures ergibt sich ein Vererbungssystem bei der Featuredefinition. Zum Manipulieren des eindimensionalen Features läßt sich jeder Kontrollpunkt einzeln auswählen und bearbeiten.

Die Darstellung dreidimensionaler Packagefeatures erfolgt mittels Platzhaltergeometrien, da sowohl für das Design, als auch für die Packageerstellung zunächst nur die Hauptabmaße der Bauteile wichtig sind. Die eigentliche Bauteilgeometrie wird somit nur angenähert dargestellt. Im DPF-Modul werden schwerpunktbasierte dreidimensionale Packagefeatures umgesetzt. Dabei wird dem Schwerpunkt jeder Grundfläche eines dreidimensionalen Features ein nulldimensionales Basisfeature zugeordnet.

6.3.3 Beschreibung der Funktionen des DPF-Moduls

Das DPF-Modul erweitert ALIAS um Funktionen zur Featurebearbeitung und zur Organisation des Designgestaltungsraums. Hierfür werden auf der Benutzungsoberfläche von ALIAS funktionsspezifische Schaltflächen integriert. Packagefeatures lassen sich im Modell Setzen, Verschieben, Drehen und Löschen. Dies ist entweder textuell über die Tastatur oder interaktiv mit der Computermaus möglich.

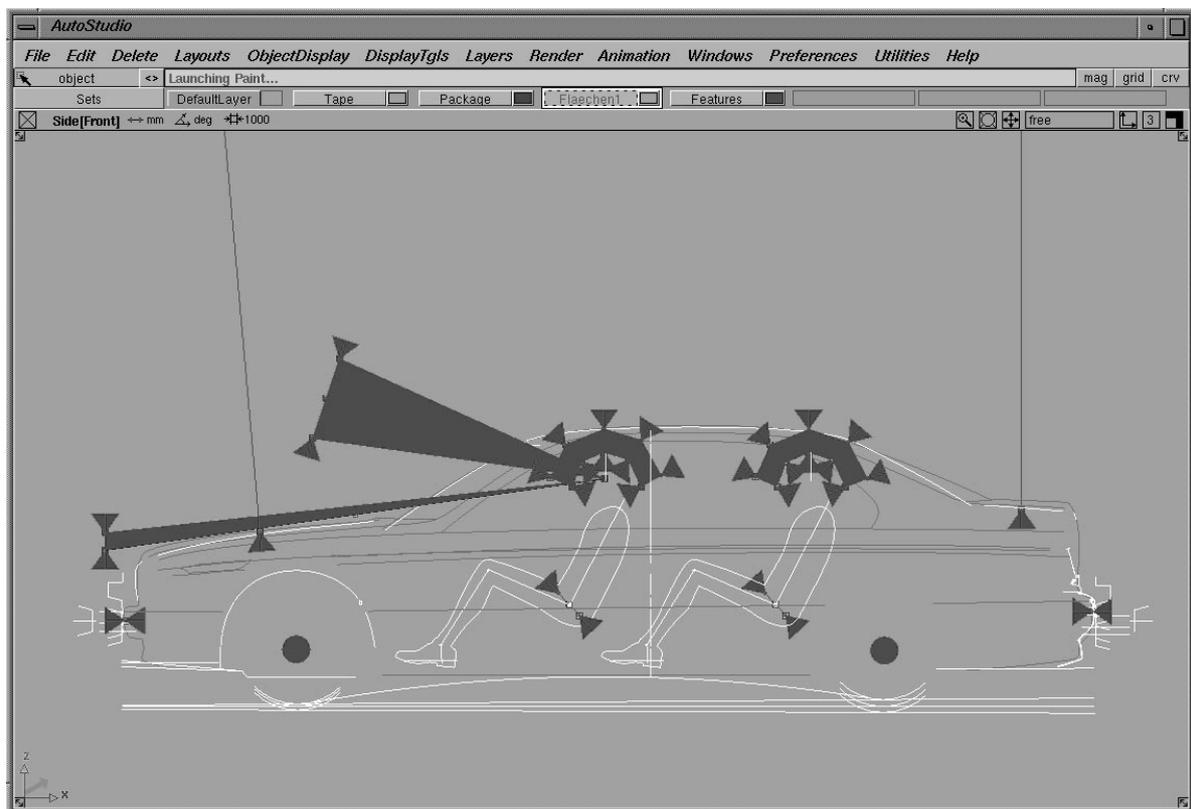
Die Hauptfunktion des DPF-Moduls besteht in der Überwachung des Gestaltungsraums. Packagekonformität ist dann erreicht, wenn sich alle mit ALIAS erstellten Freiformflächen innerhalb des von den Packagefeatures definierten Gestaltungsraums befinden. Packagekonformität liegt somit vor, wenn für jedes nulldimensionale Packagefeature eines Modells ein Schnittpunkt zwischen der in Bild 6-2 skizzierten Verbindungslinie und einer ALIAS-Freiformfläche existiert. Bei eindimensionalen Packagefeatures muß zur Packagekonformität eine ALIAS-Freiformfläche die flächenförmige Bandbreite des Features schneiden, ohne dabei die Begrenzungslinien zu schneiden. Die Definition der Packagekonformität für dreidimensionale Features ist analog. Eine ständige Überwachung des Designmodells bezüglich seiner Packagekonformität ist aus Anwendersicht sinnvoll, da damit der Bedienungskomfort erhöht wird. Allerdings verbraucht die ständige Überwachung große Ressourcen an Rechnerleistung. Daher wird die Überprüfung nur bei Bedarf vom Anwender angestoßen. Der aktuelle Status der Packagefeatures wird durch die Farbgebung der Ke-

gel und der Verbindungsflächen angezeigt. Eine grüne Darstellung steht für das Einhalten des Features entsprechend der Konvention. Rot steht für eine Abweichung vom zugelassenen Gestaltungsbereich. Der Status aller Packagefeatures lässt sich zudem in einer ASCII-Liste ausgeben, um sie beispielsweise einem Bewertungssystem zugänglich zu machen.

Aus programmtechnischen Gründen wird auf die Implementierung des Reduktionsfeatures verzichtet. Stattdessen ist im DPF-Modul eine Reduktionsfunktion direkt realisiert. Damit lässt sich die Anzahl der Reduktionsstufen im DPF-Modul global für alle Packagefeatures einstellen. Für jedes Feature besteht die Möglichkeit, die Reduktionsstärke individuell zu setzen, in dem die spezifischen Parameter des Features manuell geändert werden.

6.3.4 Typische Arbeitssitzung mit dem DPF-Modul

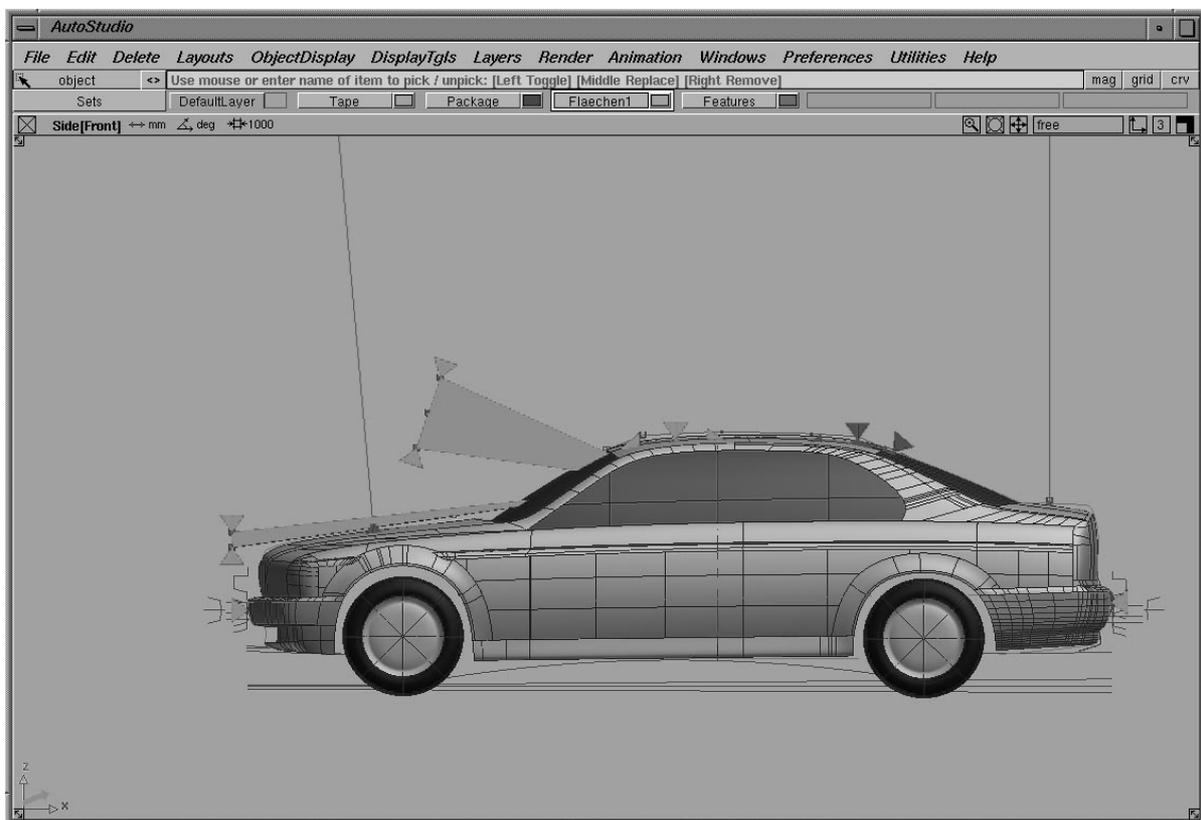
Im folgenden wird eine typische Arbeitssitzung beschrieben, bei der das DPF-Modul zum Einsatz kommt.



Hinweis: Alle Packagefeatures erscheinen rot bzw. dunkelgrau, da bislang keine Designaußenhaut definiert ist. Die Konturen des Vorgängermodells sind in hellgrau hinterlegt.

Bild 6-3: Aufbau des Fahrzeugpackages mit Hilfe von Packagefeatures

Ein in Catia modelliertes zweidimensionales Grobpackage läßt sich über eine Direkt-schnittstelle in ALIAS einlesen. Der Formgestalter stellt dieses Package in den Bildschirmhintergrund des ALIAS-Programms. Es dient als Grundlage für den Aufbau eines featurebasierten Packages. Nun wird das DPF-Modul in ALIAS gestartet. Die Packagemaße Radstand, Spurweite, Hüftpunkt, Gesamthöhe, Gesamtbreite, Gesamtlänge und Kofferraumhöhe lassen sich mittels nulldimensionalen Packagefeatures modellieren. Die Packagemaße 4°-Sichtstrahl, Motorraumhöhe und Kopffreiheit werden von eindimensionalen Packagefeatures repräsentiert. Zudem werden Phänotyp und Bandbreite der einzelnen Features eingestellt. Die einzelnen Features des Packagemodells erscheinen zunächst rot auf dem Bildschirm, da bislang keine Designaußenhaut erstellt wurde (Bild 6-3). Das zweidimensionale Catia-Package kann nun aus dem Bildschirmhintergrund ausgeblendet werden.



Hinweis: Die Packagefeatures in der vorderen Fahrzeughälfte erscheinen grün bzw. hellgrau (packagekonform). In der hinteren Fahrzeughälfte erscheinen sie rot bzw. dunkelgrau (nicht packagekonform).

Bild 6-4: Analyse der Packagekonformität des Fahrzeugdesigns beim Einsatz von Packagefeatures

Nun erstellt der Formgestalter in intensiver Zusammenarbeit mit dem Designer die Designaußenhaut. Hierzu lassen sich auch zweidimensionale Skizzen einscannen und wiederum als Vorlage in den Bildschirmhintergrund stellen. Nach der Modellierung größerer Abschnitte der Außenhaut kann mit der Analysefunktion des DPF-

Moduls die Packagekonformität überprüft werden. Packagekonforme Features werden grün eingefärbt, nicht konforme Features erscheinen in rot (Bild 6-4). Bei Nichtkonformität bildet das Analyseergebnis die Diskussionsgrundlage zunächst zwischen dem Designer und dem Formgestalter und gegebenenfalls auch mit dem Packageingenieur. Mit dem Erreichen des Meilensteins wird der Gestaltungsraum individuell für jedes Packagefeature reduziert.

Während der Arbeitssitzung hat das DPF-Modul großes Potential für die Erleichterung der Zusammenarbeit zwischen Designern und Packageingenieuren bewiesen. Speziell bei der Diskussion zur Packagekonformität zeigen sich die Einsatzmöglichkeiten des DPF-Moduls. Allerdings ist die Funktionalität des DPF-Moduls bislang noch sehr begrenzt und für den produktiven Einsatz nicht ausreichend. Daher wurden von den Anwendern Verbesserungen und Erweiterungen des Funktionsumfangs angeregt.

7 Zusammenfassung

Ausgangssituation für diese Arbeit ist die veränderte Wettbewerbssituation in der Automobilindustrie mit einer verteilten Arbeitsumgebung bei Entwicklungsprojekten als Regelfall und dem Zwang zur stetigen Verkürzung der Produktentwicklungszeiten. Zunächst wird der Produktentstehungsprozeß analysiert und restrukturiert. Ergebnis ist die Definition eines teilparallelisierten Produktentstehungsprozesses, eine systematische Darstellung des Produktentstehungsprozesses unter Berücksichtigung von Simultaneous Engineering. Zur Unterstützung einer verteilten Arbeitsumgebung werden Methoden und Werkzeuge aus dem Forschungsgebiet der Telekooperation vorgestellt.

Entsprechend der zentralen These wird in dieser Arbeit vorgeschlagen, den Ideenwettbewerb des Designs auf den vorab definierten parallelisierten Produktentstehungsprozeß zu übertragen. Dies geschieht durch die Einführung des fachbereichsintegrierenden Wettbewerbs alternativer Produktkonzepte in die frühe Phase. Dies bedeutet eine Erweiterung der allgemeinen Konstruktionsmethodik. Hierzu werden interdisziplinäre Konzeptteams definiert und im parallelisierten Produktentstehungsprozeß etabliert, in denen die produktdefinierenden Bereiche - explizit Design, Package und Innovation sowie Konstruktion und Produkt-Controlling - in einem gemeinsamen Prozeß kooperieren. Weiter erfolgt die Adaption des Zielfindungs- und Zielvereinbarungsprozesses für interdisziplinäre Konzeptteams. Ausgehend von einer detaillierten Betrachtung der Beispielprozesse Design- und Packageerstellung ergibt sich somit ein gemeinsamer, kooperativer Prozeßablauf. Um Konformität mit dem Simultaneous Engineering zu erreichen, erfolgt in dieser Arbeit die Reorganisation des auf physischen Hartstoffmodellen basierenden Designprozesses zum durchgängig rechnerunterstützten, modularen Designprozeß. Ein Reifestufenkonzept für den Umgang mit unreifen Daten bildet die Basis für die Zusammenarbeit innerhalb der Prozeßkette. Mit der parallelen Entwicklung und ganzheitlichen Betrachtung alternativer Produktkonzepte sind die Voraussetzungen geschaffen, die Zeit von der Konzeptauswahl bis zum Serienanlauf zu minimieren und damit die Entscheidungsunsicherheit aufgrund unerwarteter Marktentwicklungen zu reduzieren.

Der Erfolg der eingeführten interagierenden Produktdefinitionsphase mit interdisziplinären Konzeptteams läßt sich durch die Integration von Trends und Ideen aus unterschiedlichen Zielmärkten noch verbessern. Dies bedingt die Entsendung kompletter Konzeptteams oder zumindest einzelner Teammitglieder in den Zielmarkt und gegebenenfalls auch den Aufbau temporärer externer Entwicklungsstandorte. Auch sind

bereits bestehende, verteilte Standorte in das Entwicklungsprojekt zu integrieren. Für die Projektplanung einer global verteilten, interdisziplinären Produktdefinitionsphase wird daher im Rahmen dieser Arbeit eine Gestaltungsmethodik entwickelt. Sie gliedert sich in sieben Teilschritte, fünf Planungsschritte und zwei Kontrollschritte. Die Planung beginnt mit der Untersuchung der spezifischen Projektziele. Anschließend erfolgt die Analyse des Verteilungsprofils. Hierbei ist zwischen einem produktorientierten und einem prozeßorientierten Verteilungsprofil zu unterscheiden. Die Gestaltung der projektspezifischen Ablauforganisation berücksichtigt interdisziplinäre Konzeptteams und betrachtet die Schnittstellenproblematik in der Kooperation mit der weiteren Prozeßkette. Die Erstellung der Ablauforganisation bedingt den Einsatz von projektspezifischen Werkzeugen und Methoden sowie den Aufbau einer informationstechnischen Infrastruktur. Mit dem Wissen um die eingesetzten Methoden und Werkzeuge lassen sich die Teammitglieder auswählen und die Aufbauorganisation festlegen. Im Rahmen der beiden Kontrollschritte der Gestaltungsmethodik werden zunächst die internen und externen Rahmenbedingungen für das Projekt identifiziert und in die fünf Bereiche physische Infrastruktur, digitale Infrastruktur und Ausstattung, Prozeßintegration, Mitarbeiter und Sicherheit gegliedert. Anschließend erfolgt die Erstellung einer FMEA, um Probleme bei der Projektdurchführung schon bei der Planung zu erkennen und möglichst zu vermeiden. In jedem Fall erlaubt sie die Erstellung von Notfallplänen. Die FMEA verwendet dabei die Ergebnisse der vorangegangenen Analyse der Rahmenbedingungen. Die Plausibilisierung der Gestaltungsmethodik erfolgt im verteilten Entwicklungsprojekt *Dark Star* der BMW AG.

Zur Sicherstellung der Kooperation innerhalb der interdisziplinären Konzeptteams und zur Verbesserung der Kommunikation mit der weiteren Prozeßkette wird in dieser Arbeit ein Kooperationsmedium für die frühe Phase unter Verwendung der Featuretechnologie entwickelt. Die Basis bildet das zuvor vorgestellte Reifestufenkonzept, in dem die Anforderungen an die Datenreife für jede Reifestufe vorab von den Prozeßkettenpartnern festgelegt wird. Auf die Beispielprozesse Design- und Packagerstellung angewendet, läßt sich ein Designgestaltungsraum definieren, der im Lauf des gemeinsamen Prozeßablaufs gegen Null konvergiert. Das Package, also die Beschreibung der Fahrzeugtopologie, bildet dabei das Schlüsselmedium. Die Packagemaße lassen sich entsprechend ihres geometrischen Genotyps in null-, ein- und dreidimensionale Objekte klassifizieren. Ein Mehrwert ist realisierbar, wenn jedem Packagemaß eine Semantik zugeordnet wird, die für die Prozeßkette relevante Informationen enthält. Im Rahmen dieser Arbeit findet hierzu die Featuretechnologie Anwendung. Dabei werden Packagefeatures definiert, mit denen sich ein featureba-

siertes Packagemodell erstellen läßt. Durch die Zuordnung einer individuell definierbaren Bandbreite spannen die Packagefeatures den Designgestaltungsraum auf. Packagefeatures können die Phänotypen offen, begrenzt oder exakt annehmen. Zusätzlich werden zweidimensionale Packagefeatures definiert, die eine flächenhafte Beschreibung von Packagemaßen zulassen und auch unscharfe Flächen beschreiben können. Als Datenaustauschformat innerhalb der Prozeßkette bietet sich die Darstellung von Packagefeatures in der Featurebeschreibungssprache PDGL an, die herstellerunabhängig ist und bereits mit dem Featuremodelliersystem FEAMOS eine praktische Umsetzung erfahren hat. Weiter wird ein Konzept vorgeschlagen, das die Implementierung der Packagefeatures in kommerziell verfügbaren CAx-Systemen auf Basis der objektorientierten Systemarchitektur COM ermöglicht.

Der prototypische Funktionsnachweis des Konzepts der Packagefeatures erfolgt in dieser Arbeit mit der Entwicklung des DPF-Moduls, das über eine interne Programmierschnittstelle in das CAS-System ALIAS integriert ist. Das DPF-Modul erlaubt den Aufbau eines Fahrzeugpackages mit null-, ein- und dreidimensionalen Packagefeatures. Dabei läßt sich die Packagekonformität eines Designmodells während der gesamten Produktentstehung jederzeit überprüfen. Im DPF-Modul ist auch das Reifestufenkonzept umgesetzt, das den Designgestaltungsraum stufenweise auf Null reduziert. Die praktische Anwendung erfolgt mit der Beschreibung einer typischen Arbeitssitzung mit dem DPF-Modul.

Die vorliegende Arbeit stellt einen innovativen Beitrag zur Verbesserung der Produktdefinitionsphase des parallelisierten Produktentstehungsprozesses dar. Mit der Einführung des Konzeptwettbewerbs in die frühe Phase wird der produktorientierte Auswahl- und Entscheidungsprozeß des Designwettbewerbs erstmals auf den Ingenieurprozeß übertragen. Die vorgestellte Gestaltungsmethodik vereinfacht die Planung verteilter Entwicklungsprojekte und ermöglicht eine gezielte Berücksichtigung einer verteilten Arbeitsumgebung. Die rasante technische Entwicklung von Methoden der virtuellen Realität und der Telekooperation ermutigen zu der Annahme, daß in absehbarer Zeit bestehende Einschränkungen in der verteilten Kooperation auf Basis komplexer, hochauflösender Produktdaten, wie sie heute gerade bei Entscheidungspräsentationen im Design bestehen, wegfallen. Mit der Definition von Packagefeatures wird ein weiterer Baustein für die Implementierung der Featuretechnologie in die Prozeßkette der Automobilentwicklung vorgestellt. Zukünftige Forschungsarbeiten, die sich mit der durchgängigen Repräsentation des gesamten Produktlebenszyklus mittels Featuretechnologie befassen, können auf den in dieser Arbeit vorgestellten Konzepten aufbauen.

8 Literaturnachweis

- /1/ Spur, G.; Krause, F.-L.: Das virtuelle Produkt: Management der CAD-Technik. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1997.
- /2/ Weule, H.: Die Bedeutung der Produktentwicklung für den Industriestandort Deutschland. In: VDI-Tagung „Informationsverarbeitung in der Konstruktion'96“. SYSTEMS 96. Beilage. München: 1996.
- /3/ Dudenhöffer, F.: Abschied vom Massenmarketing: Systemmarken und Beziehungen erobern Märkte. Düsseldorf, München: ECON Verlag, 1998.
- /4/ Schein, E.: Unternehmenskultur: ein Handbuch für Führungskräfte. Frankfurt/ Main, New York: Campus Verlag, 1995.
- /5/ Heim, W.: Outsourcing - wettbewerbsfähiger durch optimale Nutzung der Potentiale von Zulieferern. In: io Management Zeitschrift 63 (1994), Nr. 7/8, S. 28-33.
- /6/ Champy, J.: Reengineering management: the mandate for new leadership. New York: Harper Business, 1995.
- /7/ Hammer, M.; Champy, J.: Reengineering the corporation: a manifesto for business revolution. New York: Harper Business, 1993.
- /8/ Hammer, M.; Stanton, S.: The reengineering revolution. New York: Harper Business, 1994.
- /9/ Nippa, M.; Picot, A.: Prozeßmanagement und Reengineering: Die Praxis im deutschsprachigen Raum: Konzepte und Praxisbeispiele. 2. Auflage. Frankfurt/ Main, New York: Campus Verlag, 1996.
- /10/ Ochs, B.: Methoden zur Verkürzung der Produktentstehungszeiten. Dissertation. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1992.
- /11/ Lincke, W.: Simultaneous Engineering: Neue Wege zu überlegenen Produkten. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1995.
- /12/ Helling, H.: Umgang mit unreifen Daten im Rahmen des Produktentstehungsprozesses der Automobilindustrie. Dissertation (in Vorbereitung). Karlsruhe: 2001.

- /13/ Cuiper, R.; Roßgoderer, U.: System zur durchgängigen Planung und Steuerung von Montageanlagen. In: Industrie Management 13 (1997) 1, S. 60-63.
- /14/ Gomes de Sá, A.; Kress, H.; Müller, St.: Digital Mock-Up in der Einbau und Montagesimulation. In: Neue Generation von CAD/CAM-Systemen - Erfüllte und Enttäuschte Erwartungen. VDI-Berichte 1357. Düsseldorf: VDI Verlag, 1997, S. 337-356.
- /15/ Doblies, M.: Globales Produktdatenmanagement zur Verbesserung der Produktentwicklung. Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin. Dissertation. Technische Universität Berlin: 1998.
- /16/ Binkowski, B.; Lechelmayer, R.; Pfeiffer, W.; Weiß, J.P.: Kreative Teamlösungen - grenzenlos - Telekooperation in der Entwicklung Fahrwerk. In: VDI Tagung „Berechnung und Simulation im Fahrzeugbau“. Würzburg: 1998.
- /17/ Reichwald, R.; Möslein, K.; Sachenbacher, H.; Englberger, H.; Oldenburg, S.: Telekooperation: Verteilte Arbeits- und Organisationsformen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1998.
- /18/ Grabowski, H.; Geiger, K. (Hrsg.): Neue Wege zur Produktentwicklung. Stuttgart: Raabe, 1997.
- /19/ Peters, S.: Betriebswirtschaftslehre. 6. Auflage. München, Wien: R. Oldenbourg Verlag, 1994.
- /20/ Lingnau, V.: Variantenmanagement: Produktionsplanung in Rahmen einer Produktdifferenzierungsstrategie. Dissertation. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 1994.
- /21/ DIN 69901: Projektwirtschaft. Projektmanagement. Begriffe. DIN-Normen und Publikationen. Berlin: Beuth Verlag, August 1987.
- /22/ Borowski, K.-H.: Das Baukastensystem in der Technik. Dissertation. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1961.
- /23/ Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre: Handbuch für Studium und Praxis. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1997.

- /24/ Franke, H.-J.; Kaletka, I.; Beukenberg, M.; Kunz, R.: Variantenreduzierung mit Baukastentechniken. In: ZWF 91 (1996) 10, S. 501-504.
- /25/ Kim, D.-J.; Kogut, B.: Technological Platforms and Diversification. In: Organization Science, Vol. 7, No 3, May-June 1996, S. 283-301.
- /26/ Mitrofanow, S.P.: Wissenschaftliche Grundlagen der Gruppentechnologie. Berlin: VEB-Verlag Technik, 1960.
- /27/ Spur, G.: Fabrikbetrieb. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1994.
- /28/ Von Hackenberg, U.; Hirtreiter, K.; Rummel, C.: Entwicklungs- und Produktionssynergien der Baukastentechnik. In: ATZ/ MTZ-Sonderausgabe Audi A6, 1996, S. 48-57.
- /29/ Robertson, D.; Ulrich, K.: Planning for Product Platforms. In: Sloan Management Review, Summer 1998, S. 19-31.
- /30/ Bellmann, K.: Produktion im Netzwerkverbund - Strategischer Faktor im globalen Wettbewerb. In: Nagel, K.; Erben, R.; Piller, F. (Hrsg.): Produktionswirtschaft 2000: Perspektiven für die Fabrik der Zukunft. Wiesbaden: Gabler, 1999, S. 195-216.
- /31/ Ahn, H.: Optimierung von Produktentwicklungsprozessen: Entscheidungsunterstützung bei der Umsetzung des Simultaneous Engineering. Dissertation. Wiesbaden: Gabler, 1997.
- /32/ Barclay, I.; Poolton, J.: Concurrent engineering: Concept and practice. In: International Journal of Vehicle Design (1994), Vol. 15, Nos. 3/4/5, S. 529-544.
- /33/ Schmidt, R.F.: Concurrent Design - Verkürzung von Entwicklungszeiten durch paralleles Konstruieren. In: Konstruktion 45 (1993), S. 145-151.
- /34/ Hayka, H.: Verkürzung der Produktentwicklungszeit durch Parallelverarbeitung. Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin. Dissertation. Technische Universität Berlin: 1998.
- /35/ Khanna, N.; Fortes, J.A.B.; Shimon, Y.N.: A formalism to structure and parallelize the integration of cooperative engineering design tasks. In: IIE Transactions (1998) 30, S. 1-15.

- /36/ Golm, F.: Gestaltung von Entscheidungsstrukturen zur Optimierung von Produktentwicklungsprozessen. Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin. Dissertation. Technische Universität Berlin: 1996.
- /37/ Krause, F.-L.; Golm, F.; Loske, B.; Raupach, C.: Simulation als Grundlage der Bewertung und Optimierung von Produktentwicklungsprozessen. In: VDI-Berichte 1215. Düsseldorf: VDI Verlag, 1995, S. 51-65.
- /38/ Krause, F.-L.; Raupach, C.: Modelling and Simulation of Product Development Processes. In: Proceedings of the 1st Open Workshop of the Intelligent Manufacturing Systems (IMS) Working Group, Lausanne, Schweiz, 15.-17. April 1998, S. 503-512.
- /39/ Tegel, O.: Methodische Unterstützung beim Aufbau von Produktentwicklungsprozessen. Schriftenreihe Konstruktionstechnik, Band 35. Dissertation. Technische Universität Berlin: 1996.
- /40/ Mertens, H.; DGF-Schwerpunktprogramm „Innovative, rechnerunterstützte Konstruktionsprozesse - Integration von Gestaltung und Berechnung“. In: Verkürzte Entwicklungsprozesse durch Integration von Gestaltung und Berechnung. VDI-Berichte 1487. Düsseldorf: VDI Verlag, 1998, S.13-30.
- /41/ Knickel, V.: Gestaltung von Kommunikationsprozessen an Schnittstellen in der Produktentwicklung - Methodisches Vorgehen und CSCW-Unterstützung. Produktionstechnische Berichte, Band 26. Dissertation. Universität Kaiserslautern: 1997.
- /42/ Kehler, T.: Designintegrierte Produktplanung und Produktkonzeption. Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin. Dissertation. Technische Universität Berlin: 1998.
- /43/ Hiller, F.: Ein Konzept zur Gestaltung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung. Produktionstechnische Berichte, Band 28. Dissertation. Universität Kaiserslautern: 1997.
- /44/ Kleedörfer, R.W.: Prozeß- und Änderungsmanagement der integrierten Produktentwicklung. Dissertation. Technische Universität München: 1998.

- /45/ Irlinger, R.: Methoden und Werkzeuge zur nachvollziehbaren Dokumentation in der Produktentwicklung. Dissertation. Technische Universität München: 1998.
- /46/ Krause, F.-L.: Leistungssteigerung der Produktionsvorbereitung. In: Tagungsband des Produktionstechnischen Kolloquiums (PTK). Markt, Arbeit und Fabrik. Berlin: 1992, S. 179-224.
- /47/ Bindbeutel, K.: Engineering-Rahmensystem für den integrierten Produktentwicklungsprozeß. Dissertation. Technische Universität München: 1998.
- /48/ VDI-Richtlinie 2217: Datenverarbeitung in der Konstruktion: Begriffserläuterungen. Entwurf. Verein Deutscher Ingenieure. Berlin: Beuth Verlag, 1979.
- /49/ Ehrenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung: Methoden für Prozeßorganisation, Produkterstellung und Konstruktion. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1995.
- /50/ Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): Betriebshütte - Produktion und Management. 7. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1996.
- /51/ VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Verein Deutscher Ingenieure. Berlin: Beuth Verlag, 1993.
- /52/ Wozny, M.J.: Research Trends in the U.S. for the next Generation CAD Systems. In: Krause, F.-L.; Ruland, D.; Jansen, H. (Hrsg.): CAD'92 - Neue Konzepte zur Realisierung anwendungsorientierter CAD-Systeme. Tagungsband der GI-Fachtagung. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag: Berlin, 1992.
- /53/ Terwiesch, C.: Die Parallelisierung von Entwicklungsprozessen: Eine empirische Untersuchung. In: DBW 59 (1999) 2, S. 163-173.
- /54/ Danner, S.: Ganzheitliches Anforderungsmanagement für marktorientierte Entwicklungsprozesse. Dissertation. Technische Universität München: 1996.

- /55/ Bürgel, H. D.; Haller, C.; Binder, M.: F&E-Management. München: Vahlen, 1996.
- /56/ Saatweber, J.: Kundenorientierung durch Quality Function Deployment: Systematisches Entwickeln von Produkten und Dienstleistungen. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1997.
- /57/ Kano, N.; Seraku, N.; Takahashi, S.; Tsuji, S.: Attractive Quality and Must-be-Quality. In: Quality, 14. Jg. (1984) Nr. 2, S. 39-48.
- /58/ Frese, E.: Grundlagen der Organisation: Konzept- Prinzipien- Strukturen. 6. Auflage. Wiesbaden: Gabler, 1995.
- /59/ Laux, H.; Liermann, F.: Grundlagen der Organisation: Die Steuerung von Entscheidungen als Grundproblem der Betriebswirtschaftslehre. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1993.
- /60/ Madauss, B.: Handbuch Projektmanagement: mit Handlungsanleitungen für Industriebetriebe, Unternehmensberater und Behörden. 5. Auflage. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1994.
- /61/ Picot, A.; Dietl, H.; Franck, E.: Organisation: eine ökonomische Perspektive. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1996.
- /62/ Teufel, S.; Sauter, C.; Mühlherr, T.; Bauknecht, K.: Computerunterstützung für die Gruppenarbeit. Bonn: Addison-Wesley, 1995.
- /63/ Longmuß, J.; Salein, M.; Beitz, W.; Mertens, H.: Projektorientierte Gruppenarbeit in der Konstruktionsausbildung - ein erfolgreicher Ansatz. In: Konstruktion 47 (1995), S. 409-416.
- /64/ Rohmert, W.; Weg, F. J.: Organisation teilautonomer Gruppenarbeit. Beiträge zur Arbeitswissenschaft. Reihe 1: Angewandte Forschung. Band 1. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1992.
- /65/ Franck, E.; Jungwirth, C.: Das Konzept der Gruppenarbeit neu aufgerollt. In: zfo 3/1999, S. 156-161.
- /66/ Thomas, P. (Hrsg.): CSCW Requirements and Evaluation. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1997.

- /67/ Wolf, F. (Hrsg.): Telekooperation in Forschung und Lehre. Mitteilungsblatt Nr. 70, Regionalen Rechenzentrums Erlangen. Erlangen: 1998.
- /68/ Rensmann, J. H.; Gröpler, K.: Telearbeit: ein praktischer Wegweiser. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1998.
- /69/ Niggel, M.: Teleworking als innovative Form organisatorischer Zusammenarbeit - Ein erster Erfahrungsbericht zur Einführung von alternierender Telearbeit bei der BMW AG. In: 51 (23 NF) 1997/ 4, Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, S. 259-266.
- /70/ N.N.: European Telework Awards. European Telework Week - ETW. ETW: 2000.
[Web-Dokument - URL <http://www.etw.org>]
- /71/ Pribilla, P.; Reichwald, R.; Goecke, R.: Telekommunikation im Management: Strategien für den globalen Wettbewerb. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1996.
- /72/ Picot, A. (Hrsg.): Marktplatz Internet: neue Geschäftsformen - neue Spielregeln. Tagungsband. Heidelberg: Hüthig, 1999.
- /73/ Picot, A.; Reichwald, R.; Wigand, R.: Die grenzenlose Unternehmung: Information, Organisation und Management. Lehrbuch zur Unternehmensführung im Informationszeitalter. Wiesbaden: Gabler, 1996.
- /74/ Mertens, P.: Virtuelle Unternehmen. In: Wirtschaftsinformatik, 36 (1994) 2, S. 169-172.
- /75/ Davidow, W. H.; Malone M. S.: Das virtuelle Unternehmen; der Kunde als Co-Produzent. Frankfurt/ Main, New York: Campus Verlag, 1993.
- /76/ Clemons, E. K.; Row, M. C.; Miller, D. B.: Rosenbluth International Alliance: Information Technology and the Global Virtual Corporation. In: Proceedings of the 25th Hawaii International Conference on System Science. Hawaii: IEEE, 1992, S. 678-686.
- /77/ N.N.: Vermittelnde Netze, Switched Link, Angebot, Produktinformationen. Bonn: Deutsche Telekom AG, 2000.
[Web-Dokument - URL http://www.telekom.de/angebot/datenkomm/verm_netze/main.htm]

- /78/ Renner, U.; Nauck, J.; Balteas, N.: Satellitentechnik. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1988.
- /79/ N.N.: History of the World Wide Web, 2001.
[Web-Dokument - URL <http://www.http://ei.cs.vt.edu/~wwwbtb/book/chap1/index.html>]
- /80/ Hameri, A.-P.; Nordberg, M.: From Experience: Linking Available Resources and Technologies to Create a Solution for Document Sharing - The Early Years of the WWW. In: The Journal of Product Innovation Management, Vol. 15, No. 4, July 1998, S. 322-334.
- /81/ Murphy, E.; Hays, S.; Enders, M.: TCP/IP: Tutorial and Technical Overview. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996.
- /82/ ISO 7498: Information Processing Systems - Open Systems Interconnection - Basic Reference Model.
- /83/ Hallfell, F.; Stammwitz, G.: Intranets: Offene Informationssysteme im Unternehmen. In: m&c - Management & Computer 5 (1997) H.1, S. 11-18.
- /84/ Lau, H.: The Role of Intranet/ Internet Technology for Manufacturing. In: Engineering with Computers (1998) 14, S. 150-155.
- /85/ Mues, H.-G.: ENX - European Network Exchange. In: Krause, F.-L.; Tang, T.; Ahle, U.: Innovationsforum Virtuelle Produktentstehung. Vorträge/ Proceedings. 11.-12. Mai 2000. Blue Band Hotel Berlin: 2000, S.109-124.
- /86/ Wallace, M.: Groupware: If You Build It, They May Not Come. In: IEEE Transactions on Professional Communication, Vol. 40, No. 1, March 1997, S. 48-53.
- /87/ Luczak, H.; Springer, J.; Herbst, D.; Schlick, C.; Stahl, J.: Kooperative Konstruktion und Entwicklung. Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen: 1996.
- /88/ Turletti, T.; Huitema, C.: Videoconferencing on the Internet. In: IEEE/ ACM Transactions on Networking, Vol. 4, No. 3, June 1996, S. 340-351.
- /89/ N.N.: ITU-T H.320 Standards for Video Conferencing. IMTC Standards, 1999.
[Web-Dokument - URL http://www.imtc.org/i/standard/itu/i_88.htm]

- /90/ N.N.: A Primer on the H.323 Series Standard. Version 2.0. Lexington: DataBeam Corporation, 1998.
[Web-Dokument - URL <http://www.databeam.com>]
- /91/ Gessner, K.; Bayer, J.; Kehler, T.: Anforderungen an eine global verteilte Arbeitsumgebung im Rahmen des Designprozesses in der Automobilindustrie. In: Informationsverarbeitung in der Konstruktion'98 - Prozeßketten für die virtuelle Produktentwicklung in verteilter Umgebung. VDI-Berichte 1435. Düsseldorf: VDI Verlag, 1998, S.183-198.
- /92/ Marock, J.: BSCW Basic Support for Cooperative Work. BSCW 3.2 Handbuch. GMD Report Nr. 36. GMD: 1998.
[Web-Dokument - URL <http://www.gmd.de/publications/report/0036/>]
- /93/ Müller, A.: Shared Engineering with OpenSpace from CoCreate. Technical White Paper. CoCreate Software GmbH: 1999.
[Web-Dokument - URL <http://www.cocreate.com>]
- /94/ Czernuszenko, M.; Pape, D.; Sandin, D.; DeFanti, T.; Dawe, G.L.; Brown, D.M.: The ImmersaDesk and Infinity Wall Projection-Based Virtual Reality Displays. Electronic Visualisation Laboratory. University of Illinois at Chicago: 2000.
[Web-Dokument - URL <http://www.evl.uic.edu/pape/CAVE/idesk/paper/>]
- /95/ Cruz-Neira, C.; Sandin, D.J.; DeFanti, T.A.: Surround-screen Projection-based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE. In: SIGGRAPH. Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series. Anaheim, CA: 1993, S. 135-142.
- /96/ Ghazisaedy, M.; Adamczyk, D.; Sandin, D.J.; Kenyon, R.V.; DeFanti, T.A.: Ultrasonic Calibration of a Magnetic Tracker in a Virtual Reality Space. In: Proceedings of the IEEE Virtual Reality Annual International Symposium. Triangle Park, NC: 1995, S. 179-188.
- /97/ Österle, H.; Riem, R.; Vogler, P.: Middleware. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg-Verlag, 1996.
- /98/ Schuh, G.; Siepmann, T.; Jansen, T.: Durch Middleware Standorte vernetzen. In: ZWF 92 (1997) 3, S. 119-121.

- /99/ N.N.: Object Management Group Home Page. Framingham: Object Management Group, 2000.
[Web-Dokument - URL <http://www.omg.org>]
- /100/ N.N.: The Component Object Model Specification. Version 0.9. Redmond: Microsoft Corporation, 1995.
[Web-Dokument - URL <http://www.microsoft.com>]
- /101/ Geraghty, R.; Joyce, S.; Moriarty, T.; Noone, G.: COM - CORBA Interoperability. Prentice Hall series on Microsoft technologies. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.
- /102/ Hummelt, R.: Wirtschaftsspionage auf dem Datenhighway: strategische Risiken und Spionageabwehr. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1997.
- /103/ Garfinkel, S.: PGP: Pretty Good Privacy: Verschlüsselung von E-Mail. Bonn: O'Reilly/ International Thomson Verlag, 1996.
- /104/ Hausschildt, J.: Innovationsmanagement. 2. Auflage. München: Vahlen, 1997.
- /105/ Koppelman, U.: Produktmarketing: Entscheidungsgrundlagen für Produktmanager. 5. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1997.
- /106/ Meffert, H.: Marketing-Management: Analyse, Strategie, Implementierung. Wiesbaden: Gabler Verlag, 1994.
- /107/ Tidd, J.; Bessant, J.; Pavitt, K.: Managing innovation: integrating technological, market, and organizational change. Chichester: John Wiley & Sons, 1997.
- /108/ Twiss, B.: Managing technological innovation. 4. Auflage. London: Pitman Publishing, 1994.
- /109/ Horváth, P.: Target Costing - marktorientierte Zielkosten in der deutschen Praxis. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1993.
- /110/ Lehnhardt, J.-M.: Analyse und Generierung von Designprägnanzen. Dissertation. Köln: Fördergesellschaft Produkt-Marketing e.V., 1996.

- /111/ Walker, J.: Designgeschichte: Perspektiven einer wissenschaftlichen Disziplin. München: scaneg Verlag, 1992.
- /112/ Bernsen, J.: Twelve Principles of Design Management. In: Oakley, M. (Hrsg.): Design Management: A handbook of issues and methods. Oxford, Cambridge (Mass.): 1990, S. 86ff.
- /113/ Theiss, P.: Beruf: Automobildesigner - Anmerkungen zur Tätigkeit der Designer im Automobilbereich. In: Kiesselbach, R. (Hrsg.): The drive to design. München: avedition, 1998, S. 116-125.
- /114/ Hucho, W.-H.: Design und Aerodynamik - Wechselspiel zwischen Kunst und Physik. In: Kiesselbach, R. (Hrsg.): The drive to design. München: avedition, 1998, S. 184-201.
- /115/ Bürdek, B.E.: Design: Geschichte, Theorie und Praxis der Produktgestaltung. Köln: DuMont Buchverlag, 1991.
- /116/ Spies, H.: Integriertes Designmanagement. Dissertation. Köln: Fördergesellschaft Produkt-Marketing e.V., 1993.
- /117/ Mischok, P.; Alber, S.; Robb, D.; Anwendung neuer CA-Techniken im Automobildesign der BMW AG. In: Datenverarbeitung in der Konstruktion'92 - CAD im Fahrzeugbau und im Transportwesen. VDI-Berichte 993.2. Düsseldorf: VDI Verlag, 1992, S.141-157.
- /118/ Bangle, C.; Kehler, T.; Mischok, P.: About Catalytic Design. In: Proceedings of ATA Conference. Florenz: März 1997, S. 11-24.
- /119/ Buck, A.; Vogt, M. (Hrsg.): Design-Management: was Produkte wirklich erfolgreich macht. Frankfurt/ Main: Frankfurter Allgemeine; Wiesbaden: Gabler Verlag, 1997.
- /120/ Rat für Formgebung (Hrsg.): Design-Management. Düsseldorf, Wien, New York: ECON Verlag, 1990.
- /121/ N.N.: Praxis des Design-Managements. Arthur D. Little International. Frankfurt/ Main, New York: Campus Verlag, 1990.
- /122/ Rummel, C.: Designmanagement: Integration theoretischer Konzepte und praktischer Fallbeispiele. Dissertation. Wiesbaden: DUV, 1994.

- /123/ Tovey, M.: Form Creation Techniques for Automotive CAD. In: Design Studies, Vol. 15, No. 1. Elsevier, 1994.
- /124/ Yamada, Y.: Clay modeling: techniques for giving three-dimensional form to idea. Car Styling Extra Issue (1993) Vol. 93 1/ 2.
- /125/ Lüddemann, J.: Virtuelle Tonmodellierung zur skizzierenden Formgestaltung im Industriedesign. Dissertation. Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum. Technische Universität Berlin: 1998.
- /126/ Zorin, D.; Schröder, P.; Sweldens, W.: Interactive Multiresolution Mesh Editing. In: SIGGRAPH. Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series. Los Angeles: 1997, S. 259-268.
- /127/ Hogh, J.; Marx, P.; Padmanabhan, S.; Rall, U; Stöcker, H; Winkler, H.: Das CAD-CAM-CAE-System Catia Version 4: der Leitfaden mit praktischen Lösungen. Landsberg/ Lech: Verlag Moderne Industrie: 1996.
- /128/ DIN EN ISO 8402: Qualitätsmanagement: Begriffe. DIN-Normen und Publikationen. Berlin: Beuth Verlag, August 1995.
- /129/ Gessner, K.; Helling, H.; Brunner, H.: Umgang mit unreifen Daten in der frühen Phase der Automobilentwicklung. In: ZWF 94 (1999) 7-8, S. 445-448.
- /130/ Wöhe, G.: Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 18. Auflage. München: Vahlen, 1993.
- /131/ N.N.: VW: Entwicklungsprojekte sollen um die Erde kreisen. Süddeutsche Zeitung Nr. 153 (1997), S. 24.
- /132/ Koppenhöfer, C.; Johannsen, A; Krcmar, H.: Bedarf und Szenarien für die Telekooperation in der verteilten Produktentwicklung. Industrie Management, Nr. 3, Juni 1998, S. 16-19.
- /133/ Scheucher, F.: FMEA - Failure Mode and Effects Analysis. In: Kamiske, G. (Hrsg.): Die Hohe Schule der Qualitätstechnik. Tagungsband. Technische Universität Berlin: 1990, S. 3-22.

- /134/ Schmidt, J.; Minges, R.; Astariades, N.; Müller.: FMEA - eine Chance für den Mittelstand. In: Qualität und Zuverlässigkeit (QZ) 36 (1991) 1, S. 27-30.
- /135/ Kamiske, G. F.; Brauer, J.-P.: Qualitätsmanagement von A bis Z: Erläuterungen moderner Begriffe des Qualitätsmanagements. 2. Auflage. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1995.
- /136/ Stahl, P.: Die Qualitätstechnik FMEA als Lerninstrument in Organisationen. Dissertation. Wiesbaden: Gabler, 1997.
- /137/ N.N.: Pons - Globalwörterbuch Englisch - Deutsch. 1. Auflage. Stuttgart: Klett, 1990.
- /138/ Weber, C.; Bär, T.: Ergebnisse der Fragebogen-Umfrage: Grundlagen und Ziele der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Feature-Technologie. Universität des Saarlandes. Saarbrücken: 1995.
- /139/ Krause, F.-L.; Ulbrich, A.; Vosgerau, F.H.: Feature-basiertes Systemkonzept für die integrierte Produktentwicklung. In: Internationaler CAD-Kongreß, SYSTEC-90. München: 1990 S. 57-70.
- /140/ Shah, J.J.: Assessment of Feature Technology. In: Journal for Computer-Aided Design, Vol. 23, June 1991, S. 331-343.
- /141/ Ruf, T.: Feature-basierte Integration von CAD/ CAM-Systemen. Reihe Informatikberichte, Band 297. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1991.
- /142/ Rieger, E.: Semantikorientierte Features zur kontinuierlichen Unterstützung der Produktgestaltung. Dissertation. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1995.
- /143/ Kiesewetter, T.: Integrativer Produktentwicklungsarbeitsplatz mit Multimedia- und Breitbandkommunikationstechnik. Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin. Dissertation. Technische Universität Berlin: 1997.
- /144/ Krause, F.-L.; Martini, K.: Feature-basierte Modellierung des Produktgebrauchs. In: VDI-Berichte 1322. Düsseldorf: VDI Verlag, 1997, S. 347-364.

- /145/ Franke, H.-J.; Schulz, A.; Sauermann, F.; Hagemann, D.: GADGETS: Komponenten einer funktional orientierten Produktmodellierung. In: Ru-land, D. (Hrsg.): Verteilte und intelligente CAD-Systeme. Tagungsband, CAD'96. Kaiserslautern: Dt. Forschungszentrum für künstliche Intelligenz, 1996, S. 32-46.
- /146/ Franke, H.-J.: Beanspruchungsgerechte Grobgestaltung mit dem GADGETS-Modellierer. Technische Universität Braunschweig: 2000.
[Web-Dokument - URL <http://www.ikmfbs.ing.tu-bs.de/projekte/gadget/zufassung/schnaittach1096/schnaittach1096.thm>]
- /147/ Krause, F.-L.; Kramer, S.; Rieger, E.: PDGL - A Language for Efficient Feature-Based Product Gestaltung. In: Annals of the CIRP, Vol. 40/ 1, 1991, S. 135-138.
- /148/ Broy, M.: Informatik: eine grundlegende Einführung. Teil 4. Theoretische Informatik, Algorithmen und Datenstrukturen, Logikprogrammierung, Objektorientierung. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1995.
- /149/ Kramer, S.: Virtuelle Räume zur Unterstützung der Feature-basierten Produktgestaltung. Dissertation. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1994.
- /150/ Stiel, C.: Featurebasiertes Gestalten von Produkten mit Freiformflächen. Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin. Dissertation. Technische Universität Berlin: 1998.
- /151/ Geuß, H.; Krist, R.; Seidl, A.: RAMSIS - ein System zur Erhebung und Vermessung dreidimensionaler Körperhaltungen von Menschen zur ergonomischen Auslegung von Bedien- und Sitzplätzen im Auto. Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT). Frankfurt/ Main: 1995.
- /152/ VDI-Richtlinie 2218: Feature-Technologie. Entwurf. Verein Deutscher Ingenieure. Berlin: Beuth Verlag, 1999.
- /153/ N.N.: Pro/ENGINEER. Release 18.0. Book Name: Fundamentals. CD-Online-Handbücher. Waltham: Parametric Technology Corporation, 1997.
- /154/ Krause, F.-L.; Stiel, C.: Feature-basierte Konstruktion mit Freiformflächen. In: ZWF 91 (1996) 3, S. 101-104.

- /155/ Aurich, J. C.: Werkstoffmodellierung mit Technischen Freiformelementen. Dissertation. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 20, Nr. 183. Düsseldorf: VDI Verlag, 1995.
- /156/ Franke, H.-J.; Peters, M.; Schulz, A.: Modellieren mit Gadgets - eine interaktive Methode zur intelligenten Verbindung von Berechnung und Konstruktion. In: Datenverarbeitung in der Konstruktion. VDI-Berichte 1148. Düsseldorf: VDI Verlag, 1994, S. 501-516.
- /157/ van Houten, F.J.A.M: PART: A Computer Aided Process Planning System. Proefschrift. Universiteit Twente. Enschede: 1991.

9 Anhang: Darstellung von PDGL in der Backus-Naur-Form

Grundstruktur von PDGL

```
<Featurebeschreibung> ::= SCHEMA <Bezeichnung>;
    <Entity>1
    <Funktion>2
END_SCHEMA;
```

Teilstruktur Entity

```
<Entity> ::= ENTITY <Featuretyp>;
    [<Variablenname> : <Variablentyp>;]2
    <Derive-Relationen>2
END_ENTITY;

mit <Derive-Relationen> ::= DERIVE;
    [<Variablenname>:<Variablentyp> := <Ausdruck>;]1
```

Teilstruktur Funktion

```
<Funktion> ::= FUNCTION <Funktionsname>
    ([[<Variablenname>][, <Variablenname>]2 : [<Variablentyp>]]2)
    : <Variablentyp>;

    [[LOCAL;
        [[<Variablenname>][, <Variablenname>]2 :
            [<Variablentyp>];]1
    END_LOCAL;] | epsilon]

    [<Anweisung> | <Conditional> | <Schleife>]2
    RETURN <Variablenname>;
END_FUNCTION;

<Schleife> ::= DOWHILE
    {
        [<Anweisung> | <Conditional> | <Schleife>]2
    }

<Conditional> ::= IF (<Ausdruck>) THEN [<Anweisung> | <Conditional>
    |<Schleife>]1
    [ELSE
        [<Anweisung> | <Conditional> | <Schleife>]+ | epsilon]
    ENDIF;
```

Ausdrücke

```
<alphanumeric> ::= [a|...|z|A|...|Z][a|...|z|A|...|Z|0...9]2
<Anweisung> ::= [<Variablenname> := <Ausdruck>;]
<Ausdruck> ::= [<Funktionsaufruf> | ...]
<Featuretyp> ::= <alphanumeric>
<Funktionsaufruf> ::= [a|...|z|A|...|Z][a|...|z|A|...|Z|0...9]2
<Kommentar> ::= -- [a|...|z|A|...|Z|0...9|.|;|:|...]2
<String> ::= [a|...|z|A|...|Z|0...9|.|;|:|...]2
<Variablenname> ::= <alphanumeric>
<Variablentyp> ::= [DISTANCE | STRING | GEOMETRIC | LOGICAL |
    TRANSFORMATION_MATRIX | <Featuretyp>]
```

¹ Mindestens eine Wiederholung.

² Mindestens null Wiederholungen.