

Lehrstuhl für Produktentwicklung
der Technischen Universität München

Methodische Unterstützung funktions- orientierter Baukastenentwicklung am Beispiel Automobil

Ingo Renner

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen
der Technischen Universität München
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. rer. nat Heiner Bubb

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Heißing

Die Dissertation wurde am 23.10.2006 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen
am 21.05.2007 angenommen.

Vorwort des Herausgebers

Problemstellung

Heutige Märkte zeichnen sich durch einen hohen Grad an Veränderungen aus, die eine Verschärfung des Wettbewerbs mit sich bringen. Hierzu zählen u. a. die zunehmende Globalisierung oder der größer werdende Wunsch der Kunden nach Individualisierung und Differenzierung. Auf diesen Produktivitätsdruck reagieren viele Hersteller mit einer Erhöhung der Variantenvielfalt, was eine Steigerung der Komplexität auf Produkt-, Teile- und Prozessebene, eine unüberschaubare Variantenzahl und eine Erhöhung der Kosten zur Folge hat.

Die baukastengerechte Entwicklung von Komponenten und Systemen im Kontext komplexer Produkte ist ein vielversprechender Lösungsansatz, um das steigende Varianten- und Komplexitätsproblem zu bewältigen.

Zielsetzung

Übergeordnete Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist es, dem Entwickler Vorgehen und Werkzeuge an die Hand zu geben, um Produkte variantengerecht zu gestalten. So sollen bereits in der frühen Phase einer Produktentwicklung die Varianz, die damit zusammenhängenden Auswirkungen sowie die damit verbundene Komplexität berücksichtigt und ein ausgeprägtes Bewusstsein dafür geschaffen werden.

Demnach ist ein umfassendes Verfahren zu erarbeiten, das durch die frühzeitige Berücksichtigung variantengerechter Belange in der Entwicklung einen erfolgreichen Einsatz von Baukastensystemen ermöglicht. Hierbei soll die vom Kunden gewünschte, notwendige externe Variantenvielfalt mit einer möglichst geringen unternehmensinternen Vielfalt realisiert werden.

Der Fokus liegt dabei auf der Baukastenbauweise, die einen vielversprechenden Lösungsansatz für diese Varianten- und Komplexitätsproblematik darstellt. Dementsprechend ist die Erarbeitung einer systematischen Unterstützung von Planung und Umsetzung geeigneter Baukastensysteme ein weiteres Ziel der vorliegenden Arbeit. Hierzu zählen neben Prozessen auch Methoden und unterstützende Hilfsmittel. Konkrete Vorschläge geben dem Entwickler den Weg zur baukastengerechten Gestaltung vor.

Da die Varianten- und Komplexitätsproblematik in unterschiedlichsten Disziplinen auftritt, ist eine Allgemeingültigkeit und prinzipielle Erweiterbarkeit des Lösungsansatzes anzustreben.

Ergebnisse

In der vorliegenden Arbeit wurde ein umfassender, transparenter Gesamtprozess zur baukastengerechten Entwicklung und Gestaltung erarbeitet. Neben dem eigentlichen Vorgehen wurden Methoden und Hilfsmittel situationsgerecht eingesetzt und anforderungsgerecht erweitert bzw. bei zusätzlichem Bedarf neu entwickelt. Der erarbeitete Prozess zur Bau-

kastenenwicklung erlaubt die systematische Konzeption von Baukastensystemen unterschiedlichster Art.

Zentraler Gedanke dieses Prozesses ist die Betonung und Berücksichtigung der Kundensicht bei der Entwicklung. Gerade im Premiumsegment ist ein Baukastenansatz ohne Beeinträchtigung und negativen Effekten für den Kunden zu konzipieren. Mit der Einbettung der Funktionsorientierung in den Baukastenentwicklungsprozess wurde dies ermöglicht. Zur zielgerechten Unterstützung dieses funktionsorientierten Prozesses wurden diverse Methoden entwickelt, welche ebenso allgemein formuliert sind. So können sie situativ ausgewählt und den jeweiligen Erfordernissen angepasst werden.

Somit steht ein umfassendes Verfahren zur Verfügung, um durch eine frühzeitige und vor allem ausreichende Berücksichtigung baukastentypischer Belange in der Entwicklung einen erfolgreichen Einsatz von Baukastensystemen zu erreichen. Dadurch soll die vom Kunden gewünschte, notwendige externe Variantenvielfalt mit einer möglichst geringen unternehmensinternen Vielfalt realisiert werden. Dies stellt einen weiteren Schritt zur Beherrschung und Reduzierung der Variantenvielfalt und Komplexität dar.

Folgerungen für die industrielle Praxis

Dieses Buch unterstützt Entwickler in der industriellen Praxis, übergreifende Baukastensysteme in komplexer Umgebung zu realisieren.

Der erarbeitete Baukastenentwicklungsprozess ist eine Orientierungshilfe, die den Entwickler schrittweise zur baukastengerechten Lösung bringt. Das funktionsorientierte Vorgehen ermöglicht Baukastenansätze auch im schwierigen und anspruchsvollen Premiumsegment und stellt die Kundenwertigkeit über den gesamten Entwicklungsprozess in den Mittelpunkt.

Mittels der Baukastenzielableitung ist es möglich, in sich stimmige Zielsysteme zu formulieren und notwendige Kompromisse aufzuzeigen. Die vorgestellte Methodensammlung ermöglicht eine umfassende Unterstützung des Prozesses, die situativ und je nach Vorlieben des Entwicklers eingesetzt werden kann.

Folgerungen für Forschung und Wissenschaft

Der wissenschaftlichen Diskussion kann dieses Buch wertvolle Anregungen geben, da der Bedarf für die Beherrschung der Variantenvielfalt immer mehr steigt und die zugehörigen Rahmenbedingungen immer komplexer werden.

Zur Anwendung in anderen Branchen ist eine Implementierung in die dort herrschenden Produktentstehungsprozesse notwendig.

Garching, im Juli 2007

Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann
Lehrstuhl für Produktentwicklung
Technische Universität München

Danksagung des Autors

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als Doktorand bei der BMW Group und als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktentwicklung der Technischen Universität München in den Jahren 2003 bis 2006.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann für die Unterstützung und die mir gewährten Freiräume, die ich im Rahmen meiner Tätigkeit genoss.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Bernd Heißing bedanke ich mich sehr herzlich für die Mitberichterstattung und das Interesse an meiner Arbeit.

Für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission möchte ich mich bei Herrn Prof. rer. nat. Heiner Bubb bedanken.

Mein besonderer Dank gilt meinem Industriebetreuer Herrn Dr.-Ing. Ludwig Schwankl für das in mich gesetzte Vertrauen, die zahlreichen Diskussionen, die wertvollen Anregungen zu meiner Arbeit und dass er stets ein offenes Ohr für mich hatte. Die freundschaftliche Zusammenarbeit hat mich sehr stark geprägt.

Ferner danke ich der Firma BMW für die Möglichkeit, während meiner Promotion in spannenden Projekten mitzuarbeiten und dadurch tiefe, interessante Einblicke in das Unternehmen gewinnen zu können. Stellvertretend möchte ich Herrn Achim Siepker, meinem langjährigen Abteilungsleiter, für die gewährten Freiräume sowie Marc Hofmann und Jörg Freytag für die notwendige Ablenkung, wie z. B. die regelmäßigen Basisbesuche, danken.

Mein Dank gilt allen Kolleginnen und Kollegen am Lehrstuhl für Produktentwicklung für die intensive Zusammenarbeit und die Kollegialität. Stellvertretend danke ich Alexandra Nißl und Birgit Dick, meinen beiden langjährigen Bürokolleginnen, sowie Josef Ponn und Jöran Grieb, die mit mir zusammen Projekte bestritten haben.

Darüber hinaus danke ich den Studien- und Diplomarbeitern für die tatkräftige Unterstützung. Stellvertretend darf ich Konrad Mößnang, Florian Stigloher und Florian Deuerling erwähnen.

Daneben möchte ich meinen Freunden für die Rücksichtnahme, ihr Verständnis und die löblichen Ablenkungen danken, ganz besonders den drei GMs Thorsten Heil, Christian Schilling und Thomas Schiedt. Thorsten Heil danke ich auch für die gewissenhafte Korrektur meiner Arbeit.

Abschließend bedanke ich mich ganz herzlich bei meinen Eltern und meiner Schwester für den großen Rückhalt während meiner gesamten Ausbildung und das in mich gesetzte Vertrauen. Ohne den Zuspruch und die Unterstützung in dieser entbehnungsreichen Zeit wäre die vorliegende Arbeit nicht möglich gewesen. Ihnen widme ich diese Arbeit.

Im Juli 2007

Ingo Renner

*„Es ist nicht genug zu wissen, man muss auch anwenden.
Es ist nicht genug zu wollen, man muss auch tun.“*

(Goethe, Maximen und Reflexionen 6)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung.....	1
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung.....	1
1.2	Zielsetzung der Arbeit.....	5
1.2.1	Erfahrungsgrundlage und wissenschaftliche Vorgehensweise.....	6
1.2.2	Eingrenzung des Themengebietes.....	6
1.3	Aufbau der Arbeit.....	7
2	Ausgangssituation – Variantenvielfalt bei Produkten und Prozessen	9
2.1	Definition relevanter Begriffe.....	9
2.1.1	Produkt, Variante, Produktprogramm.....	9
2.1.2	Standardisierung und Normung.....	14
2.1.3	Einzelteile, Komponenten, Baugruppen, Systeme.....	15
2.1.4	Produktstruktur.....	16
2.2	Variantenvielfalt und Komplexität.....	19
2.2.1	Interne und externe Variantenvielfalt und Komplexität.....	22
2.2.2	Ursachen der Variantenvielfalt und Komplexität.....	23
2.2.2.1	Externe Ursachen der Variantenvielfalt.....	24
2.2.2.2	Interne Ursachen der Variantenvielfalt.....	26
2.2.2.3	Fokus Automobilindustrie.....	27
2.2.3	Auswirkungen der Variantenvielfalt und Komplexität.....	28
2.2.3.1	Positive Folgen.....	28
2.2.3.2	Negative Folgen.....	29
2.2.3.3	Zusammenfassung.....	37
2.2.4	Ansätze zur Beherrschung der Variantenvielfalt.....	39
2.2.4.1	Technische Maßnahmen.....	40
2.2.4.2	Organisatorische Maßnahmen.....	43
2.2.4.3	Variantenmanagement.....	44
2.2.4.4	Zusammenfassung.....	46
2.3	Zusammenfassung – Problemanalyse und Handlungsbedarf.....	47
2.3.1	Problemanalyse.....	47
2.3.2	Handlungsbedarf.....	48
3	Mittel zur Variantenbeherrschung in der Produktentwicklung	49
3.1	Baukasten als Konstruktionsprinzip.....	49
3.1.1	Anforderungen und Zielsetzung.....	50
3.1.2	Begriffsdefinitionen und Einteilungen.....	50
3.1.2.1	Baukasten.....	51
3.1.2.2	Gestaltungselemente.....	53
3.1.2.3	Klassifikation von Baukastensystemen.....	55

3.1.2.4	Konfiguration.....	59
3.1.3	Darstellungsmöglichkeiten für Baukastensysteme und die Variantenvielfalt ..	60
3.1.4	Chancen, Risiken und Grenzen der Baukastenbauweise	62
3.1.4.1	Absatzwirtschaftliche Aspekte	62
3.1.4.2	Gestaltwirtschaftliche Aspekte.....	63
3.1.4.3	Produktionswirtschaftliche Aspekte	64
3.1.4.4	Lagerwirtschaftliche Aspekte	65
3.1.4.5	Beschaffungswirtschaftliche Aspekte	65
3.1.4.6	Produktqualitative Aspekte	65
3.1.4.7	Grenzen der Baukastenbauweise.....	65
3.1.4.8	Zusammenfassung	66
3.2	Abgrenzung der Baukastenbauweise gegenüber ähnlichen Gestaltungsformen...66	
3.2.1	Abgrenzung gegenüber Gleich- und Wiederholteilbauweise	66
3.2.2	Abgrenzung gegenüber Kommunalitäten.....	67
3.2.3	Abgrenzung gegenüber Modularisierung	69
3.2.4	Abgrenzung gegenüber Plattformen	72
3.2.5	Abgrenzung gegenüber Baureihen	76
3.2.6	Abgrenzung gegenüber Variantenbauweise	78
3.2.7	Zusammenfassung.....	79
3.3	Verschiedene Baukastenansätze in der Praxis.....	79
3.3.1	Nutzfahrzeuge	79
3.3.2	Schienenfahrzeuge	81
3.3.3	Landtechnik.....	83
3.3.4	Automobilbereich.....	85
3.4	Besonderheiten des Baukastens im Automobilbereich.....	87
3.5	Zusammenfassung.....	89
4	Funktionsorientierte Entwicklung eines Baukastens im Umfeld der Automobilindustrie.....	91
4.1	Anforderungen und Zielsetzung	91
4.2	Funktionsorientierung.....	92
4.2.1	Definition	92
4.2.2	Motivation und Ziele der Funktionsorientierung	93
4.3	Notwendige Rahmenbedingungen zur baukastengerechten Gestaltung	95
4.4	Prozessdefinition	96
4.4.1	Bestehende Ansätze	96
4.4.1.1	VMEA.....	96
4.4.1.2	Vorgehen nach Kohlhase	97
4.4.1.3	PDMAS	98
4.4.1.4	Zusammenfassung und Handlungsbedarf.....	99
4.4.2	Funktionsorientierter Baukastenentwicklungsprozess	100
4.4.2.1	Themenpriorisierung.....	101
4.4.2.2	Baukastenentwicklung.....	101

4.4.2.3	Umsetzung	110
4.5	Zusammenfassung.....	110
5	Situative Unterstützung im Umfeld der Baukastenentwicklung	113
5.1	Anforderungen und Zielsetzung der methodischen Unterstützung	113
5.2	Organisatorische Voraussetzung	114
5.3	Unterstützung in der Phase der Themenpriorisierung	115
5.4	Unterstützung in der Phase der Entwicklung	116
5.4.1	Kriterien zur Baukastenentwicklung	116
5.4.1.1	Differenzierung	116
5.4.1.2	Baukastenfähigkeit	117
5.4.1.3	Stoßrichtung der Baukastenentwicklung	118
5.4.2	Funktionsorientierung.....	120
5.4.2.1	Vier-Säulen-Modell	122
5.4.2.2	Funktionale Verknüpfungen.....	124
5.4.2.3	Funktionsmatrix aus Kundensicht.....	127
5.4.3	Anforderungsmanagement.....	128
5.4.3.1	Umgang mit Anforderungen	129
5.4.3.2	Optimierung von Anforderungen	129
5.4.3.3	Harmonisierung von Anforderungen.....	130
5.4.4	Zielableitung im Umfeld Baukasten.....	131
5.4.4.1	Anforderungen und Zielsetzung	132
5.4.4.2	Vorgehen zur Zielableitung.....	133
5.4.5	Leitfaden zur baukastengerechten Gestaltung und Konstruktion	137
5.4.6	Bewertung	139
5.5	Langfristige Komponentenplanung	140
5.6	Zusammenfassung.....	141
6	Beispielhafte Anwendung der funktionsorientierten Baukastenentwicklung	143
6.1	Baukasten Sitz	143
6.1.1	Ausgangssituation und Zielsetzung	143
6.1.2	Baukastenentwicklung	144
6.1.2.1	Anforderungsanalyse.....	145
6.1.2.2	Anwendung der Funktionsorientierung am Teilsystem Lordosenstütze ...	146
6.1.2.3	Zielableitung am Beispiel Sitzschienen	148
6.1.2.4	Bestimmung der Kernelemente	151
6.1.2.5	Anwendung der Funktionsorientierung und Szenariobildung für die Metallstruktur	151
6.1.3	Ergebnis und Zusammenfassung	153
6.2	Baukasten Stoffe.....	154
6.2.1	Ausgangssituation und Zielsetzung	155
6.2.2	Baukastenentwicklung	156

6.2.2.1	Anforderungsanalyse.....	156
6.2.2.2	Baukastenansatz.....	156
6.2.2.3	Szenariobildung.....	157
6.2.3	Ergebnis und Zusammenfassung.....	158
6.3	Zusammenfassung.....	159
7	Kritische Diskussion	161
7.1	Diskussion von übergreifenden Baukastensystemen.....	161
7.2	Diskussion des erarbeiteten Prozesses zu Baukastenentwicklung.....	163
7.3	Voraussetzungen für eine erfolgreiche Baukastenentwicklung.....	163
7.4	Zusammenfassung.....	164
8	Zusammenfassung und Ausblick	165
8.1	Zusammenfassung.....	165
8.2	Ausblick.....	166
9	Literaturverzeichnis	169
10	Anhang	185
10.1	Vor- und Nachteile der Variantenvielfalt.....	185
10.2	Auswirkungen des Variantenmanagements.....	186
10.3	Überblick über synonym verwendete Begriffe.....	187
10.4	Überblick über Arten von Bausteinen.....	188
10.5	Schnittstellen und Vernetzung.....	189
10.6	Checkliste zur Themenpriorisierung.....	190
10.7	Merkmale zur Differenzierung	191
10.8	Definitionen im Umfeld Funktionsorientierung und Zielableitung	192
10.9	Funktionale Verknüpfungen	193
10.10	Prinzipien zur Breitenanpassung von Sitzgestellen	194
11	Dissertationsverzeichnis	195

1 Einleitung und Zielsetzung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Heutige Märkte zeichnen sich durch einen hohen Grad an Veränderungen aus, die eine Verschärfung des Wettbewerbs mit sich bringen, den RADTKE ET AL. auch Produktivitätsdruck nennen. Zu den Rahmenbedingungen des schwierigen Wettbewerbsumfeldes zählen u. a.

- die Sättigung der Märkte und eine damit verbundene Stagnation der Nachfrage,
- die Dynamik der Märkte,
- der zunehmende Wettbewerbsdruck sowie
- der erhöhte Kostendruck [RADTKE ET AL. 2004, S. 15, 28].

Auch der anhaltende Trend zur Globalisierung intensiviert den Wettbewerb [HOLMQVIST 2004, S. 8]. So hat sich nach WEBER¹ die Zahl namhafter unabhängiger Automobilhersteller seit 1960 weltweit um rund drei Viertel auf etwa ein Dutzend reduziert. Weltweite Überkapazitäten² in der Produktion von rund 20 Prozent³ lassen erwarten, dass der derzeitige harte Wettbewerb nichts von seiner Schärfe verlieren und zu weiterer Verdrängung führen werde. Der derzeit daraus hervorgehende drastische Preisverfall auf dem US-amerikanischen Markt werde nicht allein auf die USA beschränkt bleiben, sondern zu einem weltweiten Phänomen avancieren [WEBER 2004, S. 1].

Gleichzeitig drängen neue Anbieter⁴ auf den Automobilmarkt. Vor allem im asiatischen Raum entwickelten sich in den vergangenen Jahren eine Reihe von Automobilherstellern (z. B. Landwind), die in den weltweiten Markt drängen.

Zusätzlich ist nach PICOT ET AL. und KERSTEN der Wandel von Verkäufer- zu Käufermärkten immer häufiger zu beobachten [PICOT ET AL. 2003, S. 3; KERSTEN 2002, S. 2]. Dies ist in anspruchsvolleren Erwartungen der Kunden begründet und spiegelt sich in einem stärkeren Kostenbewusstsein und in höheren Qualitätsansprüchen wider. Darüber hinaus verstärkt sich

¹ Mitglied des Vorstands der DaimlerChrysler AG, verantwortlich für Forschung und Technologie sowie die Pkw-Entwicklung der Mercedes Car Group.

² Hierin sehen RADTKE ET AL. eine Schwierigkeit für Unternehmen, profitabel zu bleiben [RADTKE ET AL. 2004, S. 15].

³ Im Jahre 2002 beliefen sich die ungenutzten Fertigungskapazitäten der europäischen Automobilindustrie im Schnitt auf ca. 15 Prozent, bei einigen Herstellern sogar auf mehr als 30 Prozent [RADTKE ET AL. 2004, S. 27]. Bereits im Jahre 1999 bezifferten PILLER & WARINGER die weltweiten Überkapazitäten der Automobilfirmen auf 15 bis 20 Millionen Fahrzeuge [PILLER & WARINGER 1999, S. 1].

⁴ Diese neuen Anbieter zählen aufgrund ihrer relativ kurzen internationalen Tätigkeit nicht zu den von WEBER erwähnten namhaften Herstellern.

der Trend zum Individualismus, der den Wunsch des Kunden ausdrückt, sich von anderen zu differenzieren und die eigene Einzigartigkeit zu unterstreichen. Deshalb verlangt nach WILHELM der Kunde auch beim Automobil Individualität⁵ [WILHELM 2001, S. 50].

Unternehmen reagieren auf diese Veränderungen unter anderem mit einer Erhöhung des individuellen Kundennutzens sowie einer gezielten Differenzierung gegenüber dem Wettbewerb [WILDEMANN 2005b, Präambel; KOHLHASE 1997, S. 1]. Auch der stagnierenden Nachfrage in gesättigten Märkten⁶ begegnen die Automobilfirmen mit dem Angebot neuer Produktvarianten, um mit Nischenfahrzeugen neue Märkte zu erschließen und aufzubauen.

Als Reaktion auf die zunehmende Dynamisierung der Märkte verkürzen die Hersteller häufig die Produktlebens- und Entwicklungszyklen. SIEBERT betont die Entwicklung hin zu immer kürzeren Produktlebenszyklen, wohingegen SCHUH & SCHWENK in diesem Zusammenhang auch auf kontroverse Diskussionen⁷ hinweisen [SIEBERT 2003, S. 53f.; SCHUH & SCHWENK 2001, S. 14f.]. Dessen ungeachtet steigt die Variantenvielfalt stetig an.

So betont etwa Dr. Helmut PANKE, Vorstandsvorsitzender der BMW Group, auf der Pressekonferenz des Automobilsalons in Genf 2005, dass die Produktoffensive bei der BMW Group konsequent fortgesetzt wird. Der Ausbau des Produktportfolios habe dabei „kein programmiertes Ende“⁸. Demgemäß kündigte er gleich zwei neue, eigenständige Modellreihen an, mit denen neue Segmente besetzt würden [PANKE 2005b]. Innerhalb von zwei Jahren seien bei der BMW Group zehn neue Fahrzeugmodelle in Produktion gegangen, drei wichtige Modelle überarbeitet und 18 neue Motoren eingeführt worden [PANKE 2005a]. Auch Martin Winterkorn, Vorstandsvorsitzender der Audi AG, bekräftigt: „Keine Automarke wird in den nächsten Jahren so stark wachsen wie Audi“ [KUNTZ 2006, S. 22]. Mercedes Vorstand Dieter Zetsche kündigt 30 neue Modelle an, allein 20 für das Jahr 2006 [PRIEMER 2006b].

Allmählich wird Managern der Automobilindustrie klar, dass die Vielfalt der Modelle „kaum mehr zu handhaben“ ist [ROSE 2003, S. 22]. So wächst die Anzahl an Bauteilvarianten drastisch. Laut STOCKMAR gibt es beim BMW X3 derzeit 90.000⁹ verschiedene Dachhimmel, 3.000 unterschiedliche Autotüren und 324 Varianten der Hinterachse (Abbildung 1-1) [STOCKMAR 2004, S. 2].

⁵ vgl. BURCKHARDT [1994, S. 137ff.], ENTRUP [2001, S. 11ff.], NEFF ET AL. [2001b, S. 28f.], PILLER & WARINGER [1999, S. 1], SUZUE & KOHDATE [1990, S. 18], WILDEMANN [2004, S. 2ff.] etc.

⁶ In den drei volumenstarken Absatzmärkten USA, Westeuropa und Japan kommen auf jeweils 1.000 Einwohner (Altersgruppe 18 bis 65 Jahre) 689 (USA), 840 (Deutschland) bzw. 664 (Japan) Fahrzeuge [RADTKE ET AL. 2004, S. 26].

⁷ vgl. BAYUS [1994, S. 306f.]

⁸ Nach dem Entwicklungsvorstand der BMW Group, Prof. h. c. Dr.-Ing. Burkhard Göschel, sei BMW bei der 3er-Reihe und möglicherweise auch der 1er-Reihe noch nicht vollständig. Des Weiteren deutet er Zuwächse bei Rolls-Royce (Cabrio, Coupé) sowie bei Mini (Kombi etc.) an [HANDELSBLATT 2006].

⁹ theoretisch mögliche Vielfalt: unterschiedliche Farb- und Materialvarianten, mit/ohne Panoramadach, verschiedene Ausstattungen im Funktionszentrum Dach etc.



Abbildung 1-1: Variantenvielfalt beim BMW X3 [STOCKMAR 2004, S. 2]

Bei der Audi AG stieg nach ALDERS (Leiter Komplexitätsmanagement) im Jahre 2004 beim Modellwechsel des alten auf den aktuellen Audi A6 (C6) die Zahl der theoretisch möglichen Türinnenverkleidungen um den Faktor 30 von 608 auf über 18.800 (vgl. SCHLOTT [2005, S. 39]). Ferner gebe es jetzt über 10.000 Möglichkeiten eines Sitzes und 152 Varianten für den Handschuhkasten [ALDERS 2004, S. 5]. Für den Audi A4 (B7) gibt es 24 unterschiedliche Scheibenwaschbehälter [ROSE 2005, S. 17].

Nach dem Leiter des Sprinter-Werkes von DaimlerChrysler in Düsseldorf, Dr. Schultzen-Scharnhorst, geht die Individualisierung beim Kleintransporter¹⁰ sogar noch wesentlich weiter als beim Pkw. Weil nahezu jedes Fahrzeug auf die speziellen Kundenbedürfnisse ausgerichtet werde, gebe es im Prinzip keine Serienfertigung [VOLLRATH 2003, S. 44]. Das Gleiche trifft beispielsweise auch auf den Unimog zu.

Diese permanente Steigerung der Variantenvielfalt hat aber unweigerlich u. a.

- eine Steigerung der Komplexität auf Produkt-, Teile- und Prozessebene,
- eine unüberschaubare Variantenzahl, die kaum zu handhaben ist, sowie
- eine Erhöhung der Kosten

zur Folge.

Nach einer 2004 in der Automobilbranche durchgeführten Umfrage¹¹ der Network of Automotive Excellence (NoAE)¹² entstehen 30 Prozent¹³ der Varianten ohne Kundenwunsch

¹⁰ Den Sprinter gibt es pro Typ in drei Radständen und fünf Nutzlastklassen. Hinzu kommen unterschiedliche Dachhöhen und Aufbauten, mehr als 200 Sitzvarianten und eine kaum überschaubare Zahl an Innenraumoptionen [VOLLRATH 2003, S. 44].

¹¹ Zielsetzung der Umfrage war neben der Analyse der Ursachen von Variantenvielfalt die Darstellung und Bewertung von Strategien und Konzepten führender Automobilhersteller und Zulieferer für die Bereiche Innenraum und Powertrain [STOCKMAR 2004, S. 12].

¹² Das NoAE ist eine firmenübergreifende, offene Initiative mit dem Ziel, die Wettbewerbsfähigkeit und die Zukunft der europäischen Automobil- und Zulieferindustrie zu stärken [NoAE 2006].

¹³ Nach einer Untersuchung von KERSTEN sind nicht einmal drei Viertel aller Produktvarianten erforderlich [KERSTEN 2002, S. 2f.].

oder werden vom Kunden nicht bewusst wahrgenommen bzw. nicht bestellt. Weiterhin sagten 80 Prozent der Teilnehmer¹⁴ aus, dass eine große Variantenvielfalt zu sinkender Rentabilität führe. 90 Prozent der Befragten befürworteten eine konsequente „Carry-over-parts-Politik“ in den nicht kundenrelevanten Bereichen der Fahrzeuge, wobei die Umsetzungsquote allerdings noch gering sei. Geplante Variantenziele werden um durchschnittlich 20 bis 30 Prozent überschritten. 64 Prozent der OEMs¹⁵ prognostizierten eine deutlich steigende Variantenzahl von über 10 Prozent pro Jahr [STOCKMAR 2004, S. 17].

Dass es auch anders geht, zeigt beispielsweise die französische und japanische Automobilindustrie¹⁶. Im Vergleich zu den deutschen OEMs kommen die französischen Hersteller mit lediglich 30 Prozent, Toyota sogar nur mit zehn Prozent der Varianten aus (Abbildung 1-2) [SCHLOTT 2005, S. 38]. So bietet Audi bei der aktuellen A4 Limousine (B7) über 240 Wahlmöglichkeiten bezüglich der Ausstattung an. Beim Avensis von Toyota dagegen kann der Kunde lediglich zwischen 32 Posten wählen¹⁷.

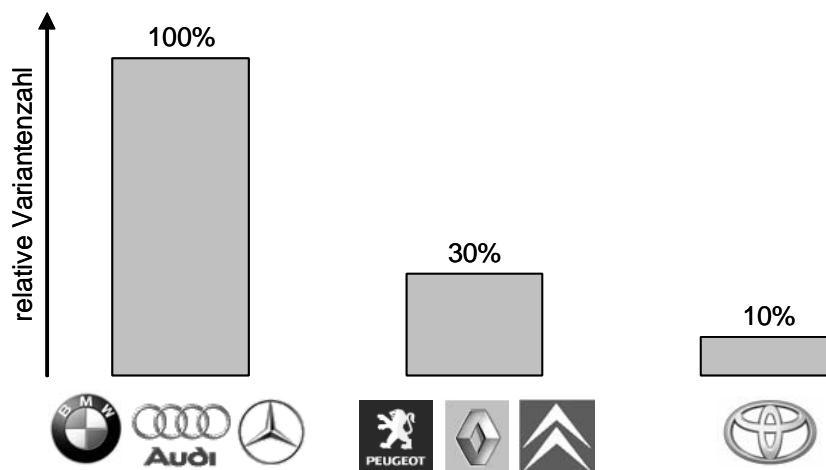


Abbildung 1-2: Variantenvielfalt verschiedener Herstellern im Vergleich [SCHLOTT 2005, S. 30]

Um in diesem schwierigen Umfeld bestehen zu können, sind die Automobilhersteller gezwungen, ihre Produkte, Strukturen und Prozesse ständig weiter zu entwickeln und kontinuierlich zu optimieren. Hierzu zählen der richtige Umgang mit der Varianz und die Beherrschung derselben, wozu neue Wege für die variantengerechte Produktentwicklung zu beschreiten sind. Ein Ansatz zur Beherrschung der Varianz ist der Einsatz von Baukasten-

¹⁴ Umfragepartner waren neben Herstellern wie Audi, VW, BMW, DaimlerChrysler, MAN etc. auch Zulieferer wie Bosch, SiemensVDO, ZF etc.

¹⁵ OEM bedeutet Original Equipment Manufacturer und bezeichnet in der Automobilindustrie den eigentlichen Fahrzeughersteller (BMW, Audi, VW etc.). Der OEM nimmt Vorprodukte von Zulieferern (z. B. Bosch, Webasto) ab und baut diese in seine (End-)Produkte ein.

¹⁶ Da die genannten Hersteller im Vergleich zu den deutschen Firmen aufgrund abweichender Strategien teilweise andere Marktsegmente bedienen, ist die geringere Variantenzahl nicht direkt auf die deutschen OEMs übertragbar (siehe Kapitel 2.2.4.3).

¹⁷ Stand 03/06 auf dem deutschen Markt, inklusive Motor-, Getriebe-, Farb- und Sonderausstattungsöglichkeiten. Die angegebene Variantenzahl gilt jeweils für die Limousine und variiert je nach Wahl der Karosserievariante (Limousine, Kombi etc.).

systemen (vgl. ERICSSON & ERIXON [1999, S. 5ff.]). Ziel ist dabei, die vom Kunden gewünschte externe Varianz mit einer möglichst minimalen internen Varianz darzustellen.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Durch die oben genannte Problemstellung wird ein weites Feld aufgespannt. Übergeordnete Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist es, dem Entwickler Vorgehen und Werkzeuge an die Hand zu geben, um Produkte variantengerecht zu gestalten. So sollen bereits in der frühen Phase einer Produktentwicklung die Varianz, die damit zusammenhängenden Auswirkungen sowie die damit verbundene Komplexität berücksichtigt und ein ausgeprägtes Bewusstsein dafür geschaffen werden.

Demnach ist ein umfassendes Verfahren zu erarbeiten, das durch die frühzeitige Berücksichtigung variantengerechter Belange in der Entwicklung einen erfolgreichen Einsatz von Baukastensystemen ermöglicht. Hierbei soll die vom Kunden gewünschte, notwendige externe Variantenvielfalt mit einer möglichst geringen unternehmensinternen Vielfalt realisiert werden (Abbildung 1-3).

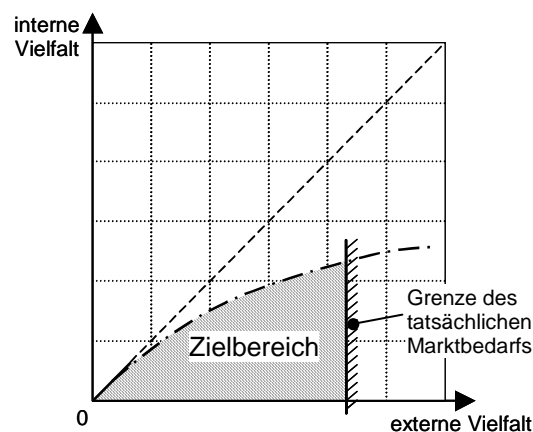


Abbildung 1-3: Beherrschung der internen Vielfalt bei gleichzeitiger Realisierung der geforderten externen Vielfalt

Dies erfordert die Schaffung von *Transparenz*, deren Mangel SCHUH & SCHWENK für den unkontrollierten Anstieg der Produkt- und Prozesskomplexität verantwortlich machen [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 12]. Ein wichtiger Schritt ist dabei die Unterstützung einer entsprechenden Analyse der Varianz, sowohl rückblickend hinsichtlich der bereits existierenden als auch vorausschauend hinsichtlich der gewünschten bzw. erforderlichen Varianz. Davon ausgehend ist eine bewusste und verbindliche Festlegung auf erforderliche Varianten notwendig, um die Komplexität durch eine variantengerechte Gestaltung beherrschbar zu machen.

Der Fokus liegt dabei auf der Baukastenbauweise, die einen vielversprechenden Lösungsansatz für diese Varianten- und Komplexitätsproblematik darstellt. Dementsprechend ist die Erarbeitung einer systematischen Unterstützung von Planung und Umsetzung geeigneter

Baukastensysteme ein weiteres Ziel der vorliegenden Arbeit. Hierzu zählen neben Prozessen auch Methoden und unterstützende Hilfsmittel. Konkrete Vorschläge geben dem Entwickler den Weg zur baukastengerechten Gestaltung vor. Bei bestehenden Hilfsmitteln kritisiert SCHUH neben der mangelnden Transparenz eine fehlende Unterstützung des Prozesses zur Standardisierung von Baugruppen [SCHUH 1988, S. 3].

Um die Akzeptanz zu erhöhen und den Erfolg von Baukastenansätzen sicherzustellen, sollen ferner bei der Baukastenentwicklung die Kundenwünsche und -anforderungen klar im Vordergrund stehen.

Da die Varianten- und Komplexitätsproblematik in unterschiedlichsten Disziplinen auftritt, ist eine Allgemeingültigkeit und prinzipielle Erweiterbarkeit des Lösungsansatzes anzustreben. Zur Absicherung sind die Ergebnisse anhand ausgewählter Pilotprojekte aus der Automobilindustrie zu validieren und exemplarisch anzuwenden. Die daraus resultierenden Erfahrungen und Erkenntnisse sollen ausgewertet und in die Optimierung des Ansatzes einfließen.

1.2.1 Erfahrungsgrundlage und wissenschaftliche Vorgehensweise

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit basieren auf den Erfahrungen, die der Autor über drei Jahre hinweg durch die Mitarbeit in diversen Projekten bei der BMW Group sammeln konnte. Der Themenbereich der Projekte umfasste prinzipiell das Gesamtfahrzeug, wobei speziell der Bereich Interieur behandelt wurde.

Ursächlicher Gegenstand der Projekte war die Variantenvielfalt, die entweder nachträglich eingedämmt oder bei Neuentwicklungen von vornherein beherrschbar werden sollte. Die Projekte beinhalteten zum einen die Analyse der vielfalts- und variantenverursachten Auswirkungen und Probleme. Zum anderen gehörte hierzu die situative Erarbeitung und Bereitstellung von Lösungen, um jene Problematik zu beherrschen. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, standen bei der Bearbeitung auch die zugehörigen Prozesse und unterstützenden Methoden im Fokus. Dies umfasste einerseits die Erarbeitung eines gesamthaften Ansatzes und andererseits die Anwendung und Verifikation dieses Lösungsansatzes.

Obwohl sich aufgrund der erwähnten Projekte eine starke Affinität zur Automobilindustrie ergibt, können die hier vorgestellten Ergebnisse im Prinzip allgemein angewendet werden. Die Übertragung auf Bereiche außerhalb der Automobilindustrie wurde durch die exemplarische Anwendung bei Kooperationspartnern erfolgreich verifiziert.

1.2.2 Eingrenzung des Themengebietes

Gegenstand dieser Arbeit ist die eigentliche Entwicklung und Konzeption des Baukastens. Mit der konstruktiven Umsetzung des Baukastens erfolgt dessen Realisierung nach den

einschlägig bekannten Vorgehensmodellen¹⁸ und wird daher nicht näher betrachtet. Weiterhin kann eingeschränkt werden, dass eine Baukastenbauweise nicht für alle Produkte oder Systeme sinnvoll ist (siehe Kapitel 3.1.4.7), beispielsweise in dem Fall, dass der Aufwand für die Entwicklung und Umsetzung eines Baukastens höher ist als die erzielbaren Synergieeffekte. Deshalb ist es notwendig, im jeweiligen Einzelfall eine vorgelagerte Untersuchung in Form einer gesamthaften Bewertung durchzuführen (siehe Kapitel 5.3).

Des Weiteren ist die Beherrschung der Variantenvielfalt mittels Baukastensysteme bei Neuentwicklungen in der Regel einfacher umzusetzen. Gegenüber einer Anpassentwicklung herrschen hier weniger Zwänge, weil prägende Rahmenbedingungen noch beeinflussbar sind.

Wie oben bereits angedeutet wurde, standen die praxisgerechten Anforderungen der Automobilbranche im Fokus dieser Arbeit.

1.3 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit orientiert sich an den genannten Zielen und kann Abbildung 1-4 entnommen werden.

Im folgenden Kapitel 2 wird die Ausgangssituation umfassend behandelt und das notwendige Begriffsumfeld definiert. Hierzu werden die Ursachen, die Bedeutung und Auswirkungen der Variantenvielfalt und Komplexität betrachtet. Prinzipielle Ansätze zur Beherrschung der Variantenvielfalt schließen das Kapitel ab.

Kapitel 3 widmet sich den potenziellen Mitteln zur Beherrschung der Variantenvielfalt. Schwerpunkt stellt dabei die Baukastenbauweise dar, die ausführlich in ihrem Aufbau und ihrer Wirkungsweise erläutert wird. Hierzu gehören die Chancen und Risiken, aber auch die Grenzen dieser Bauweise. Alternative Ansätze werden durch einen Vergleich oder eine Abgrenzung zu Baukastensystemen dargestellt. Ferner werden verschiedene Baukastenansätze aus unterschiedlichsten Branchen anhand von Praxisbeispielen aufgezeigt. Daran anschließend werden die Besonderheiten der Automobilbranche dargelegt, die bei einem Baukasteneinsatz zu berücksichtigen sind.

In Kapitel 4 wird die Baukastenentwicklung betrachtet. Dazu werden zunächst drei Vorgehen zur variantenreichen Entwicklung erläutert, die dem Stand der Technik entsprechen. Darauf aufbauend wird ein funktionsorientierter Prozess zur Baukastenentwicklung als Gesamtansatz erarbeitet.

Kapitel 5 beschreibt die systematische Unterstützung des entwickelten Prozesses. Hierzu gehören die in den Pilotprojekten angewendeten, erarbeiteten bzw. angepassten Methoden und Hilfsmittel sowie die baukastengerechten Gestaltungsrichtlinien.

¹⁸ z. B. im Unternehmen bestehende Entwicklungsprozesse oder bekannte Vorgehensmodelle wie nach der VDI-Richtlinie 2221 [VDI-RICHTLINIE 2221, 1993], der Vorgehenszyklus [EHRENSPIEL 1995, S 78ff.], das Münchner Vorgehensmodell (MVM) [LINDEMANN 2005a, S. 39ff.] etc.

Die Wirksamkeit der erarbeiteten Prozesse, Methoden und Hilfsmittel wird anhand von zwei in der Industrie durchgeführten Projekten in Kapitel 6 nachgewiesen. Ferner wird hier die Breite der Anwendungsmöglichkeiten von Baukastenbauweisen aufgezeigt.

In Kapitel 7 wird der erarbeitete Ansatz kritisch betrachtet. Als Basis dienen hier die beiden durchgeführten Projekte und die dabei gewonnenen Erkenntnisse.

Kapitel 8 fasst die erarbeiteten Ergebnisse und die gewonnenen Erkenntnisse zusammen. Ein kurzer Ausblick auf Möglichkeiten zur Weiterentwicklung des Baukastenentwicklungsprozesses und dessen systematische Unterstützung schließt die Arbeit ab.

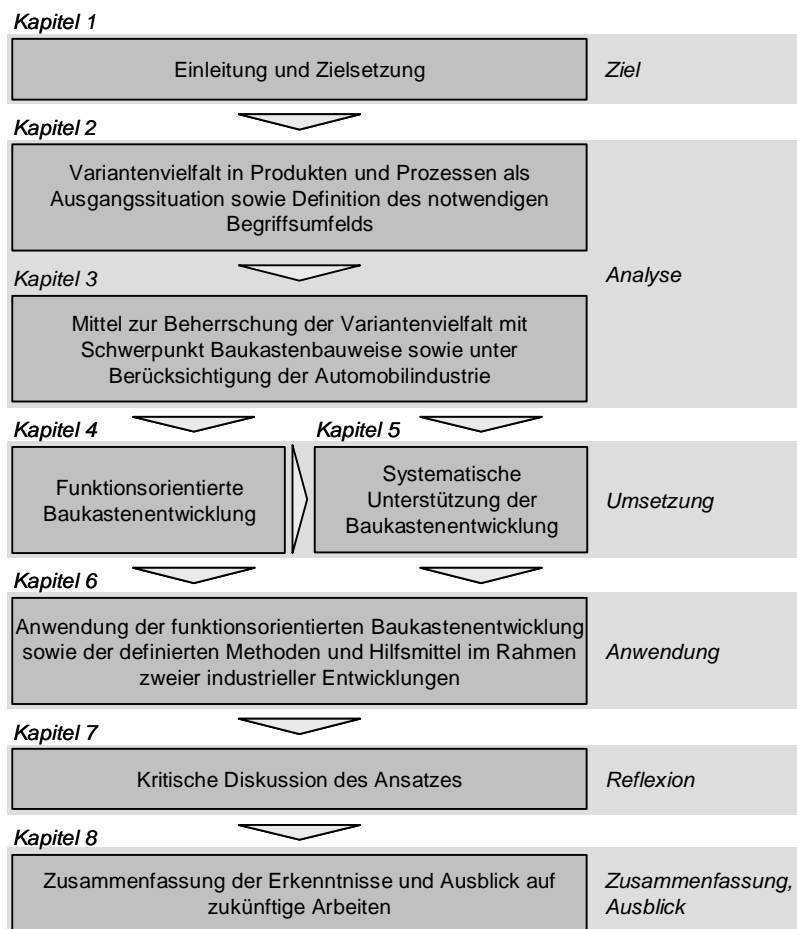


Abbildung 1-4: Aufbau der vorliegenden Arbeit

2 Ausgangssituation – Variantenvielfalt bei Produkten und Prozessen

In diesem Kapitel wird die Variantenvielfalt näher untersucht. Um ein einheitliches Verständnis zu schaffen, erfolgt eine Definition des relevanten Begriffsumfeldes. Der Zusammenhang zwischen Vielfalt und Komplexität wird aufgezeigt. Zur besseren Durchdringung der Thematik werden die Gründe und Ursachen für eine mögliche Varianz¹ dargelegt. Darüber hinaus werden die Folgen der Vielfalt und die damit verbundene Problematik für die Produktentwicklung und Produktion erörtert. Anschließend werden mögliche Ansätze zur Beherrschung der Varianz allgemein diskutiert. Ein kurzer Exkurs geht auf die Ansätze des Komplexitätsmanagements ein.

Ausgehend davon wird der aktuelle Handlungsbedarf zum geeigneten Umgang mit der Vielfalt als Basis für das darauffolgende Kapitel abgeleitet.

2.1 Definition relevanter Begriffe

Aufgrund der Bedeutung für die Industrie existieren in der Literatur² zahlreiche Veröffentlichungen zum Thema Variantenvielfalt. Da die Autoren teilweise unterschiedliche Begriffe für dieselben Zusammenhänge verwenden bzw. gleiche Begriffe unterschiedlich interpretieren, ist eine genaue Betrachtung des Vokabulars notwendig (vgl. TICHEM ET AL. [1999, S. 1042]). Im Folgenden werden jeweils einschlägige Definitionen vorgestellt und diskutiert, um anschließend eine Basis für die vorliegende Arbeit zu selektieren.

2.1.1 Produkt, Variante, Produktprogramm

Produkt

Unter *Produkt* ist jedes künstlich geschaffene Erzeugnis zu verstehen, das einem bestimmten, vordefinierten Zweck dient [LINDEMANN 2001a, S. 1-4]. GEMBRYNS sieht in einem Produkt materielle Angebotsbestandteile eines produzierenden Unternehmens und unterscheidet zwischen Produkt- und Teileebene [GEMBRYNS 1998, S. 7]. In diesem Zusammenhang verwendet LINGNAU die Begriffe Produkt und *Erzeugnis* synonym. Er definiert ein Produkt im engeren, substanziellen Sinn als Sachgut, das für eine Verwertung am Absatzmarkt bestimmt ist [LINGNAU 1994, S. 18]. Nach HEINA stelle ein Produkt eine Sachleistung und die

¹ Die Begriffe Varianz und Vielfalt werden in der vorliegenden Arbeit synonym gebraucht.

² Umfassende Übersichten geben beispielsweise PULM [2004, S. 128ff.] und JESCHKE [1997, S. 16ff.].

damit verbundene Dienstleistung dar, die von einem industriellen Unternehmen hergestellt und auf dem Markt zur Befriedigung von Bedürfnissen abgesetzt wird [HEINA 1999, S. 4]. KOHLHASE fasst Produkte und Teile unter dem Oberbegriff „Technische Objekte“ zusammen. *Baugruppen* bestehen immer aus mehreren Einzelteilen [KOHLHASE 1997, S. 9].

Variante

Für den allgemeinen Sprachgebrauch erläutert der DUDEN den Begriff *Variante* mit Abweichung und Abwandlung [DUDEN 2004] bzw. mit leicht veränderte Art oder Form von etwas [DUDEN 2001]. Nach DIN-NORM 199 umfasst eine Variante Gegenstände ähnlicher Form und/oder Funktion, die in der Regel einen hohen Anteil identischer Gruppen oder Teile haben [DIN-NORM 199 1977].

Um den Variantenbegriff auch auf Prozesse beziehen zu können, erweitern FRANKE & FIRCHAU die Definition: „Eine Variante eines technischen Systems ist ein anderes technisches System gleichen Zwecks, das sich in mindestens einer Beziehung oder Element unterscheidet. Ein Element unterscheidet sich von einem anderen Element in mindestens einer Eigenschaft“ [FRANKE & FIRCHAU 1998]. HEINA schließt sich der Abweichung gegenüber der Grundversion in wenigstens einer Merkmalsausprägung an. Darüber hinaus führt er gängige Variantenbegriffe auf und charakterisiert diese [HEINA 1999, S. 5f.]. Der VDI-Untersuchungsausschuss „Begriffe der Produktionsplanung und -steuerung“ versteht unter dem Begriff *Variante* die Abart einer Grundaufführung [VDI 1976, S. 179].

Da LINGNAU die Beschränkung des Variantenbegriffs auf Ähnlichkeiten in Form und Funktion zu eng erscheint, formuliert er eine weiter gefasste Definition, die auf eine Unterscheidung in Gruppen und Teile verzichtet. Demnach seien Varianten Gegenstände mit einem in der Regel hohen Anteil identischer Komponenten, die Ähnlichkeiten in Bezug auf mindestens eines der Merkmale Geometrie, Material oder Technologie aufweisen [LINGNAU 1994, S. 23f.]. Analog dazu stellen FIRCHAU & FRANKE fest, dass jedes baustrukturell unterschiedliche Merkmal eines Produktes bei seiner Veränderung³ bzw. Variation⁴ zu einer neuen Variante führt [FIRCHAU & FRANKE 2002, S. 53]. Abbildung 2-1 zeigt Variationsmöglichkeiten am Beispiel Lenkrad⁵.

JESCHKE sieht die Bezeichnung *Variante* als Oberbegriff für Standardteil⁶ und Exot⁷ [JESCHKE 1997, S. 20f.]. KOHLHASE unterstreicht zwei Eigenschaften, wonach Varianten einander ähnlich bzw. oftmals ähnlich konfiguriert sind [KOHLHASE 1997, S. 19ff.]. Nach GEMBRYNS wird jeder Variantentyp durch die Auswahl von Merkmalen definiert, bezüglich derer seine

³ Hierzu zählen auch Veränderungen, die nicht unmittelbar am Produkt erkennbar sind, wie z. B. Qualitätsmerkmale [FIRCHAU & FRANKE 2002, S. 53].

⁴ Variation bedeutet: Variieren, Veränderung, Abwandlung [DUDEN 2001].

⁵ Rein technische Varianten, ohne Farb- oder Materialvarianten sowie ohne Individual.

⁶ Stückzahlenstärkstes Teil innerhalb von Produktgruppen, Baugruppen oder Einzelteilen [JESCHKE 1997, S. 21].

⁷ Teile mit geringen Stückzahlen innerhalb eines Variantenspektrums [JESCHKE 1997, S. 192]

Varianten verschieden sind. Die Varianten eines Typs gleichen sich hinsichtlich eines Großteils dieser Merkmale, unterscheiden sich aber durch die Ausprägungen (Werte) mindestens eines der übrigen Merkmale [GEMBRY 1998, S. 5].

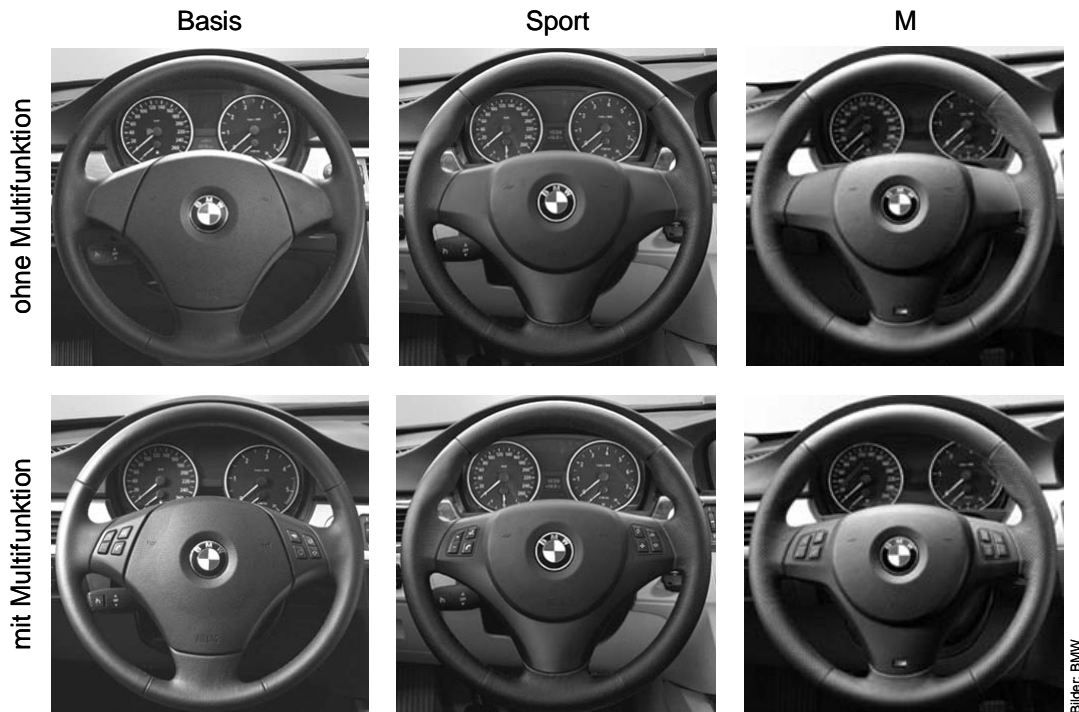


Abbildung 2-1: Technische Varianten am Beispiel Lenkräder des aktuellen 3er BMW (E90)

Nachfolgend soll gelten:

Varianten sind Gegenstände mit einem in der Regel hohen Anteil identischer Komponenten, die Ähnlichkeiten in Bezug auf mindestens eines der Merkmale Geometrie, Material oder Technologie aufweisen.

Zur Charakterisierung des Variantenbegriffs systematisiert HEINA die unterschiedlichen Begriffe (Abbildung 2-2) [HEINA 1999, S. 6].

Unterscheidungsmerkmal	Variantenbegriffe			
	Variantenebene	Produktvariante		Baugruppenvariante
Auftrittshäufigkeit	Standardvariante	Vorzugsvariante	Sonderausführung	kundenauftragspezifische Variante
technische Kriterien	geometrische Variante (Form- und Maß)		Materialvariante	Technologievariante
Variantenfestlegung	herstellerspezifische Variante		kundenspezifische Variante	
Variantenstruktur	einfache Variante	gemischt komplexe Variante		komplexe Variante
strukturelle Kriterien	alternativ: Kannvariante		additiv: Mussvariante bzw. Kann-Muss-Variante	
subjektive Wahrnehmung	periphere Variante		fundamentale Variante	

Abbildung 2-2: Systematisierung der Variantenbegriffe [HEINA 1999, S. 6]

Prozessvarianten ergeben sich nach FIRCHAU ET AL. durch die unterschiedliche Beanspruchung der Unternehmensressourcen. Dabei werde nach produktvarianten-induzierten und

produktvarianten-neutralen Prozessvarianten unterschieden. Bei Ersteren werden die Unterschiede in den Prozessabläufen durch die Verschiedenartigkeit der technischen Produktvarianten ausgelöst. Beispiele dafür seien zusätzliche Bearbeitungsschritte (z. B. Härten). Bei letzteren Prozessvarianten ließen sich im Gegensatz dazu die Unterschiede im Ablauf nicht auf die Produktvarianten zurückführen⁸ [FIRCHAU ET AL. 2002, S. 12].

Eine *Produktfamilie* besteht aus einer Menge verwandter Produkte, d. h. einer Menge von Produktvarianten⁹.

Produktprogramm

Unter *Produktprogramm* oder *Produktportfolio* werden in dieser Arbeit alle auf dem Markt angebotenen Erzeugnisse eines Unternehmens verstanden. Ein Produktprogramm wird sowohl durch seine Breite als auch durch seine Tiefe beschrieben, wobei dazu in der Literatur keine einheitliche Beschreibung existiert. In Anlehnung an LINGNAU soll unter

- Programmbreite die Anzahl unterschiedlicher Produktarten und unter
- Programmtiefe die Anzahl unterschiedlicher Varianten eines Produktes

verstanden werden [LINGNAU 1994, S. 105ff.]. Bei der BMW Group wird die Programmbreite durch die Produktarten (Motorrad, Automobil) bzw. durch die einzelnen Baureihen (1er, 3er, 5er, 6er, 7er, X, Z etc.) und die Programmtiefe durch deren Varianten (bei den Kraftfahrzeugen z. B. 523i bis 550i etc.) gebildet (Abbildung 2-3). Diese werden auch als *Derivate* bezeichnet. Je nach Produktprogramm kann sich diese Einteilung mehr oder weniger komplex gestalten.

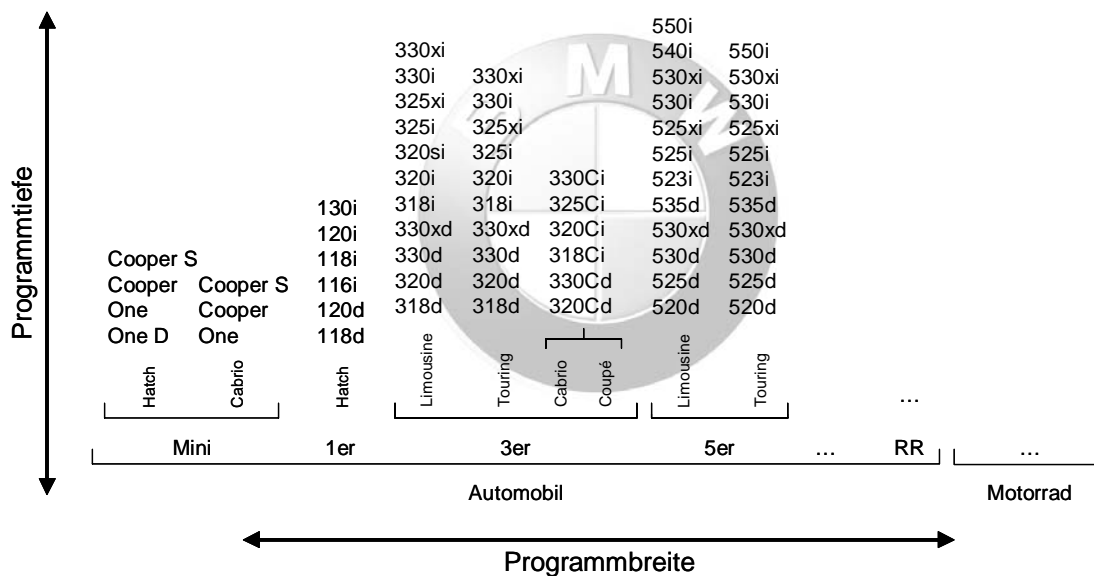


Abbildung 2-3: Dimensionen des Leistungsprogramms am Beispiel der BMW Group (Stand 04/06, deutscher Markt)

⁸ Beispiel hierfür sind z. B. geänderte Fertigungsabläufe aufgrund der Auslastung (z. B. Wechsel auf eine andere Fertigungsmaschine) [FIRCHAU ET AL. 2002, S. 12].

⁹ z. B. Baureihen [FIRCHAU 2003, S. 48]; siehe Kapitel 3.2.5

Die *Produktplanung* ist eng verwoben mit dem Produktmarketing, welches auf Basis von Marktanalysen die strategischen Ziele für die Ausrichtung des Produktportfolios eines Unternehmens festlegt. LINGNAU nennt folgende allgemein definierte Alternativen, die der Produktplanung zur Steuerung der Produktpolitik zur Verfügung stehen [LINGNAU 1994, S. 111ff.]:

- **Produktinnovation:**
Hierunter wird die Einführung eines Produktes mit objektiv neuen Eigenschaften verstanden.
- **Produktdifferenzierung:**
Das Kennzeichen der Produktdifferenzierung ist die Einführung eines neuen Produktes in ein Marktsegment, auf dem der Anbieter bereits vertreten ist. Um das neue Erzeugnis vom Ursprungsprodukt für den Kunden wahrnehmbar abzuheben, werden Eigenschaften des bereits angebotenen Produktes planmäßig verändert und differenziert. Im weiteren Sinne wird hier unter Differenzierung auch die Unterscheidung zum Wettbewerber verstanden.
- **Produktvereinheitlichung:**
Sie bezeichnet die Rücknahme einer Differenzierungsentscheidung. Der Anbieter nimmt dabei ein Produkt vom Markt, ohne diesen vollständig zu verlassen.
- **Produktvariation:**
Hierbei gibt der Anbieter durch eine Änderung der Eigenschaften eines bereits eingeführten Produktes einen alten Markt auf und betritt einen neuen.
- **Produktelimination:**
Bei einer Produktelimination wird ein Produkt vom Markt genommen, der damit vom Anbieter aufgegeben wird.

Diese Handlungsweisen werden mitunter in Kombination mit dem Ziel angewendet, verschiedene Unternehmensstrategien umzusetzen. DANNER sieht eine Ausrichtung der Entwicklung und Konstruktion nach folgenden Unternehmensstrategien [DANNER 1996, S. 146]:

- **Marktfolgerstrategie:**
Durch ein möglichst schnelles Kopieren von Neuerungen bzw. ein Umgehen von Patenten durch konstruktive Maßnahmen werden die Innovationen des Marktführers in eigenen Produkten umgesetzt.
- **Marktführerstrategie durch Differenzierung:**
Der Entwicklungsschwerpunkt liegt dabei auf der Entwicklung innovativer Produkteigenschaften, beispielsweise im Bereich des Designs oder der Funktionserfüllung. Dies trifft in der Regel auf Premiumhersteller zu (BMW, Porsche, Mercedes etc.). Das zusätzliche Anstreben von Prozessverbesserungen und Produktinnovationen erfolgt nur so weit, als sie der Steigerung der Produktqualität dienen.
- **Marktführerstrategie durch Kostenführerschaft:**
Hier liegt der Schwerpunkt auf neuen Prozesstechnologien und einer kostengünstigen Entwicklung. Dazu sind meist Prozessinnovationen zur Senkung der Herstellungskosten notwendig. Dies trifft in der Regel auf Massenhersteller zu (VW, Renault etc.).

Anstelle der Marktfolgerstrategie nennt PORTER die Konzentrations- und Nischenstrategie [PORTER 1999, S. 67]. Hierbei konzentrieren sich Unternehmen auf Marktnischen, also auf eine bestimmte Abnehmergruppe, einen bestimmten Teil des Produktionsprogramms oder

einen geografisch abgegrenzten Markt. Bei dieser Strategie muss sichergestellt werden, dass die Marktnische effizienter als durch die Wettbewerber bedient werden kann.

2.1.2 Standardisierung und Normung

Im Rahmen des Variantenmanagements stellen die Standardisierung und die Normung von Bauteilen oder Prozessen wirkungsvolle Maßnahmen zur Handhabung der Vielfalt dar.

Normung

Nach der häufig zitierten Definition von KIENZLE ist Normung das einmalige Lösen eines sich wiederholenden technischen oder organisatorischen Vorgangs mit den zum Zeitpunkt der Erstellung optimalen bekannten Mitteln des Standes der Technik. Dabei betont KIENZLE ausdrücklich, dass Normung eine stets zeitlich begrenzte technische und wirtschaftliche Optimierung sei [KIENZLE 1943, S. 533ff.]. Das Handbuch der Normung fasst Normung als die „Bestlösung sich wiederholender Aufgaben“ zusammen [DIN 1993].

PAHL & BEITZ übergehen den Ausdruck Standardisierung und beschränken sich auf die Verwendung des Begriffs Normung. Jedoch definieren Sie Standardteil als Oberbegriff für Wiederholteile, Normteile und Zukaufteile [PAHL & BEITZ 1997, S. 404]. Demnach ist für PAHL & BEITZ Standardisierung der Oberbegriff über Wiederholteilverwendung, Normung und der Verwendung von Zukaufteilen¹⁰.

EHRENSPIEL ET AL. sowie SCHUH & SCHWENK verwenden Normung und Standardisierung synonym [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 54]. Nach EHRENSPIEL ET AL. gibt es Normung auf drei Ebenen:

- überbetriebliche nationale (DIN), europäische¹¹ (DIN-EN, CEN) und internationale Normen (ISO, IEC),
- innerbetriebliche Normen (Werksnormen),
- allgemein einsetzbare Lösungskataloge und sonstige Vorschriften sowie systematische bzw. einheitliche Wissensdarstellungen [EHRENSPIEL ET AL. 2003, S. 307f.].

In dieser Arbeit soll die Begriffsbestimmung von JESCHKE gelten, in der sie Normung als eine Maßnahme zur Standardisierung definiert. Die Tätigkeit des Normens wirke quantifizierend, d. h. sie lege für bestimmte Merkmale Werte in einem Intervall fest. Neben der Verringerung der Variantenvielfalt sei das primäre Ziel die Erhöhung der Kompatibilität von Baugruppen und Einzelteilen. Die Ergebnisse der Normung erhielten „Gesetzescharakter“ mit firmeninternem bzw. -externem Gültigkeitsbereich [JESCHKE 1997, S. 23].

¹⁰ vgl. JESCHKE [1997, S. 20]

¹¹ vgl. PAHL & BEITZ [1997, S. 419]

Standardisierung

Ferner unterscheidet JESCHKE, die den Begriff Standardisierung synonym zu Variantenreduzierung verwendet, drei Arten der Standardisierung:

- **Produktstandardisierung:**
Maßnahmen in unterschiedlichen Unternehmensbereichen, welche die Vereinheitlichung bzw. Reduzierung der Vielfalt von Produkten und Einzelteilen bezwecken.
- **Technologiestandardisierung:**
Maßnahmen, welche die Vereinheitlichung der technologischen Einrichtungen sowohl in direkten als auch indirekten Bereichen bezwecken.
- **Prozessstandardisierung:**
Maßnahmen in unterschiedlichen Unternehmensbereichen, welche die Vereinheitlichung der Aufbau- und Ablauforganisation bezwecken.

Ziel der Standardisierung sei demnach die Reduzierung der Variantenvielfalt auf Baugruppen- und Einzelteilebene bei marktgerechtem Umfang der Produktvielfalt [JESCHKE 1997, S. 22]. SUZUE & KOHDATE weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass eine Standardisierung selten innovationshemmend ist, aber helfen kann, die Fehlerrate deutlich zu reduzieren [SUZUE & KOHDATE 1990, S. 18].

2.1.3 Einzelteile, Komponenten, Baugruppen, Systeme

DIN-NORM 199 und DIN-NORM 2330 legen nachstehende Definitionen fest. Ein *Einzelteil* sei ein Teil, das nicht zerstörungsfrei zerlegt werden kann. Ein durch Produktion entstehender gebrauchsfähiger bzw. verkehrsfähiger Gegenstand werde als *Erzeugnis* bezeichnet. *Gegenstände* stellen beispielsweise Erzeugnisse, Gruppen, Einzelteile, Zeichnungen oder Anweisungen dar. Sie können materiell oder immateriell sein. *Gruppen* seien aus zwei oder mehr Teilen und/oder Gruppen niedriger Ordnung bestehende Gegenstände. Die Gesamtheit der nach einem bestimmten Gesichtspunkt festgelegten Beziehungen zwischen den Gruppen und Teilen eines Erzeugnisses stelle die *Erzeugnisstruktur* dar. Diese könne z. B. nach Zusammenbau-, Funktions- oder Dispositionsgesichtspunkten aufgestellt werden [DIN-NORM 199 1977; DIN-NORM 2330 1993]. Ergänzend definieren SCHUH & SCHWENK, dass *Komponenten* Einzelteile oder Baugruppen sind, wobei *Baugruppen* wiederum aus Einzelteilen oder untergeordneten Baugruppen bestehen können [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 73].

Nach RAPP besteht ein Produkt aus einer Anzahl *Elemente*, von denen jedes eine bestimmte Anzahl Varianten aufweist. Elemente können dabei einzelne Bauteile, aber auch Baugruppen oder ganze Produkte sein [RAPP 1999, S. 26].

LINDEMANN definiert ein *System* als Elemente und zwischen ihnen vorhandene Relationen, welche durch eine Systemgrenze vom Umfeld abgegrenzt und durch Input-/Output-Größen mit diesem Umfeld verbunden sind [LINDEMANN 2005a, S. 291]. Nach DAENZER & HUBER

steht der Begriff System für Konnektivität¹². Demnach bestehen Systeme aus Elementen (Teile/Komponenten), wobei Elemente ihrerseits wieder Systeme sein können [DAENZER & HUBER 2002, S. 5f.].

Die beschriebenen Zusammenhänge können Abbildung 2-4 entnommen werden.

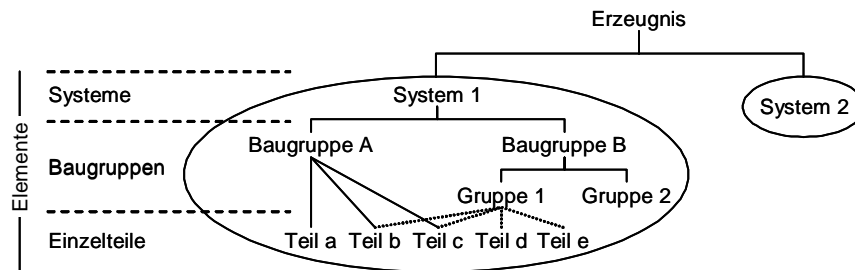


Abbildung 2-4: Erzeugnisstruktur – Zusammenhänge zwischen System, Baugruppe und Element

In der vorliegenden Arbeit werden die Begriffe Element, (Einzel-)Teil sowie Komponente synonym verwendet. Ein System wird als eine in der Erzeugnisstruktur höher angesiedelte, komplexere Baugruppe verstanden. In der Regel besteht ein System aus mehreren Baugruppen.

2.1.4 Produktstruktur

In der DIN-NORM 199 wird die Produktstruktur wie folgt charakterisiert: „Die *Produktstruktur* ist ein produktdarstellendes Modell, das die Gesamtheit der nach bestimmten Gesichtspunkten (z. B. Fertigung, Montage, Funktion, Disposition, Kalkulation) festgelegten Beziehungen zwischen Baugruppen und Einzelteilen eines Produktes beschreibt“ [DIN-NORM 199 1977]. SCHUH & SCHWENK definieren Produktstruktur¹³ als die strukturierte Zusammensetzung des Produktes aus seinen Komponenten. Baugruppen und Einzelteile führen dabei zu Strukturstufen, indem sie Komponenten auf tieferer Ebene in der Produktstruktur zusammenfassen. Eine Produktstruktur spiegle demnach die Zusammensetzung eines Erzeugnisses wider, bestehend aus Komponenten, Baugruppen und Strukturbeziehungen zwischen den Elementen. Somit bilde sie im Allgemeinen die Komplexität eines Produktes ab. Mit dem Aufbau einer Produktstruktur werde u. a. das Ziel verfolgt, die Mehrfachanwendung von Baugruppen und Einzelteilen zu steigern (vgl. Kapitel 3.2) [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 73]. Zur Verwaltung solcher Produktstrukturen bieten sich PDM-Systeme¹⁴ an.

¹² Konnektivität bezeichnet jede Ansammlung miteinander in Beziehung stehender Teile [DAENZER & HUBER 2002, S. 5].

¹³ Synonym zum Begriff Produktstruktur werden auch die Ausdrücke *Erzeugnisgliederung* und *Erzeugnisstruktur* verwendet [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 73].

¹⁴ Solche Product Data Management Systeme werden auch als Engineering Data Management Systeme (EDMS) bzw. im deutschsprachigen Raum auch mit Engineering Database (EDB) bezeichnet (vgl. SCHÖTTNER [1999]).

Für die Produktstruktur variantenreicher Produkte finden sich in der Literatur¹⁵ verschiedene Empfehlungen. SCHALLER fordert eine auftragsneutrale Produktstruktur, die durch den Konstrukteur bearbeitet wird. Produkte sollten demnach aus Baugruppen der nächsten Ebene lediglich durch den Vertrieb und/oder den Kunden konfigurierbar sein, unter Ausschluss des Konstrukteurs. Zusätzlich sollten Einzelteile und Baugruppen wiederholt eingesetzt werden [SCHALLER 1980]. Darüber hinaus verlangen SCHUH & CAESAR, dass in der Beschreibung der Produktstruktur als wichtige Information Kombinationsmöglichkeiten der Einzelteile und Baugruppen enthalten sind [SCHUH & CAESAR 1989]. UNGEHEUER empfiehlt neben dem funktionalen Aufbau des Produktes auch eine Abbildung der Montagereihenfolge [UNGEHEUER 1986].

FIRCHAU & FRANKE stellen heraus, dass eine möglichst übersichtliche gesamthafte Darstellung der Produktstruktur hilfreich bei der Analyse und Synthese variantenreicher Produkte ist. Für den Entwicklungsprozess eignen sich im Allgemeinen grafische Darstellungsformen der Produktstruktur. Hierbei werden die Komponenten in den Raum gestellt und mit Verbindungen, denen eine Bedeutung zugeordnet ist, zu einem Gefüge zusammengestellt [FIRCHAU & FRANKE 2002, S. 62f.].

Hinsichtlich einer Gesamtoptimierung der herrschenden Vielfalt geben SCHUH & SCHWENK der Produktstruktur eine wichtige, wenn nicht sogar zentrale Rolle. Sie sei nicht nur strukturbestimmend, sondern auch eine der Schlüsselfaktoren der aus Kosten-/Nutzensicht ausgerichteten Leistungsoptimierung [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 74]. Deswegen dürfe die Produktstruktur nicht isoliert betrachtet werden, sondern müsse in eine Vielzahl von gegenseitigen Abhängigkeiten im Unternehmen eingebettet werden. Im Allgemeinen sei es zweckmäßig, die Produktstruktur den Fähigkeiten des Unternehmens und damit den Unternehmensstrukturen anzupassen [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 76]. Abbildung 2-5 zeigt die gegenseitige Beeinflussung zwischen der Produktstruktur und dem Gesamtunternehmen.

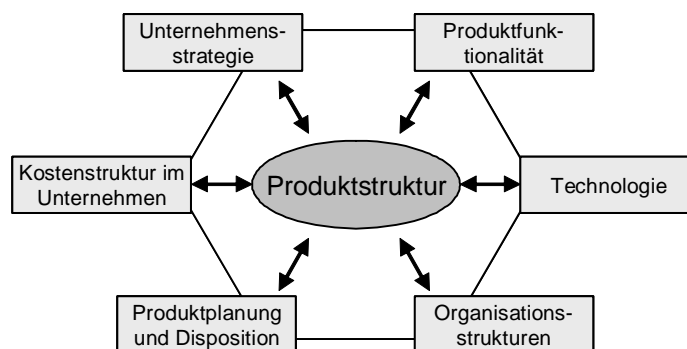


Abbildung 2-5: Die Produktstruktur als Teil des Gesamtunternehmens [RAPP 1999, S. 92.; SCHUH & SCHWENK 2001, S. 77]

Da die Unternehmensstrategie Auswirkungen auf die Produktplanung (vgl. Kapitel 2.1.1) hat, teilen ROBERTSON & ULRICH den möglichen Produktszenarios je nach gewählter Unter-

¹⁵ vgl. u. a. FIRCHAU & FRANKE [2002, S. 62]

nehmensstrategie unterschiedliche Strukturierungsansätze zu (Abbildung 2-6) [ROBERTSON & ULRICH 1998, S. 22].

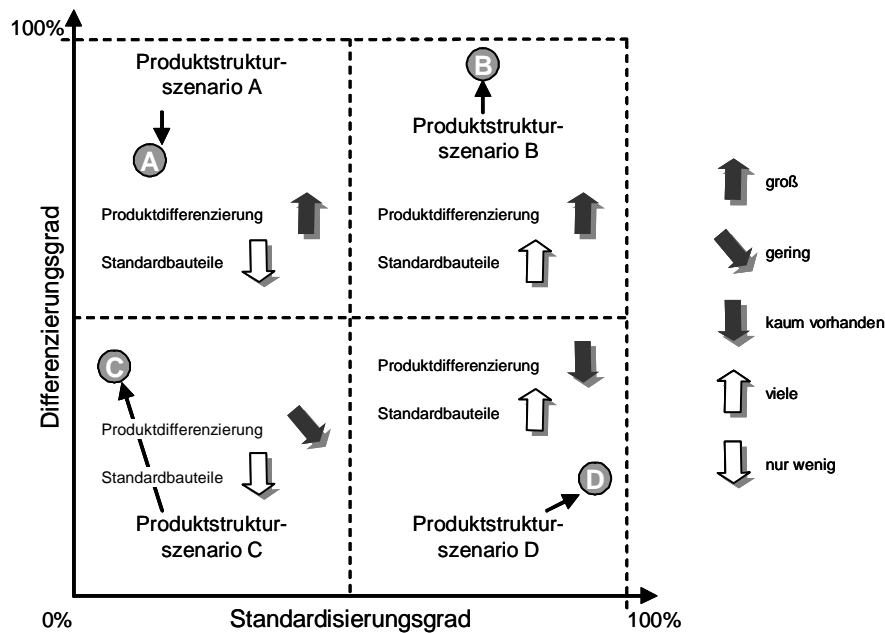


Abbildung 2-6: Einfluss der Unternehmensstrategie auf die Wahl der Produktstruktur [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 78; ROBERTSON & ULRICH 1998, S. 22]

Unter einer *Produktstrukturierung* verstehen RAPP und EVERSHEIM die Anordnung von funktionalen Elementen, deren Zuordnung zu physikalischen Komponenten (Bauteile, Komponenten, Baugruppen) sowie die Spezifikation der Schnittstellen zwischen den Komponenten [RAPP 1999, S. 9ff.; EVERSHEIM 1996, S. 45f.]. Durch die Produktstrukturierung in z. B. Baugruppen oder Module lassen sich nach SCHUH & SCHWENK auf verschiedenen Ebenen Nutzeneffekte erzielen. Die Gliederung in vormontierbare, vorprüfbare Einheiten reduziere die Kosten der Endmontage und Instandsetzung, außerdem sei die Austauschbarkeit von defekten Teilen in der Regel besser. Darüber hinaus werde die kundenspezifische Konfiguration (siehe Kapitel 3.1.2.4) von Produktvarianten durch die Gliederung in Verkaufseinheiten erleichtert [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 74f.].

Trotz der Wichtigkeit einer geeigneten Produktstrukturierung weisen BOOTHROYD ET AL. darauf hin, dass selbige nicht immer sinnvoll ist [BOOTHROYD ET AL. 1994, S. 12ff.]. Beispielsweise dann, wenn die durch eine Produktstrukturierung erzielbaren Effekte so klein sind, dass sie die für die Strukturierung nötigen Aufwendungen nicht zu decken vermögen [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 75].

In Kapitel 3.2 werden gängige Formen von Produktstrukturen näher erläutert. Auf Grundlage der hier getroffenen Definitionen wird in den folgenden Kapiteln auf die Entstehung und Folgen der Vielfalt und Komplexität eingegangen.

2.2 Variantenvielfalt und Komplexität

Wie in Kapitel 1.1 erwähnt, fand in den letzten Jahren vor allem im Bereich der Automobilindustrie geradezu eine explosionsartige Steigerung der Variantenvielfalt statt. Abbildung 2-7 zeigt diese Entwicklung stellvertretend am Beispiel der BMW Group.

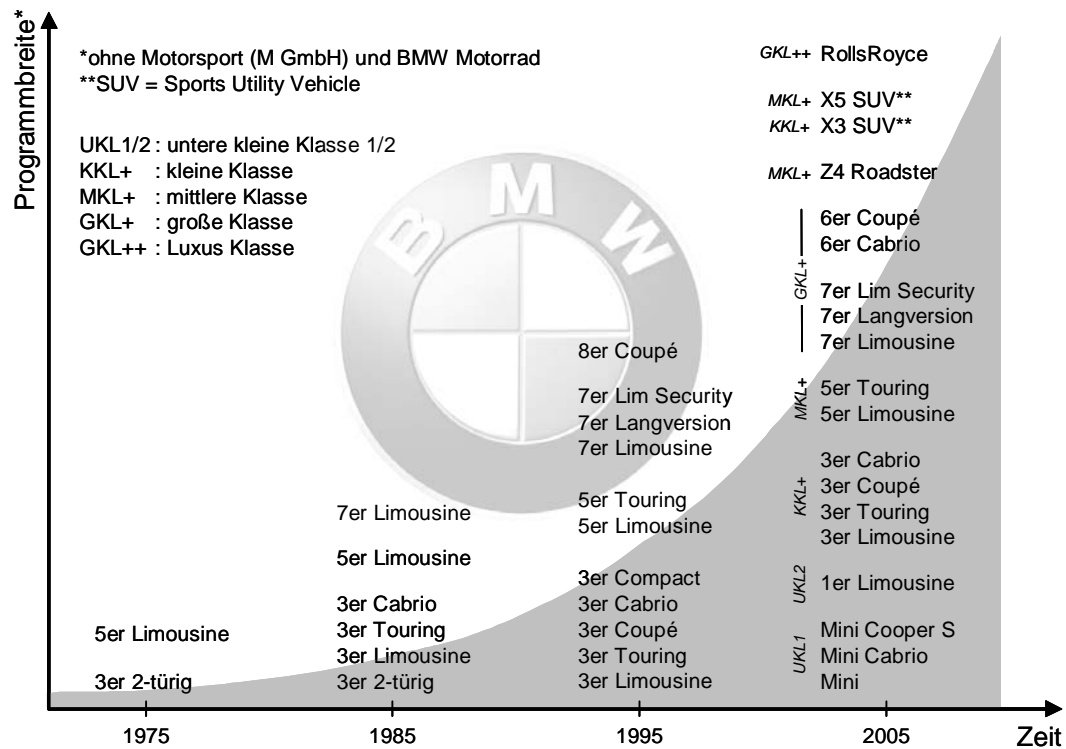


Abbildung 2-7: Entwicklung der Vielfalt bei der BMW Group

Aber auch in anderen Branchen ist eine stetige Variantensteigerung feststellbar, wie zum Beispiel dem Anlagenbau [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 8]. Man denke darüber hinaus an den exorbitanten Anstieg der verfügbaren Handymodelle eines Herstellers, die sich meist nur marginal unterscheiden. So bietet Nokia derzeit 59 verschiedene¹⁶ Geräte an [NOKIA 2006].

Nach SCHUH & SCHWENK hat die Komplexität vieler Unternehmen ein Maß erreicht, das die Kontroll- und Koordinationskosten aus dem Ruder laufen lässt [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 3].

Was sind die Gründe für diese Variantensteigerung? Welche Folgen hat die Variantenvielfalt? Wie kann dem Ganzen begegnet werden? Diese Fragestellungen werden im anschließenden Kapitel ausführlich untersucht und beantwortet. Die Begriffe Komplexität und Komplexitätsbeherrschung werden oft in Zusammenhang mit den Termini Varianten, Variantenvielfalt und Variantenbeherrschung verwendet (vgl. HEINA [1999, S. 10]). Nachstehend erfolgt eine Definition derselben.

¹⁶ Aktuell bei Nokia erhältliche Modelle, die sich technisch unterscheiden (Farbvarianten etc. sind nicht berücksichtigt); Stand 02/06, deutscher Markt.

Variantenvielfalt

Unter *Variantenvielfalt* verstehen FIRCHAU ET AL. die Anzahl und die Verschiedenheit der Varianten eines Bauteils, einer Baugruppe oder eines Produktes [FIRCHAU ET AL. 2002, S. 12]. HEINA sieht darunter die Vielfalt auf Endproduktebene und klassifiziert die Variantenvielfalt (Abbildung 2-8) [HEINA 1999, S. 6f.].

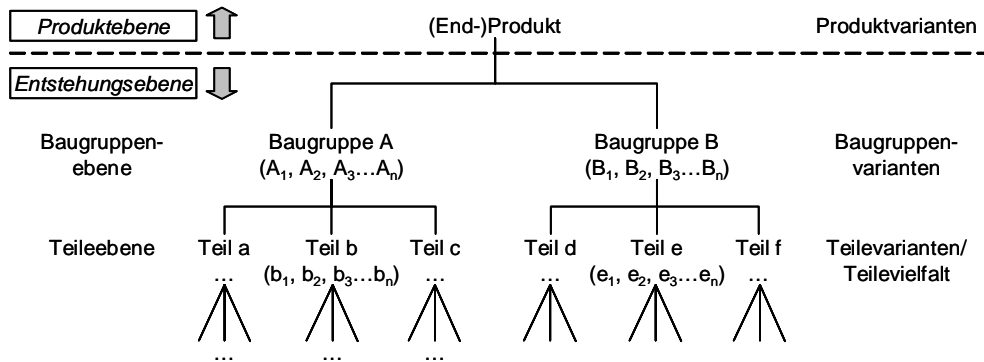


Abbildung 2-8: Klassifikation der Variantenvielfalt [nach HEINA 1999, S. 7]

Die *äußere Vielfalt* tritt als Angebotsvielfalt auf der Produktebene auf, während die *innere Vielfalt* in der Produktion eines Unternehmens auf Baugruppen- oder Teileebene vorliegt (vgl. Kapitel 2.2.1). Da die Varianten auf unterschiedlichen Ebenen im Allgemeinen voneinander abhängig sind, wirkt sich nach HEINA die Vielfalt auf der Endproduktebene auf die Mannigfaltigkeit der Produktentstehungsebene aus. Entsprechend nehmen durch eine Ausweitung der Produktvielfalt die Varianz in den untergeordneten Ebenen zu. Umgekehrt können Innovationen und Modifikationen auf der Teileebene zu einer Erhöhung der Produktvielfalt führen [HEINA 1999, S. 7].

Nach GEMBRY'S wird die Variantenvielfalt sowohl durch die Anzahl als auch durch die Unterschiedlichkeit der Varianten eines Typs gekennzeichnet. Da sich die Unterschiedlichkeit im Gegensatz zur Anzahl nur sehr selten eindeutig bestimmen lässt, formuliert er eine vereinfachte Definition. Demnach kennzeichne die Variantenvielfalt die Anzahl der Varianten eines (Varianten-)Typs und lässt deren Unterschiedlichkeit unberücksichtigt [GEMBRY'S 1998, S. 6]. Abbildung 2-9 stellt unterschiedliche Ausprägungen der Varianz dar.

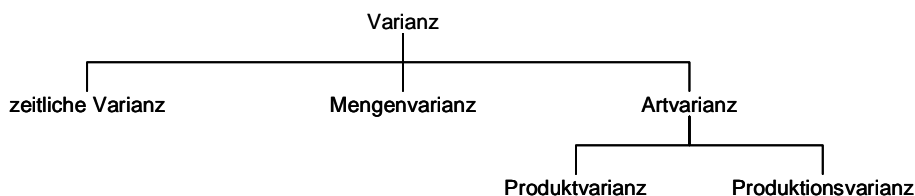


Abbildung 2-9: Ausprägungen der Varianz [KERSTEN 2002, S. 5]

Komplexität

Nach PILLER & WARINGER existiert in der Literatur keine allgemeingültige Definition des Begriffs Komplexität. Vielmehr bestünden innerhalb der verschiedenen Disziplinen zahl-

reiche spezifische Definitionen und Begriffsverwendungen [PILLER & WARINGER 1999, S. 5f.]. Der Ausdruck Komplexität stammt aus dem Lateinischen und bedeutet Gesamtheit aller Merkmale, Möglichkeiten bzw. Vielschichtigkeit [DUDEN 2001].

SCHULTE definiert *Komplexität* allgemein systemtheoretisch als das Zusammentreffen einer strukturellen Vielschichtigkeit. Diese resultiere aus der Anzahl und Diversität der Elemente eines Systems, deren gegenseitigen Verknüpfungen sowie der dynamischen Veränderlichkeit der gegenseitigen Beziehungen zwischen den Systemelementen [SCHULTE 1995, S. 758]. Nach LINDEMANN ist Komplexität eine Intransparenz, also schwer zu durchblickende Beschaffenheit eines Systems [LINDEMANN 2001a, S. 1ff.]. Präzisierend beschreibt er die Komplexität eines Systems durch die Merkmale Elemente, Relationen und Dynamik. Zusätzlich werde die Komplexität durch Unschärfen in der aktuellen Festlegung bzw. Abgrenzung der Elemente und Relationen oder auch durch mangelndes Wissen erhöht [LINDEMANN 2005a, S. 8f.]. Abstrakt lässt sich die Komplexität durch Konnektivität und Varietät beschreiben [PATZAK 1982, S. 22]. Abbildung 2-10 stellt diese Vielschichtigkeit der Komplexität in Anlehnung an PATZAK dar, erweitert um die Definition von LINDEMANN.

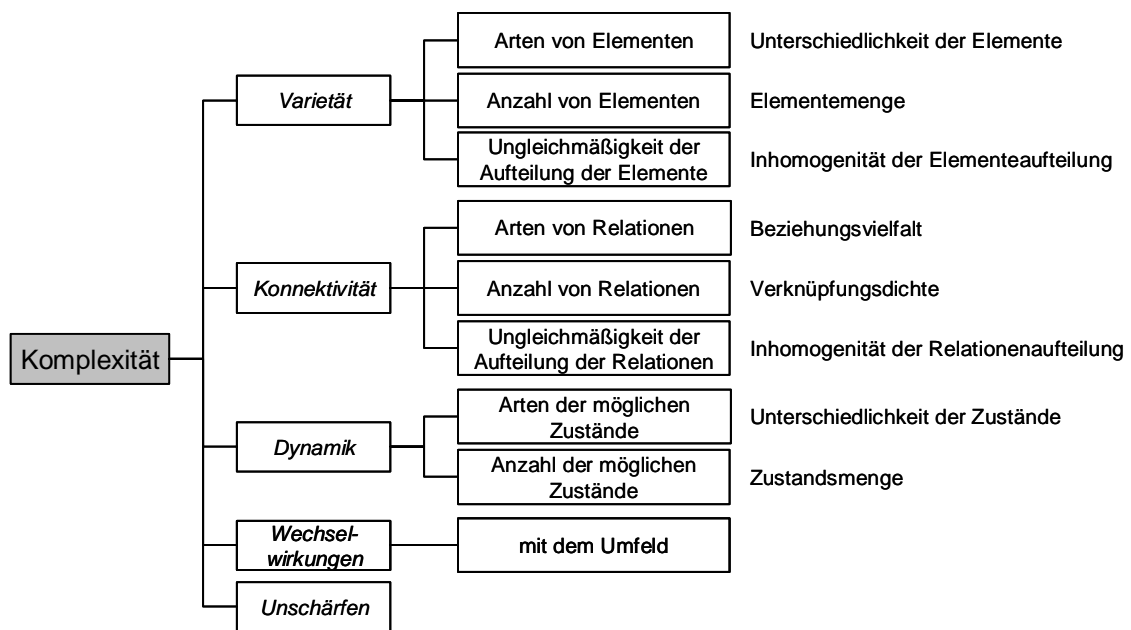


Abbildung 2-10: Facetten der Komplexität [nach PATZAK 1982, S. 23]

Aus produktionstechnischer Sicht entspricht nach ADAM & JOHANNWILLE die Komplexität der Vielschichtigkeit der Gesamtheit aller Merkmale einer Produktionskonzeption [ADAM & JOHANNWILLE 1998, S. 6]. Dementsprechend unterscheiden sich verschiedene Produkte in ihrer Komplexität (Abbildung 2-11).

Komplexitätskosten¹⁷ sind die aus dieser Vielschichtigkeit resultierenden Kosten [EHRENSPIEL 2003, S. 286].

¹⁷ vgl. GEMBRY [1998], ROSENBERG [2002] etc.

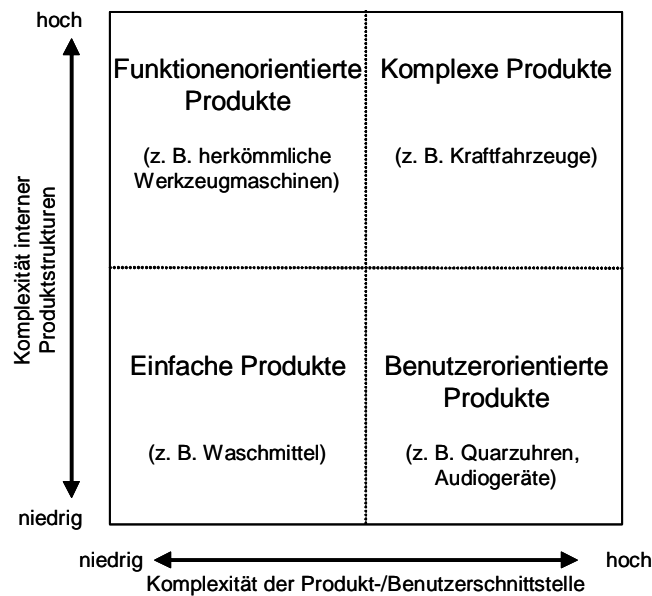


Abbildung 2-11: Einordnung von Produkttypen¹⁸ nach dem Komplexitätsgrad [CLARK & FUJIMOTO 1992, S. 21]

Komplexität und Vielfalt hängen eng zusammen. Bezeichnet die Komplexität eine Eigenschaft des Systems, ist die Vielfalt die dazugehörige Maßeinheit [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 32]. Deshalb können beide Begriffe nicht isoliert betrachtet werden, sodass sie im Nachfolgenden gemeinsam behandelt werden.

2.2.1 Interne und externe Variantenvielfalt und Komplexität

Prinzipiell werden jeweils zwei Arten der Komplexität und Variantenvielfalt unterschieden [KERSTEN 1999, S. 158ff.]: extern (Markt und Umwelt) und intern (Unternehmen), wie in Abbildung 2-12 dargestellt.

Die für den Kunden erkennbare und wahrnehmbare *externe Vielfalt*¹⁹ eines Produktes wird nach BARTUSCHAT unter anderem durch Markteinflüsse und Unternehmensstrategien, Gesetze, Normen oder Richtlinien bestimmt. Beispielsweise sieht der Kunde, dass er beim aktuellen 5er BMW zwischen zwei Karosserie-, neun Motor- und 13 Farbvarianten²⁰ wählen kann. Diese Varianz wird häufig mittels eines Konfigurators²¹ kundenwirksam abgebildet. Dagegen werde die für den Kunden unsichtbare *interne Vielfalt*, also die in der Produktion auftretende Fülle an Baugruppen und Teilen, primär durch Rahmenbedingungen aus der

¹⁸ Funktionensorientierte Produkte sind von der Funktionsorientierung (siehe Kapitel 5.4.2) zu unterscheiden.

¹⁹ WESTKÄMPER & BARTUSCHAT prägen den Begriff externe Vielfalt [WESTKÄMPER & BARTUSCHAT 1994].

²⁰ Stand 02/06 für den deutschen Markt; Motorvarianten ohne Allrad, Farbvarianten ohne Individual.

²¹ http://www.bmw.de/de/interaktiv/car_configurator/index.html?carId=3 [entnommen am 12.02.2006].

Konstruktion, Planung und Produktion sowie durch Gesetze²² beeinflusst [BARTUSCHAT 2001, S. 109].

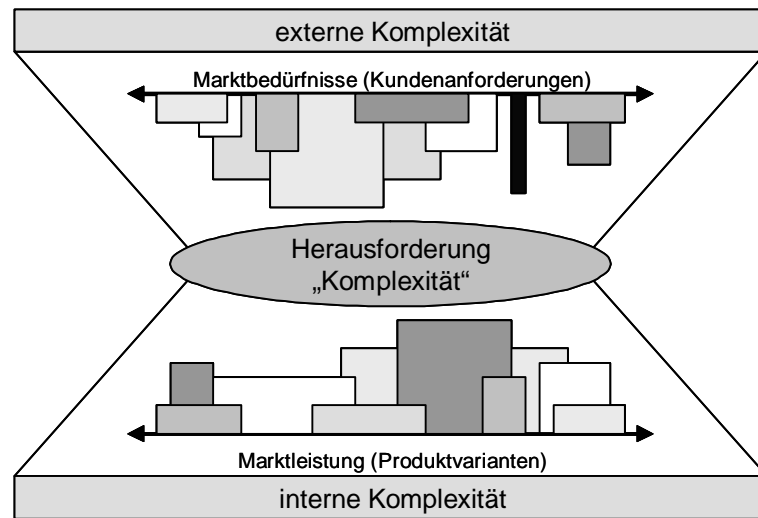


Abbildung 2-12: Externe und interne Komplexität [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 11; KAISER 1995, S. 101]

Als Kenngröße der internen Komplexität eines Unternehmens erwähnen PILLER & WARINGER u. a. die Variantenzahl oder -vielfalt. Die Komplexität werde weiter gesteigert durch die dynamische Veränderlichkeit der gegenseitigen Beziehungen der Systemelemente [PILLER & WARINGER 1999, S. 5f.].

Bezogen auf die Automobilindustrie resultiert die Komplexität also aus der großen Zahl von Teilen und Verknüpfungen im System Fahrzeug (interne Komplexität). Dieses ist vor allem ein Ergebnis der vielfältigen (komplexen) Anforderungen, die vom Markt gestellt werden (externe Komplexität). Der Markt selbst ist ebenfalls komplex durch die Vielzahl an Marktteilnehmern, Anbietern und den oft wechselnden Verknüpfungen zwischen diesen. Die interne Produkt- und externe Marktkomplexität bildet sich nach PILLER & WARINGER im Unternehmen, seinen Abläufen und Strukturen ab und führt so ebenfalls zu einer Vielzahl von Abteilungen, Teams und Mitarbeitern, die miteinander Verknüpfungen besitzen [PILLER & WARINGER 1999, S. 5]. Das Ergebnis ist eine Steigerung der internen Komplexität.

Gründe für diese Vielfalt sind hier und in Kapitel 1.1 schon angeklungen, werden aber im Folgenden detailliert betrachtet.

2.2.2 Ursachen der Variantenvielfalt und Komplexität

In der Literatur beschäftigt sich eine Reihe von Autoren²³ mit den Gründen für eine hohe Variantenvielfalt.

²² Gesetzlich vorgeschriebene Ländervarianten können für den Kunden sichtbar (z. B. Links-/Rechtslenker) oder auch unsichtbar (z. B. anderer Träger für den Stoßfänger) sein.

Nach JESCHKE sind Varianten, die aufgrund externer Anforderungen entstehen, überwiegend nicht vermeidbar, wohingegen unternehmensinterne Gründe eher zu unnötiger Variantenvielfalt führen [JESCHKE 1997, S. 4]. Eine gute Übersicht gibt Abbildung 2-13.

Extern	Vorschriften	<ul style="list-style-type: none"> • Gesetze • Normen
	technologische Entwicklung	<ul style="list-style-type: none"> • schneller Produktzyklen (taktische Zyklen) • neue Technologien (strategische Zyklen) • weltweite Informationsmöglichkeiten der Kunden
	gesellschaftlicher und politischer Wandel	<ul style="list-style-type: none"> • zunehmende Individualisierung • Pluralisierung der Werte und Normen • Änderung demografischer Strukturen • Verschiebung des Kaufkraftaufkommens • weltweite politische Veränderungen
Markt		<ul style="list-style-type: none"> • erhöhter Wettbewerb durch Globalisierung • Sättigung traditioneller Märkte • Diversifikation bekannter und neuartiger Bedarfe • neu wachsende Märkte ausnutzen • Risikostreuung, Ausgleich von Marktschwankungen • „abschöpfende“ Marketingstrategien • „Produktlaunch“
Intern	Kostensituation	<ul style="list-style-type: none"> • übermächtiger Marktführer • Kostendruck zwingt in Nischen • Auslastungsprobleme
	methodische Defizite	<ul style="list-style-type: none"> • Variantenvielfalt wird vernachlässigt und ist nicht transparent • Kostenrechnung ist nicht verursachungsgerecht • zeitliche Differenz zwischen Kostenverursachung und Kostenentstehung • Werkzeuge für ein markt- und kostengerechtes Programmkonzept fehlen
	organisatorische Defizite	<ul style="list-style-type: none"> • Koordination unterschiedlicher Bereichssichten findet nicht statt • zu viele Stellen in der Wertschöpfungskette • ungeeignete Entscheidungsstrukturen zur Variantenproblematik

Abbildung 2-13: Ursachen der Variantenvielfalt [nach FIRCHAU ET AL. 2002, S. 5]

Komplexität entsteht nach FIRCHAU ET AL. allein schon durch die Kombination verschiedener Objekte miteinander, seien es verschiedene Vorgänge, Merkmale, Personen etc. [FIRCHAU ET AL. 2002, S. 10]. Die ursächlichen Faktoren der Komplexität und Variantenvielfalt werden im Folgenden dargelegt.

2.2.2.1 Externe Ursachen der Variantenvielfalt

Ein Unternehmen, welches durch das Anbieten und den Verkauf von Produkten Umsätze erzielen will, steht in einem komplexen Spannungsfeld, das sich aus verschiedenen Faktoren zusammensetzt. Jeder dieser Faktoren hat einen Einfluss auf die hohe Varianz auf Produktebene in den Unternehmen [HICHERT 1985]. Diese Faktoren lassen sich unterteilen in

- Marktkomplexität,
- Internationalisierung und Globalisierung,
- ergonomische Anforderungen, Normen, Vorschriften, Gesetze und Richtlinien sowie

²³ vgl. u. a. ALDERS [2004, S. 17], BARTUSCHAT [2001, S. 109f.], BIEGERT [1971, S. 70ff.], CAESAR [1991, S. 9ff.], EHRENSPIEL [1995, S. 609f.], EHRENSPIEL ET AL. [2003, S. 289ff.], FIRCHAU [2003, S. 4ff.], FIRCHAU ET AL. [2002, S. 3ff.], KERSTEN [2002, S. 2f.], KOHLHASE [1997, S. 1f.], OHL [2000, S. III], PICOT ET AL. [2003, S. 2f.], PILLER & WARINGER [1999, S. 5ff., 18ff.], RADTKE ET AL. [2004, S. 15ff., 27ff.], SCHUH [1988, S. 8ff.], SCHUH & SCHWENK [2001, S. 7ff.], STOCKMAR [2004, S. 21], WILDEMANN [2005a, S. 33f.], WILDEMANN [2005b, Präambel] etc.

- technologischer Fortschritt.

Eine stetige Zunahme der *Marktkomplexität* stellt die Unternehmen vor neue Herausforderungen. Die Nachfrage nach Standardprodukten stagniert, wohingegen die Tendenz zum individuellen Produkt steigt. Mittelfristig werden daher nur diejenigen Unternehmen bestehen, denen es gelingt, im weltweiten Wettbewerb in meist gesättigten Märkten²⁴ ständig und präzise die Bedürfnisse der Kunden zu befriedigen. Eine falsch verstandene Kundenorientierung (Diversifizierung) kann allerdings zu explodierenden Variantenzahlen und damit zu starken wirtschaftlichen Problemen führen (*Komplexitätsfalle*, vgl. Kapitel 2.2.3). Zusätzlich bedingt der Markt die mangelnde Möglichkeiten, das Produktprogramm durch Streichung von Vorgängern neuer Varianten zu verschlanken bzw. die Variantenzahl im Unternehmen zu reduzieren (z. B. Ersatzteilhaltung, Image etc.).

Die *Internationalisierung* und fortschreitende *Globalisierung der Märkte* führt teilweise zu äußerst divergierenden länderspezifischen Anforderungen an die Produkte und wird so Verursacher der Varianz im Produktprogramm. Hierzu zählen international unterschiedliche, sich teils kurzfristig *wandelnde Wertauffassungen* bezüglich Design, Handhabung, Ausstattung, Qualität, Kosten etc. Auch Unterschiede in sozialen und politischen Strukturen der Weltbevölkerung sind für einen Anstieg der Varianten verantwortlich. Durch die Globalisierung und Deregulierung der Märkte wächst die *Wettbewerbsintensität* und *-dynamik*, da die Anzahl konkurrierender Unternehmen und Produkte sprunghaft ansteigt. Eine Folge davon sind verkürzte Entwicklungszyklen sowie der Drang zur aktiven Differenzierung gegenüber der Konkurrenz.

Auch verschiedenartige *ergonomische Anforderungen* an die Produkte aufgrund anatomischer Unterschiede in der Bevölkerung erfordern neue Varianten. Unterschiedliche *klimatische Bedingungen* (z. B. Kühlung, Schmierung etc.) tragen ebenso dazu bei wie international *differierende Normen, Vorschriften, Richtlinien und Gesetze* (z. B. Craschnormen²⁵, Radio- und Mobiltelefonfrequenzen, Spannung und Hertzanzahl der Stromnetze, Links-/Rechtsverkehr, Beschriftungen in den jeweiligen Maßeinheiten und Sprachen etc.). Darüber hinaus können unterschiedliche „Quasi-Standards“ und Gewohnheiten angepasste Varianten erfordern (z. B. Cupholder²⁶).

Schließlich wird durch den raschen *technologischen Fortschritt* eine fortlaufende Weiterentwicklung erzwungen, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Dabei steigt die Variantenvielfalt stetig an, was beispielsweise bei Halbleitern, Prozessoren, Handys und Computern etc. sehr deutlich erkennbar ist.

²⁴ vgl. KOHLHASE [1997, S. 1], WILDEMANN [2005b, Präambel] etc.

²⁵ Teilweise existieren erhebliche Unterschiede in den Anforderungen und Testverfahren der europäischen (Euro-NCAP), amerikanischen (FMVSS) und japanischen (MLIT) Craschnormen.

²⁶ Die Gewohnheiten bzgl. Cupholder differieren sehr stark. Während Amerikaner sich möglichst viele Cupholder im Fahrzeug wünschen, werden sie von Europäern selten vermisst. Außerdem müssen Cupholder in den USA meist runde Getränkebehälter mit einem Fassungsvermögen von bis zu 1,5 l aufnehmen können, wohingegen in Japan viereckige Behältnisse mit 0,2 l vorherrschen.

Die optimale Ausrichtung des Produktspektrums auf die Marktbedürfnisse wird in Anlehnung an KÜHBORTH als *äußere Optimierung* bezeichnet [KÜHBORTH 1986, S. 8]. Daneben existieren interne Ursachen der Variantenvielfalt.

2.2.2.2 Interne Ursachen der Variantenvielfalt

Interne Ursachen resultieren aus Defiziten in den unternehmenseigenen technischen oder organisatorischen Rahmenbedingungen, die eine unnötige Variantenvielfalt auf Produkt- oder Teileebene hervorrufen.

Der Mangel an ausreichenden Strategien der Unternehmensführung kann sich nach EHRENSPIEL ET AL. in sprunghaftem, aktionistischem Verhalten mit unabgestimmten Entscheidungen zu Produkten, zur Fertigung etc. auswirken. Eine Steigerung der Vielfalt könne u. a. begründet sein durch²⁷

- Kommunikationsdefizite in Entwicklung und Konstruktion,
- das Brachliegen vorhandener Erfahrungen,
- mangelnde Zugriffsmöglichkeiten auf relevante Informationen,
- unzureichende Beschreibung der Produktstruktur,
- zu späte Normung und Standardisierung von Bauteilen,
- kontinuierliche Verbesserungsprozesse ohne übergeordnete Strategien,
- ungeordnetes Änderungswesen in vielen Unternehmensbereichen,
- das Fehlen konstruktionsmethodischer und EDV-technischer Werkzeuge zur effektiven und schnellen Entwicklung bzw. Suche von Wiederholteilen sowie
- die Dominanz des Vertriebs gegenüber der Konstruktion und Produktion²⁸ [EHRENSPIEL ET AL. 2003, S. 291f.].

Entscheidenden Anteil an der Variantensituation im Unternehmen hat die Entwicklung und Konstruktion. Durch eine entsprechend vielfaltsgerechte Gestaltung ließen sich viele Varianten einsparen (vgl. Kapitel 2.2.4.1 und 3).

Zusätzlich betont JESCHKE, dass viele Unternehmen die Reduzierung der internen Vielfalt verhindern. Hierzu zähle die Zusage zur Ersatzteilhaltung weit über die gesetzliche Verpflichtung hinaus bzw. der Versorgung direkt vom Hersteller²⁹. Ferner stelle die Produktion aufgrund der teilweise immensen Investitionssummen neben der Logistik und Materialbeschaffung einen internen Variantentreiber dar, da beispielsweise die Platzverhältnisse eines Werkes die Anzahl der Produktionsstraßen bestimmen können. Die Definition der Baugruppen und Einzelteile entsprechend des durch die äußere Optimierung festgelegten Bedarfs

²⁷ vgl. Autoren in Fußnote 23

²⁸ Aussage aus der Praxis: „80 Prozent der Produktvarianten werden über den auftragshungrigen Vertrieb von unattraktiven Kunden in das Unternehmen hineingedrückt“ [EHRENSPIEL ET AL. 2003, S. 291].

²⁹ Im Investitionsgüterbereich werden gelegentlich bis zu 50 Jahre alte Produkte repariert [JESCHKE 1997, S. 12].

werde als *innere Optimierung*³⁰ bezeichnet [JESCHKE 1997, S. 12ff.]. Als Nährboden für die Vielfalt identifiziert KERSTEN Informationsdefizite bezüglich Kosten und Nutzen der Varianz [KERSTEN 2002, S. 12].

Gerade die Automobilindustrie ist von einer starken Komplexitätssteigerung betroffen.

2.2.2.3 Fokus Automobilindustrie

Aus Sicht der Automobilindustrie spielen spezielle Faktoren eine große Rolle. Abbildung 2-14 zeigt die hauptsächlichen Komplexitätstreiber, mit denen sich Fahrzeughersteller aktuell konfrontiert sehen.

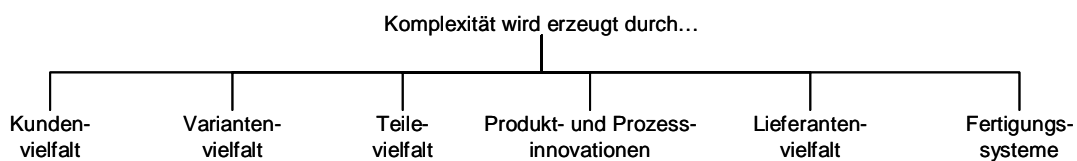


Abbildung 2-14: Typische Komplexitätstreiber in der Automobilindustrie [PILLER & WARINGER 1999, S. 20]

Diese Treiber lassen sich unter den Oberpunkten Masse (Vielfalt) und Dynamik (Veränderlichkeit, Vieldeutigkeit) zusammenfassen. Unter anderem sind nach ALDERS

- die mangelnde Transparenz,
- eine zu kurzfristige Bauteilplanung sowie
- die isolierte Betrachtung einzelner Baugruppen

für die Automobilhersteller typische Ursachen der Variantenvielfalt [ALDERS 2004, S. 17]. Die bereits in Kapitel 1.1 erwähnte Umfrage der NoAE ergab laut STOCKMAR nachstehende Rangliste für die Haupttreiber der Vielfalt:

1. Länder- und Regionalanforderungen,
2. spezifische Kundenanforderungen,
3. Modelloffensive der OEMs,
4. zu späte Entscheidungen des Vorstands und
5. Änderungen in der Entwicklungs-, Erprobungs- und Serienanlaufphase.

Die Variantenvielfalt der OEMs entstehe aus (regionalen) Marktanforderungen und (vermuteten) Kundenbedürfnissen [STOCKMAR 2004, S. 21]. Speziell für die deutschen Fahrzeughersteller nennt BOHNE u. a. als Kernursache neben einem Methoden- und Bewertungsdefizit Defizite bei der Zielsetzung und Steuerung [BOHNE 1998, S. 18f.].

Nach der Ursachenanalyse werden im folgenden Kapitel Auswirkungen der Vielfalt und Komplexität betrachtet.

³⁰ vgl. KÜHBORTH [1986, S. 8], HICHERT [1986, S. 141]

2.2.3 Auswirkungen der Variantenvielfalt und Komplexität

Einig sind sich die Autoren³¹, dass die Zunahme der Variantenvielfalt sich sowohl positiv als auch negativ auf den Unternehmenserfolg auswirken kann. Meist werden die Nachteile ausführlich behandelt, wohingegen die positive Wirkung bislang nicht vollständig beschrieben wird [JESCHKE 1997, S. 14].

2.2.3.1 Positive Folgen

Wesentliche Anforderung an Produkte ist die Stiftung von Kundennutzen³² [EHRENSPIEL ET AL. 2003, S. 292]. Dabei sind objektive und insbesondere auch subjektive Kundennutzen zu schaffen. Die Erhöhung der Varianz ermöglicht nach FIRCHAU ET AL. die Erfüllung zusätzlicher Kundenwünsche und trägt zur Bedienung neuer Marktsegmente oder zum Erschließen weiterer Kundenkreise und damit zur Steigerung des Unternehmensumsatzes bei [FIRCHAU ET AL. 2002, S. 1]. Die Erhöhung der Variantenvielfalt im Produktportfolio wird auch mit Diversifikation³³ bezeichnet und kann beispielsweise mittels einer Differenzierung³⁴ erreicht werden.

Differenzierung

Die große strategische Bedeutung der Erfüllung der zunehmend individueller werdenden Kundenwünsche bzw. des kundenspezifischen Leistungsangebots wurde bereits in Kapitel 2.2.2.1 herausgestellt. EHRENSPIEL ET AL. führen an, dass es durch entsprechende Produktdifferenzierungen möglich ist, Erzeugnisse in unterschiedlichen Preislagen anzubieten und so verschiedene Zielgruppen zu erreichen. Ferner werde die Kundenbindung erhöht³⁵, weil ein breites und ständig aktualisiertes Produktspektrum Kaufanreize sowohl bei neuen Kunden als auch bei bestehenden in Form von Folgeaufträgen erzeugt [EHRENSPIEL ET AL. 2003, S. 292]. In diesem Zusammenhang betont HEINA die steigende Bedeutung der Differenzierung des Produktprogramms, die sich zukünftig aufgrund der zunehmenden Individualisierung der Kundenwünsche sowie den dynamischen Veränderungen in der Gesellschaft und damit auch auf den Absatzmärkten ergebe. Auch für Unternehmen mit Serienfertigung sei es somit eine notwendige Bedingung, Varianten bestehender Produkte anzubieten [HEINA 1999, S. 1].

³¹ vgl. u. a. BOHNE [1998, S. 17], CAESAR [1991, S. 1ff.], FRANKE ET AL. [2002, S. 1], GEMBRYNS [1998, S. 1], KOHLHASE [1998, S. 56], LINGNAU [1994, S. 121ff.], RATHNOW [1993, S. 28ff.], WILDEMANN [2005a, S. 1ff.] etc.

³² Nach WILDEMANN ergaben aktuelle Studien, dass nur ein Drittel der heute im Automobil- und Maschinenbau entwickelten Varianten den Kundennutzen erhöhen [WILDEMANN 2005a, S. 35].

³³ Es wird zw. horizontaler, lateraler und vertikaler Diversifikation unterschieden [MEFFERT 2000, S. 245f.].

³⁴ Differenzierung sowohl innerhalb des eigenen Produktportfolios als auch gegenüber Wettbewerbern.

³⁵ Ein zu breites Produktspektrum birgt allerdings auch die Gefahr der Intransparenz, wobei Kunden durch die Variantenflut sowie den enormen Kombinations- und Wahlmöglichkeiten verwirrt, überfordert und letztlich abgeschreckt werden.

Da eine Variantenbildung in der Regel mit einem ungleich geringeren Aufwand als Neukonstruktionen realisierbar ist, können Unternehmen relativ kostengünstig ihr Produktspektrum erweitern. Entsprechend bietet sich auch die Chance, vergleichsweise schnell auf die Vorhaben der Wettbewerber zu reagieren bzw. Trends zu setzen.

Verbundeffekte

Bei der Produktdifferenzierung oder Vergrößerung des Portfolios sind mögliche Verbundbeziehungen zu beachten. Dabei ist im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsanalyse die Frage zu klären, ob die durch eine Variation bedingten zusätzlichen Erlöse die anfallenden Kosten übersteigen [MEFFERT 2000, S. 442]. Erfolgreiche Firmen schaffen dabei den Spagat zwischen einer angemessenen Produktvielfalt und einem schlanken Produktspektrum. Gelingt dies nicht, so ist die Gefahr groß, in eine Komplexitätsfalle zu geraten (siehe *negative Folgen*).

Die auf diese Weise erzielbaren Umsatzzuwächse nehmen nach Gembrys jedoch mit wachsender Variantenvielfalt ab. Demgegenüber sei von der Einführung von Produktvarianten ein Kostenanstieg zu erwarten, der sich mit wachsender Vielfalt vergrößert [GEMBRY 1998, S. 1].

Gleichzeitig mit den positiven Effekten gehen auch Nachteile der Vielfalt einher.

2.2.3.2 Negative Folgen

BOHNE sieht in der Vielfalt auf der Produkt- und Materialebene zwar unmittelbare Vorteile, erkennt aber in der steigenden Komplexität durchaus auch Nachteile [BOHNE 1998, S. 17], mit denen sich andere Autoren ebenfalls beschäftigen³⁶.

Komplexitätskosten

Aufgrund der Angebotsvielfalt ließen sich nach BOHNE zusätzliche Absatzmengen sowie ein höheres Erlösniveau erreichen (vgl. Kapitel 2.2.3.1). Die monetären Nutzeffekte der Vielfalt verhalten sich unterschiedlich zu den Komplexitätskosten: Während vielfaltsinduzierte Deckungsbeiträge mit ansteigender Komplexität lediglich degressiv wachsen, nehmen Komplexitätskosten langfristig progressiv³⁷ zu (vgl. BULLINGER & WARNECKE [1996, S. 574f.]). Eine spezifische, auf die jeweiligen Anforderungen fokussierte Bauteilauslegung sei neben den Einsparungen im Bereich der Materialkosten mit Vorteilen in Bezug auf Gewicht und Bauraum verbunden [BOHNE 1998, S. 17f.]. Bei Überschreitung des optimalen Komplexitätsniveaus werden die zusätzlichen Deckungsbeiträge durch die Komplexitäts-

³⁶ vgl. EHRENSPIEL ET AL. [2003, S. 293ff.], GEMBRY 1998, S. 1f.], JESCHKE [1997, S. 1ff.], KERSTEN [2002, S. 17ff.], KOHLHASE [1997, S. 209ff.], MEFFERT [2000, S. 448ff.], RADTKE ET AL. [2004, S. 1ff.], SCHLECHT [2004, S. 7], SCHUH [1989], SCHUH & SCHWENK [2001, S. 17ff.], WILDEMANN [2005b, S. 3f.] etc.

³⁷ „Die Kostenprogression wird überwiegend durch den indirekt verursachten Anstieg der Teile- und Prozessvariantenvielfalt getragen“ [GEMBRY 1998, S. 1].

kostenmehrungen überkompensiert, wodurch die Rendite sinkt [BACKHAUS ET AL. 2000, S. 160ff.]. Abbildung 2-15 verdeutlicht diesen Zusammenhang.

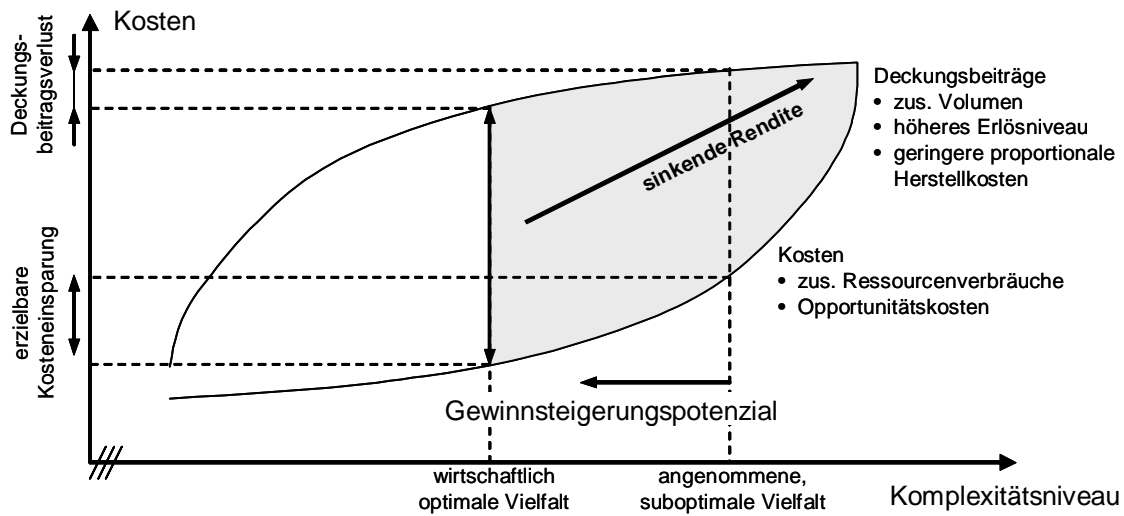


Abbildung 2-15: Komplexität als erfolgswirtschaftliches Problem [BOHNE 1998, S. 17]

Neben diesem durch die Komplexitätssteigerung hervorgerufenen Kostenanstieg bewirkt eine hohe Variantenvielfalt nach KOHLHASE auch eine Erhöhung der Kosten infolge aufwendigerer Fertigungsverfahren und leistungsfähigerer Prozesse [KOHLHASE 1999, S. 209]. Eine hohe Variantenvielfalt hat somit die Steigerung der Komplexität auf Produkt-, Teile- und Prozessebene zur Folge. Dabei sind sämtliche Unternehmensbereiche von der Entwicklung, der Produktion bis hin zum Service und zur Logistik betroffen. Abbildung 2-16 verdeutlicht den Einfluss der Komplexität auf die Kostenstruktur eines Automobilherstellers.

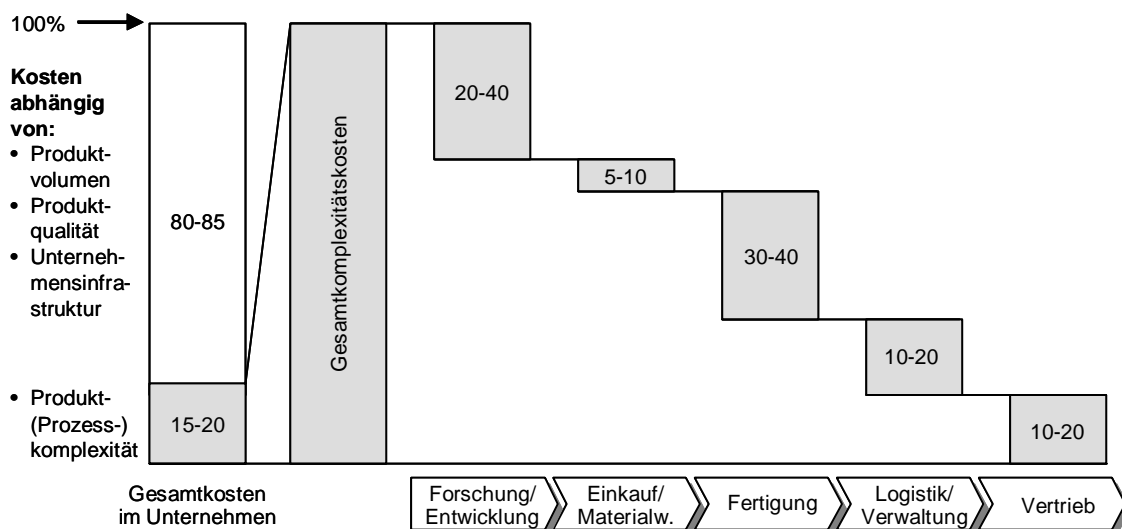


Abbildung 2-16: Einfluss der Komplexität auf die Kostenstruktur eines Automobilherstellers [MEFFERT 2000, S. 1415]

In diesem Zusammenhang führt STOCKMAR als ein Ergebnis der NoAE-Umfrage folgendes Ranking der absoluten Kostenfaktoren durch Varianten im Produktlebenszyklus auf: Logistikkemhraufwand³⁸, Entwicklungsaufwand, Steuerungs- und Pflegeaufwand in der Serienproduktion, Skalenverluste durch Varianten, Anlaufprobleme beim Serienstart, Werkzeugkosten [STOCKMAR 2004, S. 20]. Einen Überblick über die Zusammensetzung von Komplexitätskosten gibt Abbildung 2-17.

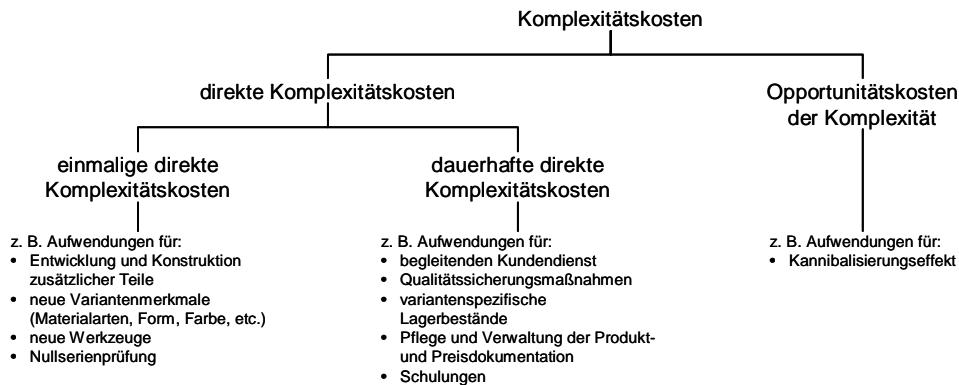


Abbildung 2-17: Gliederung der Komplexitätskosten [nach HOMBURG & DAUM 1997, S. 333]

Komplexitätsfalle

Unternehmen geraten oftmals unbewusst³⁹ in eine sogenannte *Komplexitätsfalle*⁴⁰ von Variantenvielfalt und Wettbewerbsnachteilen, anstelle einer gezielten Positionierung in Marktsegmenten mit variantenreichen Produkten [JESCHKE 1997, S. 7]. Häufig wird als Reaktion auf stagnierende Absätze eine Erweiterung des Produktspektrums in Nischenmärkten durchgeführt, wobei vielfach die tatsächlichen Kosten der steigenden Variantenvielfalt unterschätzt werden (Abbildung 2-18).

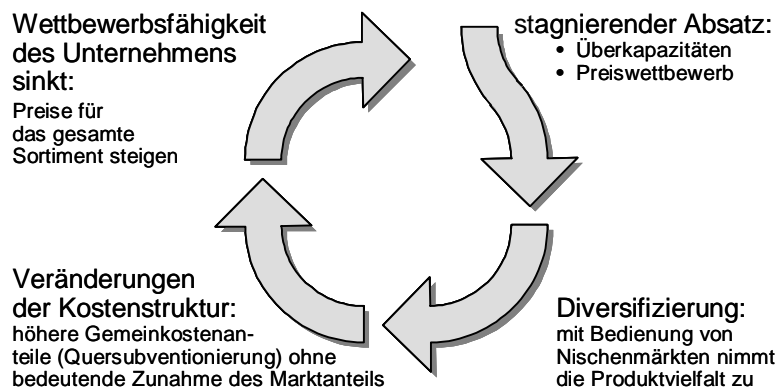


Abbildung 2-18: Komplexitätsfalle von Variantenvielfalt und Wettbewerbsnachteilen [nach JESCHKE 1997, S. 7]

³⁸ 20 Prozent der Prozesskosten werden durch die Variantenvielfalt verursacht [STOCKMAR 2004, S. 20].

³⁹ Die meisten Unternehmen geraten aufgrund eines fehlenden Variantenmanagements (vgl. Kapitel 2.2.4.3) in die Komplexitätsfalle.

⁴⁰ Auch „Circulus Vitiosus“ genannt (vgl. u. a. EHRENSPIEL ET AL. [2003, S. 293]).

Dies hat langfristig eine Veränderung der Kostenstrukturen hin zu steigenden Gemeinkosten zur Folge, da beispielsweise die notwendige stärkere Flexibilisierung der Fertigung zusätzliche Investitionen auslöst und betriebliche Strukturen und Abläufe komplexer werden. Dadurch sinkt die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens und der instabile Regelkreis ist in Gang gesetzt.

Qualitätsfalle

Daneben besteht nach SCHLECHT auch das Risiko, durch eine hohe Produkt- und Variantenvielfalt in eine „Qualitätsfalle“ zu geraten [SCHLECHT 2004, S. 7]. Hierunter ist ein Anstieg der Qualitätskosten zu verstehen, hervorgerufen durch folgende Verkettung: Da sich aufgrund einer hohen Variantenvielfalt die zur Verfügung stehenden Entwicklungsressourcen für einzelne Umfänge reduzieren, steigt die Wahrscheinlichkeit für Probleme bei der Qualität. Gleichzeitig wachsen die Innovationsrisiken und Prüfaufwände vielfaltsbedingt an. Zusätzlich steigern Gewährleistungsansprüche infolge fehlerhafter Produkte und der Produkthaftung die Qualitätskosten. Durch diese beschleunigte Veränderung der Kostenstruktur wird die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens gesenkt und somit der Regelkreis der Komplexitätsfalle verstärkt. Nach BLUME & LAMPARTER ist die Qualität der Toyota Fahrzeuge nicht zuletzt deshalb Benchmark in der Branche, weil vergleichsweise wenig Varianten existieren (vgl. Kapitel 1.1) [BLUME & LAMPARTER 2002, S. 22].

Mengeneffekte

Weiterhin beeinflusst die Produktdifferenzierung den Absatz von Produkten, wodurch sich Probleme ergeben können. Hierbei unterscheidet MEFFERT nach JACOB [1976] zwischen dem Substitutions- und dem Partizipationseffekt. Mit *Partizipationseffekt* werde die Nachfrage der durch die zusätzliche Produktvariante neu hinzugewonnenen Käufer bezeichnet, die bislang Konkurrenzprodukte erworben oder keinerlei Käufe in der betrachteten Produktkategorie getätigt haben. Die abgesetzte Menge steigt um die Anzahl der neuen Varianten. *Substitutionseffekte* dagegen treten bei einem Wechsel der Kunden von anderen Produkten des Unternehmens zu den neuen Produktvarianten auf, was einer internen Konkurrenz der Produkte eines Anbieters gleichkäme und demnach eine Art Kannibalisierungseffekt⁴¹ darstelle [MEFFERT 2000, S. 448ff.]. In diesem Fall steigt die abgesetzte Menge nicht um die Anzahl der neuen Produktvarianten⁴². WILDEMANN spricht in diesem Zusammenhang auch von einer Fragmentierung der Märkte, die sich ungünstig auf den Standardisierungsgrad auswirken kann. Durch die Aufspaltung sinkt die Kundenzahl innerhalb der einzelnen

⁴¹ vgl. JESCHKE [1997, S. 1], RIEDEL ET AL. [1999, S. 29] etc.

Nach VDA entfielen im Jahre 2003 ca. 40 Prozent aller verkauften Fahrzeuge der Mercedes Car Group auf Modellreihen, die 1995 noch nicht existierten [VDA 2004, S. 27].

⁴² Eine Quersubventionierung von Nischenmodellen sollte dabei durch eine genaue Planung des angebotenen Produktprogramms vermieden werden.

Marktsegmente, sodass im Extremfall ein Segment nur noch von einem Kunden besetzt wird⁴³ [WILDEMAN 2005b, S. 3f.]. Abbildung 2-19 stellt diesen Zusammenhang dar.

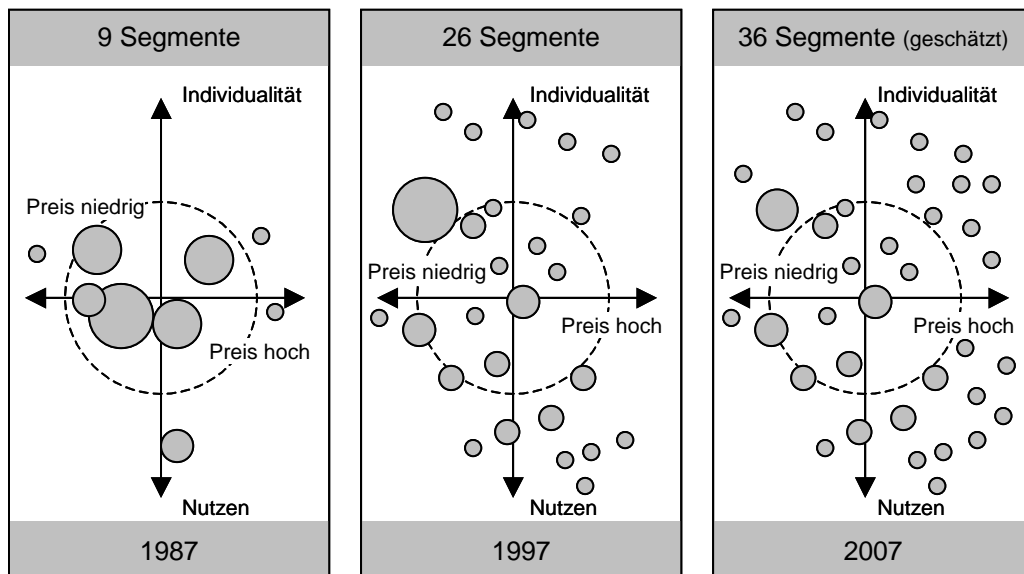


Abbildung 2-19: Zunehmende Segmentierung, Fragmentierung und Nischenbildung des Automobilmarktes (die Durchmesser symbolisieren die Segmentgröße) [nach MEFFERT 2000, S. 1354]

Die Variantenvielfalt wirkt sich im gesamten Unternehmen aus, wobei sämtliche Organisationseinheiten betroffen sind⁴⁴. Orientiert am Produktlebenszyklus ergeben sich Auswirkungen auf die Produktentwicklung mit Forschung und Entwicklung, dem Einkauf und der Logistik, der Produktion mit Fertigung und Montage sowie im Vertrieb und dem Kundendienst in der Nutzungsphase (Abbildung 2-16). Nachstehend wird auf alle Punkte kurz eingegangen, wobei eine klare Trennung der einzelnen Oberbegriffe schwierig ist.

2.2.3.2.1 Variantenverursachte Probleme in der Produktentwicklung

Ein variantenreiches Produktspektrum stellt die Produktentwicklung vor eine große Zahl vielfältiger Aufgaben. FIRCHAU & FRANKE nennen exemplarisch folgende:

- Aufwand für die Konstruktion der neuen Teile,
- Erstellung und Verwaltung zusätzlicher technischer Unterlagen,
- erhöhter Änderungsaufwand durch Varianten,
- Pflege zusätzlicher Teile bzw. Stammdaten [FIRCHAU & FRANKE 2002, S. 52f.].

Darüber hinaus führen PILLER & WARINGER sowie RATHNOW

- zusätzliche Testläufe,

⁴³ Deshalb sollte eine Vergrößerung des Produktportfolios im Allgemeinen mit den bereits bestehenden Ressourcen und Kapazitäten erfolgen (BMW Vorstandsvorsitzender, Dr. Panke: „Wir haben so viel Personal an Bord, wie wir für weiteres Wachstum brauchen“ [FTD 2006]).

⁴⁴ Darüber hinaus wirkt sich nach ALDERS eine hohe Variantenvielfalt u. a. auf die Punkte Modellreihe, Qualität, Unternehmensergebnis, Märkte/Kunden, Lieferanten, Eigen-/Fremdentwicklung aus [ALDERS 2004, S. 7].

- ein aufwendigeres Simultaneous Engineering sowie
- die Notwendigkeit verwechslungssicherer Konstruktionen

an [PILLER & WARINGER 1999, S. 14; RATHNOW 1993, S. 24].

Auch GÖPFERT & STEINBRECHER argumentieren in diese Richtung. Demnach äußern sich die Folgen der Komplexität in einem schwer überschaubaren Gesamtprodukt aufgrund der hohen Zahl an technischen Komponenten und ihren Beziehungen. Hinzu kämen unvorhersehbare Interaktionseffekte zwischen Komponenten, welche die Produktfunktionalität beeinträchtigen und somit zu langwierigen Entwicklungsprozessen führen können. Durch die starke Vernetztheit nicht nur des Produkts sondern auch der Entwicklungsabteilungen komme es zu einer unklaren Verteilung von Zuständigkeiten zwischen Aufgabenträgern und Projektbeteiligten, wodurch sich ebenfalls ein hoher Koordinations- und Abstimmungsbedarf zwischen den einzelnen internen und externen Aufgabenträgern⁴⁵ durch technische und organisatorische Abhängigkeiten ergebe [GÖPFERT & STEINBRECHER 2001, S. 352].

Gerade die Absicherung von Entwicklungsumfängen gestaltet sich bei einer hohen Vielfalt erheblich schwieriger bzw. beinahe unmöglich, da theoretisch jede Kombination und jede Variante für sich getestet werden muss.

Außerdem kann sich die Reaktionsgeschwindigkeit eines Unternehmens infolge einer hohen internen Komplexität reduzieren, was sich beispielsweise in längeren Lieferzeiten etc. niederschlägt. Auch in diesem Fall kann es zu negativen Erlösauswirkungen kommen.

2.2.3.2.2 *Variantenverursachte Probleme in Einkauf und Logistik*

Für Einkauf und Logistik ergeben sich aus der steigenden Komplexität verschiedene Nachteile, die vor allem aus einem steigenden Verwaltungs- und Steuerungsaufwand resultieren. Hinzu kommen schlechtere Verhandlungspositionen, die zu steigenden Preisen führen. Durch die Teilevielfalt nimmt die Preistransparenz von Zulieferteilen stark ab, da die Zuordnung von Preisen zu einzelnen Produkt- oder Teilevarianten zunehmend schwerer fällt⁴⁶.

PILLER & WARINGER nennen nachstehende Punkte:

- höhere Einstandspreise durch kleinere Stückzahlen,
- Dispositionsaufwand für mehr Positionen,
- größere Zahl von Zulieferern,
- Zunahme der Verhandlungsgespräche mit Lieferanten,
- höherer Aufwand für Wareneingangs- und Qualitätskontrolle,
- umfangreichere Lagerhaltung der Vorprodukte in verschiedenen Variationen,
- höherer Aufwand der Rechnungsprüfung [PILLER & WARINGER 1999, S. 14].

⁴⁵ z. B. unterschiedliche Projektteams, Zulieferer und externe Entwicklungspartner.

⁴⁶ Ein Kostenvergleich kann sehr aufwendig sein, da sich die Kostenstrukturen innerhalb einer Firma für ähnliche Komponenten u. U. erheblich unterscheiden können.

Hauptsächlich ist jedoch die betriebsinterne Logistik von der steigenden Teilevielfalt betroffen. Es müssen nicht nur große Flächen zur Lagerung der unterschiedlichen Rohstoffe und Halbzeuge zur Verfügung gestellt werden, sondern auch erheblicher Koordinationsaufwand bei deren Vordisposition im Unternehmen betrieben werden. Für jede Variante eines Produkts muss etwa die erforderliche Variante des Halbzeuges zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort zur Verfügung gestellt werden. Der hierdurch erhöhte Planungs- und Steuerungsaufwand schlägt sich in gesteigerten Kosten nieder.

2.2.3.2.3 Variantenverursachte Probleme in der Produktion

Eine Variantenvielfalt hat auch Auswirkungen auf die Produktion, wozu neben der Arbeitsplanung die Produktsteuerung, die Fertigung sowie die Montage zählen. PILLER & WARINGER führen u. a. folgende Probleme auf:

- geringere Losgrößen,
- höhere Rüstkosten,
- sinkender Auslastungsgrad der Fertigungsanlagen,
- Leerkapazitäten bei Nachfragerückgang,
- umfangreichere Qualitätskontrolle,
- höheres Investitionsvolumen für flexible Produktionsanlagen,
- erhöhte Verwechslungsgefahr bei der Teilemontage,
- häufigere Serienanläufe,
- höhere Kosten durch Abstimmung mit externen Zulieferern,
- aufwendigere Fertigungssteuerung [PILLER & WARINGER 1999, S. 14].

Darüber hinaus erfordert eine hohe Variantenvielfalt laut ALDERS

- eine aufwendigere Logistikplanung und Produktionssteuerung,
- einen erhöhten Platzbedarf am Montageband und in der Kommissionierzone,
- höhere Lagerbestände sowie
- einen höheren Schulungsaufwand [ALDERS 2004, S. 8].

Die Folgen variantenreicher Produktspektren wirken sich nach HESSELBACH & MENGE am stärksten in der Fertigung und Montage aus. So führen sinkende Losgrößen zu häufigeren Rüstvorgängen. Gleichzeitig sinken die Lerneffekte, da bei gleichbleibender Gesamtstückzahl die Stückzahl pro Variante mit Zunahme der Variantenvielfalt abnehme. Somit können die Kostendegressionen, die mit Zunahme der Stückzahl einhergehen, nicht genutzt werden⁴⁷ [HESSELBACH & MENGE 2002, S. 87f.]. MEFFERT spricht in diesem Zusammenhang auch von einem „umgekehrten Erfahrungskurveneffekt“⁴⁸, welcher besagt, dass sich in Fabriken mit herkömmlichen Fertigungstechnologien mit jeder Verdopplung der Variantenzahl die Kosten

⁴⁷ vgl. BARTUSCHAT [1995], BOHNE [1998, S. 17f.], GEMBRYNS [1998, S. 1], LINGNAU [1994, S. 124f.], RATHNOW [1993, S. 24], WILDEMAN [2005a, S. 34] etc.

⁴⁸ vgl. LINGNAU [1994, S. 124ff.], RATHNOW [1993, S. 28ff.] etc.

pro Stück um circa 20 bis 30 Prozent erhöhen⁴⁹ [MEFFERT 2000, S. 1041f.]. Schwankungen in den Arbeitsfolgen und Montagezeiten zwischen den Varianten führen zu wechselnden Engpässen im Produktionsbereich. Nach LINGNAU können als Folge sogenannte „Leerkosten“ für die Nichtnutzung von Kapazitäten auftreten [LINGNAU 1994, S. 132]. Der Kapitaleinsatz kann sich in der Produktion erhöhen, da für einzelne Varianten spezifische Werkzeuge oder Vorrichtungen benötigt werden und die Fertigungseinrichtungen flexibler nutzbar sein müssen [HESSELBACH & MENGE 2002, S. 88].

2.2.3.2.4 *Variantenverursachte Probleme in Vertrieb und Service*

Schließlich werden auch der Vertrieb und Service durch eine hohe Variantenvielfalt beeinflusst. Für den Vertrieb führen PILLER & WARINGER

- die aufwendigere Distribution,
- eine höhere Anzahl an Vorführvarianten,
- den höheren Schulungsaufwand,
- höhere Marketingkosten und
- geringere Liefertreue

auf. Die Folgen für den Service geben sie mit

- höherer Ersatzteilbevorratung,
- höherem Schulungsaufwand,
- zusätzlicher Kundendienstunterlagen sowie
- dem sukzessiven Aufbau potenziell zu liefernde Ersatzteile von bereits ausgelaufenen Varianten

an [PILLER & WARINGER 1999, S. 14].

Für den Kunden hat eine hohe Produkt- und Variantenvielfalt den Nachteil einer zeitraubenden Konfiguration mit erhöhtem Fehlerrisiko, für die der Kunde zudem eine hohe Vorstellungskraft benötigt [ALDERS 2004, S. 10]. Dies kann zu einem absoluten Umsatzrückgang führen, wenn durch die Komplexität des Produktprogramms verwirrte Kunden sich klarer positionierten Wettbewerbern zuwenden (vgl. Kapitel 2.2.3.2).

2.2.3.2.5 *Vielfaltsbedingte Kalkulations- und Kosteneffekte*

Neben den festzustellenden kostenerhöhenden Wirkungen der Variantenvielfalt in allen Bereichen der Wertschöpfungskette eines Unternehmens lassen sich nach HUCH & LÖSCH verschiedene Kalkulations- und Kosteneffekte identifizieren. So beschreiben

- der Allokationseffekt,
- der Degressionseffekt,
- der Komplexitätseffekt sowie
- der Hystereseeffekt

⁴⁹ Diese Erhöhung tritt auf, weil weniger Erfahrung mit mehr Varianten besteht bzw. die bestehenden Fertigungsverfahren für die neue Stückzahl nicht optimiert sind.

verschiedene Probleme der Kostenverrechnung und des Kostenverhaltens, die im Zuge einer Variantenkostenrechnung beachtet werden müssen [HUCH & LÖSCH 2001, S. 26]. Abbildung 2-20 erläutert die einzelnen Effekte kurz.

Effekt	Erläuterung	Beispiel
Allokations-effekt	Die proportionale Verrechnung der Gemeinkosten berücksichtigt nicht die tatsächliche Inanspruchnahme indirekter Leistungsbereiche.	Aus unters. wertvollem Material hergestellte Varianten werden unters. hohe Kosten zur Beschaffung zugerechnet, obwohl Bestell- und Liefervorgänge meist unabhängig vom Material sind.
Degressions-effekt	Bei wertorientierten Zuschlagsbasen wird unabhängig von der Stückzahl ein konstanter Gemeinkostenanteil pro Stück verrechnet.	Vertriebskosten zur Abwicklung von Kundenaufträgen verringern sich mit steigender Stückzahl eines Auftrages, wenn diese Gemeinkosten statt von der Stückzahl von der Anzahl der Aufträge abhängen.
Komplexitäts-effekt	Die traditionelle Zuschlagskalkulation ist nicht in der Lage, die mit der Variantenfertigung steigenden Komplexitätskosten verursachungsgerecht auf die Produktvarianten zu verrechnen.	--
Hysterese-effekt	Das mit der Vielfalt gestiegene Kostenniveau kann im Falle einer Reduzierung der Variantenzahl nicht oder nicht im gleichen Maße abgebaut werden.	Flexible Fertigungssysteme, aufwendigere EDV-Systeme etc.

Abbildung 2-20: Übersicht über vielfaltsbedingte Kalkulations- und Kosteneffekte [HUCH & LÖSCH 2001, S. 26ff.]

Ziel dabei ist es, eine möglichst verursachungsgerechte Zuordnung der Kosten auf verschiedene Produktvarianten zu ermöglichen und entscheidungsstützende Informationen für ein Variantenmanagement liefern zu können [HUCH & LÖSCH 2001, S. 26]. Traditionelle Kostenrechnungssysteme benachteiligen nach WILDEMANN Standardprodukte und subventionieren komplexitätstreibende Nischenprodukte. Überdies würden herkömmliche Kalkulationsmodelle bei Varianten mit kleinen Stückzahlen versagen [WILDEMANN 2005b, S. 202f.].

2.2.3.3 Zusammenfassung

Komplexität im Unternehmen ist ein strukturelles Merkmal, das sich aus der Zahl der Systemelemente, der Art und Anzahl der zwischen ihnen herrschenden Relationen sowie der Dynamik des Systems ergibt. Neben einer Reihe von unternehmensexternen Einflussfaktoren, die das Unternehmensumfeld vor allem eines global agierenden Unternehmens extrem komplex erscheinen lassen, existieren eine Reihe von inneren Faktoren, die auch die Unternehmensstruktur selbst und die darin ablaufenden Prozesse komplex werden lassen. Die Komplexität hat eine Reihe von Auswirkungen auf alle Bereiche im Unternehmen. Diese resultieren meist in einer sinkenden Wettbewerbsfähigkeit durch unwissentlich falsche Preisgestaltung und ineffizient ablaufende Prozesse im Unternehmen.

Als Hauptursache für die steigende Komplexität im Unternehmen wird die Variantenvielfalt gesehen. Diese ist nicht zuletzt Ergebnis einer Unternehmenspolitik, die wirtschaftlichen Erfolg in der Besetzung von Marktnischen sucht. Durch die falsche Umlegung von Gemeinkosten auf Standard- und Exotenprodukte entsteht zudem der Eindruck, dass Exoten höhere Deckungsbeiträge liefern und verstärkt somit die Absicht zur Diversifikation des Produktprogramms. Durch die damit wachsende Teilezahl und Komplexität steigen die Gemeinkosten

und die Entwicklungszeiten. Gerade in der Schnelligkeit und dem stark innovationsgetriebenen Automobilmarkt sind dies jedoch Aspekte, die vom Hersteller vermieden werden müssen, um auch in Zukunft wettbewerbsfähig zu sein.

Die Variantenvielfalt und Komplexität wirken sich auf alle Bereiche des Unternehmens aus. Abbildung 2-21 stellt einen Auszug der Auswirkungen dar.

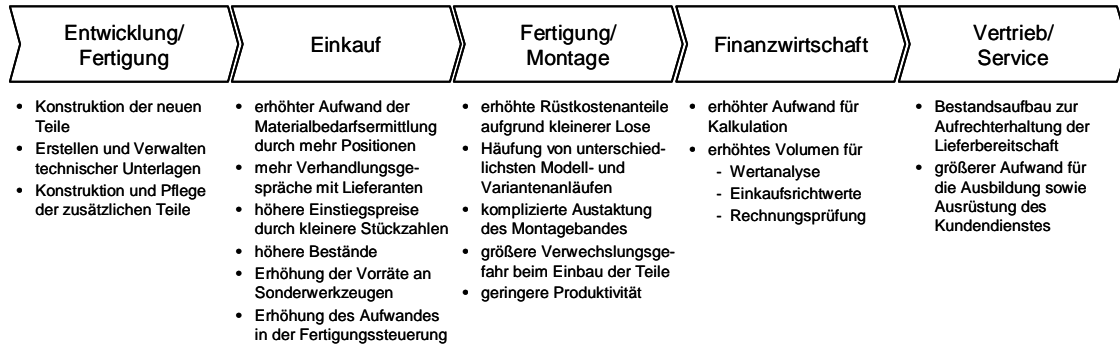


Abbildung 2-21: Vielfaltsinduzierte Effekte in der Wertschöpfungskette [HEINA 1999, S. 24]

Die wichtigsten Vor- und Nachteile einer hohen Variantenvielfalt können dem Anhang 10.1 entnommen werden. Empfehlungen zur Vermeidung einer nicht notwendigen und damit nicht zielführenden Variantenmehrung sind dem in Kapitel 5.4.5 behandelten Leitfadens zur baukastengerechten Entwicklung und Gestaltung zu entnehmen.

Nur eine optimal gewählte Produkt- und Prozessvielfalt gewährleistet einen nachhaltigen Unternehmensgewinn bei gleichzeitig hoher Kundenzufriedenheit. Maßnahmen wie Produktdifferenzierung bzw. Kostensenkung können diese Effekte positiv beeinflussen (Abbildung 2-22).

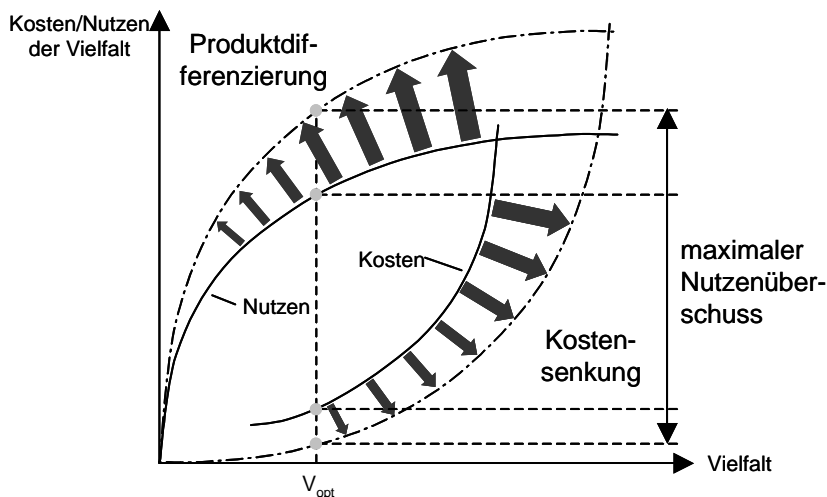


Abbildung 2-22: Kosten-/Nutzenwirkung der Variantenvielfalt [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 24]

Ab einer bestimmten Vielfalt übersteigen nach SCHUH & SCHWENK die Kostenwirkungen die Nutzenwirkungen. Es lässt sich daher ein Optimum der Vielfalt als maximaler Nutzenüberschuss ableiten. Der Nutzenüberschuss könne als Differenz der erfüllbaren Bedürfnisse und

des Preises als Wettbewerbsvorteil bzw. als Höhe der Markteintrittsbarriere interpretiert werden [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 24].

Da die Variantenvielfalt sowohl Vor- als auch Nachteile mit sich bringt, muss je nach Anwendungsfall ein ausgewogenes Verhältnis gefunden werden. Primär muss versucht werden, neue unnötige Varianten zu vermeiden. In einem zweiten Schritt folgt die Identifizierung bestehender Varianten und gegebenenfalls eine Reduzierung derselben. Eine neue Variantenbildung sollte nur nach ausführlicher und intensiver Klärung sowie einer Folgenabschätzung (Kosten, Komplexitätserhöhung etc.) stattfinden.

Im Folgendem werden mögliche Ansätze zur Beherrschung der Variantenvielfalt erläutert.

2.2.4 Ansätze zur Beherrschung der Variantenvielfalt

Nach GEMBRYs bedarf es maßgeblicher Reduzierungen der Variantenvielfalt, die mit konkreten Maßnahmen zum Kostenabbau begleitet werden, um nennenswerte Einsparungen realisieren zu können [GEMBRYs 1998, S. 14]. In Anlehnung an die systemtechnische Definition der Komplexität in Kapitel 2.2 lässt sich nach GÖPFERT & STEINBRECHER die Komplexität eines Systems prinzipiell verringern, indem die Anzahl der Systemelemente sowie die Anzahl und Intensität der Beziehungen zwischen diesen Elementen reduziert wird [GÖPFERT & STEINBRECHER 2001, S. 353]. Hierfür sind im Unternehmen vor allem Entwicklung und Konstruktion verantwortlich, da in diesen Bereichen die Produktgestalt und auch deren Varianten festgelegt werden. Das Produkt muss so konzipiert werden, dass mit geringer innerer Variantenzahl eine große Vielfalt für den Kunden erreicht werden kann.

Die Komplexität in der Entwicklung und Produktion wird nach Ansicht von SCHUH & SPETH [1998, S. 158f.] unmittelbar durch die Produktstruktur beeinflusst. Da die Befriedigung einzelner Kundenbedürfnisse und die Übernahme der Produktänderungen in das Verkaufsprogramm zu immer komplexeren Produktstrukturen führen, ist im Gegenzug eine Komplexitätsreduzierung in beiden Bereichen erforderlich. Dies kann beispielsweise durch eine verringerte Anzahl von Bauteilen sowie Fertigungs- und Montageschritten herbeigeführt werden. Diese Strategien finden aufgrund des engen Zusammenhangs zwischen der Variantenvielfalt und der Komplexität auch beim Variantenmanagement (vgl. Kapitel 2.2.4.3) Anwendung, mit dem ähnliche Ziele verfolgt werden. Mit der Reduzierung der Variantenvielfalt sinkt die Komplexität.

Bei der Eliminierung von Varianten zur Komplexitätsreduzierung nennt GEMBRYs Vor- und Nachteile. Auf der einen Seite ist grundsätzlich davon auszugehen, dass sich mit einer Reduktion der Komplexität die Prozesssicherheit erhöht und sich infolgedessen der Aufwand zur Sicherung der Produktqualität, Servicequalität und Liefertreue reduzieren lässt. Dies drückt sich in einer positiven Wirkung auf die Kundenzufriedenheit aus. Auf der anderen Seite sind bei der Eliminierung von Produktvarianten auch negative, schwer quantifizierbare Wirkungen zu erwarten. Diese ergeben sich durch die Einschränkung der Auswahlfreiheit

beim Produktkauf und dem Rückgang des Gebrauchsnutzens der Produktvarianten [GEMBRY 1998, S. 19f.].

Ein Unternehmen kann die von außen zugetragene Komplexität nur sehr schwer beeinflussen (vgl. Kapitel 2.2.1). Als ursächlicher Ansatzpunkt zur Komplexitätsreduzierung bleibt demnach die innere Vielfalt. EHRENSPIEL ET AL. nennen zur Verringerung der Teilevielfalt allgemein nachstehende Maßnahmen:

- Erhöhung des Teilenormungsgrades, Verwendung von Gleich- und Wiederholteilen,
- Verwendung von Kaufteilen,
- Bildung konstruktiver Teilefamilien,
- Bevorzugen der Integralbauweise,
- Einsatz von Maßnahmen zur Rüstkostenverringering,
- Einführung organisatorischer Maßnahmen,
- Bildung von Baureihen und Baukästen (diese beiden Maßnahmen sind meist die wirkungsvollsten),
- Modularisierung von Produkten sowie
- Verwendung von Plattformen [EHRENSPIEL ET AL. 2003, S. 307].

Grundsätzlich lassen sich die Ansätze zur Beherrschung der Variantenvielfalt in technische und organisatorische Maßnahmen aufteilen.

2.2.4.1 Technische Maßnahmen

Mithilfe technischer Maßnahmen wird eine Reduktion der Variantenvielfalt konstruktiv umgesetzt. Sie lassen sich auf die Bereiche Produktentwicklung sowie Produktion aufteilen. Sicherlich werden dabei viele Maßnahmen aus der Produktentwicklung Einfluss auf die Produktion und umgekehrt haben.

2.2.4.1.1 Maßnahmen in der Produktentwicklung

FIRCHAU & FRANKE betonen die besonders hohe Verantwortung der Produktentwicklung, welche sie naturgemäß als Urheber der Produktdefinition hinsichtlich der Variantenoptimierung im gesamten Unternehmen besitzt. Die hohe geforderte externe Varianz müsse in der Produktentwicklung in Produktstrukturen mit möglichst geringer interner Varianz, d. h. mit möglichst wenigen verschiedenen Bauteilen und Baugruppen und möglichst wenigen zugehörigen Dokumenten, überführt werden. Erst am Ende der Prozesskette mit bis dahin möglichst einfachen Prozessabläufen sollen durch Kombination⁵⁰ Produktvarianten entstehen, welche die gewünschte Angebotspalette gewährleisten [FIRCHAU & FRANKE 2002, S. 52].

⁵⁰ z. B. in der Endmontage [FIRCHAU & FRANKE 2002, S. 52]. Siehe hierzu auch Kapitel 3.1.2.4

Ansätze zur Reduzierung der Variantenvielfalt werden in zahlreichen Veröffentlichungen⁵¹ behandelt. STOCKMAR geht das Thema pragmatisch an und empfiehlt u. a. nachstehende Punkte für den Bereich Entwicklung:

- Eine frühe Konzeptreife in der Vorserienentwicklung ist eine Voraussetzung für die Variantenvermeidung.
- Die Harmonisierung der IT-Landschaften und die Reduzierung von Schnittstellen sind zur Komplexitätsbeherrschung erforderlich.
- Die reibungslose Zusammenarbeit erfordert Rahmenregelwerke mit abgestimmten Prozessen, Verantwortlichkeiten und rechtsverbindlichen Vereinbarungen.
- Der systematische Austausch und die Wiederverwendung von Erfahrungen durch ein ganzheitliches Knowledge Management.
- Festsetzung ambitionierter, quantitativer Ziele durch das Management in für den Kunden nicht sichtbaren Bereichen [STOCKMAR 2004, S. 23].

SCHUH schlägt beispielsweise mit Baureihen, Modulen, Baukästen und Paketen vier prinzipielle Produktstrukturen vor [SCHUH 1989, S. 58f.]. JESCHKE nennt folgende Maßnahmen, um die Gestaltung variantenorientierter Produkte zu optimieren (Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1: Standardisierungsmaßnahmen zur Beherrschung der Variantenvielfalt [JESCHKE 1997, S. 61]

Methoden mit Beeinflussung der Gestalt ⁵²	Methoden ohne Beeinflussung der Gestalt
<ul style="list-style-type: none"> • Wiederholteilbildung • Variantenkonstruktion • Baureihenbauweise • Baukastenbauweise • Integralbauweise • Differenzialbauweise 	<ul style="list-style-type: none"> • Wiederholteilverwendung • Verwendung überbetrieblicher und betriebsinterner Normen • Pflege/Bereinigung des Teilestamms • Implementierung von verursachungsgerechten Bewertungsverfahren • Vorratsfertigung

FIRCHAU & FRANKE sprechen in diesem Zusammenhang auch von der Methode des Standardisierens (vgl. Kapitel 2.1.2), wobei sie zwei grundsätzliche Strategien unterscheiden. Einerseits sei die *Vermeidung* der Einführung unnötiger, neuer Varianten auf Einzelteil- oder Baugruppenebene anzustreben. Andererseits gelte es, die *Reduzierung* eines vorhandenen Variantenspektrums im Sinne einer Produktpflege durch die Bildung von Gleichteilen oder durch eine Elimination durchzuführen [FIRCHAU & FRANKE 2002, S. 55f.]. Hierfür versprechen folgende Ansätze am meisten Erfolg: Wiederholteil, Gleichteil, Kommunalität, Modularisierung, Plattform, Baureihe, Variantenbauweise sowie Baukastenkonstruktion. Darüber hinaus empfehlen FRANKE ET AL., funktionale Varianz durch Konfiguration statt durch Konstruktion zu erreichen (siehe Kapitel 3.1.2.4) [FRANKE ET AL. 2002, S. 16].

Diese Ansätze treten meist in Kombination auf. Da die Baukastenbauweise andere Maßnahmen (z. B. Integral- oder Differenzialbauweise) teilweise beinhaltet, weist sie als Mittel zum Variantenmanagement sehr hohes Potenzial auf. Aus diesem Grund behandelt die

⁵¹ vgl. CAESAR [1991, S. 40ff.], EHRENSPIEL ET AL. [2003, S. 307], FIRCHAU & FRANKE [2002, S. 52ff.], JESCHKE [1997, S. 61], KOHLHASE [1997, S. 15ff.], SCHUH [1989], SUZUE & KOHDATE [1990, S. 57ff.] etc.

⁵² siehe Kapitel 3

vorliegende Arbeit vornehmlich Baukastensysteme, die in Kapitel 3 ausführlich untersucht werden. Dort erfolgt auch eine Abgrenzung gegenüber den anderen genannten Ansätzen.

Daneben existieren Maßnahmen für den Bereich der Produktion.

2.2.4.1.2 Maßnahmen in der Produktion

Mittels geeigneter Maßnahmen lassen sich auch in der Produktion Varianten vermeiden. Hiervon hauptsächlich betroffen sind neben der Ablauforganisation die eingesetzten Fertigungstechnologien sowie die Disposition.

Für die Optimierung der *Ablauforganisation* empfehlen HESSELBACH & MENGE eine vierstufige Vorgehensweise. Nach der Analyse der Varianten von Produkt und Auftragsabwicklung wird ein Grobkonzept zur Variantenbeherrschung erstellt. Im Anschluss daran erfolgt eine Detaillierung zum Feinkonzept, welches im abschließenden Schritt umgesetzt wird [HESSELBACH & MENGE 2002, S. 88ff.].

Mittels den verfügbaren *Fertigungstechnologien* soll nach SCHUH & SCHWENK nicht die Komplexität der Fertigung gesenkt, sondern die zu produzierende Variantenvielfalt bewältigt werden. Die Produktions- und Verfahrenstechnologien seien dementsprechend als „Enabler“ der jeweiligen Komplexitäts- oder Variantenmanagementstrategie zu sehen [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 211ff.]. Flexible Produktionssysteme sind nach SUZUE & KOHDATE eine passive Reaktion auf die vorherrschende Variantenvielfalt [SUZUE & KOHDATE 1990, S. 1]. Vereinfacht lassen sich die Zusammenhänge zwischen den Fertigungstechnologien und der Vielfalt folgendermaßen auf den Punkt bringen: Je flexibler Produktionssysteme sind, desto einfacher können unterschiedliche Varianten gefertigt werden. Allerdings erhöht sich der Preis für solch flexible Anlagen. Demnach ist im Einzelfall abzuwägen, ob günstigere starre oder teurere flexible Produktionssysteme eingesetzt werden. Dies ist u. a. abhängig von der Anzahl der zu fertigenden Produkte (Einzel- versus Massenfertigung).

Bei hoher Unsicherheit der Nachfrage, starken Schwankungen im Bedarfsverlauf sowie komplexen Produkten empfehlen SCHUH & SCHWENK u. a. die Erstellung eines kundenauftragsneutralen Produktionsablaufs in der *Disposition*. Ziel sei es dabei, den Vorbereitungsgrad zu erhöhen, um flexibel und schneller auf Nachfrageschwankungen etc. reagieren zu können. Der kundenauftragsneutrale Planungsablauf wirke dabei stabilisierend [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 222ff.].

Wie SUZUE & KOHDATE betonen, lassen sich die Kosten in der Produktion am effektivsten reduzieren, wenn die Stückzahl von Produkten mit gleichen Fertigungsabfolgen etc. gesteigert wird [SUZUE & KOHDATE 1990, S. 28f.]. Nach MARKS ist zur Beherrschung der Varianz in der Produktion eine Anpassung an die drei Kriterien Stückzahlschwankung, Produktvarianz und Produktlebenszyklus notwendig. Eine schnelle Reaktion auf die Schwankung von Stückzahlen könne durch just-in-time Lieferungen erfolgen. Die Anpassung an den Produktlebenszyklus dagegen werde durch eine stufenweise Investition der Fertigungskapazitäten

erreicht [MARKS 2004, S. 23ff.]. Neben die sequenzgenaue Anlieferung (just-in-time) setzen⁵³ die OEMs nach STOCKMAR auf die räumliche Anbindung⁵⁴ der Lieferanten an die Montagewerke. Darüber hinaus sei die Variantenbeherrschung durch hohe Prozessgeschwindigkeiten und die Einsteuerung auftragsspezifischer Konfigurationen möglich. Auch im Bereich der Produktion sei die Schaffung einer durchgängigen Transparenz wichtig [STOCKMAR 2004, S. 25].

Vielen der genannten Maßnahmen ist gemeinsam, dass sie schon in der Entwicklungsphase berücksichtigt werden müssen. Die Anzahl der zu produzierenden Varianten wird durch den bereits in der Produktentwicklung festgelegten Einsatz von Baukastenkonzepten und Gleichteilen reduziert.

Erst durch entsprechende organisatorische Vorkehrungen können die beschriebenen technischen Maßnahmen richtig greifen.

2.2.4.2 Organisatorische Maßnahmen

Als Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung dieser technischen sind organisatorische Maßnahmen notwendig [EHRENSPIEL ET AL. 2003, S. 307]. Eine sinnvolle und effektive Variantenbeherrschung gelingt nur in Kombination dieser beiden Maßnahmenarten. Da der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit auf der Produktseite liegt, seien die organisatorischen Maßnahmen vollständigheitshalber kurz erwähnt.

Zur Reduktion der Variantenvielfalt nennt EHRENSPIEL folgende Maßnahmen:

- Verbesserung der Kommunikation zwischen Konstrukteuren ähnlicher Produkte,
- Verwendung der Prozesskostenrechnung zur Beurteilung der Einführungs- und Änderungskosten sowie
- Vorgabe eines „Malus“⁵⁵ pro Änderung, welcher durch die Kostensenkung überwunden werden muss, die mit der Änderung bewirkt werden soll [EHRENSPIEL 1995, S. 616].

Das Organisationsprinzip *Modularisierung auf Prozessebene* verlangt eine Restrukturierung der Unternehmensorganisation auf der Basis integrierter, kundenorientierter Prozesse in relativ kleine, überschaubare Einheiten. Demnach erfolgt eine Aufspaltung von Entwicklungs-, Produktions- und Absatzprozessen in einzelne Elemente bzw. Module [PILLER & WARINGER 1999, S. 37ff.].

Für eine Erfolg versprechende Koordination sind die genannten Maßnahmen in einem unternehmensweiten Variantenmanagement einzubetten, das noch weiter reichende Instrumente zur Verfügung hat.

⁵³ Umfrage der NoAE, vgl. Kapitel 1.1

⁵⁴ Als Extrembeispiel dient das Smart-Werk in Hambach.

⁵⁵ Der Malus gilt nicht für Änderungen aus Qualitätsgründen [EHRENSPIEL 1995, S. 616].

2.2.4.3 Variantenmanagement

Die Auflösung des Dilemmas, dass Varianten zwar den Kundennutzen erhöhen, aber zu Kostensteigerungen führen können, erfordert nach WILDEMANN ein effizientes und ganzheitliches Variantenmanagement. Dies bedeutet, nicht nur die Produktseite im Rahmen der Optimierung einzubeziehen, sondern Prozesswirkungen in gleicher Weise zu berücksichtigen [WILDEMANN 2005b, Präambel]. FIRCHAU ET AL. betonen, dass das Variantenmanagement eine Teilmenge des Komplexitätsmanagements ist [FIRCHAU ET AL. 2002, S. 12], wobei in der vorliegenden Arbeit der Fokus auf Ersterem liegt.

Zur optimalen Umsetzung einer adäquaten Variantenreduzierung ist demnach ein entsprechendes Variantenmanagement notwendig. Ziel eines solchen Variantenmanagements ist es, die Realisierung einer unternehmensoptimalen Variantenvielfalt bei gleichzeitig größtmöglicher Markt- und Kundenorientierung unter Berücksichtigung externer (Märkte, Wettbewerber, Umwelt etc.) und interner (Ressourcen, Kapazitäten etc.) Anforderungen zu ermöglichen, d. h. die Optimierung der Vielfalt zwischen Nutzen- und Kostenwirkung. Hierzu gehören die Verringerung der Variantenvielfalt im Produktprogramm, eine Vereinfachung der angebotenen Produkte und eine Optimierung aller relevanten Prozesse.

Das Variantenmanagement stellt somit eine Querschnittsfunktion im Unternehmen dar, die zusätzlich von Interessengegensätzen geprägt ist [HEINA 1999, S. 35]. Hierzu zählen die bereits erwähnten Sichtweisen wie die markt- und kundenorientierte Sicht im Gegensatz zur nach innen gerichteten Wertschöpfungssicht.

Nach SCHUH & SCHWENK umfasst das Variantenmanagement die Entwicklung, Gestaltung und Strukturierung von Produktsortimenten und Dienstleistungen im Unternehmen. Dadurch werde angestrebt, die vom Produkt ausgehende Komplexität (Anzahl Komponenten, Varianten etc.) wie auch die auf das Produkt einwirkende Komplexität (Marktdiversifikation, Produktionsabläufe etc.) mittels geeigneter Instrumente zu bewältigen [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 35]. Den Aufgabenbereich bzw. Handlungsbedarf des Variantenmanagements symbolisiert Abbildung 2-23.

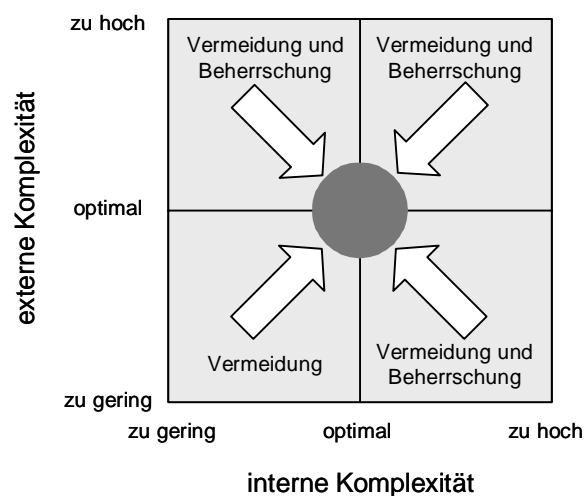


Abbildung 2-23: Handlungsbedarf für das strategische Variantenmanagement [KAISER 1995, S. 102]

Ziel des Variantenmanagements ist die Erreichung einer optimalen Komplexität. Bei einer zu geringen Komplexität kann die Firma Kundenforderungen nicht erfüllen, eine zu hohe Komplexität dagegen verursacht zusätzliche Kosten.

Mögliche Handlungsfelder für ein effektives Variantenmanagement werden unter anderem in Strategien zur Beherrschung der Variantenvielfalt und zur Modularisierung gesehen. Zur Beherrschung der Variantenvielfalt gehören die drei Hauptstrategien⁵⁶:

- Komplexität reduzieren (bereits kurzfristig wirksam),
- Komplexität vermeiden (mittel-/langfristige Neuausrichtung) und
- Komplexität beherrschen (Nachhaltigkeit sichern) [WILDEMANN 2005b, S. 46, 51].

Die Effizienz des Variantenmanagements lässt sich hierbei nur durch die strategie- und marktkonforme Gestaltung der Produktvarianten unter Berücksichtigung der Wirkungen auf Geschäftsprozesse erreichen [WILDEMANN 2005b, Präambel]. Je nach Unternehmensstrategie kann sich die Anzahl der vom Hersteller als notwendig angesehenen Varianten und damit auch der Fokus des Variantenmanagements unterscheiden (Abbildung 2-24).

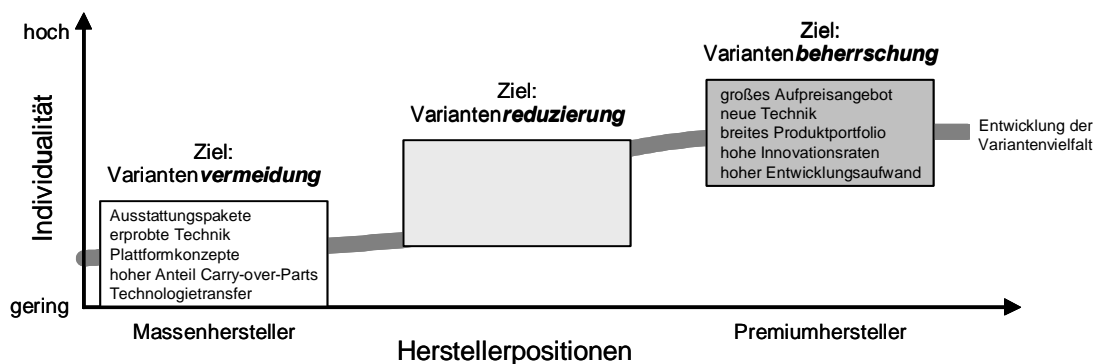


Abbildung 2-24: Unternehmensstrategien induzieren eine beabsichtigte Variantenzahl [STOCKMAR 2004, S. 7]

Generell ist das Variantenmanagement nach SCHUH & SCHWENK auf drei unterschiedlichen Ebenen angesiedelt. Dazu zählt die normative Ebene (Unternehmenspolitik), die strategische Ebene (Produktionsprogramm) sowie die operative Ebene (Konstruktion, Konfiguration und Aufträge). Das normative und strategische Management beinhalten die Entwicklung und die grundlegenden Gestaltungsaufgaben (siehe Kapitel 3), während sich das operative Management auf die Lenkung der laufenden Tätigkeiten im Unternehmen bezieht⁵⁷ [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 36]. KRUSCHWITZ führt nachstehende Anforderungen an die Produktentstehung und die Bildung von Varianten an, die von einem effektiven Variantenmanagement berücksichtigt werden müssen:

- zielgruppenorientierte Produktgestaltung,
- wettbewerbsorientierte Preisgestaltung,
- optimaler Zeitpunkt der Markteinführung,
- hervorragende Qualität,

⁵⁶ vgl. RIEDEL ET AL. [1999, S. 30]

⁵⁷ vgl. MENGE [2001]

- beispielgebende Umweltverträglichkeit und
- zukunftsweisende Innovationen [KRUSCHWITZ 1998, S. 1].

Das Variantenmanagement wirkt sich entlang der gesamten Wertschöpfungskette aus [WILDEMANN 2005b, S. 244]. Eine Übersicht kann dem Anhang 10.2 entnommen werden. Ansätzen, mit deren Hilfe die Ziele des Variantenmanagements umgesetzt werden können, widmet sich Kapitel 3.

2.2.4.4 Zusammenfassung

Zur Reduzierung und Beherrschung der Variantenvielfalt bieten sich verschiedene Bauweisen bzw. deren Kombination an (vgl. Tabelle 2-2).

Tabelle 2-2: Übersicht über technische Maßnahmen zur Reduktion der Teilevielfalt [EHRENSPIEL 1995, S. 614].

Umgestaltung mehrerer Teile zu einem Teil	Integralbauweise
Möglichst viele gleiche Teile in einem Produkt verwenden	Gleichteile
Teile in unterschiedlichen Produkten verwenden	Wiederholteile
Teile gleicher Funktion standardisieren	Teilefamilie
Mehrfachverwendung von Teilen und Baugruppen	Baukastensystem
Vermeidung von Sonderkonstruktionen bei Produkten gleicher Funktion	Baureihen
Normteile verwenden	Normteile
Kaufteile verwenden (werden ohnehin meist in größeren Stückzahlen gefertigt)	Kaufteile

Diese Maßnahmen setzen die in Abbildung 2-25 dargestellten Ansatzpunkte zum Management varietätsbedingter Komplexität um. Die farbliche Kennzeichnung stellt den Einflussbereich der Baukastenbauweise dar.

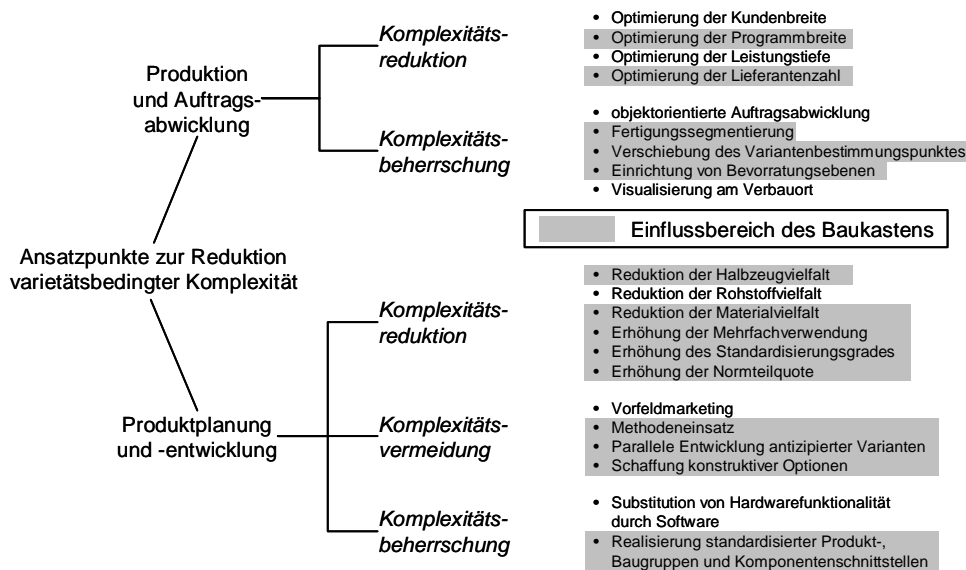


Abbildung 2-25: Ansatzpunkte zum Management varietätsbedingter Komplexität [nach PILLER & WARINGER 1999, S. 29]

Teilweise ergänzen sich diese Bauweisen bzw. technischen Maßnahmen gegenseitig oder beinhalten sich gar. Produktionstechnische Maßnahmen werden größtenteils bereits in der Produktentwicklung festgelegt und müssen deshalb dort frühzeitig berücksichtigt werden. Als notwendige Voraussetzung sind organisatorische Maßnahmen zu schaffen, wozu auch die Installation eines umfassenden Variantenmanagements zählt.

2.3 Zusammenfassung – Problemanalyse und Handlungsbedarf

2.3.1 Problemanalyse

Die Variantenvielfalt nimmt bei produzierenden Unternehmen, insbesondere der Automobilindustrie, in den letzten Jahren stetig zu. So beklagt beispielsweise WITTE bereits 1926 die „ungeheure Mannigfaltigkeit der Erzeugnisse“. Als Beispiel führt sie einen Produzenten von Herrenanzügen an, der 278.000 mögliche Anzüge anbot [WITTE 1926, S. VII, 53].

Diese Produktvielfalt wird technisch meist durch eine hohe Teilevielfalt realisiert. Die daraus resultierende Komplexität in Entwicklung, Produktion, Vertrieb und Service hat für die Unternehmen vielfach die Grenze der Beherrschbarkeit überschritten [KERSTEN 2002, S. 2].

Die Beschreibung der Ursachen und Wirkungen der Variantenvielfalt und Komplexität in diesem Kapitel hat deutlich gemacht, dass Variantenvielfalt ein Erfolgsfaktor, aber auch Ursache für steigende Kosten sein kann.

Gerade im Premiumbereich der Automobilbranche ist ein gewisses Maß an Variantenvielfalt und vor allem an Differenzierung unabdingbar, um erfolgreich zu sein und sich gegen die Konkurrenz zu behaupten. Meist sind nach FIRCHAU daher nicht die Varianten an sich das Problem, sondern die von den Kunden nicht geforderten Varianten führen zu der überhöhten Variantenvielfalt, die sich negativ auf das Unternehmensergebnis auswirkt [FIRCHAU 2003, S. 29].

Aufgrund dieses Dilemmas sind Ansätze zur Reduktion und vor allem zur Beherrschung der internen Vielfalt und Komplexität notwendig. Als Angriffspunkt bietet sich die Produktstruktur an, welche als Bindeglied zwischen der nicht direkt zusammenhängenden internen und externen Variantenvielfalt oder Komplexität fungiert [JUNGE 2005, S. 1ff.]. Damit steht die Produktentwicklung im Mittelpunkt, um die Weichen für ein ausgewogenes Nutzen/Aufwand-Verhältnis zwischen Individualisierung und Standardisierung zu legen [GRÄSSLER 2001, S. 90].

Übergeordnete Ursachen der ausufernden internen Variantenvielfalt entstehen durch Mängel in den nach dem Stand der Technik angewandten Methoden und Hilfsmittel (vgl. BOHNE [1998, S. 18]; EHRENSPIEL ET AL. [2003, S. 288]):

- **Transparenzdefizit:**
Hierzu zählen u. a. die fehlende Transparenz der Variantenvielfalt, unzureichende Be-

schreibung der Produktstruktur, unübersichtliche Variantenbeschreibung sowie ungenügende Informationsträger zur Erkennung und Beschreibung der aktuellen Variantenvielfalt. Aufgrund der allgemeinen Intransparenz kommt es zur Entwicklung eines suboptimalen Komplexitätsniveaus in der Automobilindustrie. Hierfür ist auch eine mangelnde Kommunikation verantwortlich.

- **Methoden- und Bewertungsdefizit:**
Die angewendeten Methoden lassen nur eine unzureichende Bewertung alternativer Möglichkeiten zum Umgang mit der vorhandenen Komplexität zu. Ein Mangel an Gestaltungswerkzeugen und -hilfsmitteln, die den Entwicklungsprozess unterstützen, macht sich negativ bemerkbar.
- **Zielsetzungs- und Steuerungsdefizit:**
Heute etablierte Ziel- und Steuerungssysteme, insbesondere in der Produkt- und Prozessentwicklung, beinhalten nicht den adäquaten Umgang mit der Variantenvielfalt. Zielkonflikte, die durch bestehende, überwiegend konträre technisch-funktionale, designrelevante oder wirtschaftliche Zielgrößen entstehen, können oft nur durch spezifische konstruktive Lösungen behoben werden. Folglich kommt es beim Lösen von Zielkonflikten häufig zu einer Komplexitätssteigerung.
- **Gestaltungsregeldefizit:**
Fehlende Gestaltungsregeln zur Variantenvermeidung und -reduzierung erschweren die variantengerechte Entwicklung und Konstruktion.

Tabelle 2-3 gibt eine Übersicht über die von weiteren Autoren identifizierten Problemfelder und Defizite im Bereich der Produktentwicklung.

Tabelle 2-3: Problemfelder und Defizite im Bereich der Produktentwicklung

JESCHKE [1997]	CAESAR [1991]	SCHUH [1988]	Zusammenfassung
fehlende Transparenz der Variantenvielfalt	Informationsproblem	mangelhafte Informationen	<i>Informationsproblem</i>
fehlende Gestaltungsrichtlinien	Gestaltungsproblem	–	<i>Gestaltungsproblem</i>
fehlende Bewertungskriterien, v. a. in Bezug auf Kostenverursachung	Kostenproblem	ungeeignete Bewertung	<i>Bewertungsproblem</i>
–	Zeitproblem	Zeitverzug	<i>Zeitproblem</i>

2.3.2 Handlungsbedarf

Zur Anpassung des Variantenspektrums an die Kundenbedürfnisse sind demnach neue Ansätze zu beschreiten. Hierzu widmet sich das folgende Kapitel 3 schwerpunktmäßig dem Baukastenprinzip als Mittel zur Beherrschung der Vielfalt in der Produktentwicklung.

In diesem Zusammenhang kommt es nach FIRCHAU u. a. darauf an, unter Berücksichtigung der Wettbewerbsstrategie die Variantenvielfalt aktiv zu beeinflussen [FIRCHAU 2003, S. 56]. Hierfür sind neue systematische Vorgehen, Methoden und Hilfsmittel zur Unterstützung der Variantenbeherrschung notwendig, die in Kapitel 4 und 5, auf die Baukastenbauweise ausgerichtet, beschrieben werden. Einige der erwähnten Defizite werden hierdurch behoben.

3 Mittel zur Variantenbeherrschung in der Produktentwicklung

Die im vorangegangenen Kapitel aufgezeigte Komplexität muss beherrschbar gemacht werden. Hierzu eignet sich unter anderem die Baukastenbauweise, die von zahlreichen Autoren¹ als günstigste Produktstruktur für variantenreiche Produkte empfohlen wird, weshalb diese im Fokus der vorliegenden Arbeit steht. In diesem Kapitel wird das Baukastensystem allgemein als Konstruktionsprinzip detailliert untersucht. Ein Ziel ist dabei, einen Beitrag zur Abstimmung der Bezeichnungen im Hinblick auf ein einheitliches Begriffssystem zu leisten. Hierzu werden Begriffe, soweit möglich, nicht neu definiert, sondern vorhandene Definitionen aufgeführt, diskutiert und ergänzt. Diejenigen Begriffe, die für das Entwickeln und Konstruieren von Baukastensystemen notwendig sind, werden darin ausführlich erörtert. Die Betrachtung der Chancen und Risiken spannt das mögliche Einsatzfeld für Baukastensysteme auf, macht aber auch deren Grenzen deutlich. Aktuelle Beispiele aus unterschiedlichen Branchen zeigen derzeitige Möglichkeiten von Baukastensystemen auf.

Darüber hinaus bieten sich eine Reihe anderer Bauweisen zur Komplexitätsbeherrschung an, die kurz erläutert werden. Der jeweilige Ansatz und seine gängige Zielrichtung werden durch die Abgrenzung gegenüber der Baukastenbauweise verdeutlicht.

Abschließend werden der Automobilbereich und seine Besonderheiten als Spezialform behandelt, die den Einsatz eines Baukastensystems erschweren.

3.1 Baukasten als Konstruktionsprinzip

Nach BOROWSKI lässt sich zwischen zwei Arten von Baukästen unterscheiden. Natürliche Baukästen² bestehen ohne Zutun des Menschen, wohingegen künstliche für bestimmte Zwecke bewusst geschaffen werden [BOROWSKI 1961, S. 2].

Die wohl ältesten künstlichen Baukästen der Welt sind nach BOROWSKI die der Zahlen und Hieroglyphen, die um 3200 v. Chr. entstanden. Der erste Baukasten mit technischer Bedeutung fände sich im Bauwesen. Ziegel aus der hellenistischen Zeit (etwa 300 v. Chr.) wiesen ein Maßverhältnis von 1:1,5:3 Fuß auf, das eine gute Kombinationsmöglichkeit³ zulässt. 100 Jahre später seien römische Tuffblöcke in den Steinbrücken von Grotta Oscura am Tiber in der Größenstufung 60x60x120 cm bzw. 60x60x180 cm zugeschnitten worden. In der Technik

¹ Eine ausführliche Übersicht gibt JESCHKE [1997, S. 50].

² Als Beispiele lassen sich das Periodensystem der Elemente sowie das Bohr'sche Atommodell nennen.

³ Das Längenmaß von 3 Fuß kann mit der Länge eines Steins, mit der Breite zweier sowie mit der Dicke dreier Steine erreicht werden.

trete der Begriff Baukastensystem erstmals um 1900 auf. Die Firma Soennecken bezeichnete damit ihre „Ideal-Bücher-Schränke“, die sich aus unterschiedlichen Sockel-, Schrank- und Kopfstücken zusammensetzen ließen, welche sich in der Größe⁴ unterschieden. Im Werkzeugmaschinenbau setzte die Firma Fritz Werner AG den Baukastenansatz ein, um die Fertigung ihrer Fräsmaschinen durch eine Unterteilung in Baugruppen zu rationalisieren [BOROWSKI 1961, S. 3f.].

3.1.1 Anforderungen und Zielsetzung

Mit der Baukastenbauweise wird das Ziel verfolgt, die in Kapitel 2.2 angesprochene Variantenvielfalt und Komplexität beherrschbarer zu machen. Primär zielt der Einsatz eines Baukastens dabei auf die Reduzierung der internen Variantenvielfalt und Komplexität des Unternehmens, wohingegen die externe Variantenvielfalt dadurch eher selten beeinflusst werden kann (vgl. Kapitel 2.2.1).

Darüber hinaus sollen Synergieeffekte in der Entwicklung, dem Einkauf, der Absicherung und Montage genutzt werden. Bereits BOROWSKI betont die Steigerung der Wirtschaftlichkeit mittels eines Baukastens aufgrund der erzielbaren Skaleneffekte [BOROWSKI 1961, S. 19]. Zur detaillierten Untersuchung der Baukastenbauweise sind grundlegende Definitionen notwendig.

3.1.2 Begriffsdefinitionen und Einteilungen

Der Begriff Baukasten wird in der Literatur⁵ je nach Anwendungsbereich in verschiedenen Akzentuierungen verwendet. Deshalb existieren viele Begriffe und Definitionen sowie zahlreiche Synonyme, die gleiche oder ähnliche Sachverhalte wiedergeben. Neben dem Terminus Baukastenbauweise finden sich beispielsweise Bezeichnungen wie Baukasten-technik, Baukastensystem, Kombinationstechnik, Baukastenprinzip, Baukastenkonstruktion, Baukastenfertigung, Modulsystem und Modulare Bauweise. Darüber hinaus gibt es zahlreiche Definitionen und Kategorien von Baukastensystemen und Bausteinen. Diese Begriffsvielfalt stellt ein Spiegelbild der zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten von Baukastensystemen dar [KÖHLHASE 1997, S. 4].

BOROWSKI führt den Begriff Baukasten auf die Spielzeugwelt zurück [BOROWSKI 1961, S. 1]. Wie BIEGERT betont, werden bereits bei solchen Spielzeugbaukästen diejenigen Gesetzmäßigkeiten deutlich, welche sich teilweise auch bei industriellen Baukästen wiederfinden. Hierzu gehören

⁴ Bei gleichbleibender Breite waren verschiedene Höhen und Tiefen wählbar.

⁵ vgl. BIEGERT [1971, S. 10], BOROWSKI [1961, S. 14], BREIING & FLEMMING [1993, S. 211ff.], EHRENSPIEL [2003, S. 654], FIRCHAU & FRANKE [2002, S. 75], JESCHKE [1997, S. 27], KÖHLHASE [1997, S. 8], NASVYTIS [1953, S. 86], PAHL & BEITZ [1997, S. 606], ROTH [2000] etc.

- ein Bausteinvorrat, bestehend aus gleichen und verschiedenen Bausteinen,
- die Vielzahl an möglichen Kombinationen,
- die Zerlegbarkeit der aus Bausteinen aufgebauten Erzeugnisse,
- die Wiederverwendbarkeit der Bausteine sowie
- die einheitlichen Fügeflächen und -stellen der Bausteine (Schnittstellen) [BIEGERT 1971, S. 1].

Beschränkt man den Anwendungsbereich nicht nur auf die technische Welt, so zählen Buchstaben-, Zahlen- und Notensysteme ebenfalls zu den Baukastensystemen [JESCHKE 1997, S. 25f.; BOROWSKI 1961; BIEGERT 1971, S. 2ff.].

3.1.2.1 Baukasten

Mit seinem Minimalkonsens definiert NASVYTIS die *Baukastenbauweise* als ein Verfahren zur Herstellung verschiedener, zusammengesetzter Gegenstände aus dem Elementvorrat, um mit einer kleinen konstanten Anzahl verschiedener Elemente eine große Anzahl Komplexionen⁶ bilden zu können. Der umgekehrte Weg, verschiedene Gegenstände derart zu zerlegen, dass möglichst wenig unterschiedliche Elemente entstehen, sei ein echter Normungsvorgang [NASVYTIS 1953, S. 86].

BOROWSKI sieht den Baukasten primär als Ordnungsprinzip, betrachtet die Gesetzmäßigkeiten des Systems und schafft Regeln für die Gestaltung eines Baukastens. In seiner viel zitierten Baukastendefinition setzt er einen Baumusterplan oder ein Bauprogramm voraus, welche zusammen mit der Elementarisierung⁷ des Produktes ein Baukastensystem ergeben: „Das Baukastensystem ist ein Ordnungsprinzip, das den Aufbau einer begrenzten oder unbegrenzten Zahl verschiedener Dinge, aus einer Sammlung genormter Bausteine (siehe Kapitel 3.1.2.2) aufgrund eines Programms oder Baumusterplans in einem bestimmten Anwendungsbereich darstellt“ [BOROWSKI 1961, S. 14].

Nach ROTH ist die Baukastentechnik eine Konstruktionstechnik, bei der Funktionselemente aus einer kleinen Anzahl wiederkehrender gleicher Bauteile⁸ bestehen. Die Bauteile seien bei gleichen Verbindungen und Anschlussstellen auswechselbar. Trotz des Fehlens einer optimalen Raumausnutzung sei die Baukastentechnik für auswechselbare Einheiten und eine große Variabilität der Gesamtfunktion geeignet [ROTH 2000].

BIEGERT untersucht Baukastensysteme als technisches und wirtschaftliches Gestaltungsprinzip. Die Baukastenbauweise sei ein gestalterisches Vorgehen, um eine möglichst große Zahl von zusammengesetzten Erzeugnissen aus einer möglichst geringen Varianz von Einzelteilen oder Baugruppen zusammenzubauen. Zum einen soll so über die Vielzahl der Kombinations-

⁶ Darunter sind Kombinationsmöglichkeiten zu verstehen.

⁷ BOROWSKI versteht unter Elementarisierung die Aufteilung von Werkstücken in einzelne Elemente [BOROWSKI 1961, S. 15]. Dieses Vorgehen wird heute mit Differenzialbauweise bezeichnet (vgl. Kapitel 3.2).

⁸ In der vorliegenden Arbeit werden die Begriffe Bauteil und Baustein synonym verwendet.

formen die akquisitorischen Vorzüge eines breiten Erzeugnisprogramms genutzt und zum anderen über die Vereinheitlichung auf Teileebene die Voraussetzung zur Rationalisierung in verschiedenen betrieblichen Bereichen geschaffen werden. Ein Baukastensystem stelle das gestalterische Ergebnis der Baukastenbauweise dar [BIEGERT 1971, S. 10].

EHRENSPIEL versteht unter einem Baukasten ein Kombinationssystem von Bauteilen und Baugruppen zu Produkten unterschiedlicher Gesamtfunktion. Darin läge auch der Unterschied zur Baureihe, bei der die Funktion des Produktes immer gleich sei (siehe Kapitel 3.2.5) [EHRENSPIEL 2003 S. 654].

PAHL & BEITZ verwenden eine funktionsorientierte Begriffsbestimmung, nach der Baukästen Maschinen, Baugruppen oder Einzelteile sind, die als Bausteine mit oft unterschiedlichen Lösungen durch Kombination verschiedene Gesamtfunktionen bzw. Funktionsstrukturen erfüllen [PAHL & BEITZ 1997, S. 606].

KOHLHASE, der Baukastensysteme funktions- und montageorientiert optimiert sowie wirtschaftlich bewertet, formuliert folgende Definition: „Ein Baukastensystem besteht aus einer Anzahl von Bausteinen, die anwendungsspezifisch ausgewählt und unter Beachtung von Verträglichkeiten miteinander kombiniert werden, um in einem begrenzten Anwendungsbereich Baukastenprodukte zu konfigurieren. Diese Bauweise wird als Baukastenbauweise bezeichnet. Bausteine als Objekte eines Baukastensystems (z. B. Maschinen, Baugruppen oder Einzelteile) konfigurieren⁹ Baukastenprodukte. Sie besitzen normierte Gestalt- und Werkstoffeigenschaften, sind aufeinander abgestimmt, konkret oder abstrakt und können aus (weniger komplexen) Bausteinen bestehen. Baukastenprodukte sind aus Bausteinen aufgebaut und besitzen einen unterschiedlichen Zweck. Sie werden als Produktvarianten beziehungsweise Angebotsvarianten bezeichnet, wenn sie Bestandteil eines Produktprogramms sind und zum Kauf angeboten werden“ [KOHLHASE 1997, S. 8].

Nach FIRCHAU & FRANKE ist eine wesentliche Zielsetzung der Baukastenbauweise die Realisation der Bausteine als Wiederhol-, Norm- bzw. Gleichteile¹⁰ von Teilefamilien. Die Entwicklung eines Baukastensystems erfordere erhebliche Vorleistungen, die sich nur dann rentieren, wenn später eine hinreichende Nutzung der vorgedachten Varianten realisiert werde [FIRCHAU & FRANKE 2002, S. 75].

JESCHKE definiert ein Baukastensystem in Anlehnung an PAHL & BEITZ sowie BIEGERT wie folgt: „In Baukastensystemen werden Produktvarianten durch Kombination aus einer möglichst geringen Anzahl von Bausteinen zusammengesetzt. Bausteine können Einzelteile, Baugruppen oder selbst ein Baukastensystem höherer Ordnung sein. Ein Baukastensystem stellt das gestalterische Ergebnis der Baukastenbauweise dar. Wesentliches Kennzeichen der Baukastenbauweise ist die planerische Absicht bei der Entwicklung des Systems und seiner Bausteine, die systematische, standardisierende Elementarisierung, Definition von Bausteinen und Schnittstellen für eine sinnvolle Kombination zu Endprodukten. Einzelne Bausteine

⁹ siehe Kapitel 3.1.2.4

¹⁰ Definitionen folgen in Kapitel 3.2.

treten dabei häufig in mehreren Größenstufungen auf, d. h. Baukästen enthalten oft auch Baureihen“ [JESCHKE 1997, S. 27].

In der vorliegenden Arbeit gelten die Definitionen von JESCHKE. Ergänzend soll aber die Möglichkeit der Individualisierbarkeit bzw. der spezifischen Anforderungserfüllung mittels Baukastensystemen stärker betont sowie die Zielsetzung der Baukastenbauweise unterstrichen werden. Somit lässt sich folgende Vervollständigung finden:

Baukästen sind Komponenten, Baugruppen oder Systeme, die durch ihre spezielle Konzeption einen übergreifenden Einsatz bei gleichzeitig individueller Differenzierung ermöglichen. Ihre Zielsetzung ist eine optimierte Betriebswirtschaft und die Unterstützung einer schnellen, ressourcenschonenden Umsetzung von Produkten.

Ein Unternehmen kann für sein Produktprogramm durchaus mehrere Baukastensysteme entwickeln [BIEGERT 1971, S. 11]. So kann etwa der Baukasten Cockpit aus den Baukastensystemen für Heiz-/Klimageräte, Mittelkonsole etc. bestehen (Abbildung 3-1). Solche Verflechtungen werden in Kapitel 3.1.2.3.4 näher betrachtet.

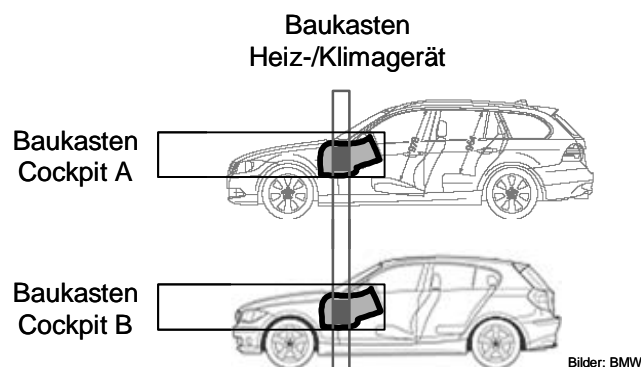


Abbildung 3-1: Zusammenspiel verschiedener Baukästen

Aufgrund der Baukastenkonzeption kommt den Schnittstellen eine besondere Bedeutung zu (siehe Kapitel 4.4.2.2.2).

Die Begriffe Baukasten und Baukastensystem sind synonym zu verwenden. Ins Englische wird der Begriff Baukasten mit *modular products* übersetzt. Kapitel 10.3 gibt im Anhang einen Überblick über die Fülle der verwendeten Begriffe. Ein Baukastensystem besteht aus unterschiedlichen Elementen, für die es ebenfalls klare Definitionen gibt.

3.1.2.2 Gestaltungselemente

Die Komponenten eines Baukastensystems können nach vielfältigen Kriterien strukturiert werden. In der Literatur¹¹ dient nachstehende Einteilung häufig als Grundlage, die auch in der vorliegenden Arbeit verwendet wird:

¹¹ vgl. u. a. PAHL & BEITZ [1997, S. 608f.], EHRENSPIEL [1995, S. 629], JESCHKE [1997, S. 50ff.] etc.

- **Mussbaustein:**
Da ein Baukastenprodukt seine Gesamtfunktion ohne einen Mussbaustein nicht erfüllen kann, kommt er in jedem Baukastenerzeugnis vor.
- **Kannbaustein:**
Ein Kannbaustein dagegen ist optional und verleiht dem Baukastenprodukt zusätzliche Eigenschaften oder Funktionen.

Eine weitere Einteilung erfolgt in Anlehnung an die Strukturierung von PAHL & BEITZ [1997, S. 608f.] sowie EHRENSPIEL [1995, S. 629]:

- **Grundbaustein:**
Grundbausteine bilden die Basis eines jeden Baukastenproduktes. Sie sind prinzipiell variabel und treten als Mussbausteine in der Struktur des Baukastensystems auf.
- **Anpassbaustein:**
Zur Adaption an bestimmte Rahmenbedingungen oder Anforderungen sind Anpassbausteine vorhanden. Sie können variabel und individuell dem jeweiligen Einsatzzweck entsprechend gestaltet werden und treten als Muss- oder als Kannbausteine auf.
- **Sonderbaustein:**
Ein Sonderbaustein übernimmt als Kannbaustein ergänzende, aufgabenspezifische Sonderlösungen, die nicht in allen Baukastenprodukten benötigt werden.
- **Nichtbaustein:**
Diese Klasse umfasst alle Bausteine, die nicht vorhergesehene, unerwartete Aufgaben als Einzelkonstruktion übernehmen. Nichtbausteine sind demnach „außerhalb“ des Baukastensystems für spezielle Anfertigungen angesiedelt.

Abbildung 3-2 stellt die Bausteinklassen und ihren Beitrag zum Baukastensystem dar.

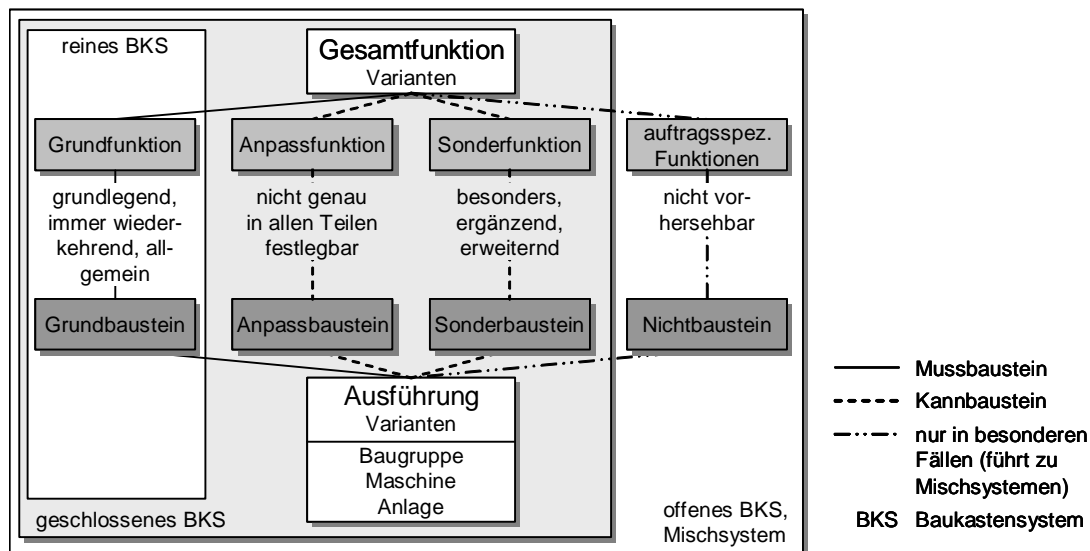


Abbildung 3-2: Funktions- und Bausteinklassen bei Baukasten- und Mischsystemen [nach PAHL & BEITZ 1997, S. 608; JESCHKE 1997, S. 52]

Darüber hinaus gibt es zahlreiche weitere Einteilungen¹². Bei *substitutionalen Bausteinen* sind mehrere Varianten der Bausteine für ein bestimmtes Funktionsteil im Bausteininventar vorhanden, wohingegen bei *nicht substitutionalen Bausteinen* nur eine einzige Version oder Ausführung existiert [BIEGERT 1971, S. 43]. *Bevorzugte Bausteine* nehmen gegenüber *gleichberechtigten Bausteinen* eine besondere Stellung ein [BOROWSKI 1961, S. 8ff.]. Tabelle 3-1 stellt gängige Einteilungen gegenüber.

Tabelle 3-1: Bausteingliederung nach Bedeutung, Varianz und Rangordnung

Autoren	BIEGERT [1971], EHRENSPIEL [1995], JESCHKE [1997], KOHLHASE [1997], PAHL & BEITZ [1997]	BIEGERT [1971]	BOROWSKI [1961], NASVYTIS [1953]
Kriterium	Bedeutung	Varianz	Rangordnung
Definition	Notwendigkeit eines Bausteins innerhalb von Produktvarianten eines Baukastensystems	Existenz von Varianten zu den Bausteinen oder Vorkommen der Bausteine nur in einer einzigen Ausführung	Gegenseitige Stellung der Bausteine
Untergliederung	Muss- und Kannbausteine	Substitutionale und nicht substitutionale Bausteine	Bevorzugte und gleichberechtigte Bausteine

Eine ausführlichere Übersicht ist dem Anhang 10.4 zu entnehmen. Zur Vereinfachung bietet sich die Einteilung aus Abbildung 3-3 an.

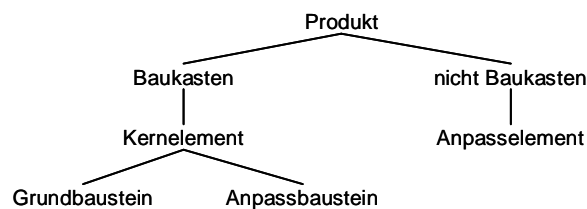


Abbildung 3-3: Vereinfachte Klassifikation von Bauteilen aus Baukastensicht

Anpasselemente fassen dabei alle Bausteine zusammen, die nicht direkt im Baukastensystem enthalten sind (Nichtbausteine). Ferner wird auf die Unterscheidung Sonderbaustein verzichtet und unter Anpassbaustein geführt.

Neben den Gestaltelementen lassen sich auch Baukastensysteme klassifizieren.

3.1.2.3 Klassifikation von Baukastensystemen

Neben der beschriebenen Einteilung der Baukastenbestandteile existierten in der Literatur zahlreiche Vorschläge zur Klassifikation von Baukastensystemen. Bei vorhandenen Systemen dienen diese zur Beschreibung, wohingegen sie bei Neuentwicklungen als strategische Zielvorgabe Verwendung finden [KOHLHASE 1997, S. 39].

¹² So unterscheidet beispielsweise BIEGERT zwischen substitutionale und nicht substitutionale, Basis- und Zubehörbausteine, elementare und aggregierte, voll und teil genormte Bausteine sowie Nichtbausteine [BIEGERT 1971, S. 43ff.]

3.1.2.3.1 Baukastencharakter für den Benutzer

Aus der Sicht des Benutzers unterscheidet BIEGERT Baukastensysteme ohne oder mit Baukastencharakter [BIEGERT 1971, S. 19f.]. EHRENSPIEL differenziert dementsprechend zwischen Hersteller- und Anwenderbaukasten. Als *Herstellerbaukasten* werde ein Baukasten bezeichnet, der beim Produzenten zusammengebaut und in der Regel nicht mehr verändert wird. Das System habe für den Nutzer keinen sichtbaren Baukastencharakter, da ihm die Möglichkeit, Bausteine nach seinen eigenen Vorstellungen zusammenzustellen, nicht gegeben sei (z. B. Getriebekonstruktionen). Ein *Anwenderbaukasten* dagegen gebe dem Nutzer die Möglichkeit, die darstellbaren Endprodukte jederzeit nach seinen Bedürfnissen zu gestalten. Die Bausteine des Systems werden beim Hersteller produziert und im Anschluss daran vom Benutzer montiert bzw. konfiguriert [EHRENSPIEL 1995, S. 629f.]. Ein Anwenderbaukasten kann jederzeit wieder in seine Bausteine zerlegt werden, um diese zur Bildung neuer Kombinationsformen zu verwenden [PONN 2000, S. 53]. Als Beispiel können Heimwerkersysteme (Metabo), Küchenmaschinensysteme (Moulinex) oder Möbelsysteme (Schrank Pax oder Regal Ivar von Ikea) angeführt werden.

Baukastensysteme lassen sich nicht immer eindeutig diesen beiden Klassen zuordnen. In der Automobilbranche steht bis auf Anwenderbaukästen bei Zubehörteilen (z. B. Dachträgersystem etc.) der Herstellerbaukasten im Vordergrund¹³.

3.1.2.3.2 Extensität von Baukastensystemen

Ein Baukastensystem kann unterschiedliche Ausdehnungen haben. Mit *Lieferantenbaukasten* wird ein Baukastensystem bezeichnet, welches bei einem Zulieferer vorherrscht. Beispielsweise geben verschiedene OEMs bei ein und demselben Kooperationspartner Entwicklungsleistungen für Schiebedächer mit jeweils spezifischen Anforderungen in Auftrag. Um Kosten zu sparen und andere Synergieeffekte zu nutzen, bietet es sich für den Systemlieferanten an, die unterschiedlichen Schiebedächer mit einem eigenen, hausinternen Baukastensystem zu realisieren. Analog dazu deckt ein *OEM-Baukasten* alle Erzeugnisse eines OEMs ab (Abbildung 3-4) (z. B. kann ein Sitzbaukasten alle Sitze eines OEMs beinhalten).

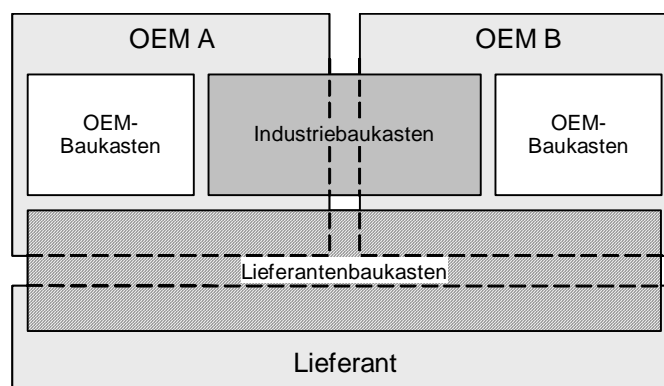


Abbildung 3-4: Extensitäten von Baukastensystemen

¹³ Sonderausstattungen können vom Kunden bei der Bestellung beeinflusst werden.

Der zunehmende Kostendruck zwingt die Automobilhersteller neben internen Maßnahmen des Variantenmanagements wie Gleichteilstrategien auch zu Kooperationen mit anderen OEMs, um gemeinsam zusätzliche Kostensenkungspotenziale auszuschöpfen. Mit *Industriebaukasten* wird die Kooperation verschiedener OEMs benannt. Hierbei steht der firmenübergreifende Einsatz oder die gezielte Entwicklung von Bauteilen, Komponenten und Systemen zusammen mit anderen Industriepartnern im Vordergrund¹⁴. So können beispielsweise mehrere OEMs zusammen Maßnahmen für den Fußgängerschutz entwickeln.

3.1.2.3.3 Systemabgrenzung

Weiterhin unterscheidet EHRENSPIEL zwischen offenen und geschlossenen Systemen¹⁵ (vgl. Abbildung 3-2). Hier läge der Unterschied in der Gesamtzahl der enthaltenen Bausteine, welche durch die Grenzen des Baukastens bedingt ist. Ein *offenes Baukastensystem* zeichne sich durch seine uneingeschränkten Variations- und Kombinationsmöglichkeiten aus. Da die umfassende Darstellung eines solchen Systems nicht möglich sei, existiere meist nur ein Baumusterplan mit Anwendungsbeispielen. Als Beispiel seien Baugerüstsysteme zu nennen. Ein *geschlossener Baukasten* werde durch seine endlich festgelegten Kombinationsmöglichkeiten charakterisiert (z. B. Heimwerkersystem). Auch diese Einteilung ließe sich nicht immer eindeutig vornehmen [EHRENSPIEL 1995, S. 630]. In der Automobilbranche ist hauptsächlich der geschlossene Baukasten von Bedeutung.

3.1.2.3.4 Verflechtung von Baukastensystemen

BIEGERT und BOROWSKI gliedern nach der Kombination von Baukästen in die horizontale und vertikale Verflechtung der Systeme [BIEGERT 1971, S. 35f.; BOROWSKI 1961, S. 25]. *Horizontale Verflechtung* bedeutet, dass ein Baustein in mehreren verschiedenen Baukastensystemen Verwendung findet. Von einer *vertikalen Verflechtung* spricht man, wenn Baukastenprodukte in komplexeren Baukastensystemen eingesetzt werden. Ausgehend vom zusammengesetzten Endprodukt lassen sich nach KOHLHASE mit fortschreitender Zerlegung auf verschiedenen Stufen Bauteile als Kombinationsform jeweils niederrangigerer Baukastensysteme nachweisen. Bei komplexen, mehrstufig zusammengesetzten Produkten können die als Baustein gestalteten Bauteile also selbst wieder aus Bausteinen eines Baukastensystems zusammengesetzt sein. BIRKHOFER bezeichne solche Gesamtsysteme als Systembaukästen. Untergeordnete Baukastensysteme nennt KOHLHASE lokale Baukastensysteme [KOHLHASE 1997, S. 42]. Abbildung 3-5 verdeutlicht diese Zusammenhänge.

¹⁴ Odile Desforges, Senior Vice President Einkauf und Direktorin der Renault-Nissan-Einkaufsorganisation: „Gleichteile mit anderen OEMs sind wünschenswert. Oft haben wir nicht genau gleiche, sondern sehr ähnliche Teile. Wenn wir von denen reden, haben wir bei der B-Plattform in Europa etwa 40 Prozent Geleichteile [/Synergieteile]“ [BEHLMER & MISSLER 2004, S. 16].

Für DaimlerChrysler sind weder markenübergreifende Gleichteile noch die Schaffung von Industriestandards für bestimmte, nicht markendifferenzierende Teile und Komponenten tabu [BEHLMER & KÖTH 2004, S. 32].

¹⁵ vgl. JESCHKE [1997, S. 50], KOHLHASE [1999, S. 212]

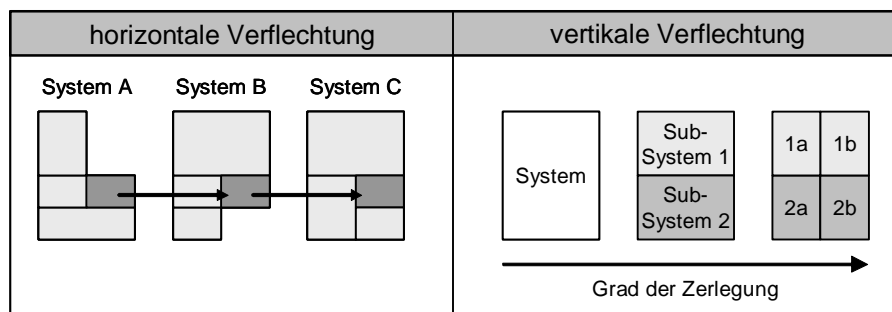


Abbildung 3-5: Horizontale und vertikale Verflechtung von Baukastensystemen [PECQUET 2003, S. 13]

Dagegen kommen Bausteine eines unverflochtenen Systems nur in diesem und keinem anderen zur Anwendung. In der Automobilindustrie lässt sich als Beispiel für die horizontale Verflechtung ein fahrzeugübergreifender Einsatz beispielsweise einer Sitzmetallstruktur anführen (vgl. Kapitel 3.3.4). Die vertikale Verflechtung erkennt man bei der Betrachtung des Gesamtfahrzeugs als Baukastensystem, welches sich aus untergeordneten Systemen wie einem Sitzbaukasten, einem Lenkungsbaukasten etc. zusammensetzt und diese wiederum auf tieferer Ebene aus Steuergeräte- und anderen Baukästen.

3.1.2.3.5 Reinheit des Systems

Die Reinheit eines Baukastensystems bezieht sich auf die Verwendung auftrags- und kundenspezifischer Lösungen. BIEGERT teilt Baukastensysteme in Rein- und Mischsysteme ein. *Reinsysteme* seien Systeme, bei denen sich die Erzeugnisse aus einem gegebenen Baustein-vorrat ohne die Verwendung von Nicht-Bausteinen zusammensetzen. *Mischsysteme* dagegen bestünden sowohl aus Bausteinen als auch aus Nicht-Bausteinen (vgl. Abbildung 3-2) [BIEGERT 1971, S. 27ff.]. Die Erzeugnisse solcher Systeme erfahren lediglich eine partielle Anwendung der Baukastenbauweise. Die Verwendung von Mischsystemen, insbesondere bei auftragsspezifischer Fertigung (z. B. Anlagenbau), hat nach KOHLHASE u. a. folgende Gründe:

- Der Entwicklungsaufwand für ein Reinsystem ist zu hoch.
- Die Kundenerwartungen sind nicht mit ausreichender Sicherheit prognostizierbar.
- Der Markt ist sehr instabil und die Kundenerwartungen unterliegen einem zeitlichen Wandel [KOHLHASE 1997, S. 44].

PILLER & WARINGER sprechen im Zusammenhang mit der Systemreinheit von Kundenintegration in der Wertschöpfungskette [PILLER & WARINGER 1999, S. 50f.].

3.1.2.3.6 Konkretisierungsgrad der Baukastensysteme

Ein Baukastensystem besteht nach PAHL & BEITZ während seiner Entwicklung anfangs nur fiktiv im Bereich des Herstellers (als Konzept oder Entwurf). Bei Bedarf werden die Module oder Bausteine eines Baukastens realisiert und zum Gesamtprodukt kombiniert [PAHL & BEITZ 1997, S. 593]. KOHLHASE unterscheidet wie auch KOLLER abstrakte und konkrete Baukastensysteme [KOHLHASE 1997, S. 43f., KOLLER 1998, S. 346]. Als abstraktes Baukastensystem gelten u. a. Baukästen auf der Prozessebene, deren Bausteine als vorhandene Lösung für Teilaufgaben verwendet werden (Baukästen mit Prozessbausteinen etc.).

Die Einteilung bereits vorhandener Produktspektren in diese Schemata oder die gezielte Erzeugung eines Bausteins ist nach JESCHKE mitunter schwierig, da präzise Regeln hierfür fehlen [JESCHKE 1997, S. 51].

3.1.2.4 Konfiguration

LINK & HILDEBRAND definieren *Produktkonfiguration* als Zusammenstellung von Produkten oder Systemlösungen gemäß Kundenspezifikation, auf Grundlage standardisierter Bauteile sowie auf einer Wissensbasis gespeicherter Konfigurationsregeln [LINK & HILDEBRAND 1993, S. 118]¹⁶. Nach KOHLHASE werden beim Konfigurieren Bausteine nach einem vorgedachten Zweck angeordnet, ohne ihre Gestalt dabei zu verändern [KOHLHASE 1997, S. 8]. Aus der Produktkonfiguration resultieren somit die fertige Produktstruktur sowie Stücklisten oder Teileverwendungsnachweise [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 185]. Um das Potenzial eines Baukastens optimal nutzen zu können, ist laut FIRCHAU & FRANKE eine Konfiguration der Konstruktion vorzuziehen [FIRCHAU & FRANKE 2002, S. 67ff.]. Abbildung 3-6 stellt den Zusammenhang zwischen Konfiguration und Konstruktion dar.

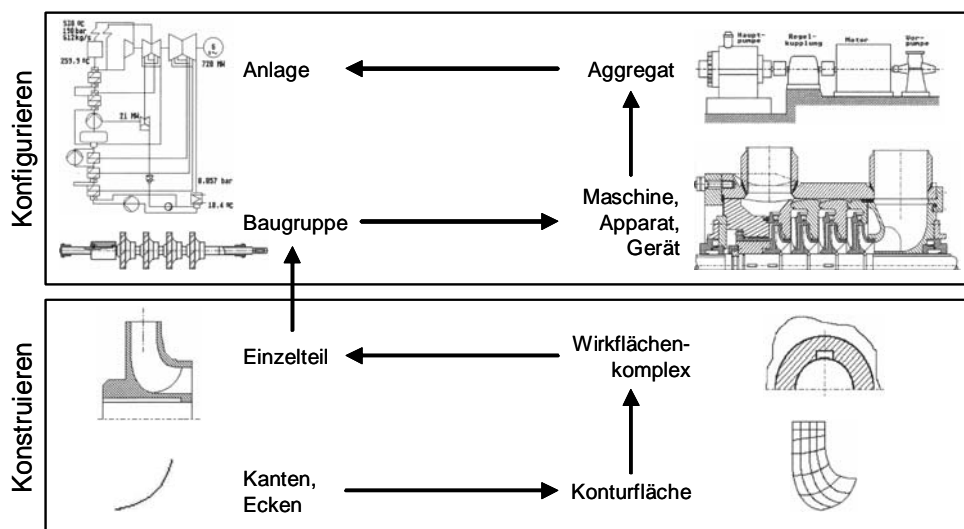


Abbildung 3-6: Zusammenhang von Konfiguration und Konstruktion [FIRCHAU & FRANKE 2002, S. 68]

BOROWSKI argumentiert analog, wonach eine der wichtigsten Eigenarten des Baukastensystems zweifellos die ist, dass sich aus einem begrenzten Vorrat verschiedener Bausteine eine große Zahl verschiedener Kombinationen ergebe. Der Baukasten sei umso brauchbarer, je öfter Bausteine sich für verschiedene Kombinationen benutzen lassen [BOROWSKI 1961, S. 17f.].

Diese Mehrfachverwendung wird durch eine plakative Darstellung vereinfacht.

¹⁶ vgl. SCHUH & SCHWENK [2001, S. 185]

3.1.3 Darstellungsmöglichkeiten für Baukastensysteme und die Variantenvielfalt

Zur Abbildung variantenreicher Produktstrukturen sind nach SCHALLER Übersichten notwendig, aus denen alle Elemente sowie Kombinationsregeln zur Bildung der Strukturen von Enderzeugnissen hervorgehen [SCHALLER 1980, S. 43]. Außerdem erhöht eine offene Visualisierung der Variantenvielfalt den Erfolgsdruck zur Beherrschung derselben [WILDEMAN 2005b, S. 231]. Die Variantenvisualisierung soll nach FIRCHAU Potenziale zur Teilereduzierung und zu einer möglichst hohen Mehrfachverwendung von Wiederhol- und Gleichteilen aufzeigen [FIRCHAU 2003, S. 92].

Zur übersichtlichen Darstellung der Variantenvielfalt und des Aufbaus des Baukastensystems eignen sich zahlreiche Arten, von denen nachstehend etliche erläutert werden.

Venn-Diagramm

BREIING & FLEMMING schlagen eine bildliche Darstellung auf Basis der Cantor'schen Mengenlehre in Form von Venn-Diagrammen¹⁷ vor [BREIING & FLEMMING 1993, S. 211f.]. In dem in Abbildung 3-7 dargestellten Diagramm repräsentieren die drei Mengen A, B und C den Bausteininventar zur Generierung dreier unterschiedlicher Produkte (A, B, C). Die weißen Flächen entsprechen spezifischen Bauteilen, die nur im jeweiligen Produkt eingesetzt werden (Anpassbausteine). Bei Verwendung von Bauteilen in zwei unterschiedlichen Produkten sind die Flächen schattiert, im Falle des komplett übergreifenden Einsatzes schraffiert (Grundbausteine).

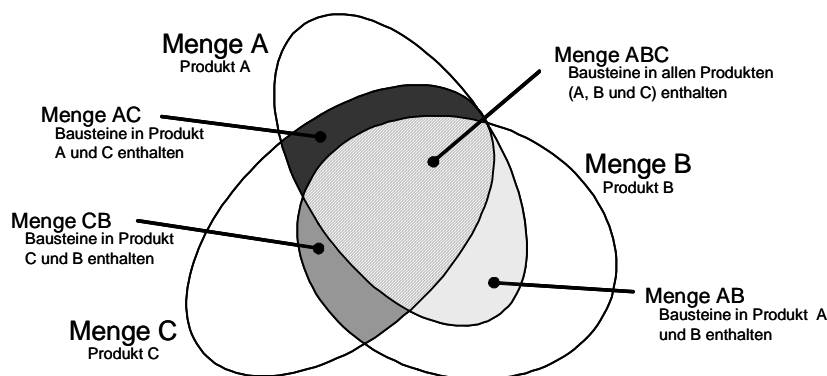


Abbildung 3-7: Darstellung eines Baukastens als Venn-Diagramm

Die Menge der Konstruktionsbausteine in den einzelnen Durchschnittsmengen wird durch die Größe der skizzierten Flächenanteile symbolisiert.

Variantenbaum

SCHUH [1988, S. 45ff.] entwickelte zur grafischen Abbildung der Variantenvielfalt den Variantenbaum. Diese montageorientierte Darstellung unterstützt die systematische Analyse

¹⁷ Benannt nach dem englischen Mathematiker John Venn (1834-1923).

des Aufbaus von Produkten. Der Variantenbaum repräsentiert dabei eine Kombination der vertikalen Erzeugnisgliederung (Baugruppen) mit der horizontalen Darstellung aller sich ergebenden Erzeugnisvarianten (Variantenvielfalt). Die Basis der Aufbaustruktur des Variantenbaumes stellt meist ein Grund- oder Trägerbauteil dar, welches mit allen weiteren, der Montagereihenfolge nach geordneten Anbauteilen durch Linien verbunden wird (Abbildung 3-8).

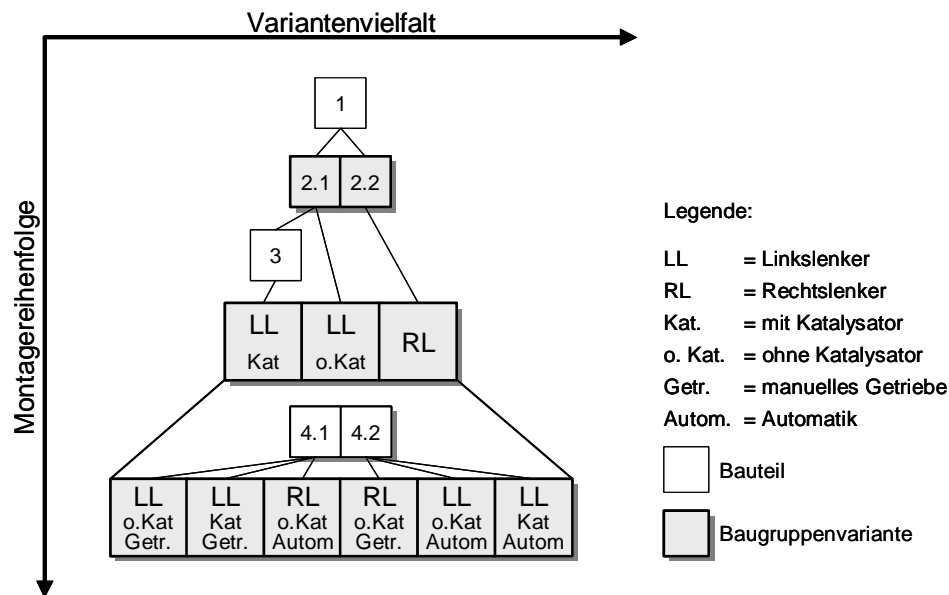


Abbildung 3-8: Montageorientierter Variantenbaum [nach SCHUH 1988, S. 47]

Um den Informationsgehalt zu erhöhen, wird nach jedem Teilvorgang die bisher erreichte Variantenvielfalt der entsprechenden Baugruppe angezeigt.

Morphologischer Kasten

Der Morphologische Kasten ist ein eindimensionales, matrizenförmiges Ordnungsschema, das die systematische Entwicklung von Prinziplösungen durch Kombination verschiedener Teillösungen unterstützt [EHRENSPIEL 1995, S. 357]. Dazu werden in den Zeilen des Kastens verschiedene Teilfunktionen mit den dazugehörigen Lösungen eingetragen.

Zur Erarbeitung einer Gesamtlösung wird für jede Teilfunktion eine Lösung ausgewählt und mit den anderen Teillösungen vertikal verknüpft [PAHL & BEITZ 1997, S. 126]. Die Anzahl theoretisch möglicher Gesamtlösungen erhält man durch Multiplikation der Anzahl der Teillösungen aller Teilfunktionen.

SCHWANKL betont die Eignung des Morphologischen Kastens für die Bearbeitung komplexerer Probleme und hebt seine Erweiterbarkeit bezüglich neuer Erkenntnisse und die universelle Einsatzmöglichkeit hervor [SCHWANKL 2002, S. 51]. Für die Abbildung eines Baukastens bieten sich hierzu u. a. Komponentenspezifikationen, Kombinationsbedingungen bzw. Ausschlusskriterien sowie Teileverwendungsnachweise an.

Modularitäts-Matrix

Eine Abwandlung des Morphologischen Kastens stellt die Modularitätsmatrix dar. Nach dem Erstellen einer Funktionsstruktur für das Gesamtsystem werden die Teilfunktionen in die linke Spalte der Matrix eingetragen. Die existierenden Varianten des Endproduktes füllen die oberste Zeile. In den Feldern der Matrix wird nun eingetragen, welches Modul die entsprechende Funktion im entsprechenden Gesamtsystem erfüllt. So kann die Analyse von einer reinen Bauteilsicht befreit und einer Funktionsorientierung zugeführt werden [DAHMUS ET AL. 2000, S. 6f.].

Gozintograph

Im Gozintograph¹⁸ werden nach JESCHKE Produkte, Baugruppen und Einzelteile als Knoten und zwischen ihnen bestehende Relationen, wie z. B. „gehört zu“ oder „verbaut in“ durch Pfeile beschrieben [JESCHKE 1997, S. 47]. Durch die Beschriftung der Pfeile mit der jeweils benötigten Stückzahl unterstützt der Gozintograph auch die Bedarfsrechnung [SCHALLER 1980, S. 33].

Zur transparenten Abbildung eines Baukastenaufbaus hat sich der Morphologische Kasten bewährt. Nachstehend werden die Möglichkeiten und Grenzen von Baukastensystemen allgemein betrachtet.

3.1.4 Chancen, Risiken und Grenzen der Baukastenbauweise

Um ein Baukastensystem planen und entwickeln sowie die Entscheidung über den geeigneten Umfang des Systems fällen zu können, bedarf es einer umfassenden Klärung. Dazu gehören sowohl Informationen über die Vor- und Nachteile als auch über die Grenzen eines Baukastens, die bei einer Entscheidung für die Einführung von Baukastensystemen im eigenen Produktprogramm abgewägt werden müssen. Im Folgenden werden aus den hierzu zahlreich vorhandenen Veröffentlichungen¹⁹ die jeweils wichtigsten Aspekte herausgegriffen.

Prinzipiell lassen sich Auswirkungen der Baukastenbauweise sowohl auf den Hersteller als auch auf den Kunden feststellen. Im Falle des Unternehmens ist die gesamte Wertschöpfungskette betroffen.

3.1.4.1 Absatzwirtschaftliche Aspekte

Mittels eines Baukastensystems kann der Vertrieb den Kunden ein individualisiertes Produktprogramm und eine höhere Programmbreite anbieten. Gleichzeitig können konträre Anforderungen anderer Abteilungen (z. B. Wunsch nach weniger Varianten in der Fertigung)

¹⁸ Der Begriff hat seinen Ursprung im Englischen: that parts „goes into“ [JESCHKE 1997, S. 47].

¹⁹ vgl. BIEGERT [1971, S. 68ff.], BOROWSKI [1961, S. 19ff.], EHRENSPIEL ET AL. [2003, S. 338ff.], KOHLHASE [1997, S. 45ff.], PAHL & BEITZ [1997, S. 605f.], PILLER & WARINGER [1999, S. 74ff.] etc.

berücksichtigt werden (vgl. BIEGERT [1971, S. 68ff.]). Darüber hinaus kann ein Unternehmen schneller und flexibler auf geänderte Randbedingungen des Marktes reagieren.

3.1.4.2 Gestaltwirtschaftliche Aspekte

Der Entwicklungs- und Konstruktionsabteilung kommt eine große Bedeutung im Rahmen der Produkterstellung zu, da sie in hohem Maße die Herstellkosten und Absatzfähigkeit der Erzeugnisse beeinflusst.

Der wirtschaftliche Nutzen eines Baukastensystems wird am Beispiel Automobil schnell deutlich:

- Der *Entwicklungsaufwand verteilt sich* bei den Grundbausteinen auf das Erst- und Zweitfahrzeug bzw. auf alle Modellreihen eines Segments und die zugehörigen Produktionsvolumina [MEFFERT 2000, S. 1332]. Auch der Absicherungsaufwand wird teilweise reduziert²⁰.
- Die *Entwicklungszeiten* für neue Fahrzeuge sinken, da eine weitreichend erprobte Basis für alle Unternehmen eines Konzerns zur Verfügung steht. Der Hersteller kann somit auf Veränderungen am Markt schneller als vorher reagieren [MEFFERT 2000, S. 1332].
- Die *Transparenz* im Unternehmen wird erhöht durch die Schaffung einer einfacheren und übersichtlicheren Produktstruktur. Hierzu gehört neben dem Abbau der Produktkomplexität die Erhöhung der Anpassungsfähigkeit an die geforderte Variantenvielfalt [PILLER & WARINGER 1999]
- Durch die mehrmalige Verwendung von Bauteilen ergibt sich die Möglichkeit, Variantenvielfalt und *Nischenprodukte* kostengünstiger anzubieten und stärker zu differenzieren.

Andererseits erhöht sich mit einem Baukastensystem auch der Aufwand für den Gestaltungsbereich:

- Im Vergleich zur spezifischen Entwicklung unterschiedlicher Erzeugnisse sind für die Entwicklung eines ganzen Baustein- und Variantenprogramms (Systemkonzeption) höhere Gestaltungsaufwendungen zu erwarten [BIEGERT 1971, S. 84ff.].
- Des Weiteren gestaltet sich das Änderungswesen komplexer. Selbst bei harmlos erscheinenden Änderungen oder routinemäßigen Verbesserungen muss berücksichtigt werden, ob die beabsichtigten Maßnahmen nicht in irgendeiner Form für eine Variante nachteilig oder gar unmöglich sind. Jede Änderung und Ergänzung zieht sich durch zahlreiche Varianten hindurch.

Außerdem hat eine Baukastenlösung gegenüber Speziallösungen meist den Nachteil einer Funktionsüber- oder -untererfüllung, da ähnliche Anforderungen mit einer begrenzten Anzahl von Bausteinen abgedeckt werden müssen (Harmonisierung der Anforderungen, siehe

²⁰ Wilhelm Becker, Bereichsleiter Produktlinie „kleine Modelle“ der BMW Group: „Das Baukastenprinzip bietet enorme Sparpotenziale. Nach der Absicherung eines neuen Motors im 1er brauchen Sie den gleichen Motor im 3er nicht mehr so intensiv testen. Alle motorinternen Vorgänge wie Strömungsverhältnisse sind bekannt. Ich muss nur noch die Wechselwirkungen des Motors testen und kann so auf einige Prototypen verzichten“ [GORONCY 2005, S. 9].

Kapitel 5.4.3). Beispielsweise können deshalb Gewicht, Kosten und Funktionen gegenüber einer Einzellösung suboptimal sein.

3.1.4.3 Produktionswirtschaftliche Aspekte

Bei der Fertigung und Montage steht die Niedrighaltung der Herstellkosten und der Durchlaufzeiten im Vordergrund. Standardisierungsmaßnahmen wie die Einführung von Baukastensystemen ermöglichen nach PILLER & WARINGER in der Fertigung Losgrößenvorteile und damit auch Potenziale zur Kostenreduzierung [PILLER & WARINGER 1999, S. 79ff.]. KOHLHASE spricht hier von Kostendegressionseffekten [KOHLHASE 1997, S. 45ff.]. Charakterisierend für die Vorteile in der Fertigung sind

- die Reduktion der Zahl unterschiedlicher Bauteile und
- die Auflagenerhöhung durch Mehrfachverwendung gleicher Teile.

Stückzahlvorteile bei der Produktion eines einzelnen Objektes werden als *Economies of Scale* bezeichnet. Verbund- und Synergieeffekte, die aufgrund der gemeinsamen Nutzung von Produktionsfaktoren durch mehrere Objekte zustande kommen, nennt man *Economies of Scope*. Verbund- und Skaleneffekte schließen sich nicht aus, sondern können sich gegenseitig ergänzen. PILLER & WARINGER sprechen hierbei von *Economies of Integration* und verstehen darunter die Verbindung von Vorteilen der externen Variantenvielfalt mit denen der internen Standardisierung, welche durch den modularen Aufbau bzw. den Baukastenansatz erzielt werden [PILLER & WARINGER 1999, S. 79].

Nach BIEGERT werden auch die Sortenwechselkosten reduziert, welche bei der Umstellung der Fertigungs- oder Montageabläufe entstehen. Insbesondere sieht er hier drei Ansatzpunkte, die eine Baukastenbauweise begünstigt:

- Eine generelle Vermeidung von Sortenwechselkosten durch die Reduzierung der Umstellhäufigkeit,
- die Reduzierung der Kosten in ihrer absoluten Höhe sowie
- eine Senkung der Kosten je Leistungseinheit, bedingt durch eine Auflagenerhöhung in der Fertigung bei gleichbleibender Anzahl an Umstellvorgängen [BIEGERT 1971, S. 102ff.].

Weiterhin untersucht BIEGERT die Auswirkungen einer Baukastenbauweise auf die Gestaltung der Fertigungsorganisation, der Betriebsmittel, der Fertigungsverfahren sowie der Routinebildung [BIEGERT 1971, S. 103ff.]. Letztere begünstigt die Steigerung der produzierten Qualität²¹. Darüber hinaus nennt MEFFERT den Vorteil, dass die Anlaufkosten der Produktion aufgrund von bestehenden Erfahrungswerten sinken [MEFFERT 2000, S. 1332].

²¹ Dieser Effekt wird mit steigendem Automatisierungsgrad der Fertigung schwächer.

3.1.4.4 Lagerwirtschaftliche Aspekte

Aus Sicht der Lagerwirtschaft wird nach PONN zwischen zwei Arten der Produktion unterschieden:

- **Marktproduktion:** Produktion für den anonymen Markt, basierend auf Prognoseerwartungen, ohne Kundenintegration.
- **Bestell- oder Kundenproduktion:** Fertigung und Montage von Produkten auf speziellen Kundenauftrag.

Die Tendenz bei Baukastenerzeugnissen im Bereich der Marktproduktion sei ein Verzicht auf Fertiglagerhaltung zugunsten der Vorratshaltung im Teilebereich. Dagegen seien bei der Bestellproduktion höhere Lagerbestände zu erwarten. Dies liege darin begründet, dass die gewünschte auftragsneutrale Fertigung in höheren Auflagen eine Bausteinlagerung erfordere, mit der wieder lagerwirtschaftliche Nachteile verbunden sind [PONN 2000, S. 68f.].

Gerade in der Automobilbranche sind diese lagerwirtschaftlichen Aspekte eher unbedeutend, da hier der Lieferant meist just-in-time anliefert.

3.1.4.5 Beschaffungswirtschaftliche Aspekte

Die Skaleneffekte der Baukastenbauweise wirken sich auch auf den Einkauf positiv aus. Zum einen sinkt der Einkaufspreis durch die größere Abnahmemenge, zum anderen reduziert sich die Anzahl der Lieferanten, mit denen Verhandlungen geführt werden müssen. Allerdings müssen hierbei unternehmensspezifische Lieferantenstrategien berücksichtigt werden (siehe Kapitel 5.4.4).

3.1.4.6 Produktqualitative Aspekte

Die Baukastenbauweise hat Einfluss auf die Qualität der Endprodukte. Durch das Zurückgreifen auf Bausteine, die sich bereits in früheren Erzeugnissen bewährt haben, eine stärkere Spezialisierung der Betriebsmittel in der Fertigung, eine Erhöhung der Regelmäßigkeit und Genauigkeit der Arbeitsgänge sowie ähnliche Fügefolgen der Baukastenbauweise erhöht sich die Qualität der Baukastenprodukte. Außerdem kann die Entwicklungsqualität gesteigert werden, da die im Unternehmen vorhandenen Entwicklungsressourcen sich auf weniger Varianten verteilen. Aufgrund dieser Umlage auf eine höhere Stückzahl ergibt sich des Weiteren der Vorteil, durch den Einsatz höherwertiger Baukastenkomponenten die Produktqualität nachhaltig zu steigern²².

3.1.4.7 Grenzen der Baukastenbauweise

Neben den anwendungsabhängigen Nachteilen gibt es aber auch klare Grenzen für den Einsatz eines Baukastens. Da ein Baukasten in der Regel aus Gründen der Wirtschaftlichkeit

²² Aufgrund der höheren Stückzahl sind die Auswirkungen fehlerhafter Baukastenbausteine erheblich größer.

eingesetzt wird, darf er nicht zu seinem Selbstzweck etabliert werden, sondern muss dem Unternehmen wirtschaftliche Vorteile bringen. Hierzu ist das Verhältnis Aufwand/Nutzen bei der Erstellung des Baukastens zu berücksichtigen.

Außerdem muss die Erfüllung der Kundenanforderungen sichergestellt werden, da das Produkt vom Markt akzeptiert und vom Kunden gekauft werden soll. Ein weiteres Ausschlusskriterium ist die mögliche Nichtakzeptanz einer Funktionsüber- bzw. -untererfüllung. Selbst eine Übererfüllung kann dem Kunden Nachteile bringen, beispielsweise durch ein höheres Gewicht und dem damit erhöhten Kraftstoffverbrauch eines Fahrzeugs. Eine Funktionsuntererfüllung ist meist nicht akzeptabel.

3.1.4.8 Zusammenfassung

Die Baukastenbauweise bietet zahlreiche Vorteile, birgt aber auch gleichzeitig Risiken in sich. Vor- und Nachteile sind bei jedem Anwendungsfall individuell gegeneinander abzuwägen und können deshalb nicht verallgemeinert werden. Entscheidenden Einfluss haben die jeweilig herrschenden Rahmenbedingungen.

Wichtig bei einer Baukastenentwicklung ist die Betrachtung des Verhältnisses von Aufwand und Nutzen. Durch eine entsprechende Gestaltung des Baukastensystems können häufig große Synergieeffekte übergreifend genutzt werden, wobei die hierfür notwendigen Initialaufwendungen tendenziell höher als bei singulären²³ Entwicklungen ausfallen.

Dabei gibt es auch klare Grenzen für die Baukastenbauweise, die von den jeweilig geltenden Randbedingungen abhängig sind.

Im Anschluss werden weitere potenzielle Bauweisen zur Variantenreduktion vorgestellt.

3.2 Abgrenzung der Baukastenbauweise gegenüber ähnlichen Gestaltungsformen

Neben der Baukastenbauweise werden in der einschlägigen Literatur²⁴ alternative Bauweisen zur Reduktion der Variantenvielfalt und Komplexität genannt. Im Folgenden werden die gängigsten Bauweisen und Strukturtypen vorgestellt, untereinander verglichen und auf ihre Tauglichkeit hin untersucht.

3.2.1 Abgrenzung gegenüber Gleich- und Wiederholteilbauweise

Prinzipiell werden in der Literatur Gleich- und Wiederholteilbauweisen unterschieden.

²³ Bei einer singulären Entwicklung steht lediglich ein einzelnes Produkt im Fokus (ohne übergreifenden Baukastenansatz).

²⁴ vgl. dazu EHRENSPIEL [1995], PAHL & BEITZ [1997], JESCHKE [1997], PILLER & WARINGER [1999] etc.

Gleichteilbauweise

EHRENSPIEL ET AL. verstehen unter einem Gleichteil ein Teil, das mehrmals in *einem* Produkt vorkommt [EHRENSPIEL ET AL. 2003, S. 311]. Beispiele hierfür sind identische Gehäusedeckel, gleiche Lager sowie Schrauben. Durch den möglichst häufigen Einsatz von Gleichteilen können Skaleneffekte erzielt werden. EHRENSPIEL empfiehlt deshalb, möglichst viele gleiche Teile in einem Produkt zu verwenden [EHRENSPIEL 1995, S. 614].

Wiederholteil

Im Gegensatz dazu definieren EHRENSPIEL ET AL. ein Wiederholteil als Teil, das in *anderen* Produkten schon eingesetzt wurde (gleiche oder verschiedene Produktart). Ein Wiederholteil könne auch ein Teil der eigenen Werknorm sein [EHRENSPIEL ET AL. 2003, S. 310]. Kommt dieselbe Hupe beispielsweise in den Fahrzeugen A und B vor, stellt sie ein Wiederholteil dar.

Die Automobilindustrie unterscheidet diese beiden Begriffe meist nicht. Hier werden mit dem Begriff Gleichteil in der Regel Gleichteile, Wiederholteile, Plattformen und Baukästen bezeichnet. Da sich ein Baukastensystem u. a. grundsätzlich aus Wiederholteilen zusammensetzt (vgl. Kapitel 3.1.2; vgl. EHRENSPIEL ET AL. [2003, S. 310]), ist eine entsprechende Abgrenzung nicht möglich.

Die hohe Zahl der Varianten kostet nach ROSE die deutschen Automobilhersteller Milliarden, die ihnen die Kunden kaum bezahlen. Ursache der hohen Kosten sei die mangelhafte Gleichteilestrategie. Statt bewährte Bauteile und Baugruppen konsequent in anderen Modellen zu verwenden, wie dies französische oder japanische Hersteller tun, entwickeln deutsche Autobauer gerne alles neu [ROSE 2005, S. 16], wobei langsam ein Umdenken startet.

Die Synergieeffekte durch den Einsatz von Gleich- und Wiederholteilen können beträchtlich sein. So spare Fiat beim neuen Punto durch eine Gleichteilestrategie mit dem Opel Corsa zwanzig Prozent ein [AMS 2004]. Nach Schätzungen Klaus Alders ließe sich durch sinnvoll verwendete Gleichteile das Ergebnis der Audi AG im dreistelligen Millionenbereich verbessern, über die Lebenszeit nur einer einzigen Fahrzeuggeneration [ROSE 2005, S. 17]. Auch DaimlerChrysler überlegt nach dem Mercedes Car Group Einkaufschef, Harald Böstler, intensiv die Nutzung von Gleichteilen für Nachfolgemodelle, sogar in Form von Industriebaukästen [BEHLMER & KÖTH 2004, S. 32].

3.2.2 Abgrenzung gegenüber Kommunalitäten

Das Wort „Kommunalität“²⁵ ist abgeleitet vom lateinischen Ausdruck „communis“ (gemeinschaftlich, gemein) und steht demnach für die Gemeinsamkeiten von Produkten [DUDEN 2001]. Hierbei lassen sich grundsätzlich folgende sieben Arten unterscheiden:

²⁵ Das zugehörige Adjektiv „kommunal“ steht in dieser Arbeit im Gegensatz zu seiner landläufigen Bedeutung (eine Gemeinde betreffend) für „gemeinsam“ oder „identisch“.

Konzeptkommunalität

Bei der Konzeptkommunalität handelt es sich um Bauteile oder Systeme, die dasselbe Konzept aufweisen, also die Ziel- bzw. Funktionserfüllung auf dieselbe Art und Weise erreichen. Deswegen spielt in diesem Zusammenhang die Funktionsorientierung (vgl. Kapitel 5.4.2) eine wichtige Rolle. Durch die Konzeptkommunalität ergeben sich Vorteile durch einen geringeren Entwicklungsaufwand vor allem in der Konzeptentwicklung. Möglicherweise lassen sich durch die Konzeptgleichheit auch identische Bauteile einsetzen. Für den Kunden ergibt sich u. a. der Vorteil einer Durchgängigkeit in der Bedienlogik.

Prozesskommunalität und Werkstoffkommunalität

Bei der Prozesskommunalität handelt es sich um gleich durchlaufene Prozesse, beispielsweise zur Fertigung, Montage, Entwicklung etc. Dies setzt in der Regel eine Konzeptkommunalität voraus, häufig ist dabei auch eine Werkstoffkommunalität gegeben. Durch den Einsatz identischer Werkstoffe sind gleiche Fertigungsschritte möglich. Die Vorteile der Prozesskommunalität liegen beispielsweise in der Weiterverwendbarkeit und der besseren Auslastung der Fertigungsanlagen, was zu sinkenden Investitions- und Herstellkosten führt²⁶. Nachteilig ist jedoch die geringere Differenzierbarkeit innerhalb der eigenen Produktpalette. Dies hängt wiederum von der Flexibilität des Herstellverfahrens ab. Während mit einem Presswerkzeug nur ein bestimmtes Bauteil gefertigt werden kann, ist beispielsweise beim Punktschweißen nur das Steuerungsprogramm anzupassen, um neue Geometrien zu realisieren.

Lieferantenkommunalität

Die Lieferantenkommunalität spielt vor allem beim Industriebaukasten (vgl. Kapitel 3.1.2.3) eine Rolle. Weist ein Bauteil Lieferantenkommunalität gegenüber anderen Herstellern auf, so besteht die Möglichkeit, dass der Zulieferer bereits einen Lieferantenbaukasten umgesetzt hat, also Bauteile OEM-übergreifend verwendet. Hier sind unter Umständen Potenziale für den Industriebaukasten zu sehen, da durch eine gesteuerte und vermehrte Erzeugung von Kommunalitäten auch die OEMs von den Kostenvorteilen profitieren können.

Bauraumkommunalität und Schnittstellenkommunalität

Die Bauraumkommunalität beinhaltet eine feste Bauraumzuteilung für bestimmte Komponenten oder Systeme, die für mehrere Fahrzeugmodelle gleich ist. Durch derivatübergreifende Bauraumkonzepte können auf diese Weise Synergien geschaffen werden. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von einem Package²⁷-Baukasten. BERHART betont, dass Standard-Packaging-Konzepte ein weiterer Hebel zur Realisierung von Kommunalitäten sind. Toyota habe beispielsweise vier Standard-Packages für Türen sowie Standard-Packages für Instrumententafel und Motorraum definiert [BERHART 2004, S. 4]. Durch eine klare Schnitt-

²⁶ Wilhelm Becker, Bereichsleiter Produktlinie „kleine Modelle“ der BMW Group: „Prozesskommunalität ist uns viel wichtiger als Gleichteile“ [GORONCY 2005, S. 8].

²⁷ Der Begriff Package bezeichnet die Raumaufteilung.

stellendefinition (Schnittstellenkommunalität) und einen kommunalen Bauraum lässt sich ein fahrzeugübergreifender Bauteileinsatz realisieren, was nachstehend erläutert wird.

Bauteilkommunalität

Die Bauteilkommunalität entspricht der Verwendung von Gleich- und Wiederholteilen (vgl. Kapitel 3.2.1). Hierzu zählen auch sogenannte Synergieteile, welche einer (leichten) Veränderung von maximal 30 Prozent der Herstellkosten des Originalteils entsprechen²⁸. Durch den übergreifenden Bauteileinsatz lassen sich durch Skalen- und Synergieeffekte Herstellkosten, Investitionen und Entwicklungskosten sparen. Dabei werden in der Regel nicht sichtbare Bauteile verwendet, um den Kunden die nötige Differenzierung vermitteln zu können. Beispielsweise hält Fritz Henderson, Chairman von GM Europe, eine Gleichteilestrategie von Opel/Vauxhall, Saab und Daewoo auf hohem Niveau für möglich, ohne die Markenidentität und Integrität zu gefährden [PRODUKTION 2004]. Bei sichtbaren Teilen muss der Baukastenansatz so gestaltet werden, dass dieser möglichst nicht wahrgenommen wird. Es können jedoch auch gewollt sichtbare Teile mehrfach verwendet werden. Dies ist zum Beispiel bei USPs²⁹ sinnvoll, um beispielsweise bei Innovationen eine möglichst hohe Durchdringung des Marktes zu erreichen.

Einige der genannten Kommunalitäten ergänzen sich bzw. benötigen sich gegenseitig. Für die erfolgreiche Entwicklung eines Baukastensystems sind alle von großer Bedeutung, wobei die Schnittstellenkommunalität am wichtigsten ist. Ohne passende Schnittstellen lassen sich die einzelnen Bausteine des Systems nicht zusammenfügen. In der Regel wird durch die Umsetzung der Kommunalitäten die Technologievielfalt reduziert, die nach WILDEMANN Nachteile in der Komplexität und bei den Kosten bringt [WILDEMANN 2005b, S. 6].

3.2.3 Abgrenzung gegenüber Modularisierung

Ein weiteres Mittel zur Komplexitätsreduzierung ist die geeignete Modularisierung, welche eine Sonderform der Baukastentechnik darstellt. Dabei sehen PILLER & WARINGER und GÖPFERT eine Möglichkeit zur Modularisierung sowohl auf der Prozess- als auch auf der Produkt- bzw. Teileebene [PILLER & WARINGER 1999, S. 37ff.; GÖPFERT 1998, S. 60ff.].

Definition

Die *Modularisierung auf Produkt- bzw. Teileebene* beschreibt als technisches Gestaltungsprinzip die Zerlegung eines Produktes in substitutionsfähige, austauschbare Teile oder Module. Ein Modul ist eine abgrenzbare, einbaufertige Einheit, die PAHL & BEITZ auch als Gestaltungsabschnitt bezeichnen [PAHL & BEITZ 1997, S. 609]. Charakteristisch für ein Modul ist der deutlich größere Vormontageumfang im Verhältnis zu seinem Einbauumfang in

²⁸ Liegt der Wert über den 30 Prozent, spricht man von einem Neuteil.

²⁹ Unter USP (Unique Selling Position) versteht man ein Alleinstellungsmerkmal zur Differenzierung gegenüber dem Wettbewerb.

der übergeordneten Baugruppe. WILDEMANNS definiert ein Modul wie folgendermaßen: „Ein Modul ist ein Zusammenbau von mehreren Teilen, die verschiedene Funktionen beinhalten können. Kennzeichen sind physischer Zusammenhang und in der Regel Austauschbarkeit der Einheit. Es ist ein Teil des Ganzen und endet an den Fahrzeuggrenzen.“ [WILDEMANNS 2004, S. 74]. Ein Modul unterscheidet sich von einem System durch die Notwendigkeit des physischen Zusammenhangs. Module zeichnen sich durch eine einfache Montagemöglichkeit mit nur wenigen Befestigungsteilen aus. Sie verfügen über klar definierte Schnittstellen und werden maßgeblich durch Funktionen, Leistungsparameter und Package bestimmt.

Module auf Produkt- oder Teileebene sind vergleichbar mit den Bausteinen eines Baukastensystems, da diese ebenfalls funktional gegliedert sind und über standardisierte Schnittstellen verfügen. Infolgedessen sieht JESCHKE die Modulbauweise als eine spezielle Form der Baukastenbauweise an [JESCHKE 1997, S. 28]. Nach WILDEMANNS erfüllt jedoch ein Modul im Gegensatz zu Bausteinen jeweils eigenständig eine Funktion [WILDEMANNS 2005b, S. 150].

Ziele

Eindeutiger wird die Unterscheidung Baukasten und Modul bei der Betrachtung der zu erzielenden Effekte (Stoßrichtungen, vgl. Kapitel 5.4.1.3). Die Modularisierung eines Produkts zielt weniger auf die Schaffung von Produktvarianten durch die (un-)eingeschränkte Kombination von verschiedenen Modulen ab, als vielmehr auf die Unterteilung des gesamten Produkts in überschaubare Einheiten, die unabhängig voneinander entwickelt, konstruiert und beschafft oder produziert werden können. So wird die Komplexität im Unternehmen reduziert, da weniger Verknüpfungen bestehen³⁰. Das Endprodukt entsteht aus diesen Modulen, was die Endmontage stark vereinfacht, flexibilisiert³¹ und beschleunigt. Abbildung 3-9 stellt die Abgrenzung und die Wechselwirkungen zwischen Baukasten und Modularisierung dar.

Im Gegensatz zur Modularisierung steht bei der Umsetzung eines Baukastensystems also die Schaffung von Produktvarianten durch Kombination verschiedener Bausteine im Vordergrund. Die gewünschte externe Varianz soll dabei mit einer möglichst geringen internen Varianz dargestellt werden. Bei der Modularisierung dagegen ist der Fokus primär auf die Montage gerichtet. Durch vorgefertigte Module lassen sich im Vorfeld kostenintensive Flächen am Hauptband einsparen, da sie unabhängig vom Hauptband vormontiert und auf ihre Funktion hin überprüft werden können.

³⁰ Wilhelm Becker, Bereichsleiter Produktlinie „kleine Modelle“ der BMW Group: „Wir mussten die unvermeidliche Komplexität durch die vielen Varianten und Nischenfahrzeuge besser in den Griff bekommen. Durch die Modularisierung müssen wir nicht mehr so viele Tier-1-Lieferanten steuern (von 600 auf etwa 150)“ [GORONCY 2005, S. 9].

Tier-1-Lieferanten sind große Systemlieferanten, die wiederum auf Sublieferanten (Tier-2) zurückgreifen.

³¹ Dr. Reithofer, Vorstand Produktion der BMW Group: „Wir müssen die Hauptlinie des Rohbaus durch kommunale Bestandteile zunehmend flexibler gestalten – das sind beispielsweise gleiche Vorderbauten oder Teile einer Bodengruppe, immer rein strukturelle Teile und keine Designteile“ [KÖTH 2003, S. 42].

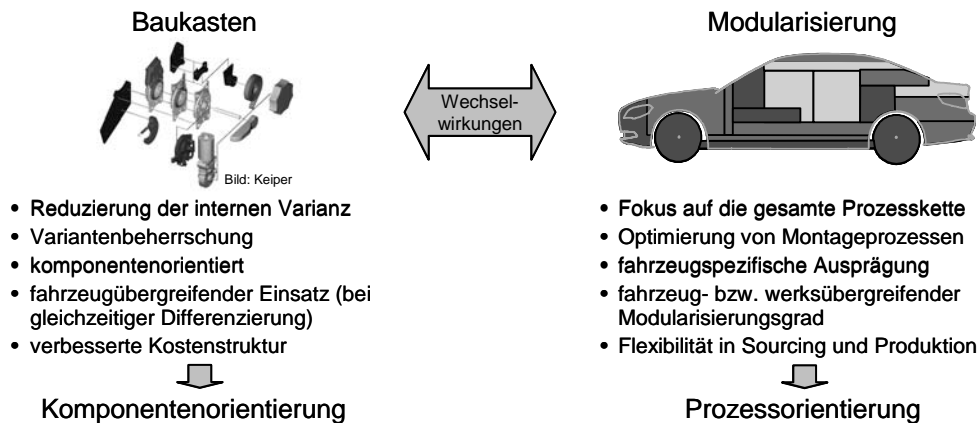


Abbildung 3-9: Abgrenzung und Wechselwirkungen zwischen Baukasten und Modularisierung

Die Modularisierung orientiert sich dabei eher an den gegebenen Rahmenbedingungen der Produktion (prozessorientiert), wohingegen ein Baukastensystem vielmehr am Produkt und seiner Struktur ausgerichtet wird (komponentenorientiert).

Generell lässt sich festhalten, dass Modularisierung

- eine Verlagerung der Komplexität in unabhängige Integrationsmodule bedeutet,
- eine Optimierung physischer und funktionaler Schnittstellen ermöglicht,
- die Betrachtung der Schnittstellen über die komplette Prozesskette erfordert,
- eine Flexibilitätsverbesserung im Sourcing und der Produktion bietet,
- eine Reduktion der Kosten ermöglicht und
- aufgrund der Wechselwirkungen eine Überprüfung der Organisationsstrukturen erfordert.

Module und Baukästen ergänzen sich und beinhalten sich unter Umständen gegenseitig. So kann das Gesamtmodul Cockpit aus einem Baukasten Lenksäule und Mittelkonsole bestehen. Weitere Beispiele für Module sind Cockpitmodule, Achsmodule, Türmodule etc. [SIEBERT 2003, S. 53f.].

LINDEMANN schreibt der Modularisierung folgende Potenziale³² zu:

- Erhöhung der Produktqualität, weil Modul- oder Systemlieferanten für die Qualität des gesamten Moduls verantwortlich sind.
- Verbesserte Wirtschaftlichkeit durch Vereinfachung der Montageoperationen.
- Erhöhte Funktionalität durch Integration von Einzelteilen und -funktionen.
- Die Reduzierung des Entwicklungs- und Koordinationsaufwandes durch Verlagerung der Systemverantwortung zum Modul- bzw. Systemlieferanten führt zu einer Produktivitätssteigerung [LINDEMANN 2004, Kap. 5, Fol. 36-39].

Demgegenüber stehen jedoch auch einige Nachteile. So entstehen beispielsweise durch das Outsourcing zu großen System- und Modullieferanten starke Abhängigkeiten. Kleine Änderungen im Package können die Umgestaltung kompletter Module erforderlich machen.

³² Eine ausführliche Übersicht über Chancen und Risiken der Modularisierung gibt GÖPFERT [1998, S. 112ff., S. 121].

Darüber hinaus muss im Reparaturfall meist das komplette Modul ausgewechselt werden, was hohe Kosten für den Kunden verursacht. Dennoch erscheint die Modularisierung aufgrund der überwiegenden Potenziale sinnvoll, vor allem in Kombination mit der Baukastenstrategie. Durch einfache und einheitliche Schnittstellen lassen sich die verschiedenen Module bequem im Sinne des Baukastens untereinander und mit unterschiedlichen Anpassbausteinen kombinieren.

3.2.4 Abgrenzung gegenüber Plattformen

In der Automobilindustrie spielt ferner das sogenannte *Plattform-Engineering* eine Rolle.

Definition

MEYER & LEHNERD definieren die Plattform als einen Satz von Subsystemen und Schnittstellen. Diese bilden eine gemeinsame Struktur, von der ausgehend Produkte abgeleitet würden [MEYER & LEHNERD 1997, S. 7, 39]. Nach MÜLLER ist eine Produktplattform ein Bündel gemeinsamer Elemente und Strukturen, das in mehreren Einzelprodukten eingesetzt wird und so eine gemeinsame Grundlage für eine bestimmte Anzahl von Produkten bildet. Ziel dabei sei, die Einzelprodukte schnell und kostengünstig entwickeln zu können [MÜLLER 2000, S. 59]. ROBERTSON & ULRICH sehen eine Plattform als Ansammlung von Werten, die durch einen Satz von Produkten gemeinsam genutzt werden. Diese Werte würden eingeteilt in die Kategorien Komponenten, Prozesse, Wissen sowie Menschen und Beziehungen [ROBERTSON & ULRICH 1998, S. 20]. Nach SCHUH & SCHWENK besteht eine Produktplattform aus der Zusammenfassung derjenigen Komponenten, Schnittstellen und Funktionen, die über eine ganze Produktfamilie vereinheitlicht und demnach zeitlich stabil sind (Abbildung 3-10) [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 87].

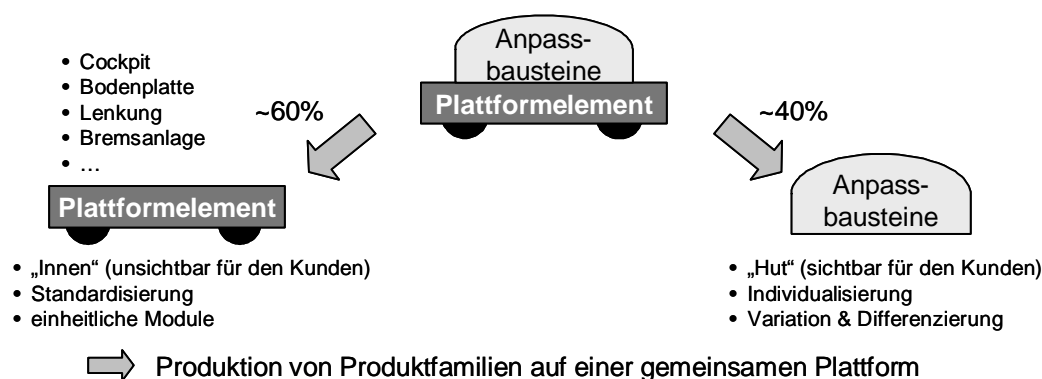


Abbildung 3-10: Die Plattformidee [nach ERDWIG & SCHNEIDER 2004, S. 20]

PILLER & WARINGER definieren die Produktplattform als ein Set von zusammengehörenden Komponenten oder Teilen, die eine gemeinsame Struktur bilden [PILLER & WARINGER 1999, S. 64ff.]. Auf dieser, für den Kunden meist nicht sichtbaren Basis, wird eine gewisse Anzahl unterschiedlicher Produkte entwickelt bzw. produziert. Analog zum Grundbaustein eines Baukastensystems bildet eine Plattform die Basis, die in allen Anwendungen identisch ist.

Das Plattformkonzept stellt nach PONN einen speziellen Anwendungsfall des Modularisierungsgedankens auf Produkt- oder Teileebene dar [PONN 2000, S. 42]. Dementsprechend ist die Plattformbauweise eine weitere Spezialform der Baukastenbauweise.

Als Merkmale einer Produktplattform nennt MÜLLER u. a. nachstehende Punkte:

- Produktplattformen sind ein wesentlicher Bestandteil einer gesamten Produktgeneration und bestimmen dadurch den Produktlebenszyklus.
- Produktplattformen erfordern eine umfassende Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Funktionsbereichen des Unternehmens.
- Produktplattformen benötigen eine lange Entwicklungszeit und einen hohen Initialaufwand.
- Produktplattformen erfordern einen bewussten strategischen Managemententscheid [MÜLLER 2000, S. 60].

PULM betont, dass sich Plattformkonzepte heutzutage nunmehr unter dem Begriff Baukasten finden. Der Plattformansatz sei häufig als Schlagwort missbraucht und äußerst ungenau dargestellt worden. Die strikte Trennung in Hut und Plattform scheint der Grund zu sein, warum die Ansätze zu einem eher allgemeinen Baukasten gehen [PULM 2004, S. 132].

Anwendung

Nach LEY ist die Struktur des Produktportfolios des Volkswagen-Konzerns mit den Marken Audi, Volkswagen, Seat und Skoda ein gutes Beispiel für ein Plattformkonzept [LEY 1999, S. 57]. Diese vier voneinander unabhängig vermarkteten Marken basieren auf nur vier Konzern-Plattformen (Abbildung 3-11), aus denen die jeweiligen Fahrzeugsegmente definiert werden und die auf der Kundenseite über eine entsprechende spezifische Ausstattungsvarianz verfügen.

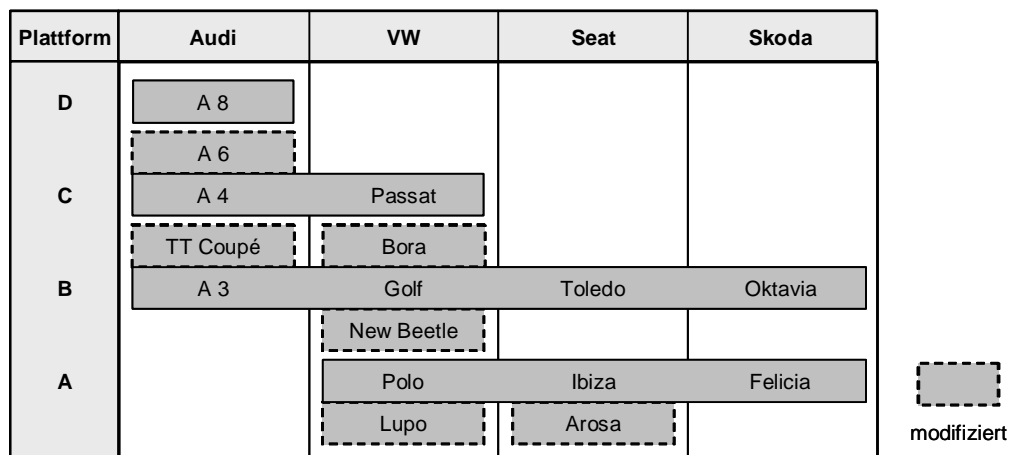


Abbildung 3-11: Plattformen des Volkswagen-Konzerns (Stand 1999) [PECQUET 2003, S. 21]

Beim Volkswagen-Konzern werden in einer Plattform im Wesentlichen die Bodengruppe, die Antriebsstränge sowie die Achsen zusammengefasst, was etwa 60 Prozent des Fahrzeugwertes ausmacht. Durch die Fertigung der Plattformbestandteile in großen Stückzahlen lässt sich hier eine hohe Kostendegression erzielen. Die Plattformen benötigen zwar relativ lange

Entwicklungszeiten, kommen dafür aber in verschiedenen Produktlinien über die gesamte Produktgeneration zum Einsatz. Dadurch war für den Volkswagen-Konzern innerhalb weniger Jahre eine Verdoppelung der Anzahl an Modellvarianten auf über 50 Stück unter effizientem Ressourceneinsatz in Entwicklung und Produktion möglich.

KRUSCHWITZ beschreibt eine Produktplattform als eine Einheit, die keinen Einfluss auf die Außenhaut des Fahrzeugs haben darf. Sie bestehe im Wesentlichen aus folgenden Modulen: Aggregate, Vorderachse, Lenkung, Schaltung, Fußhebelwerk, Hinterachse, Bremsanlage, Kraftstoffbehälter, Abgasanlage, Räder, Vorderwagen, Stirnwand, Mittelboden, Hinterwagen, Sitzgestelle, Verkabelung und Elektrik [KRUSCHWITZ 2000, S. 26ff.]. Abbildung 3-12 zeigt den Aufbau von Plattformen für das Fahrgestell und den Unterbau. Die dunkel gekennzeichneten Teile sind die Anpassungsbereiche. Sie werden bedingt durch das differenzierte Design der verschiedenen „Hüte“ auf der Plattform. Eine Plattform kann durch Aufsetzen von diesen sogenannten „Hüten“ zu verschiedenen eigenständigen Modellen mit eigenständiger Charakteristik komplettiert werden. Die Hüte beinhalten die Teile, die für den Kunden sichtbar und fühlbar sind.

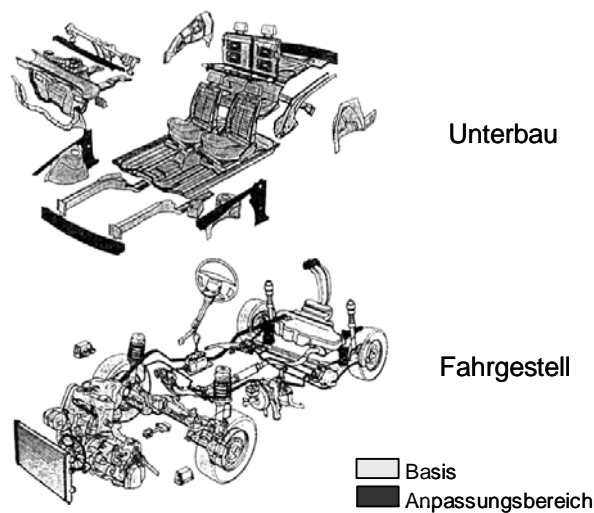


Abbildung 3-12: Plattform Fahrgestell und Unterbau [KRUSCHWITZ 2000, S. 27f.]

Eine zu enge Anlehnung der Modelle zueinander birgt nach MEFFERT jedoch stets die Gefahr einer starken Eigenkannibalisierung in sich. Vor diesem Hintergrund bewege sich das Management von Volkswagen in Zukunft im Spannungsfeld zwischen einer differenzierten Positionierung der Konzernmarken einerseits und einer größtmöglichen Synergienutzung andererseits [MEFFERT 2000, S. 1331f.]. Neuerdings geht Volkswagen weg von der starren Plattformstrategie hin zu flexiblen Plattformen, die Modulcharakter haben (vgl. Kapitel 3.2.3). Abbildung 3-13 stellt die realisierten Variationsmöglichkeiten unterschiedlicher Karosserien und Marken dar, die alle auf der Plattform PQ35 basieren.

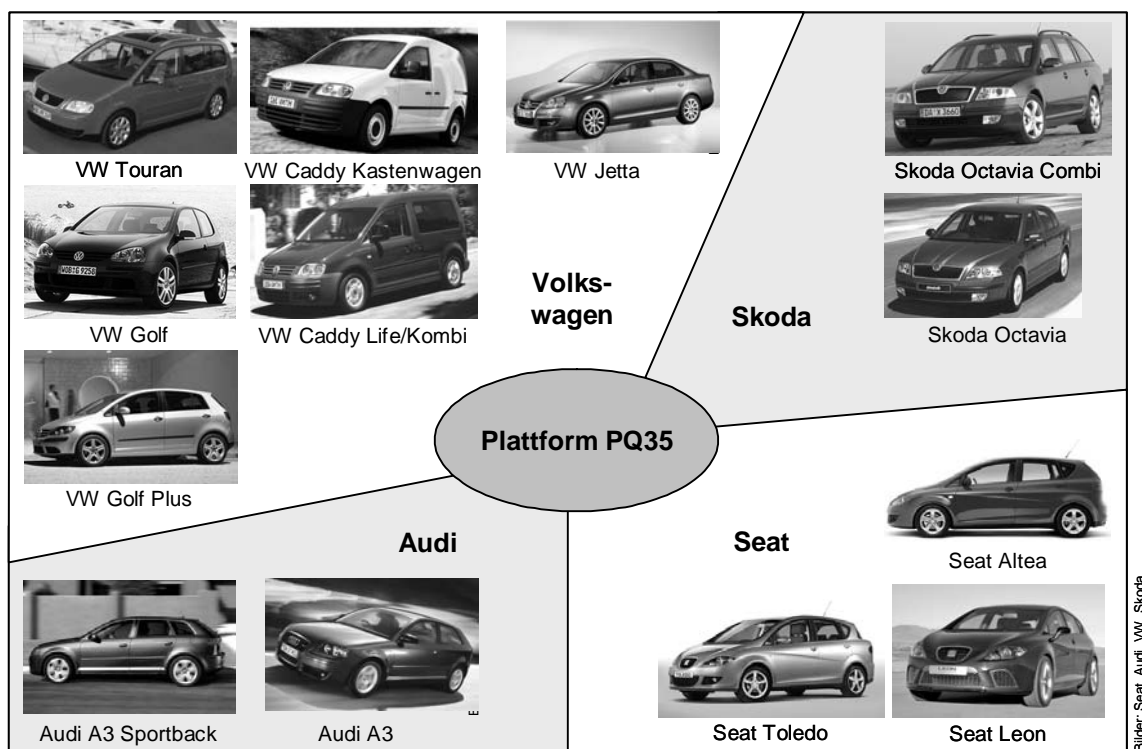


Abbildung 3-13: Konzernweite Plattform PQ35 von Volkswagen

Als weitere Beispiele erläutern u. a. LEMKE & SCHMIDT [1997, S. 390ff.] die Plattformzugehörigkeit des Seat Arosa, WINTERKORN & LACHMANN [1998, S. 772ff.] die des VW Lupo und HÄRDLE [1999, S. 372ff.] die des Audi TT-Roadster.

Vor- und Nachteile

Nach MÜLLER bieten Plattformen Vorteile durch die Unterstützung der Mehrfachverwendung von Konzepten, Teilen, Modulen und Strukturen. Dadurch tragen sie wesentlich zur Erschließung hoher Einsparpotenziale in Entwicklung, Einkauf, Produktion, Vertrieb sowie After Sales bei [MÜLLER 2000, S. 67]. Hierzu zählen beispielsweise die Verkürzung von Entwicklungszeiten sowie die Senkung von Entwicklungskosten aufgrund von Skaleneffekten [MÜLLER 2000, S. 109f.]. Laut ROBINET wird im Jahre 2008 Renault/Nissan die Plattform B mit 2.423.225 Einheiten in 17 Ländern produzieren. Volkswagen käme mit der in 12 Ländern produzierten Plattform PQ35 auf 2.140.295 Einheiten [ROBINET 2003, S. 49f.].

Der Einsatz von Plattformstrategien dient der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von Fahrzeugteilen, die nicht direkt vom Kunden wahrgenommen werden [WALLENTOWITZ ET AL. 2001, S. 38f.]. Nach MEINERS existiert der Trend zu Nischenfahrzeugen nur deshalb, weil die Hersteller gelernt haben, auf flexiblen Plattformen zu relativ niedrigen Kosten Derivate nachzuschieben [MEINERS 2003, S. 57]. Darüber hinaus erwähnen SCHUH & SCHWENK positiv die Entkopplung von Produkt- und Modullebenszyklus [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 87f.].

Jean-Martin Folz, Vorstandsvorsitzender von PSA Peugeot Citroën, gibt nach SCHWARZ die Einsparungen bei PSA Peugeot Citroën durch die konsequente Plattformstrategie im Jahre 2002 auf 540 Millionen Euro an. Für den Zeitraum von 2002 bis 2006 rechne er mit einem

zusätzlichen operativen Gewinn in Höhe von 800 Millionen Euro. Ziel sei es unter anderem, die Montagezeit gegenüber der Situation vor der Einführung der Plattformpolitik um 30 Prozent zu verringern. Über die Economy of Scale-Effekte hinaus sei die Möglichkeit gegeben, die besten Forschungs- und Entwicklungsstandards in breiten Produktpaletten umsetzen zu können [SCHWARZ 2003, S. 50]. Nach Aussage von Toyota würde das Modell Celica ohne Plattformstrategie ca. 20 Prozent teurer verkauft werden. Nach SCHWARZ beziffert der Entwicklungschef von Ford Europa, Derrick Kuzak, die Einsparungen durch die Plattformnutzung bei Ford auf ca. 150 Millionen Dollar pro Jahr, ohne die Synergieeffekte bei den Entwicklungskosten einzurechnen. Die Ausdehnung der Technologielebensdauer um vier auf 12 Jahre senke die Entwicklungskosten um fünf und die Herstellungskosten gar um 25 Prozent [SCHWARZ 2003, S. 49].

Als problematisch und nachteilig werden häufig der hohe Initialaufwand und die schwierige Rentabilitätsbestimmung genannt (vgl. MÜLLER [2000, S. 110f.]). Aufgrund der Starrheit des Plattformkonzeptes gestaltet sich in bestimmten Bereichen eine Differenzierung relativ schwierig. Dieser Effekt begünstigt nach NEFF ET AL. die Kannibalisierung von Produkten, die auf der gleichen Plattform basieren. Deshalb empfehlen sie eine Beschränkung der Plattformstrategien auf Volumenmarken [NEFF ET AL. 2001a, S. 379].

Diese Nachteile sind auch der Grund, dass der Trend zu flexiblen Plattformen mit Modulcharakter bzw. zu Baukästen hingeht³³. Da die Plattform nicht zu einem Fahrzeug-Einerlei führen darf, sprechen die Verantwortlichen heute lieber von gleichen Modulen, von der gleichen Architektur oder der Technologie der identischen Fahrzeugkomponenten [SCHWARZ 2003, S. 48ff.].

3.2.5 Abgrenzung gegenüber Baureihen

Der Begriff Baureihe wird in der Literatur weitgehend einheitlich verwendet. Nach SCHUH & SCHWENK zeichnen sich *Baureihen* durch gleiche Baumuster von Anbauteilen unterschiedlicher Größe aus. Baureihen werden besonders bei konstruktiv und planerisch aufwendigen Produkten wie z. B. Motoren, Turbinen und Aggregaten eingesetzt [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 81].

Nach PAHL & BEITZ stellen Baureihen einen Rationalisierungsansatz für Produktentwicklungen dar, bei denen *dieselbe* Funktion mit dem gleichen Lösungskonzept und möglichst gleichen Eigenschaften für einen breiteren Größenbereich zu erfüllen ist [PAHL & BEITZ 1997, S. 605]. Sie können von vornherein vorgesehen sein oder von einem bestehenden Produkt ausgehen, auch wenn dies zunächst mit der Zielsetzung einer Einzellösung entwickelt wurde. Bei einer Baureihenentwicklung ginge man von einer Baugröße der zu entwickelnden

³³ Nach ROBINET geht der Trend hin zu abweichenden Motor/Getriebekombinationen und unterschiedlichem Styling, ohne die Vorteile der gemeinsamen Plattform aufzugeben. So verfügen die Toyota Modelle Platz und Yaris trotz der gleichen Plattform über ein verschiedenartiges Styling und unterschiedliche Antriebseinheiten [ROBINET 2003, S. 48ff.].

Baureihe³⁴ aus und leite von dieser weitere Baugrößen nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten ab. Dabei werden der Ausgangsentwurf als Grundentwurf und die abgeleiteten Baugrößen als Folgeentwürfe bezeichnet. Darüber hinaus seien für die Entwicklung von Baureihen Ähnlichkeitsgesetze³⁵ zwingend und dezimalgeometrische Normzahlen zweckmäßig [PAHL & BEITZ 1997, S. 575f.].

Nach JESCHKE kann die Größenstufung auf geometrischen, mechanischen und physikalischen Ähnlichkeiten basieren. Ergänzend zu der Definition von PAHL & BEITZ bezeichnet JESCHKE technische Gebilde als Baureihe, sofern diese

- dieselbe Funktion
- mit der gleichen Lösung,
- in mehreren Größenstufen,
- bei möglichst gleicher Fertigung

in einem weiteren Anwendungsbereich erfüllen [JESCHKE 1997, S. 24f.]. Der letzte Punkt wird durch die von EHRENSPIEL erwähnte Verwendung möglichst gleicher Werkstoffe erleichtert bzw. erst ermöglicht [EHRENSPIEL 1995, S. 617]. Abbildung 3-14 zeigt eine Baureihe.

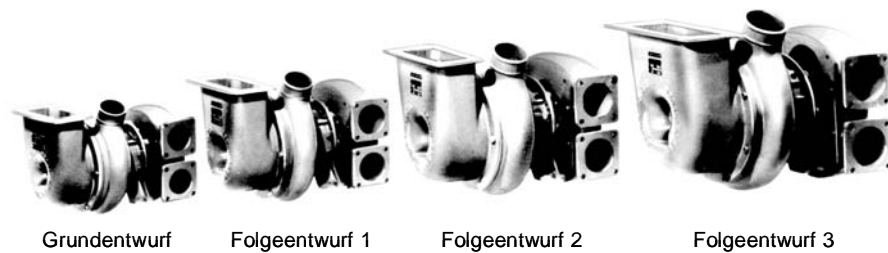


Abbildung 3-14: Baureihe am Beispiel Großpumpen [LINDEMANN 2005b, S. 5]

Als Vorteile für den Hersteller sehen PAHL & BEITZ, dass

- die konstruktive Arbeit für viele Anwendungsfälle lediglich einmal unter Ordnungsprinzipien geleistet werden müsse,
- durch Wiederholung bestimmter Losgrößen die Wirtschaftlichkeit gesteigert werde und
- eine hohe Qualität erreichbar sei³⁶.

Die hieraus für den Anwender entstehenden Vorteile seien

³⁴ Maschine, Baugruppe oder Einzelteil [PAHL & BEITZ 1997, S. 575].

³⁵ PAHL & BEITZ sprechen von Ähnlichkeit, wenn das Verhältnis mindestens einer physikalischen Größe beim Grund- und bei den Folgeentwürfen konstant bleibt. *Grundähnlichkeiten* stellen unter anderem geometrische, zeitliche, elektrische, Kraft- oder Temperaturähnlichkeiten dar. *Spezielle Ähnlichkeitsbeziehungen* können beispielsweise kinematisch, statisch, dynamisch sowie thermisch sein [PAHL & BEITZ 1997, S. 576f.].

³⁶ Analog zu Kapitel 3.1.4 entsteht die höhere Qualität aber nicht per se durch eine Baureihenkonstruktion. Umgekehrt wirkt sich ein Konstruktionsfehler bei einer Baureihenkonstruktion im Allgemeinen auf alle Größenstufungen aus. Eine etwaige Rückrufaktion betrifft demnach eine größere Stückzahl und hat somit auch eine massivere Auswirkung.

- ein preisgünstiges, qualitativ gutes Produkt mit
- kurzen Lieferzeiten und
- einer problemlosen Ersatzteilbeschaffung.

Nachteilig wirke sich für beide die eingeschränkte Größenwahl mit nicht immer optimalen Betriebseigenschaften aus [PAHL & BEITZ 1997, S. 575].

In der Automobilindustrie wird der Begriff Baureihe in einer abweichenden Bedeutung verwendet. Hier bestehen die zu einer Baureihe gehörenden Produkte in einem hohen Maße aus gleichen Teilen. Dies trifft beispielsweise auf *Fahrzeugbaureihen* sowie Motoren- und Getriebebaureihen zu. So besteht bei der BMW Group das klassische Produktportfolio aus der 1er-, 3er-, 5er-, 6er- und 7er-Reihe sowie der Z- und X-Familie³⁷. Der Unterschied zum obigen Baureihenbegriff ergibt sich nach OHL erst in den variierenden Größenverhältnissen innerhalb einer Baureihe, die im Allgemeinen in der Automobilindustrie nicht oder nur in Ausnahmefällen zu beobachten sind (z. B. Fahrzeugversionen mit verlängertem Radstand). Zusätzlich teile die Automobilindustrie ihre Produkte in *Unterbaureihen* auf, welche die Fahrzeugbaureihe mit einer bestimmten Karosserieform verbinde [OHL 2000, S. 30ff.]. Die BMW Group offeriert seinen Kunden beispielsweise die 3er-Reihe derzeit in den Karosserievarianten³⁸ Limousine, Touring, Coupé und Cabrio.

3.2.6 Abgrenzung gegenüber Variantenbauweise

In der Literatur werden die Begriffe Variantenbauweise und Variantenkonstruktion weitgehend übereinstimmend definiert und synonym verwendet.

PAHL & BEITZ sehen die Variantenkonstruktion als Variation von Größe und/oder Anordnung von Teilen und Baugruppen innerhalb von Grenzen vorausgedachter Systeme (z. B. Baureihen, Baukästen) [PAHL & BEITZ 1997, S. 5]. Nach JESCHKE werden in der Variantenkonstruktion im Zuge der Auftragsabwicklung Größe und/oder Anordnung von Teilen und Baugruppen bei gleichbleibender Funktion und Lösungsprinzip innerhalb von Grenzen vorausgedachter Systeme variiert [JESCHKE 1997, S. 29]. Demnach können die Baureihen- und Baukastenbauweisen als Sonderfall der Variantenkonstruktion gesehen werden. In diesem Zusammenhang stellt EHRENSPIEL heraus, dass die Häufigkeit der Variantenkonstruktion durch die konsequente Anwendung von Baureihen- und Baukastensystemen erhöht werden könnte [EHRENSPIEL 1995, S. 217].

BIEGERT versuchte eine Abgrenzung zur Baukastenbauweise, indem er der Variantenbauweise eine eindeutige Zuordnung von Teilevariante und Produktvariante zuspricht [BIEGERT 1971, S. 50f.]. Als abgrenzendes Kriterium zur Baukastenbauweise erkennt JESCHKE hier die fehlende Kombinierbarkeit verschiedener Bausteine oder Lösungsprinzipien. Eine klare Abgrenzung der beiden Begriffe werde zusätzlich durch die Praxis erschwert, dass Baukasten-

³⁷ Familie ist eine andere Bezeichnung für Baureihe.

³⁸ Die Karosserievariante Compact ist im Jahre 2004 ausgelaufen.

und Variantenbauweise miteinander kombiniert werden [JESCHKE 1997, S. 29]. Somit ist eine eindeutige Abgrenzung kaum möglich.

3.2.7 Zusammenfassung

Die hier aufgezeigten Bauweisen bzw. Produktstrategien geben einen Ausschnitt aus der Vielzahl möglicher Bauweisen wieder. Der gewünschte positive Beitrag zur Komplexitätsbeherrschung variiert je nach Einsatzzweck und Ausgangsvoraussetzungen.

Eine klare Trennung der unterschiedlichen Bauweisen ist teilweise nicht möglich, da diese sich vielmehr gegenseitig ergänzen. Das Baukastensystem stellt sich als die flexibelste Möglichkeit zur kostengünstigen Darstellung einer geforderten Varianz heraus, was Erfahrungen aus der Praxis bestätigen.

3.3 Verschiedene Baukastenansätze in der Praxis

In der Praxis werden Baukästen bereits in unterschiedlichsten Einsatzbereichen eingesetzt.

Beispielsweise existieren sogenannte Web- oder Homepage-Baukästen³⁹, die es dem Nutzer ermöglichen, eine Internetseite durch das Zusammensetzen von bereits vordefinierten Bausteinen⁴⁰ ohne grundlegende Vorkenntnisse auf dem Gebiet der html-Programmierung zu realisieren. Auch Fahrradbaukästen zählen zu den Anwenderbaukästen (vgl. Kapitel 3.1.2.3). Sie ermöglichen es dem Kunden, sein Fahrrad individuell zusammenzustellen. Als Unterstützung finden sich sogar Konfiguratoren im Internet⁴¹. Analog dazu lassen sich auch Computersysteme⁴² vom Kunden beinahe beliebig zusammenstellen.

Die interessanteren Anwendungen finden sich aber sicherlich im Bereich technischer Produkte mit höherer Komplexität. In der Literatur gibt es zahlreiche Beispiele für den Einsatz auf diesem Gebiet. Hierbei sind unter anderem die Bereiche Nutzfahrzeuge, Schienenfahrzeuge, Landtechnik sowie der Automobilbau aufzuführen. Nachfolgend wird ein kurzer Überblick gegeben.

3.3.1 Nutzfahrzeuge

Im Bereich Nutzfahrzeuge sind zahlreiche Baukastensysteme umgesetzt worden. BALK & OEHLSCHLAEGER [1999, S. 25-50] beschreiben den Ansatz der Firma Volkswagen Nutzfahrzeuge mittels der Plattformentwicklung. Eine detailliertere Betrachtung geben PAPE ET AL.

³⁹ vgl. z. B. WEBBAUKASTEN [2006], www.strato.de etc.

⁴⁰ Bausteine stellen in diesem Zusammenhang fertige Layouts, Gästebücher, Besucherzähler etc. dar.

⁴¹ vgl. www.maxx.de

⁴² vgl. www.dell.de

[2001, S. 201-233] mit der Darstellung der Entwicklung der leichten Nutzfahrzeuge auf Basis der Plattform des Transporters T5.

Der Systemlieferant ZF Passau GmbH hat eine Niederflur-Einzelradaufhängung als Baukastensystem für Stadt- und Reisebusse entwickelt. EICKHOFF & WIMMER gehen auf das Vorgehen bei dieser Entwicklung ein und zeigen den Baukastenansatz auf. Demnach konnte die Hälfte der notwendigen Variantenzahl eingespart werden, um die gewünschte Anzahl an unterschiedlichen Achsen abzubilden [EICKHOFF & WIMMER 2003, S. 195-215].

HAMSTEN & STANGL [1997, S. 404-413] erläutern das Modulkonzept des Kombibusses des Herstellers Setra, welches einem Baukasten entspricht. Die Realisation des Fahrerhauses der MAN Nutzfahrzeugbaureihe TG-A als Baukastensystem stellen KNECHT & LINGNAU [2000, S. 95-114] dar, was nachfolgend exemplarisch ausgeführt wird.

Fahrerhaus der Firma MAN

Für die Umsetzung des NFG (Neue Fahrzeug Generation)-Komplettfahrerhauses wurde ein modulares Typenkonzept entwickelt, das einen Gesamtbaukasten mit folgenden Variationen beinhaltet (Abbildung 3-15):

- XXL: ebenes Bodenblech, Motorhaubenhöhe 100 mm und hohe, bis in den Dachbereich gezogene Windschutzscheibe, Sandwich-Hochdach.
- XL: identisches Fahrerhaus wie XXL, jedoch mit niedrigem Blechdach, zweischalig, eigenem Windlauf und normal hoher Scheibe.
- LX: gekröpftes Bodenblech, Motorhaubenhöhe 260 mm, normal hohe Windschutzscheibe und Sandwich-Hochdach.
- L: identisch LX, jedoch mit niedrigem Blechdach.
- M: verkürzte Bodengruppe vom Typ L/LX mit verkürzten Seitenwänden und eigenem Blechdach.

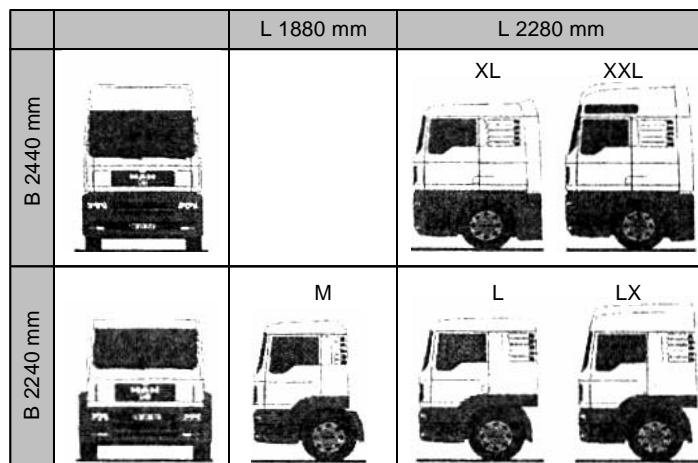


Abbildung 3-15: Fahrerhaus-Typen der NFG von MAN [KNECHT & LINGNAU 2000, S. 102]

Sämtliche Fahrerhäuser lassen sich aus folgenden sechs Hauptkomponenten zusammensetzen:

- Boden (Motorhaube, Bodenbleche links und rechts, Sitzquerträger),

- Vorderwand (Stirnwand, Windlauf),
- Rückwand (Rückwand außen, Rückwand innen, Rückwand Querträger),
- Seitenwand links und rechts (Seitenwand innen, Seitenwand außen) sowie
- Dach (Dach innen, Dach außen bzw. Hochdächer).

Zur Differenzierung dienen folgende unterschiedliche Varianten der Hauptkomponenten (Abbildung 3-16):

- Boden in vier Varianten mit Unterschiedsteilen (Motorhaube 2 x, Bodenbleche 3 Sätze, Stirnwand 2 x, Windlauf 3 x),
- Vorderwand in drei Varianten (Stirnwand 2 x, Windlauf 3 x),
- Rückwand in zwei Varianten,
- Seitenwand in drei Varianten (Seitenwand innen 3 Sätze, Seitenwand außen 3 Sätze),
- Dach in fünf Varianten (Blehdach 3 x, Hochdach 2 x).

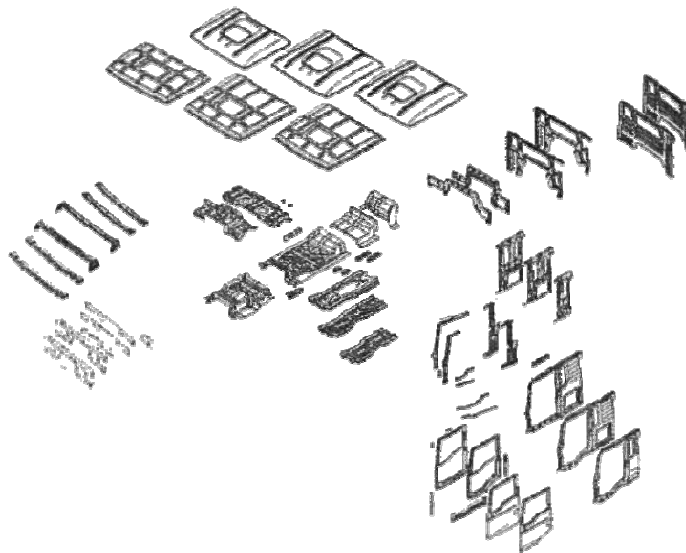


Abbildung 3-16: Baukasten Fahrerhaus-Typen der NFG von MAN [KNECHT & LINGNAU 2000, S. 104]

Auf Basis dieses umfassenden Gleichteileeinsatzes können mittels Kombinatorik der Hauptkomponenten fünf verschiedene Fahrerhaus-Typen dargestellt werden.

3.3.2 Schienenfahrzeuge

Aufgrund der geringen Stückzahlen, der heterogenen Kundenstrukturen und -anforderungen sowie des erhöhten Preisdrucks ist der Schienenfahrzeugbau prädestiniert für den Einsatz von Baukastensystemen. SCHMIDT [2002] beschäftigt sich mit dem Variantenmanagement und der Prozessoptimierung im Wagenkastenbau. METZGER ET AL. [2002, S. 13-28], FROHMÜLLER ET AL. [2002] und KARCH [2002, S. 55-63] zeigen die modularen Fahrzeugplattformen zur Entwicklung von Schienenfahrzeugen auf. Insbesondere geht KARCH hierzu auf die Einteilung der Plattformen DESIRO (Regionalverkehr) und VENTURIO (Fernverkehr) ein.

Analog dazu erläutern FROHMÜLLER ET AL. die Plattformbildung für das Segment der Straßenbahnfahrzeuge. Beide Beispiele werden im Folgenden kurz erläutert.

Fern- und Regionalverkehr

Das Produktspektrum des Geschäftsgebiets Trains der Siemens Transportation Systems umfasst nach KARCH modular aufgebaute Fahrzeugfamilien auf Basis von Plattformen für alle Neubestellungen und modifizierten Produkte auf Basis bereits bewährter Fahrzeuge. Damit gelingt eine vollständige Abdeckung des Markts für Schienenfahrzeuge im Personenverkehr (Abbildung 3-17). Alle Anforderungen bezüglich der Reiseentfernung sowie die daraus resultierenden maximalen Fahrgeschwindigkeiten können durch das vorhandene Produktspektrum lückenlos bedient werden [KARCH 2002, S. 55ff.].

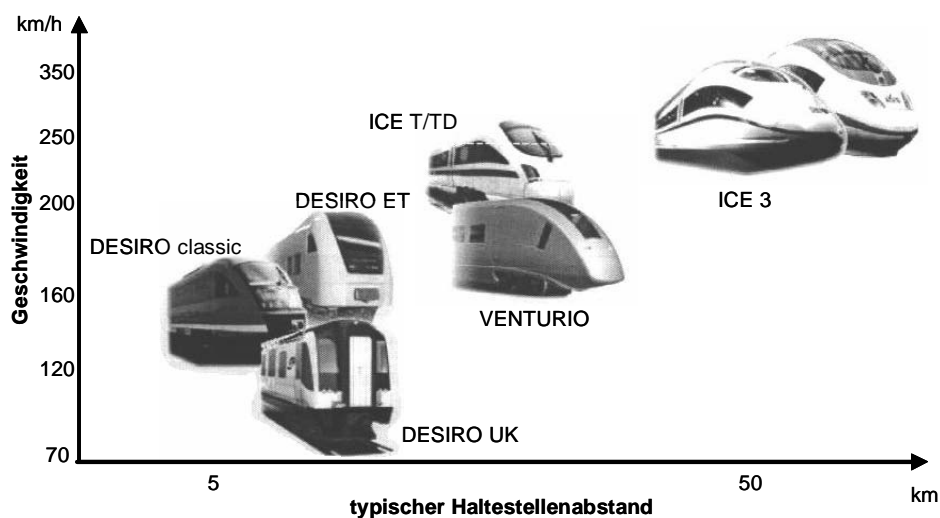


Abbildung 3-17: Produktspektrum des Geschäftsgebiets Trains von Siemens [KARCH 2002, S. 55ff.]

Hierbei werden dem Kunden beispielsweise bei den DESIRO-Zügen u. a. folgende Variationsmöglichkeiten angeboten:

- Höhe des Fußbodens (800 mm beim ET oder 1157 mm beim UK),
- unterschiedliche Innenausstattungen innerhalb bestimmter Grenzen,
- Länge der Waggonkästen (20 m oder 23 m),
- Einzelwagen oder Gliederzugprinzip.

Nahverkehr

Bei der Niederflur-Tram AVANTO findet die Standardisierung auf unterschiedlichen Stufen statt. Die oberste Stufe wird durch die Fahrzeuggrundelemente repräsentiert, welche durch die nächste Standardisierungsstufe, die Baugruppen, gebildet werden. Die dritte Stufe besteht aus Bauteilen, die unterste Stufe sind Verbindungselemente. Auch die zur Entwicklung erforderlichen Tools können als eigene Stufe verstanden werden.

Die nötige Flexibilität der Fahrzeuge wird durch eine Modularisierung sichergestellt. Mit nur vier Grundelementen werden alle Fahrzeuge dargestellt. Innerhalb der gewählten Standards sind geschlossene Funktionseinheiten in Varianten definiert und untereinander kombinierbar.

Die Menge aller denkbaren Kombinationen ist dabei bewusst auf eine beschränkte Anzahl sinnvoller Varianten reduziert worden, welche jedoch die gestellten Ansprüche weitgehend komplett abdecken. Beispielsweise sind mögliche Längen und Breiten des Mittelmoduls vordefiniert. Über die standardmäßig vorgegebenen Varianten hinaus erlaubt das Konzept auch bewusst die Realisierung vordefinierter Optionen und ein gewisses „Customizing“ zur Erstellung eines individuellen Kundenfahrzeugs (Abbildung 3-18).

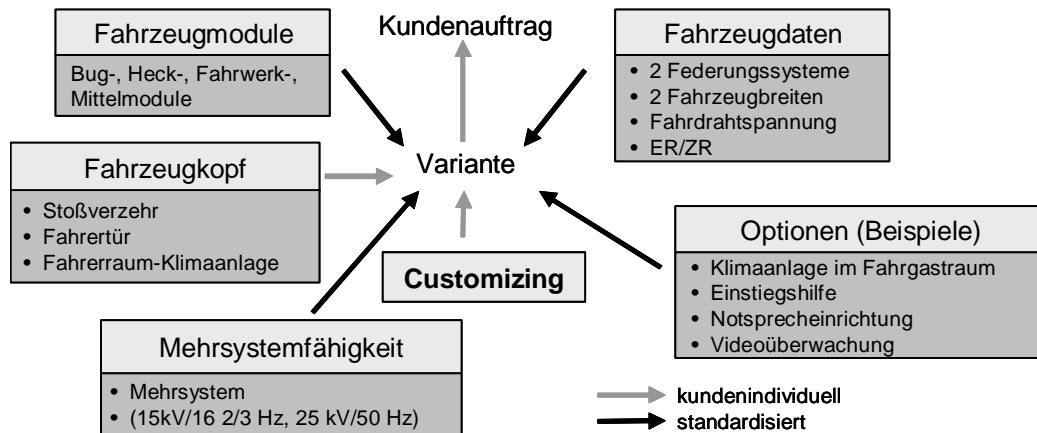


Abbildung 3-18: Baukasten AVANTO [nach FROHMÜLLER ET AL. 2002, S. 71]

Dieser Aufbau des Baukastensystems lässt sich in die Teilbereiche Fahrzeugmodule, Fahrzeugdaten, Fahrzeugköpfe, Mehrsystemfähigkeit und Optionen gliedern und ermöglicht in gewissen Grenzen ein Customizing.

3.3.3 Landtechnik

Zur Variantenbeherrschung im Traktorenbau beschreibt WELSCHOF [1974, S. 6ff.] bereits 1974 erstmalig das Familienprinzip als Ansatz. RENIUS [1999, S. 115-184] greift diesen Ansatz auf und verfeinert ihn durch die Einteilung in Technologiestufen mit jeweils sieben unterschiedlichen Komponenten (Abbildung 3-19) [EHRENSPIEL ET AL. 2003, S. 359].

Technologie- stufe	Komponenten							
	Leistung	1 Fahrwerk	2 Dieselmotor	3 Getriebe	4 Zapfwelle	5 Hydraulik	6 Kabine	7 Elektronik
	klein mittel (40-60 kW) groß	nur Hinterradtrieb Allradtrieb opt. Allradtrieb stand.	1 Zylinder 2 Zylinder 3 Zylinder 4 Zylinder 6 Zylinder	sehr einfach einfach Teillastschaltung Vollastschaltung stufenlos	540/min 540 und 1000/min 3 oder 4 Drehzahlen	Heck-Kraftth. (KH) Remote Control Heck- und Front-KH Load Sensing	keine Kabine USV/Einfachkabine Komfortkabine	nicht vorhanden etwas vorhanden sehr bedeutend
I	X	X	X X X	X	X	X	X	X
II	X X	X	X X X X	X	X	X X	X (X)	X (X)
III	X (X)	(X) X	X X X	X	(X) X	X X X	X (X)	X (X)
IV	X X	X	(X) X X	X X	X	X X X X	X	X
V	X X	X	X X	X	X	X X X X	X	X

Abbildung 3-19: Baukastenprinzip bei Traktoren [EHRENSPIEL ET AL. 2003, S. 360]

Diese Stufen repräsentieren das typische wirtschaftliche Niveau der entsprechenden Absatzmärkte. In Entwicklungsländern sind vorwiegend die Stufen I und II, in den Industrieländern die Stufen III, IV und V vertreten. Jede Stufe hat dabei eine typische Leistungsbandbreite (klein, mittel, groß). Weitere Unterschiede zwischen den Technologiestufen ergeben sich bei den sieben Traktorkomponenten Fahrwerk, Dieselmotor, Getriebe, Zapfwelle(n), Hydraulik, Kabine und Elektronik.

Seit Jahrzehnten werden Standardtraktoren in Baukastenbauweisen entwickelt⁴³. Eine westeuropäische Produktlinie besteht beispielsweise aus mindestens vier Traktorenfamilien mit einem möglichst hohen Anteil an Gleichteilen [RENIUS & MÖLLE 2002, S. 885]. Dies sei nachfolgend am Beispiel der Firma Fendt erläutert.

Traktoren der Firma Fendt

Auch das Produktprogramm der Firma Fendt setzt sich branchenüblich aus Produktfamilien zusammen (Abbildung 3-20).

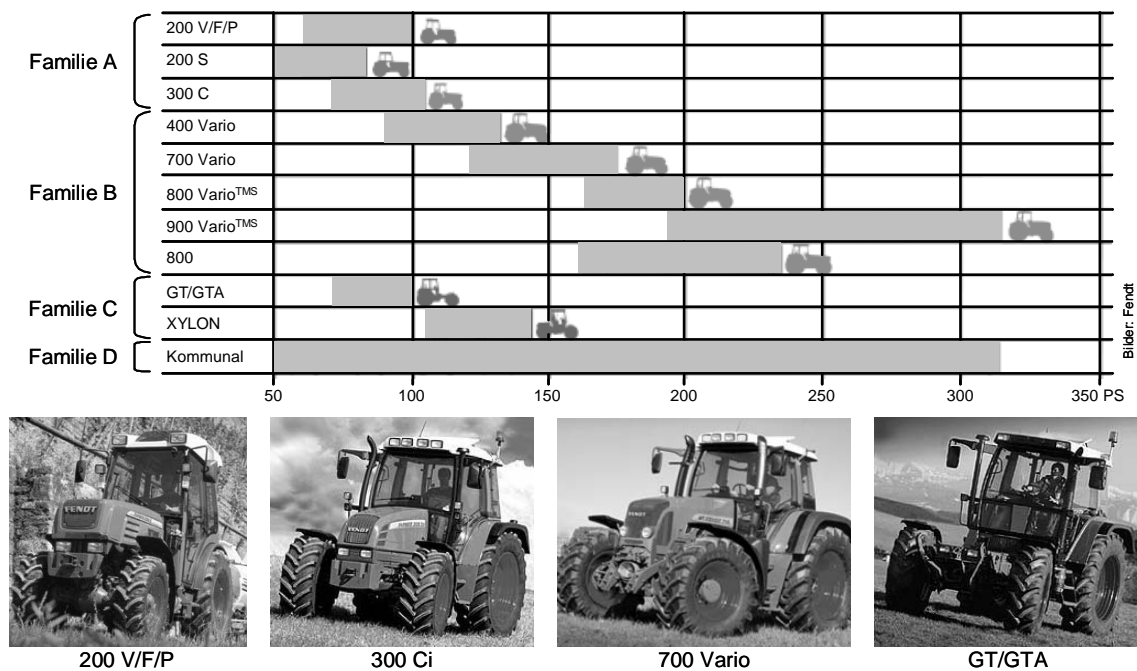


Abbildung 3-20: Produktprogramm der Firma Fendt (Stand 2003) [PECQUET 2003, S. 46]

Es besteht aus vier Familien mit insgesamt elf verschiedenen Baureihen und deckt damit ein Leistungsspektrum von 50-310 PS ab. Unterschiede⁴⁴ zwischen Familien bestehen beim Motor (Zylinderzahl, Hubraum, Getriebe), in der Bauform (Schmalspur, Standard, Trac-Konzept), den Achsen (Front-, Heck-, Allradantrieb), dem Funktions- sowie dem Leistungsumfang. Zur Veranschaulichung sind Vertreter einiger Baureihen mit abgebildet.

⁴³ vgl. u. a. JENKINS [1997], WELSCHOF [1974, S. 6ff.], RENIUS [2002, S. 87ff.], EHRENSPIEL ET AL. [2003, S. 359]

⁴⁴ Innovationen in diesen Bereichen werden im Allgemeinen Top-down eingeführt, beginnend mit dem größten bzw. teuersten Modell.

Mähdrescher der Firma Case/New Holland

VOSS & BAUCH [2000, S. 51-56] gehen näher auf die Baukastenansätze bei Mähdreschern ein und zeigen die technische Verwandtheit vier unterschiedlicher Mähdreschertypen auf.

Die neue Cross-Flow-Baureihe von Case/New Holland umfasst vier Mähdreschertypen, die in ihrer Leistungsfähigkeit gestaffelt sind, aber eine hohe technische Vereinheitlichung besitzen [VOSS & BAUCH 2000, S. 51f.]. Ihre jeweils spezifischen Dreschwerke sind Modifikationen einer einzigen Basisvariante.

Ziel der Entwicklung war ein neues Dreschwerk, mit dem ein Leistungsbereich von 30 t/h (Korn) sicher abgedeckt werden kann. Zu den Randbedingungen gehörte unter anderem die Forderung nach einer Leistungssteigerung ohne Vergrößerung des bisher benötigten Bau- raumes. Der Raum, in dem die Entkörnung der Fruchtstände und die Abscheidung der Körner aus dem Stroh erfolgt, sollte dazu intensiver genutzt werden.

Abbildung 3-21 beschreibt die vier neuen Mähdreschertypen und zeigt den zugehörigen Morphologischen Kasten, aus dem durch Kombination der Merkmale die verschiedenen Typen entstehen.

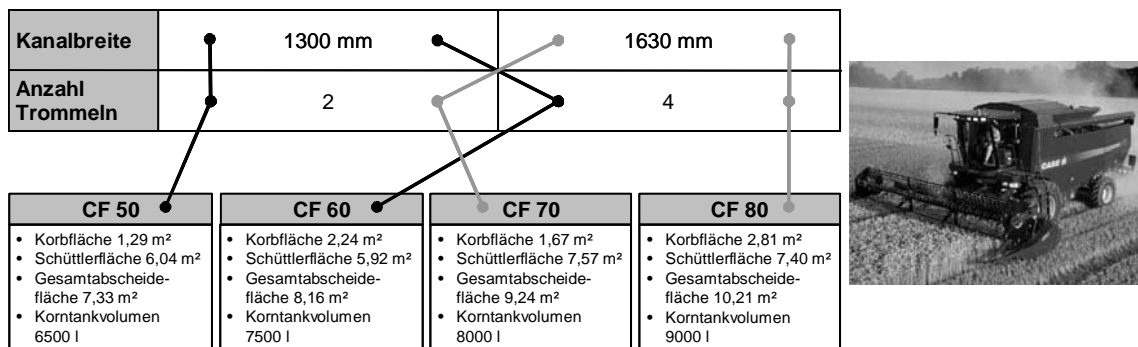


Abbildung 3-21: Mähdrescher-Baukasten der neuen Cross-Flow-Baureihe [nach VOSS & BAUCH 2000, S. 56]

Das Ergebnis ist eine Typenreihe, die mit nur zwei variablen Ausprägungen vier Fahrzeugvarianten ermöglicht. Damit wird sie den unterschiedlichen Einsatzbedingungen gerecht und deckt die gefragten Leistungsbereiche ab.

3.3.4 Automobilbereich

Im Automobilbereich wird mittlerweile eine Vielzahl unterschiedlicher Baukasteneinsätze eingesetzt, unter anderem bei mehreren Fahrzeugen der Firma Porsche AG. HEES [1997, S. 1ff.] beschreibt den Baukasten- und Gleichteileansatz des Porsche Boxster und GUTZMER [1998] die Synergien zwischen den Fahrzeugen Boxster und 911. RANFT ET AL. [2002, S. 121ff.] erläutern den Ansatz beim Porsche 911 Targa, der auf dem Porsche 911 Coupé basiert.

Mit der Umsetzung bei der Firma Volkswagen AG beschäftigen sich ebenfalls mehrere Autoren. LEY [1999, S. 57] erklärt die Konzernplattform allgemeiner, hingegen zeigen

KRUSCHWITZ [2000, S. 26ff.], LEMKE & SCHMIDT [1997, S. 393f.], WINTERKORN & LACHMANN [1998, S. 772-794] und HÄRDLE [1999, S. 372-383] detailliert die Ausprägungen der Produktplattformen auf.

Auch der Fahrzeughersteller Adam Opel AG setzt Baukästen ein. Die gesamtfahrzeugtechnische Umsetzung beschreiben LÜDTKE & WANKE [2002, S. 19-29] am Opel Combo.

CLAAR [2001, S. 14ff.] verdeutlicht den Baukastenansatz bei der C-Klasse (W203) von DaimlerChrysler. In diesem Zusammenhang sprechen ERNSTBERGER ET AL. [2000, S. 508-515] vom Modulkonzept. GOPPELT [1999, S. 415f.] erwähnt das Konzept der Firma Smart.

DaimlerChrysler AG

Auch der Fahrzeughersteller DaimlerChrysler setzt verstärkt auf die Baukastentechnik. Mit der Einführung der C-Klasse (W203) wurde ein Fahrzeug auf den Markt gebracht, bei dem mithilfe eines Modulsystems verschiedene Modellderivate (Limousine, T-Modell, Sportcoupé) besonders kostengünstig abgebildet werden können und die Entwicklung parallel verlief (vgl. CLAAR & SZARGOT [2000, S. 506]) (Abbildung 3-22).



Abbildung 3-22: Modellprogramm der C-Klasse (Typ W203) [nach CLAAR 2001, S. 18]

Die Basis des Modulkonzeptes wird nach ERNSTBERGER ET AL. vom einheitlichen Vorbau und der identischen Bodenstruktur gebildet. Dieses Konzept gewährleiste neben einer Reduzierung der Variantenvielfalt im Rohbau eine ähnliche Festigkeit und Unfallsicherheit aller Derivate sowie identische produktionstechnische Voraussetzungen in diesem Bereich. Der Gleichteileumfang werde vom Hauptboden, dem Heckboden, der Stirnwand mit Windschutzquerträger, den vorderen Längsträgern, den Radeinbauten und dem Integralträger gebildet (Abbildung 3-23). Durch Anpassbauteile werden die unterschiedlichen Karosserievarianten mit ihren spezifischen Fahrzeuglängen realisiert. Die Front- und Heckmodule werden durch hochfeste Verschraubungen mit dem übrigen Karosseriegerippe verbunden [ERNSTBERGER ET AL. 2000, S. 508f.].

Das Sportcoupé fällt bei gleicher Breite und gleichem Radstand kürzer und niedriger aus als die Limousine. Diese abweichende Form erfordert eine vollständige Neukonstruktion aller äußeren Beplankungsteile, einschließlich Türen, Motorhaube, Stoßfängerverkleidungen, Scheinwerfer, Rückleuchten und Scheiben [CLAAR 2001, S. 14ff.].

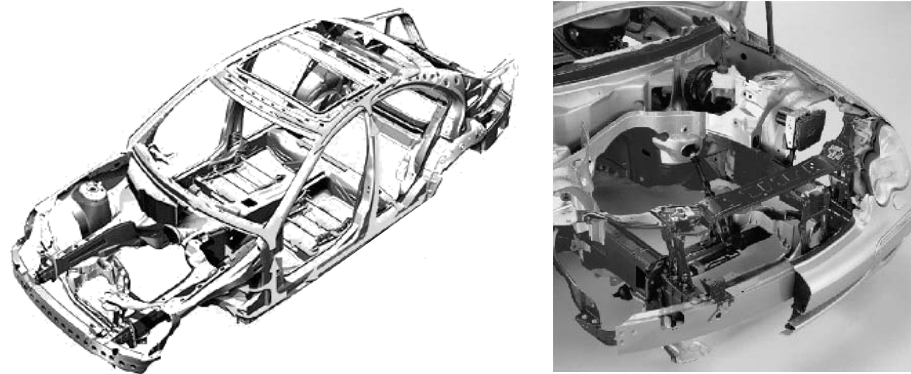


Abbildung 3-23: Vordermodul der Rohkarosserie der C-Klasse [nach ERNSTBERGER ET AL. 2000, S. 508ff.]

Als Ergebnis dieser Entwicklung nennen ERNSTBERGER ET AL. eine erfolgreiche Reduzierung von mehreren tausend Rohbauvarianten beim Vorgängermodell auf lediglich vier [ERNSTBERGER ET AL. 2000, S. 509].

Audi AG

Der Vorstandsvorsitzende der Audi AG, Martin Winterkorn, betont, dass „auch wir unsere Kosten reduzieren und die Produktivität steigern“ müssen. Ein neues Baukastensystem bringe bereits deutliche Effekte [KUNTZ 2006, S. 22].

Nach PRIEMER findet derzeit der Übergang zu diesem großen modularen Baukasten statt, auf dem künftig alle Modelle von A4 bis A8 basieren werden. Auch wenn der Weg risikoreich ist, sei nach Winterkorn der neue Baukasten „das Intelligenteste, was Audi je gemacht“ habe [PRIEMER 2006a, S. 16f.]. Die neue Strategie hat weitreichende Folgen für das Unternehmen. Die schlankere Struktur in der Produktion spart Kosten und beschleunigt die Fertigung um bis zu 40 Prozent [PRIEMER 2006a, S. 18].

Gerade für den Automobilssektor treffen spezielle Randbedingungen im Zusammenhang mit Baukastenansätzen zu.

3.4 Besonderheiten des Baukastens im Automobilbereich

Bei den im vorherigen Kapitel 3.3.4 erwähnten Beispielen zur Umsetzung von Baukastensystemen im Automobilbereich gibt es signifikant unterschiedliche Rahmenbedingungen gegenüber anderen Branchen.

Was ist beim Automobil anders?

Bei Schienen-, Nutz- oder landwirtschaftlichen Fahrzeugen stehen primär die technischen Daten und die zu erfüllende Funktion im Vordergrund. Darüber hinaus ist die Notwendigkeit zur Erzielung von Skaleneffekten aufgrund der geringeren Stückzahlen im Vergleich zur Automobilindustrie deutlich größer. Im Gegensatz dazu sind beim Personenkraftfahrzeug viele zusätzliche Faktoren von großer Bedeutung. Mitunter zählt hierzu die beim Käufer zu

weckende Emotion, die sich beispielsweise durch ein unterschiedliches und/oder ansprechendes Design beeinflussen lässt. Während es bei einem Gabelstapler in der Regel weniger wichtig ist, ob er einem anderen gleicht, sollten sich Autos allein optisch bereits unterscheiden. Bei landwirtschaftlichen Fahrzeugen herrscht die Gestaltung nach dem Motto „form follows function“ vor, was für Automobile seltener gilt. So unterscheidet sich ein Coupé etwa durch die weiter nach hinten gelegte und tiefere Sitzposition sowie die niedrigere Dachlinie von einer Limousine, um dem Fahrer einen coupétypischen Eindruck zu vermitteln.

Von der Differenzierung ist aber nicht nur das Design betroffen. Beispielshalber muss sich ein Oberklassefahrzeug von der Mittelklasse in den angebotenen Funktionen, der Ausstattung, der Motorisierung und dem Komfort klar abgrenzen. Dieser Druck, Automobile innerhalb des eigenen Produktportfolios sowie gegenüber Wettbewerbern zu differenzieren, entsteht nicht zuletzt aufgrund der weitaus schärferen Konkurrenzsituation im Vergleich zu anderen Branchen.

Des Weiteren wirken sich baukastenartige Charakteristika unterschiedlich aus. Wegen der bereits erwähnten Stückzahlunterschiede ist im Automobilbereich eine baukastenbedingte Übererfüllung von Anforderungen nicht wirtschaftlich. Bei Stückzahlen von zigtausend bis mehreren Millionen addieren sich bereits geringe Mehrkosten zu einer großen Summe. Somit lohnt es sich, bei einer automobilen Massenfertigung spezifische, kostengünstigere Lösungen zu entwickeln.

Schließlich bringt die stark unterschiedliche Gesetzeslage (Crash, Fußgängerschutz, Emissionsvorschriften etc.) bei weltweit angebotenen Automobilen zahlreiche Varianten hervor.

Unterschiede zwischen Premium- und Massenhersteller

Außerdem gibt es auch innerhalb der Automobilindustrie Unterschiede. Für Premiumhersteller (BMW, Audi, Mercedes, Porsche) gelten andere bzw. verschärfte Rahmenbedingungen als für Massenhersteller (VW, Opel, Renault etc.).

Hierzu zählen vor allem Emotionen, Prestige und Image. So muss ein Premiumhersteller die Authentizität der einzelnen Fahrzeuge, der verwendeten Materialien etc. sicherstellen. Zudem fordert der Kunde eines hochpreisigen Fahrzeugs auch einen erkennbaren Mehrwert für den Mehrpreis. Dem Kundenwunsch nach Perfektion läuft eine baukastenbedingte Funktionsuntererfüllung zuwider.

Als Premiumanbieter erreicht die BMW Group eine Differenzierung zum Kernwettbewerb unter anderem durch einen sehr hohen Individualisierungsgrad. Laut BMW Produktionsvorstand, Dr. Norbert Reithofer, liegt der hohe Erfolg des 3er BMW vor allem an seinen dynamischen Eigenschaften, der Variantenvielfalt und der Vielzahl individueller Ausstattungsmöglichkeiten. Von drei Millionen produzierten 3er gleicht fast kein Fahrzeug einem anderen [BMW GROUP 2004].

Zusätzlich zeichnen sich Premiumhersteller durch ihre hohe Innovationsfähigkeit aus. Nach Prof. h. c. Dr.-Ing. Burkhard Göschel, Entwicklungsvorstand der BMW Group, müsse BMW die Position als Premiummarken-Hersteller mit einer Vielzahl von Innovationen hinterlegen

[KLINGENMAYER 2006, S. 11]. Die Kunden erwarten von Premiummarken eigenständige Technologien in den Bereichen Antrieb und Ausstattung, um den Mehrpreis zu rechtfertigen [ROBINET 2003, S. 48]. Diese Innovationen dienen gleichzeitig zur gezielten Differenzierung.

Zusammenfassung

Da sich in unterschiedlichen Branchen die Rahmenbedingungen für den Einsatz von Baukästen unterscheiden, können die Ansätze nicht eins zu eins übernommen werden. Hierzu ist ein individuelles Vorgehen notwendig.

Zwar erscheint der Einsatz bei Premiumherstellern aufgrund der höheren Rendite nicht so dringlich, ist aber wegen der geringeren Stückzahl gegenüber Massenherstellern wiederum geboten. Darüber hinaus unterstützt die Baukastenbauweise beispielsweise eine schnellere Durchdringung des Produktportfolios mit Innovationen.

Wegen der strengeren Anforderungen der Kunden müssen gerade bei Premiumherstellern Baukastenansätze mit Bedacht ausgewählt und umgesetzt werden.

3.5 Zusammenfassung

Gerade bei Produkten mit hoher Variantenvielfalt empfiehlt sich der Einsatz von Baukastensystemen (Abbildung 3-24). Dadurch lassen sich sowohl die interne Vielfalt als auch die Komplexität effektiv reduzieren und beherrschen, bei gleichzeitiger Darstellung einer bestimmten externen Vielfalt.

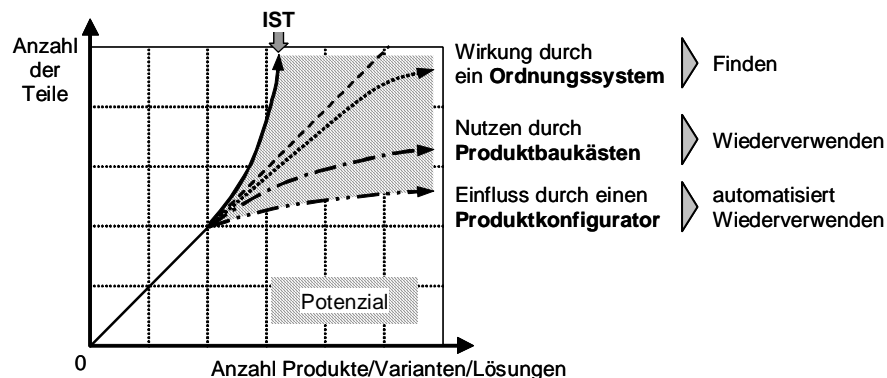


Abbildung 3-24: Hilfsmittel zur Senkung der Varianz und Teilevielfalt [nach KADER 2004, S. 46-48]

Den zahlreichen Vorteilen einer Baukastenbauweise stehen aber auch Nachteile gegenüber. Der effektive Nutzen eines solchen Ansatzes ist deshalb nicht allgemeingültig zu quantifizieren, sondern ist für jeden Einzelfall gesondert zu ermitteln. In der Regel steigen die Synergieeffekte mit einem übergreifenden Ansatz.

Zur Beherrschung der Variantenproblematik bieten sich neben Baukastensystemen noch weitere Bauweisen an. Eine Abgrenzung der unterschiedlichen Bauweisen ist nicht immer

eindeutig möglich, teilweise sind die Grenzen fließend. Häufig findet auch eine gegenseitige Ergänzung statt.

Die angeführten Beispiele von Baukasteneinsätzen in der Praxis verdeutlichen die Größe des Einsatzspektrums und die unterschiedlichen Ausrichtungen der Ansätze. Zudem sind die für eine Baukastenentwicklung notwendigen Überlegungen erkennbar.

Bei der Gestaltung eines Baukastens bestehen zwei einander widerstrebende Tendenzen. Der Gedanke, dass der eng umrissene Zweck eines Gebildes am besten mit Bausteinen erfüllt wird, welche diesem Zweck nach Form und Größe unmittelbar angepasst sind, führt nach BOROWSKI zu vielen, fein differenzierten Bausteinen. Andererseits führe die Forderung, die einzelnen Bausteine billig in großen Mengen herzustellen, zu wenigen, gröber gestuften Bausteinen [BOROWSKI 1961, S. 17]. Das wirtschaftliche Optimum zwischen diesen beiden Möglichkeiten gilt es zu finden. In der Regel geht eine höhere Flexibilität eines Baukastensystems mit einer Steigerung der Entwicklungskosten einher.

Gerade im Premiumbereich ist es zusätzlich erforderlich, das Optimum übergreifender Baukastenansätze im Spannungsfeld zwischen Standardisierung und Individualisierung zu treffen.

Angesichts der zahlreichen Gestaltungsmöglichkeiten ist zur erfolgreichen Umsetzung von übergreifenden Baukastenansätzen ein systematisches Vorgehen kombiniert mit einer geeigneten methodischen Unterstützung notwendig.

4 Funktionsorientierte Entwicklung eines Baukastens im Umfeld der Automobilindustrie

Anschließend an die Abhandlung grundlegender Aspekte von Baukastensystemen in den vorherigen Kapiteln steht nun die eigentliche Baukastenentwicklung im Vordergrund. Hierzu gehört die Erarbeitung eines funktionsorientierten Entwicklungsprozesses, was auf Basis dreier bereits bestehender Ansätze geschieht.

Nach der Formulierung der Anforderungen und Zielsetzung an einen solchen Prozess wird zunächst die Funktionsorientierung näher untersucht und ihre Ziele und Eigenschaften erörtert.

Daraufhin werden die notwendigen Rahmenbedingungen für einen funktionsorientierten Entwicklungsprozess geklärt. Mit dem Aufzeigen bestehender Ansätze zur Beherrschung der Vielfalt wird der Handlungsbedarf bezüglich Baukastensystemen erarbeitet, dem durch den zu entwickelnden Prozess Rechnung getragen wird. Jeder Prozessschritt wird anschließend ausführlich erläutert.

Kapitel 5 widmet sich den unterstützenden Methoden und Hilfsmitteln, wohingegen die praktische Anwendung dieses Prozesses samt einiger Hilfsmittel in Kapitel 6 erfolgt.

4.1 Anforderungen und Zielsetzung

Der Prozess zur Baukastenentwicklung soll schrittweise zu einem baukasten- und variantengerechten System führen. Die im Vorfeld definierte externe Varianz soll dabei mit einer möglichst geringen internen Varianz dargestellt werden. Hierzu sind u. a. nachstehende Punkte abzudecken:

- Schaffung von Transparenz,
- Generierung von baukastengerechten Konzepten/Lösungsszenarios,
- Beleuchtung aller Facetten des Baukastens und der Lösungsszenarios,
- Findung des Gesamtoptimums,
- Sicherstellung der Anwendbarkeit und Umsetzbarkeit des Baukastens sowie
- Sicherstellung der Rentabilität des Baukastens.

Gleichzeitig soll dieser Prozess universell für verschiedene Projekte gültig sein. Durch die Verankerung im Unternehmen wird einerseits die Vergleichbarkeit verschiedener Baukästen bezüglich Aufwand, Nutzen etc. ermöglicht. Andererseits wird die standardisierte Einbindung aller beteiligten Prozesspartner sichergestellt. Zusätzlich ergibt sich durch eine solche Standardisierung eine Art „Wiedererkennungseffekt“ für alle Beteiligten, unabhängig vom jeweiligen Baukastenprojekt.

Um ein Baukastensystem anforderungsgerecht (z. B. kunden- und markengerecht) gestalten und darüber hinaus neuartige technische Lösungen generieren zu können, ist die nachfolgend beschriebene Funktionsorientierung im Entwicklungsprozess abzubilden.

4.2 Funktionsorientierung

Im Gegensatz zur Komponentenorientierung steht bei der Funktionsorientierung nicht das Bauteil mit seinen Ausprägungen im Vordergrund, sondern die zu erfüllende Funktion. Oberstes Ziel ist dabei die Kundenwertigkeit, also die Erfüllung der vom Kunden geforderten Funktionen¹. Die eigentliche Gestalt des Bauteils ist hierbei erst einmal nebensächlich.

Notwendig geworden ist die Betrachtung von Funktionen aus der Kundenperspektive aufgrund der verschärften Konkurrenzsituation auf den Weltmärkten (vgl. Kapitel 1.1). Unternehmen müssen heute ihr Know-how und ihre Ressourcen dort bündeln, wo der Kunde einen deutlichen Nutzen erlebt. Laut ROSE komme es nach Rainer Kurek (Geschäftsführer von MVI) deshalb darauf an, dem Kunden klar wahrnehmbare Leistungsmerkmale mit einem deutlich erkennbaren Mehrwert zu bieten. Gebraucht werden Innovationen, die den Nutzwert des Automobils aus Kundensicht signifikant erhöhen und nicht solche, die der Kunde als selbstverständlich erachtet oder überhaupt nicht wahrnimmt [ROSE 2004].

Um die Wünsche des Kunden widerspiegeln zu können, müssen moderne Fahrzeugkonzepte ganzheitlich von den Marktbedürfnissen abgeleitet werden. Hierfür sind zukünftig in der frühen Phase der Automobilentwicklung verstärkt lösungsneutral formulierte Funktionen zu berücksichtigen. Die bisherige Konzentration auf bereits bestehende oder vorzeitig geplante Lösungen für Komponenten gilt es abzulösen. Heute ist nicht mehr alleine die Qualität einzelner Komponenten entscheidend, sondern das reibungslose Zusammenwirken sowie die intelligente Vernetzung aller Elemente im Gesamtsystem Automobil.

Nachfolgend wird neben der Definition der Funktionsorientierung auch ihre Motivation und Zielsetzung beschrieben.

4.2.1 Definition

Nach ZETSCHKE gilt es bei der Entwicklung kundenwertiger Produkte herauszufinden, was der Kunde tatsächlich als Nutzen empfindet². Zur Erfüllung des Kundenwunsches nach einer guten Fahrleistung galt früher eine möglichst hohe Motorleistung als angemessene Antwort. Heute dagegen gebe es mit einem günstigen Drehmomentverlauf des Motors ein besseres

¹ Daneben gilt es auch Anforderungen von Gesetzen, der Gesellschaft oder des Images zu berücksichtigen und zu erfüllen.

² „Was der Kunde nicht wahrnimmt, existiert für ihn nicht. Was für ihn nicht existiert, bringt ihm keinen Nutzen. Was ihm keinen Nutzen bringt, dafür will er kein Geld ausgeben. Wofür er kein Geld ausgeben will, dafür wollen und können auch wir kein Geld ausgeben“ [ZETSCHKE 1994, S. 371f.].

Kriterium, das den Wunsch des Kunden angemessener erfüllt. Dieses sollte zweckmäßiger für eine erlebbare und beim Überholen als besonders sicher empfundene hohe Beschleunigungsfähigkeit des Wagens [ZETSCHKE 1994, S. 371ff.].

Über die Motorleistung hinaus ist beispielsweise die zur Beschleunigung auf Tempo 100 notwendige Zeit bei einem Fahrzeug von zahlreichen weiteren Faktoren abhängig (Gewicht des Fahrzeugs, Traktion, Getriebeübersetzung, Aerodynamik etc.). Wenn die Antriebskraft aufgrund mangelnder Traktion nicht auf die Straße gebracht werden kann, nützt dem Kunden die Motorleistung wenig.

Deshalb bedeutet für BERHART konsequente Funktionsorientierung, einen klaren Link zwischen Markenwerten und Kundenanforderungen bzw. deren Ausprägungen und technischer Realisierung zu schaffen. Dies beinhaltet u. a. die baureihen- und fahrzeugübergreifende Konsolidierung der Anforderungen an Funktionen (z. B. Fahrverhalten) und damit letztlich an Funktionsträger (z. B. Fahrwerk, Antriebsstrang, Karosserie etc.) aus Marken-/Kundensicht sowie aus Sicht möglicher technischer Konzeptalternativen [BERHART 2004, S. 4].

4.2.2 Motivation und Ziele der Funktionsorientierung

Die Funktionsorientierung ermöglicht die fahrzeugübergreifende Realisierung gleicher funktionaler Kundenanforderungen mit gleichen technischen Konzepten. Solche Konzeptstandards sind nach BERHART notwendig, um eine möglichst hohe Anzahl von Funktionen mit gleichen Funktionsträgern zu realisieren. Durch Standardisierungen von technischen Konzepten zur Realisierung bestimmter (kunden- und markenrelevanter) Funktionen und durch standardisierte Funktionsverteilung gelinge es, die Basis für höchste Effektivität in der Entwicklung bzw. im Entwicklungsprozess zu legen [BERHART 2004, S. 4].

Ziel ist dabei die stärkere Fokussierung der Entwicklungsarbeit auf den tatsächlichen Kundennutzen, d. h. auf die Erwartungen und Wünsche des Automobilkäufer [ROSE 2003, S. 24]. Dies ist notwendig, weil zum Beispiel der Hersteller Mercedes nach BEHLMER & KÖTH in seinen Fahrzeugen Funktionen anbietet, die einige Kunden gar nicht kennen³. Aus diesem Grund wurde laut Harald Bölster, dem Einkaufschef der Mercedes Car Group, für die Nachfolge-Generation konkret untersucht, was der Kunde erwartet [BEHLMER & KÖTH 2004, S. 32].

Außerdem kann mit einer ausgeprägten Bauteilorientierung langfristig kein übergreifendes Gesamtoptimum erreicht werden. Die Komplexität des Produkts Automobil macht bei einer isolierten Betrachtung einzelner Komponenten oder Komponentengruppen die Nutzung von übergreifenden Synergieeffekten äußerst schwierig. Bei einer Entwicklung kann auf diese Weise keine ausreichende Sicht auf die möglichen Auswirkungen auf das Gesamtfahrzeug

³ Der Aufwand für die Entwicklung, Absicherung und Fertigung einer solchen nicht wahrgenommenen Funktion ist verfehlt, weil der Kunde nicht bereit ist, hierfür Geld auszugeben.

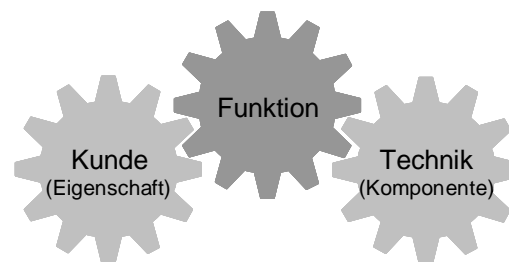
erreicht werden. Die Abkehr von bauteilorientiertem Denken ermöglicht mitunter folgende Punkte [PECQUET 2003, S. 69f.]:

- **Gezielte Erfüllung von Kundenanforderungen:**
Die Planung der Produkteigenschaften ist mit einer gewissen Unschärfe behaftet, da Baukastenprojekte zum Teil viele Jahre in die Zukunft reichen. Ungeachtet dessen muss das Unternehmen versuchen, die Kundenbedürfnisse zu antizipieren und zu erkennen, um marktfähige Produkte mit herausragender Marktposition zu entwickeln. Durch gezieltes Marketing können sogar gewisse Bedürfnisse beim Kunden geweckt werden.
- **Bereitstellung gezielter Differenzierung:**
Während den Kunden lediglich die Höhe einer möglichen Verbrauchsreduzierung interessiert, ist ihm die Art der Realisierung mittels der verfügbaren innermotorischen Lösungen dagegen gleichgültig. So entwickelte BMW im Gegensatz zu Wettbewerbern die Valvetronic⁴, da die Benzindirekteinspritzung seinerzeit noch nicht genügend ausgereift war. Aus Baukastensicht sollten alle notwendigen Differenzierungen im Voraus bekannt sein, um die übergreifenden Synergieeffekte zu steigern.
- **Erlangung der Innovationsführerschaft:**
Um die Innovationsführerschaft zu erreichen, sind zusätzlich Entwicklungssprünge anzustreben. Hierzu ist die Abkehr von der evolutionären Ableitung von Komponenten vom Vorgänger notwendig. Dies gelingt durch die Schaffung von übergreifenden Freiräumen mittels lösungsneutraler Formulierungen von Funktionen in der Entwicklung und Konstruktion.
- **Beherrschung der Komplexität**
Zur Beherrschung der Komplexität ist es unbedingt nötig, die Gesamtzusammenhänge aller im Baukastensystem abzubildenden Produkte zu verstehen. Das direkte Umsetzen von Kundenwünschen in technische Lösungen ist aufgrund der hohen Vernetztheit von übergreifenden Baukastenansätzen nicht mehr im geforderten Umfang möglich. Häufig erfolgt dabei eine zu frühe Festlegung und Lösungsfixierung, die übergreifende Synergien zunichte machen. Durch Sammeln von lösungsneutral formulierten Funktionen jedoch können Zielkonflikte gesamthaft erkannt und gelöst werden. Somit ergibt sich die Möglichkeit zur Nutzung von übergreifenden Synergien.

Abbildung 4-1 zeigt das Zwischenschalten von lösungsneutralen Funktionen zwischen Kundenwünsche und technische Lösungen, wie es die Funktionsorientierung vorsieht.

Aufgrund der oben genannten Vorteile und der Anforderungen an Baukastensysteme bietet sich die Adaption des funktionsorientierten Vorgehens an die Baukastenentwicklung an. Zur systematischen Durchführung der Funktionsorientierung im Umfeld der Baukastenentwicklung wurde das sogenannte Vier-Säulen-Modell entwickelt, das in Kapitel 5.4.2.1 ausführlich beschrieben wird.

⁴ Durch die Anpassung des Ventilhubes, der Öffnungsdauer und der Zeitpunkte der Ventilöffnung an unterschiedliche Belastungszustände kann auf eine Drosselklappe verzichtet und die Verlustarbeit des Motors im Teillastbereich deutlich verringert werden (siehe <http://www.bmw.de/de/faszination/technik-lexikon/index.html>).



Der wesentliche Aspekt der Funktionsorientierung ist die konsequente Übersetzung der vom Kunden geforderten Eigenschaften in technische Lösungen.

Abbildung 4-1: Funktionsorientierung für die Übersetzung von Kundenforderungen in technische Lösungen [PECQUET 2003, S. 70]

Für die konsequente Umsetzung der Funktionsorientierung und eine baukastengerechte Entwicklung sind gewisse Rahmenbedingungen zu erfüllen.

4.3 Notwendige Rahmenbedingungen zur baukastengerechten Gestaltung

Für den Erfolg des Übergangs vom Denken in komponentenorientierten Plattformen zum Handeln in funktionsorientierten Baukästen ist ein klarer, abgestimmter Entwicklungsprozess notwendig (siehe Kapitel 4.4). Dabei ist nach BERHART eine zentrale Verantwortung und Steuerung essenziell, um die fahrzeugübergreifende Entwicklung von Konzeptstandards sicherzustellen [BERHART 2004, S. 5].

Als weiteres Kernelement ist die Ergänzung bestehender Technologie- und Fahrzeug-Roadmaps um Roadmaps für die Baukastenkomponenten notwendig. Hierzu zählt auch die Festlegung eines Gültigkeitsbereichs für das Baukastensystem, der sowohl zeitlich (geplante Einsatzdauer) als auch durch die geplanten Zielfahrzeuge (Anwendungsbreite) bestimmt wird (siehe Kapitel 5.5).

Darüber hinaus bezeichnet BERHART die Einführung entsprechender Organisationsstrukturen mit eindeutiger Verteilung⁵ von Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortung als wichtige Voraussetzung. Außerdem nennt er klare Zielvorgaben hinsichtlich der geplanten Kommunalität. Erfolgskritisch für die Umsetzung sei außerdem ein klares methodisches Gerüst (siehe Kapitel 5), das betriebswirtschaftliche Zielvorgaben und Controlling-Mechanismen mit entwicklungsmethodischen Handlungsanleitungen für den einzelnen Entwickler kombiniert [BERHART 2004, S. 5].

Bei den durchgeführten Pilotprojekten (siehe Kapitel 6) kristallisierte sich heraus, dass eine der wichtigsten Voraussetzung für das Entwickeln und Konstruieren von Baukastensystemen eine entsprechende Unterstützung des Projekts durch die Unternehmensleitung ist. Darüber hinaus erwähnt KOHLHASE, dass das Projekt auch mit den entsprechenden Ressourcen

⁵ In diesem Zusammenhang ist auch eine entsprechende Vernetzung zwischen den beteiligten Projektpartnern zu berücksichtigen.

ausgestattet werden muss. Die Konstrukteure müssen zudem das erforderliche Fach- und Methodenwissen zur Baukastenentwicklung sowie genügend Erfahrung besitzen, um die meist sehr komplexe Entwicklungsaufgabe zu bearbeiten [KOHLMASE 1996, S. 65].

Schließlich müssen bestimmte markt-, produkt- und kundenbezogene Voraussetzungen gegeben sein. KOHLHASE nennt hierbei u. a. Anzahl und Ähnlichkeit der Produktvarianten, Stückzahlen der Varianten, Prognosesicherheit der Kundenerwartungen, vorhandene Entwicklungszeit sowie Kompromissbereitschaft der Kunden [KOHLMASE 1996, S. 66f.].

Um ein übergreifendes, komplexes Baukastensystem systematisch und koordiniert entwickeln zu können, ist ein entsprechend abgestimmter Prozess erforderlich.

4.4 Prozessdefinition

Eine systematische Vorgehensweise zur baukastengerechten Entwicklung ist nicht zuletzt deshalb notwendig, da der Aufwand sowie das einhergehende Risiko bei Baukastenentwicklungen erheblich sein können [EHRLENSPIEL ET AL. 2003, S. 346]. Hierzu wird in Kapitel 4.4.2 ein funktionsorientiertes Vorgehen zur baukastengerechten Entwicklung definiert, basierend auf den nachfolgend beschriebenen Ansätzen.

4.4.1 Bestehende Ansätze

In der Literatur⁶ existiert eine überschaubare Zahl an Empfehlungen zum Vorgehen für variantengerechte Entwicklungen. Stellvertretend erfolgt nachstehend ein kurzer Überblick über drei bekannte Ansätze.

4.4.1.1 VMEA

Die von CAESAR entwickelte Methodik VMEA (Variant Mode and Effects Analysis) zur frühzeitigen Variantenerkennung und -vermeidung orientiert sich an der bekannten Qualitätsmethode FMEA⁷ (Failure Mode and Effects Analysis) zur frühzeitigen Fehlererkennung und -vermeidung. Mittels der VMEA soll der Entwickler und Konstrukteur bei der gezielten Variation von Umfängen (Einzelteile und Baugruppen) sowie der Auswahl kostengünstiger Gestaltungsalternativen gesamtheitlich unterstützt werden [CAESAR 1991, S. 32]. Neben der Verringerung ist auch die Beherrschung der Variantenvielfalt Ziel dieses Vorgehens.

Die Herleitung des Lösungsansatzes gliedert sich in sechs Schritte [CAESAR 1991, S. 29]:

⁶ vgl. u. a. BARTUSCHAT [1995], BREIING & FLEMMING [1993, S. 214ff., S. 217ff.], EHRLENSPIEL [1995, S. 631], FIRCHAU & FRANKE [2002, S. 81-86], JESCHKE [1997, S. 35ff.], RIEPE [2003, S. 136ff.], SCHUH [1989, S. 42ff.]. RIEPE [2003, S. 136ff.] gibt eine ausführliche Übersicht.

⁷ FMEA wird frei als Fehlermöglichkeits- und -influssanalyse übersetzt und sowohl für Produkte als auch Prozesse eingesetzt. U. a. beschäftigen sich REINHART ET AL. [1996] näher mit dieser Methode.

- Funktionsinhalte abgrenzen und Ist-Zustand erfassen.
- Anforderungsprofile beschreiben und Basismodule abgrenzen.
- Variantenspektren anhand der VMEA-Gestaltkennzahl und dem möglichen Kostenreduzierungs-potenzial priorisieren.
- Maßnahmen zur variantenorientierten Produktgestaltung auswählen und Modul-konzepte entwerfen.
- Gestaltlösungen anhand der VMEA-Gestaltkennzahl und den Variantenkosten bewerten.
- Umsetzung der technisch-wirtschaftlich günstigsten Lösung.

Kern der Methode VMEA ist ein iteratives Vorgehen zur Optimierung der variantenorientierten Produktgestaltung. Ausgehend von der Variantenanalyse des Ist-Zustandes wird das Produkt variantenorientiert gestaltet, optimiert und anschließend bewertet (Abbildung 4-2).

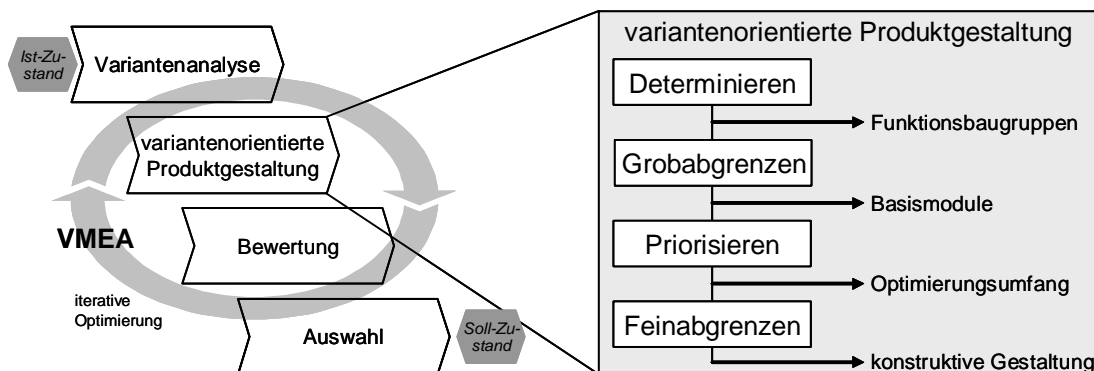


Abbildung 4-2: Das Vorgehen der Variant Mode and Effects Analysis (VMEA) zur Beherrschung der Variantenvielfalt [nach CAESAR 1991, S. 36, 52; RIEPE 2003, S. 151]

Für SCHUH & SCHWENK liegt der hauptsächliche Nutzen der VMEA darin, dass die systematische Aufbereitung der Vielfaltsinformationen und die grafische Darstellung der Variantenentwicklung mittels des Variantenbaums die notwendige Kommunikation zwischen den beteiligten Bereichen unterstützt [SCHUH & SCHWENK 2001, S. 122]. Die VMEA ermöglicht damit die Varianten- und Kostenoptimierung der Struktur in der Entwurfsphase.

Demgegenüber kritisiert RIEPE die unzureichende Unterstützung der frühen Entwicklungsphasen und die Vernachlässigung integrativer Aspekte [RIEPE 2003, S. 155].

4.4.1.2 Vorgehen nach Kohlase

KOHLHASE [1997] stellt eine Methode zur rechnerunterstützten⁸ Entwicklung von Baukastensystemen vor. Demnach erfolgt die Entwicklung der Baukastenstruktur parallel zur Konzipierung der einzelnen Komponenten. Für diese Strukturierung schlägt er ein iteratives Vorgehen in drei Stufen vor (Abbildung 4-3).

⁸ rechnerunterstützte Modellierung der Baukastenstruktur durch Gozintographen

Dabei kommt es nach EHRENSPIEL ET AL. darauf an, für den Baukasten insgesamt und für die wesentlichen Bausteine gleich am Anfang die Schritte „Aufgabe klären“ und „Konzipieren“ ganzheitlich durchzuführen [EHRENSPIEL ET AL. 2003, S. 346].

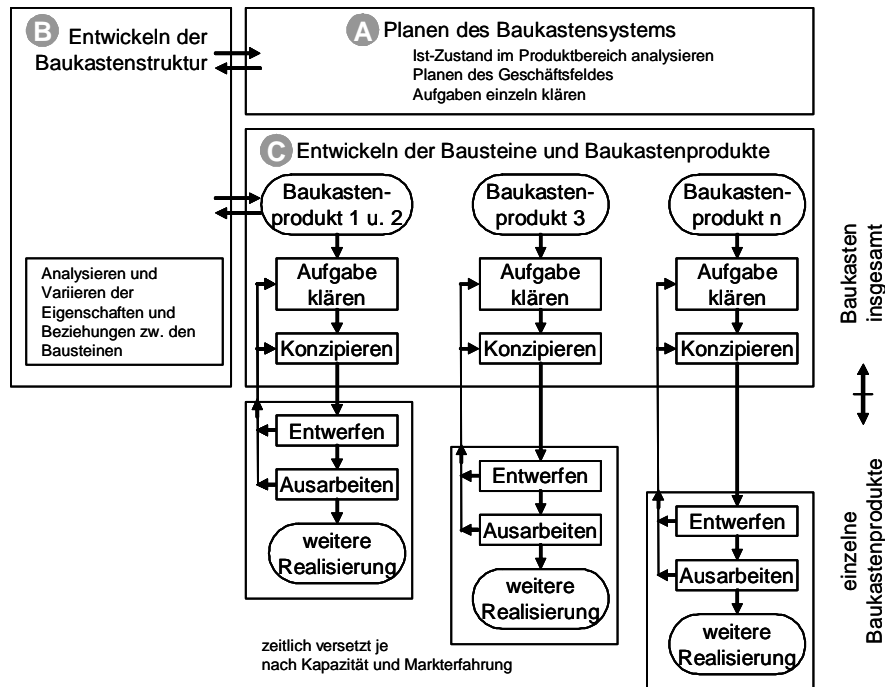


Abbildung 4-3: Vorgehen beim Entwickeln von Baukastensystemen [nach KOHLHASE 1997, S. 76; EHRENSPIEL ET AL. 2003, S. 345]

RIEPE kritisiert, dass der Schwerpunkt der Methode von KOHLHASE ausnahmslos in der iterativen Strukturoptimierung auf Basis einer wirtschaftlichen Bewertung liegt. Der Konstrukteur werde nicht unterstützt, das Lösungskonzept bei dessen Erstellung unter Variantengesichtspunkten zu optimieren [RIEPE 2003, S. 150].

4.4.1.3 PDMAS

Eine der effizientesten Methoden zur Komplexitätsreduzierung sowie zur Produkt- und Prozesskostensenkung ist nach KLEIN PDMAS (Product Design for Manufacture, Assembly and Service) [KLEIN 2004, S. 75]. Zwar steht hierbei nicht die variantengerechte Entwicklung im Fokus, aber die Philosophie dahinter ist teilweise ähnlich: Produkte mit minimaler Teilezahl konzipieren, die wirtschaftlich herstellbar sind und mit einfachen Mitteln schnell montiert und demontiert werden können. Wegen dieser vergleichbaren Ansatzpunkte wird das Vorgehen nachstehend kurz erläutert.

Das Arbeitsprogramm von PDMAS umfasst nach KLEIN drei Phasen, die in sechs Arbeitsschritte eingebettet sind. Zu den drei Phasen gehören die Analyse des Ist-Zustandes, die Erarbeitung eines „visionären“ Idealzustandes und die praktikable Umsetzung eines Real-Zustandes in ein Produkt- und Prozesskonzept. Folgende Schritte beinhaltet der Arbeitsplan:

- Formulierung des Ziels (Kosten, Gewicht, Restriktionen), Teambildung, Informationsbeschaffung (Zeichnungen, Stücklisten, Reklamationen).
- Analyse des Produkt-, „Ist-Zustandes“ und der Funktionsbeschreibung.
- Erstellung des Ist-Strukturbaums (nach montierendem/demontierendem Prinzip), Kenntlichmachung aller Tätigkeiten ohne Wertschöpfung, Zeitkalkulation sowie die Ermittlung des Effizienz-Indexes.
- Suche nach dem Idealzustand mit „minimaler Funktionsteilezahl“, Ermittlung der nur unbedingt notwendigen Funktionsteile (visionärer Idealzustand) und Hinterfragung der Funktionsanforderungen.
- Neukonzeption eines realen Designs⁹ und Anpassung an ein wirtschaftliches Fertigungsverfahren.
- Belegung des Ergebnisses an Teile-, Zeit- und Kostenreduzierung in Relation zum Invest mittels Controlling.

In dem Ablauf sind deutliche Parallelen zum Wertanalysearbeitsplan erkennbar, der identische Schritte umfasst. Der PDMA-ANSATZ unterstützt hierbei die Fokussierung einer Wertanalyse auf überflüssige Teile und Prozessstufen sowie deren Quantifizierung in Zeit- oder Geldanteile [KLEIN 2004, S. 76]. Dieser Ansatz unterstützt aber nicht die Anforderungen für eine übergreifende Baukastenentwicklung zur Vergrößerung der Synergieeffekte.

4.4.1.4 Zusammenfassung und Handlungsbedarf

Prinzipiell eignen sich die hier vorgestellten Ansätze zur Entwicklung variantenreicher Produkte, sind aber zum Teil nicht spezifisch auf eine Baukastenentwicklung ausgelegt. Außerdem ist der Ansatz der Funktionsorientierung nur rudimentär und nicht in dem Maße vorhanden, welches für eine erfolgreiche Baukastenentwicklung im Premiumsegment¹⁰ notwendig ist. Auch fehlen teilweise Gestaltungsanweisungen zur übergreifenden Baukastenentwicklung sowie unterstützende Methoden und Hilfsmittel.

Somit entspricht keines der beschriebenen Vorgehen vollständig den gestellten Anforderungen. Darüber hinaus existierende Ansätze sind für komplexe Produkte und komplexe Prozesse ohne Rechnerunterstützung meist nicht durchführbar. In der Praxis gestaltet sich außerdem die Anwendung teilweise recht komplex.

Aus diesem Grund wird nachfolgend der erarbeitete Prozess zur funktionsorientierten Baukastenentwicklung vorgestellt.

⁹ meist durch Zurücknahme vom Ideal (z. B. höhere Teileanzahl als unbedingt notwendig aufgrund von Servicebelangen) [KLEIN 2004, S. 76].

¹⁰ An das Premiumsegment werden spezielle Anforderungen gestellt (vgl. Kapitel 3.4).

4.4.2 Funktionsorientierter Baukastenentwicklungsprozess

Der Baukastenentwicklungsprozess gliedert sich analog zum Vorgehenszyklus nach Ehrlenspiel¹¹ in drei übergeordnete Teilprozesse Analyse, Synthese und Bewertung, die sich weiter unterteilen lassen (Abbildung 4-4). Die Abarbeitung des Baukastenentwicklungsprozesses erfolgt in der Regel iterativ, um die Ergebnisse optimieren zu können.

Für die Erzielung übergreifender Synergieeffekte ist eine zentrale Steuerung der Baukastenaktivitäten notwendig. Entwicklungsleistungen dagegen werden dezentral in den entsprechenden Fachabteilungen erbracht. Demnach erfolgt die Entwicklung von Baukastensystemen in enger Zusammenarbeit mit den jeweiligen Projektpartnern. Dies stellt zum einen eine übergreifende Koordination sicher, wodurch übergreifende Synergien genutzt werden können. Zum anderen wird auf das dezentrale Expertenwissen zurückgegriffen.

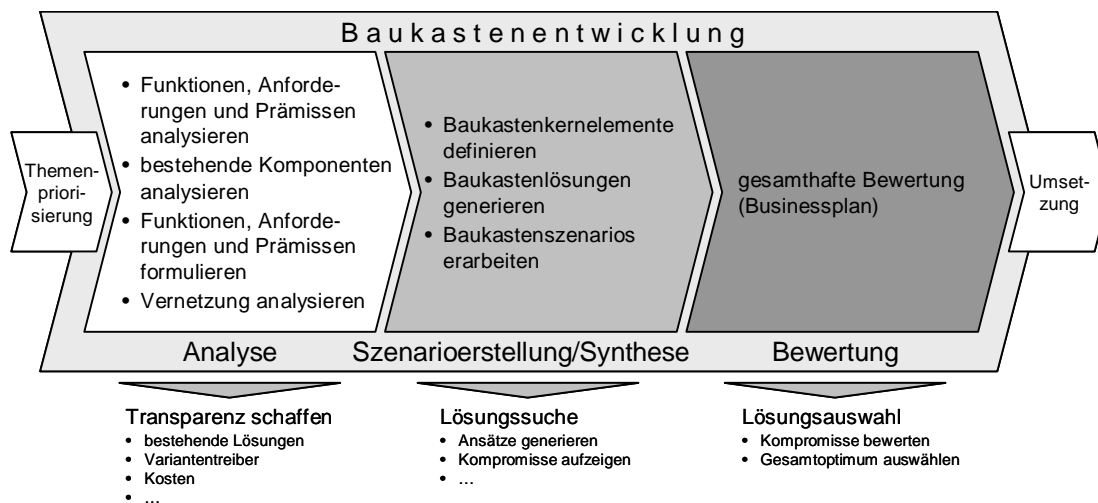


Abbildung 4-4: Funktionsorientierter Baukastenentwicklungsprozess

Der jeweiligen Teilergebnisse der einzelnen Prozessschritte sind in der Abbildung auszugsweise enthalten.

Die einzelnen Prozessschritte werden in Abhängigkeit von

- dem Betrachtungsumfang (siehe Kapitel 5.4.1.2)
- der vorherrschenden und angestrebten Variantensituation,
- dem Fokus der Entwicklung (siehe Kapitel 5.4.1.3),
- dem Kenntnisstand über in Frage kommende Lösungen sowie
- der verfügbaren Ressourcen

in unterschiedlicher Detaillierung und Intensität durchlaufen.

¹¹ Der Vorgehenszyklus stellt eine Erweiterung des aus der Systemtechnik bekannten Problemlösungszyklus nach DAENZER & HUBER [2002, S. 47ff.] dar. Er beschreibt in einer Folge von konkreten Arbeitsschritten das Vorgehen bei der Bearbeitung eines Problems (vgl. EHRENSPIEL [1995, S. 78ff.]).

Etwaige Ergebnisse und Erfahrungswerte aus vorangegangenen Baukastenentwicklungen können einzelne Phasen verkürzen oder gar entbehrlich machen. Im Folgenden wird auf die einzelnen Prozessschritte näher eingegangen.

4.4.2.1 Themenpriorisierung

Dem eigentlichen Entwicklungsprozess vorgeschaltet ist die Themenpriorisierung¹². Ziel dabei ist es, mittels eines umfassenden Überblicks über alle potenziellen Baukastenansätze Einzelthemen zu priorisieren. Als Entscheidungsgrundlage können unterschiedliche Kriterien dienen, die an dieser Stelle qualitativ¹³ beantwortet werden. Hierzu gehören beispielsweise das Aufwand/Nutzen-Verhältnis der Baukastenentwicklung (Rentabilität), die Abschätzung der verfügbaren Ressourcen und die Abwägung möglicher Risiken. Ergänzend müssen die geplanten Rollouts und Endtermine aufeinander abgestimmt werden¹⁴, zu denen die vorgesehenen Baukastensysteme fertig sein müssen, um rechtzeitig in bestimmte Produkte einfließen zu können.

Je nach Kriterienwahl kann eine solche Priorisierung mittels standardisierter Checklisten erfolgen (siehe Kapitel 5.3).

Nach der Identifizierung baukastenrelevanter Themen beginnt der eigentliche Entwicklungsprozess für das anvisierte Baukastensystem.

4.4.2.2 Baukastenentwicklung

Die Baukastenentwicklung legt die Gestalt des geplanten Baukastensystems fest und lässt sich in die Teilprozesse Analyse, Szenarioerstellung/Synthese sowie Bewertung untergliedern. In den nachstehenden Abschnitten folgt eine detaillierte Erläuterung.

Aufgrund der bidirektionalen Abhängigkeiten und der gegenseitigen Beeinflussung erfolgt der Durchlauf dieser Schritte häufig nicht sequenziell. Meist werden diese parallel abgearbeitet und sukzessiv verfeinert, bis sich nach mehreren Iterationen ein Optimum für die Baukastengestaltung abzeichnet. Mit Optimum ist die technische Umsetzung gemeint, welche am wenigsten Kompromisse bzw. die praktikabelsten Kompromisse erfordert.

4.4.2.2.1 Analyse

Aufgabe der Analysephase ist es, umfassende Transparenz als belastbare Entscheidungsgrundlage und zur Optimierung der Baukastenentwicklung zu schaffen. Zu diesem Zweck sind alle relevanten Informationen hinsichtlich des zu entwickelnden Baukastensystems

¹² In der Literatur umfasst ein Entwicklungsprozess auch die Priorisierung.

¹³ Der Aufwand zur Durchführung der Priorisierung sollte im Rahmen bleiben und keine gesamthafte Bewertung darstellen. Diese erfolgt erst im letzten Prozessschritt umfassend mittels eines Businessplans.

¹⁴ Wann soll der Baukasten eingesetzt werden? Welche Fahrzeuge sollen erreicht werden/sind davon betroffen? Wann laufen diese Fahrzeuge an? etc.

zusammenzutragen, zielgerichtet auszuwerten und anwendungsgerecht aufzubereiten. Hierzu gehören die Punkte

- Funktionen, Anforderungen und Prämissen analysieren,
- bestehende Komponenten analysieren,
- Funktionen, Anforderungen und Prämissen formulieren sowie
- Vernetzung analysieren.

Die einzelnen Schritte werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

Funktionen, Anforderungen und Prämissen analysieren

Für das zu entwickelnde baukastengerechte Produkt müssen zunächst alle relevanten Anforderungen und Prämissen zusammengetragen und anschließend ausgewertet werden. Dabei ist die Betrachtung der Anforderungen zu differenzieren (siehe Kapitel 5.4.4). So gibt es

- Anforderungen an den Baukasten, die nur das Baukastensystem betreffen,
- Anforderungen an Komponenten, die sich auch auf den Baukasten auswirken sowie
- Anforderungen/Prämissen, die das Baukastensystem an Fahrzeuge und/oder Komponenten stellt.

Dazu gehören Informationen zu betroffenen Komponenten und Fahrzeugsegmenten¹⁵, Innovationen, USPs, Sonderausstattungen, Unternehmensstrategien sowie der Lebenszyklus und die geplante zeitliche Gültigkeit des Baukastensystems. Außerdem sind die Anforderungen an das Baukastensystem¹⁶ und an die Komponenten¹⁷, die Anforderungen der Produktion sowie wirtschaftliche Anforderungen zu analysieren. Etwaige Informationen über Wettbewerber¹⁸ ergänzen diese Betrachtungen. Mit der Anforderungsklä rung beschäftigt sich JUNG ausführlich [JUNG 2006].

Von besonderer Bedeutung für die wirtschaftliche Auslegung und Abgrenzung sind nach PAHL & BEITZ die Angaben über die marktseitig erwartete Häufigkeit einzelner Gesamtfunktionen. Dahinter steht der Grundgedanke, einen Baukasten technisch und wirtschaftlich für diejenigen Gesamtfunktionsvarianten zu optimieren, die am häufigsten verlangt werden [PAHL & BEITZ 1997, S. 611].

¹⁵ Welche Komponenten/Systeme werden betrachtet? In welchen Segmenten soll das Baukastensystem eingesetzt werden? Welche Fahrzeuge sind betroffen? etc.

¹⁶ Welche Komponenten sind betroffen? Welche Anforderungen werden an diese gestellt? Welche Ziele werden mit dem Baukasten verfolgt (Eigenschaften, Kosten [Kapitalwert], Qualität [Qualitätssteigerung bzw. Reduzierung der Gewährleistungskosten], Variantenreduktion, Komplexitätsreduktion etc.)? Welche Kompromisse können mit dem Baukastensystem eingegangen werden? etc.

¹⁷ Strategien wie Einkaufs- oder Fachstrategie, technische und gesetzliche Anforderungen, integrationstechnische Anforderungen (geometrisch, funktional, systemtechnisch, produktionstechnisch), Gesamtfahrzeugziele, Lastenhefte, Schnittstellenparameter, Ausstattungspläne, Funktionsszenarios etc.

¹⁸ Welche speziellen Anforderungen an das Baukastensystem lassen sich vom Wettbewerb ableiten? Welche Anforderungen erfüllt der Wettbewerber (segmentspezifisch)? etc.

Grundlage kann eine Ist-Analyse des betrachteten Geschäftsfeldes sein und daran anschließend die Planung der Unternehmenspotenziale mithilfe von Markt- und Wettbewerbsanalysen sowie Kundenbefragungen. Die allgemeinen und markenspezifischen Anforderungen an Komponenten werden aus den Ergebnissen abgeleitet. Sie bilden den Ausgangspunkt, um zukünftige Eigenschaften des Fahrzeugs ausreichend definieren zu können.

Bestehende Komponenten analysieren

Um Rückschlüsse auf Schlüsselstellen ziehen zu können, erfolgt im Falle existierender Vorgängerprodukte eine Analyse derselben. Somit kann man sich bei der Neuentwicklung auf die gemachten Erfahrungen mit bereits bestehenden Komponenten inklusive all ihrer Stärken und Schwächen stützen.

Bei dieser Ist-Analyse wird der Einsatz der derzeitigen Lösungen unternehmensweit untersucht¹⁹. Wichtig ist hierbei die Aufarbeitung der bestehenden Varianz. Hierzu zählen u. a. die Variantentreiber, die Kosten der Varianz und die technische Realisation der Varianz²⁰. Zur Darstellung der Varianz eignet sich der Morphologische Kasten oder der Variantenbaum (vgl. Kapitel 3.1.3). Darüber hinaus können ergänzende Informationen über den Wettbewerb²¹ bei der Planung des eigenen Baukastens hilfreich sein. Als Hilfsmittel können Checklisten dienen.

Funktionen, Anforderungen und Prämissen formulieren

Auf Basis der erarbeiteten Analyseergebnisse lassen sich Anforderungsprofile bilden. Ziel ist dabei, einen gesamthaften Überblick über die zu erfüllenden Anforderungen zu erlangen. Hierzu eignen sich die Detaillierung und Typisierung der Anforderungen bezüglich Segmente, Kategorien (z. B. Markt, Gesetz, Technik) sowie Wettbewerbsmaßnahmen. Ausgehend davon lassen sich gegebenenfalls Potenziale zur Anforderungsoptimierung und -harmonisierung ableiten (siehe Kapitel 5.4.3 und 5.4.4).

Gleichzeitig werden Prämissen formuliert, die als Rahmenbedingungen fungieren müssen, um das geplante Baukastensystem erfolgreich umzusetzen. Als Beispiele können erforderliche Stückzahlen, Kompromisse bei der Umsetzung oder notwendige Konzeptlösungen genannt werden. Dieser Schritt wird durch Funktionsmatrizen und Anforderungslisten unterstützt.

Vernetzung analysieren

Nicht nur Anforderungen, Funktionen und Prämissen sind untereinander vernetzt und beeinflussen sich gegenseitig. Auch verschiedene Baukastensysteme oder Komponenten

¹⁹ Welche Lösungen/Konzepte werden in welchen Segmenten oder Produkten eingesetzt? etc.

²⁰ Welche Varianten existieren in welchen Segmenten oder Produkten? Was sind die Variantentreiber? Was kostet eine Variante? Welche Gewährleistungs- und Kulanzkosten und -fälle gibt es bei dem betrachteten Umfang? Gibt es bereits Baukastensysteme und wie sind diese aufgebaut? Wo sind Stellhebel zur Kostenreduzierung? etc.

²¹ Welche (technischen) Lösungen bietet der Wettbewerber segmentspezifisch an? Welche Baukastensysteme verwendet der Wettbewerb in welchem Bereich (z. B. Cockpitbaukasten)? etc.

wirken häufig aufeinander ein. Hierzu zählen u. a. die Auswirkungen des geplanten Baukastensystems auf die Fahrzeuge, die Vernetzung verschiedener Baukastensysteme untereinander (z. B. Baukasten Cockpit mit dem Baukasten Heiz-/Klimagerät) oder die Vernetzung innerhalb eines Baukastens (z. B. Heiz-/Klimagerät, siehe Anhang 10.5).

LINDEMANN & MAURER setzen zur Analyse von Vernetzungen Einflussmatrizen und -graphen ein. Für die Optimierung der Produktstruktur empfehlen sie die Operationen Hinzufügen und Entfernen von Relationen sowie die Reduktion von Kreisschlüssen²². Zur Unterstützung der Visualisierung, Analyse und Optimierung komplexer Strukturen wurde das Rechnerwerkzeug Mofleps (Modelling of flexible Product Structures) entwickelt [LINDEMANN & MAURER 2006, S. 41-62].

Im Zusammenhang mit der Vernetzung ist zwischen lokalen und globalen Leistungsmerkmalen zu unterscheiden. Während nach KERSTEN *lokale Leistungsmerkmale* lediglich durch die technische Ausführung und physikalische Eigenschaften einer Komponente oder eines Systems beeinflusst werden (die Leuchtstärke der Scheinwerfer bei einem Automobil ist beispielsweise lediglich durch die technische Ausführung des Scheinwerfermoduls abhängig), werden *globale Leistungsmerkmale* durch die physischen Eigenschaften mehrerer oder gar aller Komponenten eines Produkts festgelegt [KERSTEN 2002, S. 67f.]. Diese globalen Leistungsmerkmale sind in der Regel eng mit den aggregierten Produkteigenschaften verbunden. Als Beispiel nennt KERSTEN die fahrdynamischen Eigenschaften eines Kraftfahrzeugs, welche u. a. durch die Masse des Fahrzeugs, die Höhe des Schwerpunktes, die Gewichtsverteilung auf die Achsen, die Feder- und Dämpferabstimmung sowie die Spur- und Reifenbreite beeinflusst werden.

Für die Optimierung globaler Leistungsmerkmale bedarf es einer intensiven Abstimmung der Baukastenelemente. So hängt allein schon die Gesamtmasse des Fahrzeugs aus obigem Beispiel von allen Komponenten und Baugruppen ab [KERSTEN 2002, S. 68].

Darüber hinaus erfordert die erfolgreiche Entwicklung eines komplexen Baukastensystems auch die umfassende Vernetzung aller betroffenen Fachabteilungen und beteiligten Prozesspartner.

Nach Abschluss dieses ersten Teilprozesses liegen plausibilisierte und konsolidierte Anforderungsprofile vor (Kapitel 5.4.4 beschäftigt sich ausführlicher mit diesem Schritt), die als Basis für den anschließenden Prozessschritt der Synthese dienen.

4.4.2.2.2 Szenarioerstellung/Synthese

Die zentrale Fragestellung dieser Phase ist die optimale Konfiguration des Baukastensystems. Hier ist nach KERSTEN zu entscheiden, welche Elemente Bestandteil des Baukastens werden, welche Elemente als Grundbaustein ausgeführt werden und welche Elemente als Anpassbaustein funktionspezifisch angepasst werden. Die praktikabelste Lösung eines solchen Ent-

²² Bei Kreisschlüssen setzt sich der Einfluss eines Elements auf andere Elemente und schließlich wieder auf sich selbst fort [LINDEMANN & MAURER 2006, S. 52].

wicklungsproblems bestehe in dem iterativen Ausprobieren unterschiedlicher Konfigurationen, deren Leistungsfähigkeit modellhaft bewertet werde. Zur Bewertung der verschiedenen Alternativen muss dieses Modell in der Lage sein, die Wechselwirkungen zwischen den Komponenten abzubilden [KERSTEN 2002, S. 71f.].

Ziel der Synthesephase ist es demnach, mögliche Lösungen zur Baukastengestaltung zu generieren und verschiedene Szenarios zu erarbeiten. Als Ergebnis liegen mehrere plausibilisierte Konfigurations- und Lösungsansätze vor. Deren Kompromisse und Rahmenbedingungen werden dabei detailliert aufgezeigt. Der Teilprozess Szenarioerstellung/Synthese besteht aus den drei Schritten

- Baukastenkernelemente definieren,
- Baukastenlösungen generieren und
- Baukastenszenarios erarbeiten,

welche nun erläutert werden.

Baukastenkernelemente definieren

Der Begriff Kernelemente bezeichnet den „Inhalt“ des Baukastens und stellt den Freiheitsgrad für die Baukastenentwicklung dar. Bei der Definition der Baukastenkernelemente wird die Entscheidung getroffen, welche Komponenten in das Baukastensystem aufgenommen bzw. integriert werden und welche nicht. Hierfür werden die für das spezifische Produkt als baukastenrelevant identifizierten Elemente festgelegt. Ausschlaggebend sind dabei unterschiedliche Faktoren, die vom jeweiligen Entwicklungsprojekt abhängig sind. Hierzu zählen u. a. die zu erfüllenden Anforderungen oder die Stückzahlen²³.

Bewusst aus dem Baukastensystem ausgeschlossen werden in der Regel Komponenten, die eine hohe Kundenwertigkeit haben und gezielt differenziert werden sollen. Als Beispiel sei auf Sitzbezüge (Materialart Stoff und/oder Leder) verwiesen, die sich in verschiedenen Fahrzeugklassen im Design (Nahtbild) und/oder der Qualität unterscheiden (siehe Kapitel 6.2). Andererseits kann eine gezielte Differenzierung unter Umständen gerade durch ein Baukastensystem kostengünstiger abgebildet werden bei der entsprechenden Wahl der Grund- und Anpassbausteine (vgl. Kapitel 3.1.2.2).

Diesen Schritt können Anforderungs- und Funktionslisten, Funktionsmatrizen und Informationen über Stückzahlen (inklusive der Takerates²⁴) sowie Kosten unterstützen.

Baukastenlösungen generieren

Nach der Auswahl der Kernelemente startet die Generierung von Baukastenlösungen.

²³ Stückzahlen sind u. a. abhängig von der Entscheidung, ob eine Funktion bzw. Komponente als Serien- oder Sonderausstattung angeboten wird.

²⁴ Hierunter wird der prozentual abgesetzte Marktanteil von Sonderausstattungen und anderen Wahlmöglichkeiten (Motor-, Farbvarianten etc.) verstanden.

(a) Grund- und Anpassbausteine

Hierzu werden zunächst die *Grund- und Anpassbausteine* definiert. Diese Festlegung hat u. a. einen erheblichen Einfluss auf die spätere Flexibilität sowie die Entwicklungs- und proportionalen Herstellkosten²⁵ des geplanten Baukastensystems. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist es dabei erstrebenswert, den Bausteinumfang in einem Baukastensystem auf möglichst wenige Grund- und Anpassbausteine zu beschränken. Je nach verfolgtem Ziel der Baukastenentwicklung (siehe Kapitel 5.4.1.3) ergeben sich unterschiedliche Einteilungen.

Mehrere Entscheidungsgrundlagen lassen sich hierbei heranziehen. So bietet es sich an, fahrzeugübergreifende Anforderungen und Funktionen, deren Ausprägungen in den erstellten Anforderungsprofilen sehr nahe beisammen oder gar identisch sind, in Grundbausteinen zusammenzufassen. Fahrzeugspezifische Anforderungen hingegen lassen sich durch Anpassbausteine abbilden. Ein anderer Ansatzpunkt ist, jene Komponenten als Grundbausteine umzusetzen, deren Entwicklungs- und Absicherungskosten vergleichsweise hoch sind²⁶. Dadurch werden diese Kosten auf die höhere Stückzahl der Grundbausteine verteilt und sinken dementsprechend proportional. Weiterhin empfiehlt es sich, die identifizierten Variantentreiber als funktionsspezifische Anpassbausteine auszuführen. Auch die Einteilung nach der zu erwartenden Stückzahl der Baukastenelemente ist sinnvoll. Höhere Stückzahlen sind für die Ausführung der Komponente als Grundbaustein prädestiniert, niedrigere Stückzahlen hingegen sprechen für die Umsetzung als Anpassbaustein. Dies hängt auch eng mit der Planung bezüglich der angebotenen Serien- und Sonderausstattungen (Ausstattungslevel) zusammen (siehe Kapitel 5.4.2.3).

Nach Möglichkeit sollte die geforderte Differenzierung unterschiedlicher Produkte eines Baukastensystems generell mit kostengünstigen Anpassbausteinen erfolgen²⁷.

(b) Konzeptentwicklung

Gleichzeitig findet die *Konzeptentwicklung* auf der Funktions- und Produktstrukturebene als klassische Entwicklungsarbeit statt. Im Gegensatz zu konventionellen Projekten müssen die erarbeiteten Baukastenaspekte berücksichtigt werden. Je weniger unterschiedliche Konzepte im Baukastensystem Verwendung finden, desto höher sind die erzielbaren Synergieeffekte. So reduzieren sich beispielsweise die Absicherungskosten, weil sie nicht für unterschiedliche Konzepte erneut anfallen und sich auf eine höhere Stückzahl verteilen (vgl. Kapitel 3.1.4.2). Außerdem müssen nicht erst Erfahrungen mit noch unbekanntem Konzepten gewonnen werden, wodurch die Qualität der Baukastenprodukte steigt.

Zunächst werden die Funktionsstrukturen aufgestellt. Dabei ist nach PAHL & BEITZ die Erfüllung der geforderten Gesamtfunktionen nur mit der Kombination möglichst weniger und einfach zu realisierender Grundfunktionen anzustreben. Die Funktionsstrukturen der Gesamt-

²⁵ Von proportionalen Herstellkosten spricht man, wenn Einmalkosten auf die Stückzahl umgelegt werden.

²⁶ Dabei muss allerdings der Anspruch von Grundbausteinen, eine entsprechend hohe, signifikante Stückzahl zu erreichen, erfüllt werden. Generell sollte gelten: Zahl der Grundbausteine \ll Zahl der Anpassbausteine.

²⁷ Hierbei ist darauf zu achten, dass die Anzahl der Anpassbausteine nicht ins Unermessliche steigt.

funktionsvarianten müssen untereinander nach logischen und physikalischen Gesichtspunkten verträglich sein. Die mit ihnen festgelegten Teilfunktionen müssen zudem im Sinne des Baukastensystems austausch- und kombinierbar sein [PAHL & BEITZ 1997, S. 612f.].

Im Anschluss daran werden die Wirkprinzipien zur Erfüllung der Teilfunktionen gesucht. Um einen übergreifenden Einsatz zu ermöglichen, eignen sich solche Prinzipien am besten, die bei Beibehaltung des Konzepts Varianten ermöglichen.

(c) Schnittstellen

Bei der Baukastengestaltung ist darüber hinaus die adäquate *Definition von Schnittstellen* wichtig. Diese ermöglicht erst das Kombinieren und Zusammenfügen der Bausteine zu unterschiedlichen Gesamtprodukten. Je universeller Bausteine kombinier- oder gar substituierbar sind, desto häufiger sind sie einsetzbar. Wesentlich für die Schnittstellenoptimierung ist nach FIRCHAU die frühzeitige Definition aller Schnittstellenparameter. Spätestens direkt im Anschluss an die Festlegung der Produktstruktur, besser jedoch schon in der Funktionsstruktur, sollten für alle Teilsysteme die Grenzen mit den Wechselwirkungen genau festgelegt werden. Spätere Schnittstellendefinitionen werden aufgrund der zu treffenden Kompromisse aufwendiger und in der Regel suboptimal [FIRCHAU 2003, S. 103].

Eine wichtige Voraussetzung für die Autonomie der Bausteine stellt die Minimierung ungewollter Interaktionen zwischen den Funktionsträgern dar [KERSTEN 2002, S. 63]. Ziel bei der Entwicklung sollte demnach sein, beispielsweise die Auswirkungen der Hitze- und Vibrationsentwicklung eines Motors auf benachbarte Komponenten zu reduzieren. Auch eine weitestgehende Entkopplung der Schnittstellen kann die Kombinierbarkeit der Bausteine weiter erhöhen. Hierzu sind nach KERSTEN die Schnittstellen so zu gestalten, dass zwischen den einzelnen Komponenten nur Interaktionen stattfinden, die für die Funktionserfüllung erforderlich sind. Je entkoppelter die Schnittstellen sind, desto modularer sei die Produktarchitektur und desto autonomer sind die Bausteine. Der Grad der Schnittstellenkopplung sei demnach ein Maß für die Unabhängigkeit einzelner Bausteine und eine wesentliche Voraussetzung für die Mehrfachverwendung von Bausteinen [KERSTEN 2002, S. 63ff.].

In der Praxis hat sich bewährt, Schnittstellen in Anforderungslisten und Stücklisten allgemeingültig zu beschreiben und als Prämissen abzubilden²⁸. Dabei sollten Schnittstellen in gleicher Weise wie konkrete Bauteile gehandhabt werden. Aus betriebswirtschaftlicher und technischer Sicht ist es mitunter von Vorteil, die Schnittstellenanzahl gering zu halten. Je nach Wahl der Grund- und Anpassbausteine ändern sich die Voraussetzungen für die Schnittstellen.

(d) Baukastenlösungen

Prinzipiell sind bei der Generierung von Baukastenlösungen mitunter folgende Fragestellungen zu berücksichtigen:

²⁸ Die Problematik beim Umgang mit Schnittstellen ist, dass diese in der Entwicklung lediglich virtuell und nicht als reales Bauteil existieren.

- Welche Vorgaben/Ziele (des Baukastensystems/der Komponenten) müssen erreicht werden?
- Welche Produktanforderungen, Ausstattungslevels und Funktionen lassen sich segment- bzw. fahrzeugübergreifend konsolidieren?
- Welche technischen Maßnahmen erfüllen diese konsolidierten Anforderungen?
- Welche Gestaltungs- bzw. Lösungsmöglichkeiten für das Baukastensystem bieten sich an?
- Welche Einteilung von Grund- und Anpassbausteinen ist zweckmäßig?
- Welche Bausteine müssen miteinander kombinierbar sein?

Einen guten Anhaltspunkt zur Entscheidungsfindung geben die erstellten Anforderungsprofile (siehe Kapitel 5.4.4). Als Hilfsmittel dienen u. a. Checklisten, Konstruktionskataloge sowie der Leitfaden zum baukastengerechten Gestalten. Die Bildung von Lösungsszenarios rundet die Baukastenentwicklung ab.

Baukastenszenarios erarbeiten

Im letzten Schritt des Teilprozesses wird das Ziel verfolgt, Erfolg versprechende Alternativen zur Baukastengestaltung in Abhängigkeit der möglicher Einsatzszenarios zu generieren. Hierzu werden unterschiedliche Baukastenlösungen erarbeitet, die sich hinsichtlich der Wahl der Grund- und Anpassbausteine, der verwendeten Konzepte und Wirkprinzipien, der definierten Schnittstellen sowie der Abdeckung des Produktportfolios unterscheiden.

In diesen Szenarios werden die Einsatzdauer der Komponenten und die Lebensdauer des Baukastensystems ebenso festgelegt, wie der Umfang des übergreifenden Einsatzes und die anvisierten Komponentenstückzahlen. Annahmen über die marktseitig erwartete Häufigkeit einzelner Gesamtfunktionen sind nach KERSTEN zur Auslegung von Baukastensystemen deshalb von besonderer Bedeutung, damit das Baukastensystem technisch und wirtschaftlich für die am häufigsten nachgefragten Varianten optimiert werden kann [KERSTEN 2002, S. 80f.]. Außerdem werden in den Szenarios die Ausstattungslevels und Funktionalitäten für einzelne Baukastenprodukte bestimmt. Somit stellt ein Szenario einen Gesamtentwurf zur Baukastengestaltung stimmig dar.

Nach GRÄSSLER sind neben dem angestrebten Stückzahlbereich vier Gültigkeitsdimensionen festzulegen: Anwendungsbreite (angestrebte Anzahl an Produkt- bzw. Variantenableitungen aus dem Baukasten), Wiederverwendung auf unterschiedlichen Produkthierarchieebenen (Ansiedelung der Baukastenelemente eher auf einer Einzelteil-, Baugruppen-, Modul- oder Plattformebene), Anzahl an Vorzugstechnologien²⁹ des geplanten Produktspektrums sowie die anvisierte zeitliche Stabilität des Baukastens [GRÄSSLER 2001, S. 96].

Bei der Erarbeitung der Baukastenszenarios sind u. a. nachstehende Fragestellungen zu berücksichtigen:

- Welcher Baukasten wird eingesetzt, in welcher Ausprägung?

²⁹ Unter Vorzugstechnologien werden diejenigen Produktionstechnologien verstanden, die in der Produktion zum Standard erklärt werden. Abweichungen von diesem Standard werden unterbunden bzw. minimiert.

- In welchem Fahrzeug mit welcher Stückzahl wird der Baukasten eingesetzt?
- Wann laufen die Zielfahrzeuge an?
- Ab wann soll das Baukastensystem eingesetzt werden?
- Welche Szenarios sind möglich (Einsatzfahrzeuge, Stückzahlen, Ausstattungslevels und Funktionen etc.)?

Als Basis zur Generierung von Szenarios bietet sich die Kundenfunktionsmatrix (siehe Kapitel 5.4.2.3) und das Produktportfolio an (siehe Kapitel 6.1.2.5).

Gleichzeitig geht die Betrachtung der Chancen und Risiken³⁰ sowie der Auswirkung³¹ der unterschiedlichen Baukastenlösungen auf das Gesamtfahrzeug oder die Unternehmensstrategien im Rahmen des Risikomanagements einher.

Damit liegen nun mehrere plausibilisierte und favorisierte Lösungsalternativen für die Baukastengestaltung vor, von denen es abschließend eine auszuwählen gilt.

4.4.2.2.3 Bewertung

Ziel des letzten Teilprozesses ist es, mit der gesamthaften Bewertung der erarbeiteten Baukastenansätze eine belastbare Entscheidungsgrundlage zu schaffen. Diese strukturierte, zeitliche und budgetäre Beurteilung eines Prozesses oder Projekts hinsichtlich der Erreichung einer gewünschten Rendite erfolgt mittels eines Businessplans. Hierzu werden alle betriebswirtschaftlichen, technischen und strategischen Einflussgrößen sowie deren Zusammenhänge vollständig und transparent dargestellt. Kapitel 5.4.6 beschäftigt sich detaillierter mit der Bewertung und entsprechenden Hilfsmitteln.

Gerade bei Baukastenentwicklungen ist es nach PAHL & BEITZ wichtig, die Auslegung der Grundbausteine und damit ihre Kosten nach den umsatzstarken Funktionsvarianten auszurichten. Hierbei ist der Einfluss der übrigen Bausteine auf die Grundbausteine hinsichtlich deren Optimierung bedeutsam [PAHL & BEITZ 1997, S. 617].

Zur besseren Durchdringung und zur Prüfung der Stabilität der Bewertung zugrunde liegenden Basis bietet sich eine Sensitivitätsanalyse an. Beispielsweise können die Auswirkungen geänderter Stückzahlen auf den Kapitalwert untersucht werden.

Auf Basis dieser gesamthaften Bewertung aller generierten Ansätze wird die am besten geeignete Lösungsalternative verbindlich ausgewählt, mit allen damit verbundenen Konsequenzen. Daran anschließend erfolgt die zur Umsetzung des Baukastensystems notwendige Leistungs- und Ressourcenplanung, womit die Baukastenentwicklung formal abgeschlossen ist.

³⁰ Gibt es Risiken bei der Technik, bei Markt/Anforderungen, der Integration, bzgl. der Qualität? etc.

³¹ Welche Prämissen sind zur Umsetzung des Baukastensystems erforderlich? Welche Kompromisse gehen damit einher (bei Anforderungen, Strategien etc.)? etc.

4.4.2.3 Umsetzung

Dem Prozess zur Baukastenentwicklung nachgelagert ist die eigentliche Realisation des Baukastensystems. Hierbei werden die Bausteine funktions- und fertigungsgerecht gestaltet. Die konstruktive Umsetzung der erarbeiteten Baukastenstrategie erfolgt optimalerweise dezentral in der jeweiligen Fachabteilung, um das dort vorhandene Expertenwissen zu nutzen. Als Input dienen die Ergebnisse des Baukastenentwicklungsprozesses. Hierdurch wird sichergestellt, dass die baukastentypischen Aspekte berücksichtigt werden. Somit kann die Umsetzung auf herkömmliche Weise ablaufen, unabhängig davon, ob es sich um ein Baukastensystem handelt oder nicht.

Etwaigen Änderungen, die meist im Laufe der Umsetzungsphase erkannt und notwendig werden, ist jedoch besonders zu begegnen. Aufgrund der Dezentralität fehlt den Beteiligten oft der erforderliche Gesamtüberblick. Um die Auswirkungen auf andere Baukastenkomponenten und auf andere Einsatzfahrzeuge abschätzen und koordinieren zu können, muss deshalb ein entsprechendes, zentral gesteuertes Änderungswesen installiert werden.

Besonders wichtig ist dabei, dass alle betroffenen Projektpartner rechtzeitig über etwaige Änderungen informiert werden. Oberste Priorität hat hierbei die Stabilität des zugrunde liegenden Businessplans. So können scheinbar kleine Änderungen bereits erhebliche Auswirkungen haben³². Aus diesem Grund sollten nach Möglichkeit alle Prämissen, auf denen der Businessplan basiert, bei der Umsetzung strikt und unverändert eingehalten werden.

4.5 Zusammenfassung

Eine zentrale Aufgabe des hier erarbeiteten Baukastenentwicklungsprozesses ist die systematische Erstellung von Baukastenansätzen in den frühen Entwicklungsphasen zur Beherrschung komplexer, variantenreicher Produkte. Hierdurch wird die Schaffung übergreifender Synergieeffekte ermöglicht und eine Optimierung der Variantenvielfalt unterstützt. Dazu ist es häufig notwendig, sich von der Gestaltungsform vorhandener Einzelentwicklungen zu lösen. Unter Umständen muss in anderen Konstruktionsformen und Produktstrukturen gedacht werden, um vereinheitlichungsfähige Bauteile zu finden.

Hierzu dient die Funktionsorientierung. Ferner stellt sie den Kundenwert der zu entwickelnden Funktionen in den Mittelpunkt. Dadurch können die Kundenbedürfnisse bestmöglich erfüllt werden und zusätzlich innovative Lösungen gefunden werden. Außerdem berücksichtigt die funktionsorientierte Vorgehensweise die speziellen Anforderungen an Baukastensysteme im Premiumsegment. Kapitel 5.4.2 geht auf die Funktionsorientierung näher ein.

³² Schert ein Fahrzeugprojekt wegen geänderter Rahmenbedingungen aus dem Baukastensystem aus, ändern sich die dem Baukasten zugrunde liegenden Stückzahlen. Im schlimmsten Fall ist der Baukastenansatz wegen der unzutreffenden Annahmen nicht mehr wirtschaftlich darstellbar.

Der Baukastenentwicklungsprozess ist generisch gehalten, um unterschiedlichste Projekte bedienen zu können. Der Prozess selbst orientiert sich dabei am generischen Phasenmodell, das gängige Entwicklungsprozesse in die Phasen Planen und Klären der Aufgabe, Konzipieren, Entwerfen, Bewerten und Ausarbeiten unterteilt. Dieses Vorgehen mit den entsprechenden Meilensteinen ermöglicht auch die Bearbeitung komplexer, variantenreicher Produkte. Um den Produktreifegrad während der Entwicklung zu steigern, hat sich das Projektmanagement zu den jeweiligen Meilensteinen an funktionsorientierten Reifegraden zu orientieren [LISKE & WESTERHÜS 2005, S. 1].

Ausgangspunkt der Entwicklung sind die zu realisierenden Baukastenprodukte mit den entsprechenden Eigenschaften und Funktionen. Darüber hinaus ist es bei der Gestaltung von Baukastensystemen wichtig, zukünftige Varianten vorzudenken und im Gesamtkonzept zu berücksichtigen [GRÄSSLER 2001, S. 96]. Die hierfür notwendige Anforderungsanalyse aller betroffenen Fahrzeuge stellt die Basis zur Schaffung und Nutzung übergreifender Synergieeffekte dar.

Der Baukastenentwicklungsprozess ist in den frühen Phasen der Produktentwicklung angesiedelt, weshalb sich Anforderungen oft nicht ausreichend präzisieren lassen. Zumal im Laufe der Entwicklung weitere Restriktionen auftauchen, erfolgt eine schrittweise Konkretisierung der Anforderungen parallel zur Lösungssuche [RIEPE 2003, S. 182]. Mitunter hieraus resultiert die erwähnte iterative Abarbeitung der Schritte zur Baukastenentwicklung.

In der Entwicklungsphase werden zuerst wichtige Problembereiche (z. B. Hauptfunktionen) konkretisiert, bevor weitere bearbeitet werden. So kann der Detaillierungsgrad verschiedener Lösungen unterschiedlich sein. Durch Meilensteine (z. B. Prinziplösung) wird dieses Vorgehen synchronisiert [RIEPE 2003, S. 182].

Die Steuerung des Prozesses erfolgt zentral, wohingegen die Umsetzung dezentral in den jeweiligen Fachbereichen geschieht. Nach LISKE & WESTERHÜS schafft eine sinnvolle Entkopplung der Komponenten- und Gesamtfahrzeugentwicklung Potenziale hinsichtlich Kosten-, Qualitäts- und Kommunalitätszielen [LISKE & WESTERHÜS 2005, S. 1].

Eine gesamthafte Bewertung schließt die Baukastenentwicklung ab. Ziel ist dabei, aus Unternehmenssicht das Gesamtoptimum zu finden. Ein wesentliches Element darin ist die Prognose der Kosten und der zu erzielenden Kostendegression, um unterschiedliche Stückzahlen der Bausteine in den Baukastenszenarios zu berücksichtigen.

Ergeben sich während der Baukastenentwicklung oder während der anvisierten Laufzeit des Baukastens Änderungen der zu erfüllenden Anforderungen oder Prämissen, so muss der zugrunde liegende Businessplan mit den neuen Rahmenbedingungen erneut validiert werden. Dies wird notwendig, um die Auswirkungen der Änderungen auf das gesamte Baukastensystem erkennen zu können. Schlimmstenfalls muss die Entwicklung oder der Einsatz des Baukastens abgebrochen werden.

GRÄSSLER empfiehlt deshalb, Abbruchkriterien vorzusehen, die ein mögliches Nutzungsende signalisieren. Diese dienen auch dazu, keinen wettbewerbsentscheidenden Technologiesprung zu verpassen [GRÄSSLER 2001, S. 97]. Wird der Baukasten über einen längeren Zeitraum

genutzt, reicht es deshalb nicht, die Bausteine einmal zu entwickeln. Vielmehr muss begleitend zum Prozess der Serienentwicklung eine Pflege und Weiterentwicklung der Bausteine erfolgen [NEFF ET AL. 2001a, S. 388].

Je nach betrachtetem Umfang, der Variantensituation oder der gewünschten Zielrichtung ergeben sich unterschiedliche Ergebnisse aus dem Baukastenentwicklungsprozess. Zur systematischen Unterstützung sind geeignete Methoden und Hilfsmittel notwendig, die Gegenstand des folgenden Kapitels sind.

5 Situative Unterstützung im Umfeld der Baukastenentwicklung

Im vorangegangenen Kapitel wurde der funktionsorientierte Prozess zur Entwicklung von Baukastensystemen vorgestellt. Prinzipiell lassen sich mit diesem universellen Vorgehen Baukastenansätze jeglicher Art zur Beherrschung der Variantenvielfalt, unabhängig von der betrachteten Branche generieren.

Um die Abarbeitung dieses Prozesses zu erleichtern und die Effektivität zu erhöhen, sind entsprechende Instrumente notwendig. Essenziell ist dabei die systematische Unterstützung unterschiedlichster Situationen. Deshalb liegt der Fokus in diesem Kapitel auf Methoden und Hilfsmitteln, die den Entwickler zu jedem Zeitpunkt des Baukastenentwicklungsprozesses situativ und systematisch unterstützen.

Die zahlreich erarbeiteten Methoden und Hilfsmittel sind in einer spezifischen Methodensammlung zur Baukastenentwicklung zusammengefasst (Toolbox). Teilweise bauen die Ergebnisse auf bestehende Methoden auf, ergänzt und erweitert um spezielle Baukastenbelange. Bei zusätzlichem Bedarf wurden darüber hinaus neue Ansätze formuliert.

Schwerpunktmäßig deckt diese Toolbox jede Phase des erarbeiteten Prozesses zur Baukastenentwicklung ab, deren Wirksamkeit fortwährend in der Projektarbeit überprüft und sichergestellt wurde. In diesem Kapitel werden die wichtigsten Elemente der Toolbox vorgestellt.

5.1 Anforderungen und Zielsetzung der methodischen Unterstützung

Für die Entwicklung von Baukastensystemen werden nach FIRCHAU in der Industrie effektive und effiziente Methoden zur Analyse, Bewertung und Gestaltung variantenreicher Produktspektren dringend benötigt. Hierzu empfiehlt er die flexible Nutzung unterschiedlicher Methoden mit unterschiedlicher Intensität [FIRCHAU 2003, S. 14]. Die Lösung ist nämlich nicht die allumfassende Übermethodik, sondern die flexible Nutzung unterschiedlicher Methoden mit unterschiedlicher Intensität, abhängig von den Erfordernissen der Situation [LINDEMANN 2001b, S. 76]. Mit der situativen Anpassung und Neukombination von Methoden beschäftigt sich ZANKER intensiv (ZANKER [1999]). SCHWANKL weist auf verschiedene Untersuchungen (STETTER [2000], VIERTLBÖCK [2000]) hin, nach denen die geeignete Gestaltung von Methoden und Hilfsmitteln entscheidend für die Akzeptanz im industriellen Umfeld ist [SCHWANKL 2002, S. 99].

Zur geeigneten Unterstützung der Baukastenentwicklung wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit die Toolbox entwickelt. Anforderungen und Zielsetzung waren dabei

- die Schaffung von Transparenz,
- die situative Anwendbarkeit in unterschiedlichen Projekten,

- die systematische Unterstützung der Entwickler,
- ein Orientierung gebender Charakter sowie
- die Akzeptanz im industriellen Umfeld.

Der anwenderorientierte Aufbau der Toolbox ist zur Erreichung aller genannten Zielsetzungen dreigeteilt, bestehend aus Methoden, Prozessen und Hilfsmitteln (Abbildung 5-1). Hierdurch werden die Felder Technik, Betriebswirtschaft und Organisation abgedeckt. Schwerpunktmäßig wird die Entwicklungsphase unterstützt. Die Abbildung gibt auch die zugehörige Kapitelstruktur wieder.

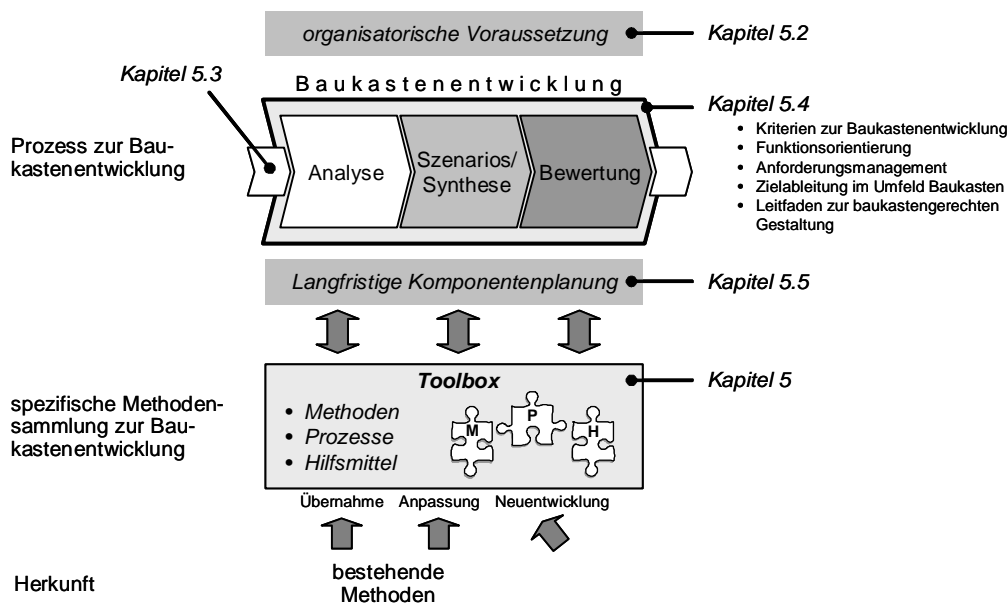


Abbildung 5-1: Inhaltlicher Aufbau der Toolbox zur Unterstützung der Baukastenentwicklung

Die Toolbox liefert grundsätzliche Vorgehen und Hilfsmittel. In speziellen Anwendungsfällen können die Methoden an die herrschenden Erfordernisse angepasst werden. Demnach ist die Toolbox nicht als starres Gebilde anzusehen, sondern lebt davon, dass bestehende Inhalte überarbeitet oder neue eingefügt werden.

Nachfolgend wird näher auf ausgewählte Elemente der Methodensammlung eingegangen, welche die Entwicklung von Baukastensystemen unterstützt. Für das Prozessumfeld werden notwendige Hilfsmittel, Voraussetzungen und Rahmenbedingungen zusätzlich erarbeitet.

5.2 Organisatorische Voraussetzung

Aufgrund der hohen Bedeutung sollte eine Baukastenentwicklung nur auf Basis einer entsprechenden Strategie erfolgen. Diese Baukastenstrategie ist in die Unternehmensplanung einzubetten und mit den übrigen Strategien abzugleichen (Abbildung 5-2).

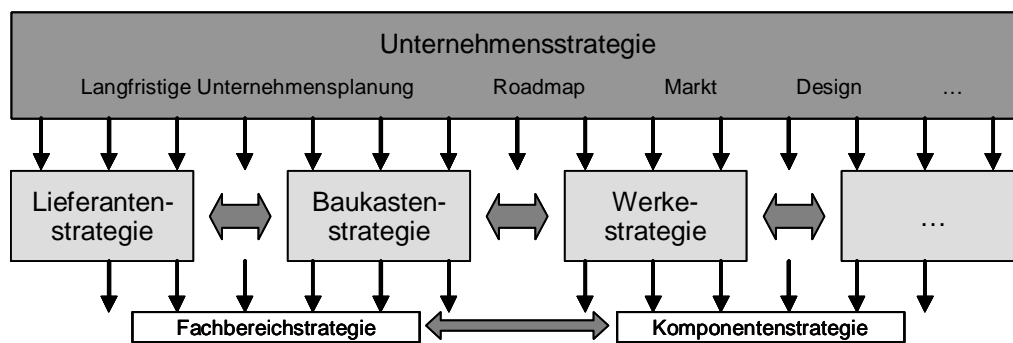


Abbildung 5-2: Strategischer Rahmen und seine Durchgängigkeit als Voraussetzung zur erfolgreichen Baukastenentwicklung

Nur top down ist eine erfolgreiche Baukastenentwicklung in komplexer Projektumgebung mit vielen Schnittstellenpartnern möglich. Hierfür ist die Unterstützung des Managements unbedingte Voraussetzung. Die Einführung des Baukastengedankens erfordert häufig ein Umdenken bei allen Beteiligten und teilweise Veränderungen bei Unternehmensprozessen (Change Management).

5.3 Unterstützung in der Phase der Themenpriorisierung

Die Baukastenentwicklung beginnt mit der Themenpriorisierung. Auf Basis eines transparenten Überblicks über die Einzelthemen erfolgt die Bewertung und Priorisierung derselben. Dies dient gleichzeitig als Input für ein Multiprojektmanagement. Durch die entsprechende Projektselektion wird nach WILDEMANN die Effizienz gesteigert und das Ziel des Multiprojektmanagements erreicht. Hierzu zählen

- die Sicherstellung höchster Effektivität,
- die Nutzung möglicher Synergieeffekte sowie
- die Reduzierung der Anzahl parallel zu bearbeitender Projekte bei gleichzeitiger Erhöhung der Intensität [WILDEMANN 2005b, S. 114ff.].

Zur systematischen Durchführung der Themenpriorisierung wurde eine Checkliste¹ entwickelt, die sowohl für Anpass- oder Weiterentwicklungen als auch für Neuentwicklungen einsetzbar ist. Anhang 10.6 zeigt dieses Hilfsmittel. Die Arbeit mit dieser Checkliste unterteilt sich dabei in zwei Phasen. Als Grundlage für die Themenpriorisierung genügt die qualitative Bearbeitung der Liste. Folglich kann der hierfür notwendige Aufwand so gering wie möglich gehalten werden.

Im weiteren Verlauf der Baukastenentwicklung wird die Checkliste auf Basis der neu gewonnenen Informationen gepflegt, sodass immer detailliertere, qualitative Aussagen enthalten sind. Aus diesem Grund dient der Listeninhalt später als struktureller Input für die gesamthafte Bewertung im abschließenden Schritt des Baukastenentwicklungsprozesses.

¹ LINDEMANN zeigt verschiedene Methoden zur Bewertung auf [LINDEMANN 2005a, S. 223f.].

Nach der erstmaligen Anwendung liegen priorisierte Themen vor, die es im nächsten Schritt als Baukastensystem zu entwickeln gilt.

5.4 Unterstützung in der Phase der Entwicklung

Zur systematischen Entwicklung von Baukastensystemen sind neben dem in Kapitel 4.4.2 beschriebenen Prozess unterstützende Methoden und Hilfsmittel erforderlich. Angefangen von der Betrachtung von Kriterien zur Baukastengestaltung, der Funktionsorientierung, dem Anforderungsmanagement, einer entsprechenden Zielableitung, dem Leitfaden zur baukastengerechten Gestaltung und Konstruktion bis hin zur abschließenden Bewertung hält die erarbeitete Toolbox schwerpunktmäßig Unterstützung für diese Phase bereit.

Zu Beginn einer Baukastenentwicklung gilt es, sich mit den entsprechenden Kriterien zu beschäftigen.

5.4.1 Kriterien zur Baukastenentwicklung

Nicht alle Systeme oder Komponenten eignen sich in gleichem Maße zur Abbildung in Baukastensystemen. Um Baukastensysteme mit einer hohen Effizienz zu erreichen, müssen zahlreiche Voraussetzungen erfüllt sein. Diese lassen sich prinzipiell aufteilen in Kriterien² an

- das anvisierte Baukastensystem,
- die abzubildenden Systeme oder Komponenten,
- die notwendigen Schnittstellen bzw.
- die zu verwirklichenden Eigenschaften und Funktionen.

Sofern möglich, können passende Rahmenbedingungen auch erst geschaffen werden, beispielsweise durch die Anpassung von Lastenheften.

Die Kriterien erlauben einerseits die Ermittlung der Güte eines Baukastensystems. Andererseits kann damit auch die Baukastenfähigkeit der betrachteten Elemente beurteilt werden.

5.4.1.1 Differenzierung

Wie in den Kapiteln 2.2.2.1 und 2.2.3.1 beschrieben, haben Differenzierungen eine große strategische Bedeutung. Gerade mithilfe von Baukastensystemen soll die gewünschte externe (Differenzierungs-)Vielfalt mit einer möglichst geringen internen Vielfalt realisiert werden. Zur Identifikation möglicher Ansatzpunkte für die Wahl geeigneter Differenzierungen ist eine systematische Unterstützung notwendig. Die funktionsorientierte Vorgehensweise trägt bereits einen wichtigen Teil dazu bei. Für die technische Realisierung bieten sich zahlreiche Prinzipien an. Abbildung 5-3 stellt einen Auszug dar.

² Voraussetzungen, welche die geplanten Endprodukte erfüllen müssen, finden sich in Kapitel 5.4.4.1.

Prinzipien	Beispiele
• Hinzufügen	Memory Funktion für den Sitz, 16 Lautsprecher
• Reduzieren	Wegfall der Modellbezeichnung
• Austauschen	Austauschen von Blenden, Stoßfängern (Sonderzubehör)
• Anpassen	Sitzbezug an die Wünsche der Kunden anpassen (z. B. BMW Individual)
• Zerlegen	Funktion „Innenraum kühlen“ zerlegen in rechts und links kühlen
• Integrieren	Kindersitze in die Rücksitzbank integrieren
• Skalieren	Erhöhen der Motorleistung, Normalversion – Langversion (z. B. 7er)
• Einstellen	Einstellbarkeit der Sitzpositionen, Sprachvarianten bei Navigationssystemen
• Steigerung/Minderung	Eigenschaften verändern (z. B. Innengeräusch vermindern)
• Hervorheben/Abstimmen	Designmerkmale in den Vordergrund rücken (z. B. Zierleisten)

Abbildung 5-3: Mögliche Prinzipien zur Differenzierung in der Automobilbranche

Weiterführende Hilfestellung zur Bestimmung von potenziellen Differenzierungsmerkmalen gibt Anhang 10.7. Die Auswahl der Prinzipien hat in enger Abstimmung mit den jeweiligen Unternehmensstrategien und unter Berücksichtigung diverser Aspekte (Verhältnis Kosten-/Nutzen, Montierbarkeit, Design etc.) zu erfolgen. Außerdem sind nicht alle Differenzierungsansätze gleich gut für eine Baukastenbauweise geeignet.

5.4.1.2 Baukastenfähigkeit

Nur wenn ein System oder eine Komponente aufgrund der Eigenschaften grundsätzlich baukastenfähig ist, kommt eine weitere Baukastenentwicklung in Betracht. Bei der Entwicklung von Baukastensystemen ist darauf zu achten, dass entsprechende Anforderungen und Randbedingungen gelten und die Elemente baukastengerecht ausgeführt werden. Tabelle 5-1 stellt auszugsweise zu berücksichtigende Erfolgskriterien dar, die im Laufe der Projektarbeit identifiziert wurden.

Tabelle 5-1: Erfolgskriterien eines Baukastensystems und seiner Subsysteme

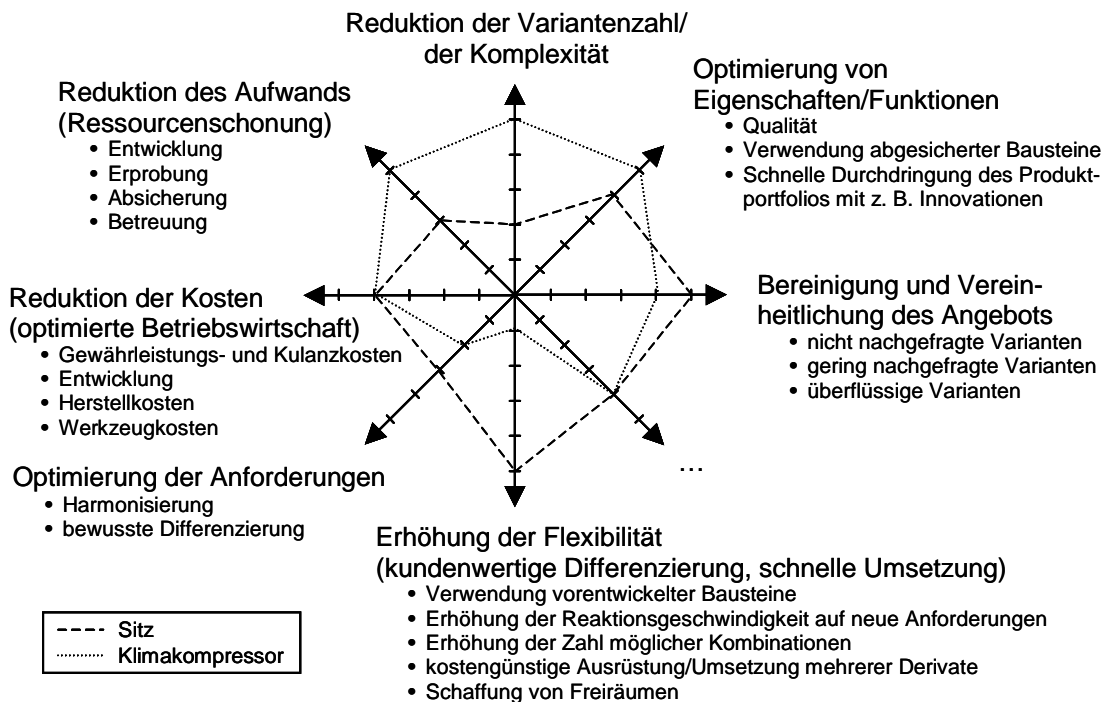
gesamter Baukasten	Schnittstellen
<ul style="list-style-type: none"> • spart Entwicklungszeit und -kosten • „einfache“ Erzeugung der Varianz • erlaubt mit wenigen Komponenten viele Kombinationen • flexibel erweiterbar • übersichtlicher und gut strukturierter Aufbau • pflegeleichte Handhabung • ermöglicht einfach, schnell und kostengünstig Anpassungen • erlaubt den Austausch von Komponenten • Einsatz in Multiprojektsituationen möglich • ermöglicht Kundenindividualität/Differenzierung • übergreifender Einsatz 	<ul style="list-style-type: none"> • festgelegt und verbindlich • sinnvoll platziert • einfache, standardisierte und verwechslungssichere Fügestellen • sollten bei verschiedenen Varianten eines Bausteins räumlich immer an der gleichen Stelle liegen • erweiterbar • flexibel anpassbar an zukünftige Entwicklungen • werden vom kritischen Baustein bestimmt • ausführlich dokumentiert • unterliegen einem Änderungsmanagement • besitzen einen Verantwortlichen
Systeme/Komponenten/Bausteine	Eigenschaften/Funktionen
<ul style="list-style-type: none"> • Bausteineinteilung orientiert sich am Lebenszyklus • Varianz liegt in kostengünstigen Bausteinen • Baugruppen bestehen aus Bausteinen mit einem ähnlichen Lebenszyklus • skalierbar • mit Nachbarkomponenten ausreichend kombinierbar • decken einen Eigenschafts- und Funktionsumfang ab, der noch nicht durch einen anderen Baustein oder durch Kombination von Bausteinen realisiert wird • hohe Wiederholrate bei Grundbausteinen 	<ul style="list-style-type: none"> • Vermeidung einer Funktionsuntererfüllung • so wenig Funktionsüberfüllung wie möglich • zukünftige Funktionen sind integrierbar

Darüber hinaus sind weitere, allgemeinere Kriterien zu beachten. Hierzu gehört, ob ein Bauteil derart designabhängig oder -kritisch ist, dass es in einem Baukastensystem nicht wirtschaftlich abbildbar ist. Des Weiteren kann eine Komponente aufgrund bestimmter Kostensituationen nicht im Baukasten aufgenommen werden. Beispielsweise, wenn die Kosten einer Komponente relativ niedrig sind und folglich durch eine übergreifende Verwendung kaum zusätzliche Einsparungen erzielbar sind.

Solche Entscheidungen sind mitunter stark von der gewünschten Zielrichtung der Baukastenentwicklung abhängig.

5.4.1.3 Stoßrichtung der Baukastenentwicklung

Wie im Kapitel 3.1.4 erläutert, hat die Baukastenbauweise zahlreiche Vorteile. Bei der Konzeption eines Baukastens ist es wichtig, die gewünschte Stoßrichtung zu kennen. Je nachdem, welche Effekte durch die Entwicklung eines Baukastensystems primär erzielt werden sollen, ändert sich die Gestaltung des Systems. Abbildung 5-4 stellt mögliche Stoßrichtungen mit unterschiedlichem Entwicklungsfokus dar.



Zwischen den Stoßrichtungen/Kriterien können starke Interdependenzen herrschen.

Abbildung 5-4: Mögliche Stoßrichtungen eines Baukastensystems mit unterschiedlichen Entwicklungszielen

So steht beispielsweise bei der Baukastenentwicklung für Sitze neben der Variantenbeherrschung die Erhöhung der Flexibilität im Vordergrund, um dem Kunden eine höhere Individualisierung zu ermöglichen. Beim in der Kundenwahrnehmung geringer angesiedelten Klimakompressor hingegen ist etwa die Reduzierung der Variantenzahl und des Aufwandes

das primäre Ziel. Da bei beiden Komponenten unterschiedliche Ziele im Vordergrund stehen, werden sich die Baukastenkonzepte unterscheiden³.

Zwischen den in Abbildung 5-4 aufgeführten Kriterien können mitunter starke Interdependenzen herrschen. Dies liegt darin begründet, dass sich diverse Stoßrichtungen gegenseitig beeinflussen können. Mit der Reduktion der Variantenzahl geht etwa eine Verringerung des Aufwandes einher. Eine isolierte Betrachtung ist deshalb meist nicht möglich.

Außerdem ändert sich das Potenzial zur Differenzierung bzw. Standardisierung je nach der betrachteten Produktstrukturebene (Abbildung 5-5).

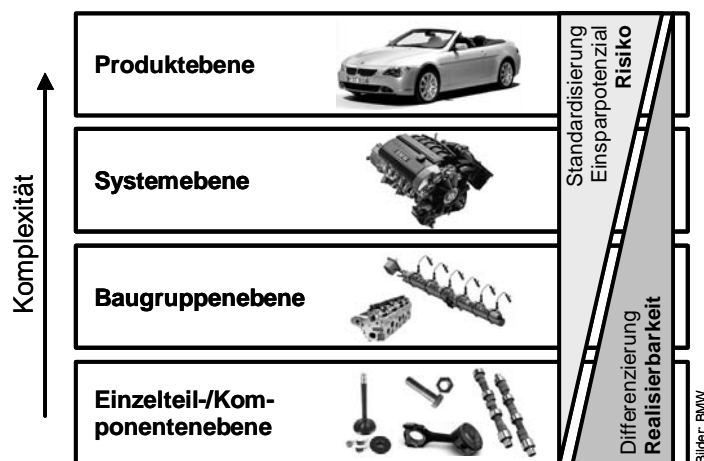


Abbildung 5-5: Potenzial zur Differenzierung bzw. Standardisierung bei der Baukastenentwicklung in Abhängigkeit der Produktstrukturebene

In der Einzel- und Komponentenebene ist die Realisierbarkeit eines Baukastensystems am größten. Dies liegt hauptsächlich in der geringen Komplexität der Bauteile begründet. Mit zunehmender Komplexität in den oberen Ebenen sinkt die Umsetzungswahrscheinlichkeit eines Baukastenansatzes, da die Umfänge immer mehr spezifische Teile und Funktionen enthalten und die an sie gestellten Anforderungen immer zahlreicher werden. Gleichzeitig ist auf Einzelteilenebene die Möglichkeit zur Differenzierung am größten, da der Kunde einzelne Bauteile wie Schrauben, Ventile, Dichtringe etc., die als Gleichteile eingesetzt werden, kaum als solche wahrnimmt. Werden jedoch ganze Systeme wie der Motor oder im Extremfall das gesamte Produkt angeglichen, so bemerkt dies der Kunde eher. Umgekehrt sind auf System- oder Produktebene durch zunehmende Standardisierung die Einsparpotenziale am größten. Das lässt sich auf die deutlich höheren Herstell- und Entwicklungskosten als bei Einzelteilen zurückführen. Folglich sind hier durch Skalen- oder Synergieeffekte in der Regel auch größere Einsparungen zu erzielen.

Um die Kundenbedürfnisse stärker in den Mittelpunkt der Entwicklungsarbeit zu rücken und angedachte Lösungen aus Kundensicht beurteilen zu können, wird in der vorliegenden Arbeit

³ Auch bei gleichen Baukastensystemen (z. B. Sitzbaukasten) führen unterschiedliche Entwicklungsziele zu unterschiedlichen Lösungen.

ein funktionsorientiertes Vorgehen angewendet. Im Zusammenhang mit Baukastensystemen stellt die funktionsorientierte Entwicklung eine neue Vorgehensweise dar, die allgemein bei übergreifenden Ansätzen und speziell im Premiumbereich notwendig ist.

5.4.2 Funktionsorientierung

Wie in Kapitel 4.2 beschrieben, hat die Funktionsorientierung den Zweck, die Kundenbedürfnisse in den Vordergrund zu stellen und elementare Entscheidungen auch aus Kundensicht zu treffen. Auf diese Weise kann am besten und treffsichersten das Ziel einer jeden Unternehmung erreicht werden, möglichst viele ihrer Produkte am Markt abzusetzen. In der Regel werden nämlich jene Erzeugnisse erfolgreich verkauft, die den Kundenerwartungen am ehesten entsprechen. Wichtig hierfür ist die Identifikation des maximalen Beitrags zum Kundennutzen im Vorfeld der Entwicklung (Abbildung 5-6). Dadurch soll sowohl eine Unter- als auch Übererfüllung des Kundennutzens vermieden werden.

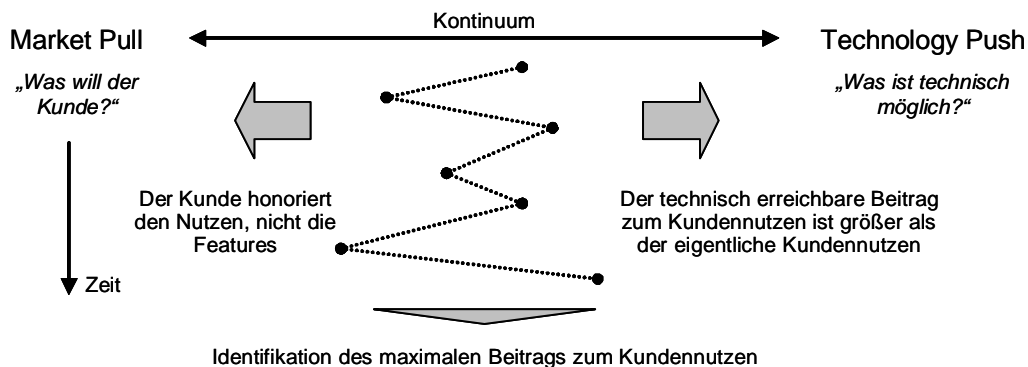


Abbildung 5-6: Kundennutzenorientierung – Gestaltungsspielraum statt Überspezifikation [SCHUH 2006, S. 18]

Demgemäß ist prinzipiell nur das technisch umzusetzen, was sich der Kunde wünscht und den Kundennutzen klar erkennbar erhöht. Auch die Art und Weise der Realisierung ist hiervon betroffen. Im Regelfall interessiert den Kunden eine vom Produkt angebotene, wahrnehmbare Funktion, wohingegen die technische Umsetzung und Realisierung als nebensächlich betrachtet wird, da sie den Augen des Kunden meistens ohnehin verborgen ist. Das Entwicklerteam sollte alle relevanten Entscheidungen aus Kundensicht treffen und eigene Anforderungen zurückstellen. Dadurch kann die Technikverliebtheit vermieden werden, die Wilfried Budke (Chef der Unternehmensberatung Intra in Düsseldorf) nach ROSE den deutschen Herstellern und Ingenieuren unterstellt und für die hohe Variantenvielfalt verantwortlich macht [ROSE 2005, S. 17].

Diese Konzentration auf den Kundennutzen ist auch gerade im Zusammenhang mit dem Wettbewerbsumfeld notwendig, was Abbildung 5-7 verdeutlicht.

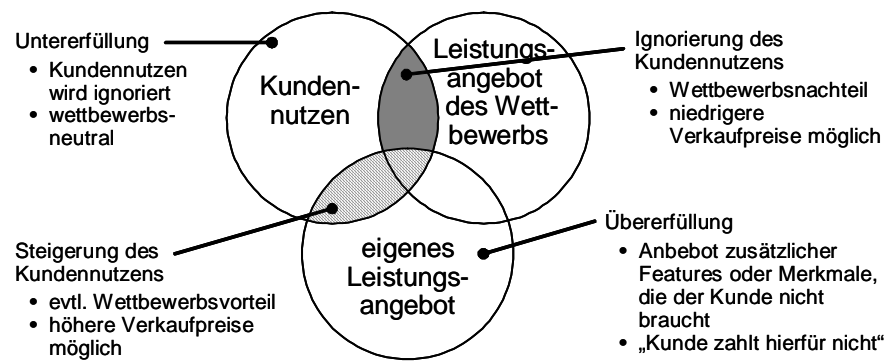


Abbildung 5-7: Konzentration auf den Kundennutzen vor Hintergrund des Wettbewerbs

Außerdem spielt die Lösungsneutralität eine wichtige Rolle. Ohne die implizite Festlegung auf bestimmte Lösungen ermöglicht sie die Entwicklung neuer und innovativer Ansätze. Gerade für die Baukastenentwicklung bringt dieser Aspekt den großen Vorteil, komponentenbezogene Hürden zu verhindern. Im Gegensatz zu neuen, hierfür entwickelten Ansätzen gestaltet sich der übergreifende Einsatz bestehender Komponenten mitunter schwierig. Dies liegt darin begründet, dass bei den vormaligen Anforderungen der übergreifende Einsatz mit seinen speziellen Randbedingungen nicht berücksichtigt wurde. Somit ist es zur Maximierung möglicher Synergieeffekte bei der Entwicklung von Baukastensystemen wichtig, sich von vorhandenen Lösungen zu trennen und neuartige anforderungsgerecht zu generieren.

Darüber hinaus ist die funktionsorientierte Produktanalyse nach WILDEMANN die Voraussetzung für einen umfassenden Erkenntniszuwachs. Hierdurch gewonnene Funktionskosten bilden die Basis für eine spätere Zielkostenbestimmung [WILDEMANN 2005b, S. 64].

Durch den Einsatz der Analyse von Funktionen im Rahmen der Funktionsorientierung sollen wertorientierte Produkte und Dienstleistungen verbessert werden [AKIYAMA 1994, S. 57]. Dazu zählt unter anderem die Optimierung der Qualität sowie der Entwicklungs- und Produktionszeit, wodurch eine höhere Kundenzufriedenheit erreicht werden soll. Tabelle 5-2 zeigt die Aktivitäten im Entwicklungsprozess und die zu erwartende Wirkung der Funktionsorientierung auf.

Tabelle 5-2: Wirkung der Funktionsorientierung auf die Produktentwicklung [nach AKIYAMA 1994, S. 44]

Aktivitäten im Produktentwicklungsprozess	Wirkungen durch die Anwendung der Funktionsorientierung
Problem klären	<ul style="list-style-type: none"> Die Ermittlung von Kundenanforderungen geschieht einfacher auf Basis von Funktionen. Eine funktionale Sichtweise sorgt für ein klares Bild der Ziele des Entwicklungsobjektes.
Lösungen suchen	<ul style="list-style-type: none"> Das Verarbeiten von Informationen und Ideen kann besonders innovativ sein, wenn es auf lösungsneutralen Funktionen basiert. Die Funktionsanalyse klärt, welche Funktionen dem Produkt zugewiesen werden müssen.
Lösungen auswählen	<ul style="list-style-type: none"> Eine funktionelle Sichtweise sorgt für eindeutige Bewertungskriterien. Das Entscheiden kann einfacher vonstatten gehen, wenn es auf lösungsneutralen Funktionen basiert.

Im Umfeld der Baukastenentwicklung unterstützt die Funktionsorientierung u. a. nachfolgende Punkte:

- Erhöhung der Transparenz,
- Lösung von Zielkonflikten,
- Einbringung baukastentypischer Anforderungen,
- Aufzeigen von Zieldivergenzen (siehe Kapitel 5.4.4),
- ganzheitliche Betrachtung und
- Funktionsintegration.

Der Ausgangspunkt einer jeden Entwicklung stellen die Anforderungen dar⁴. Um den expliziten Kundenbezug zu erhalten, wird beim funktionsorientierten Vorgehen bereits bei der Auswahl und Formulierung der Anforderungen die Kundenwertigkeit betont. Prinzipiell ist auf eine lösungsneutrale Formulierung zu achten. Das nachfolgend erläuterte Vier-Säulen-Modell stellt den Ablauf einer funktionsorientierten Entwicklung dar.

5.4.2.1 Vier-Säulen-Modell

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die Funktionsorientierung im Baukastenentwicklungsprozess eingebettet und den baukastenspezifischen Belangen angepasst. Hierzu wurde das Vier-Säulen-Modell zur Unterstützung eines funktionsorientierten Vorgehens entwickelt. Es ermöglicht die konsequente Verbindung von Kundenanforderungen (was soll realisiert werden?), welche sich in den Eigenschaften der Fahrzeuge ausdrücken, mit den zu entwickelnden Fahrzeugkomponenten (mittels welcher Wirkprinzipien?). Diese Überführung kann nur durch eine intensive und gesamthafte Betrachtung der Produktfunktionen (wie soll die Anforderung umgesetzt werden?) hergestellt werden.

Allgemeine Erläuterung

In der Regel erfolgt die funktionsorientierte Entwicklung in zwei Durchläufen nach folgendem Schema.

Ausgehend von den kundenwertig und lösungsneutral formulierten Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt werden die Soll-Funktionen abgeleitet⁵. Diese werden anschließend detailliert, in Funktionen überführt und zu einer Funktionsstruktur verknüpft. Im nächsten Schritt werden zur Erfüllung der Teilfunktionen mögliche Wirkprinzipien gesucht⁶. Die Funktionen werden dabei dem physikalischen Verhalten des Wirkprinzips angepasst und die Funktionsstruktur zu einer physikalischen Wirkstruktur konkretisiert. Daran anschließend

⁴ Anhang 10.8 definiert das für die Funktionsorientierung notwendige Begriffsumfeld.

⁵ Auch die gestalt- oder bauteilorientierte Entwicklung geht von den Produkthanforderungen aus. Im Gegensatz zur funktionsorientierten Entwicklung werden hier zu Beginn bereits Designanforderungen oder Bauraumvorgaben für grobe Funktionsgruppen definiert, ohne dass konkrete Vorstellungen über die Lösung vorliegen [RIEPE 2003, S. 183].

⁶ vgl. RIEPE [2003, S. 276f.]

erfolgt die Überführung der Wirkprinzipien in technische Lösungen. Als Ergebnis dieses ersten Durchlaufs liegen somit potenzielle Lösungen vor, die rudimentär beschrieben sind.

Zur weiteren Konkretisierung einer der gerade erarbeiteten Lösungen wird das Vier-Säulen-Modell erneut durchlaufen. Die Anforderungen an die erarbeitete Lösung werden wieder in eine Funktionsstruktur überführt. Anschließend wird wiederum die zugehörige Wirkstruktur abgeleitet. Zu guter Letzt erfolgt die Konkretisierung der Wirkprinzipien zu vollständig spezifizierten Einzelteilen.

Bei jedem Schritt der beiden Durchläufe verringert sich die Lösungsneutralität kontinuierlich, bis schließlich eine vollständig beschriebene und spezifizierte Lösung vorliegt. Abbildung 5-8 stellt dieses Vier-Säulen-Modell als methodisches Vorgehen zur Funktionsorientierung am Beispiel eines Heiz-/Klimageräts schematisch dar, das nachfolgend erläutert wird.

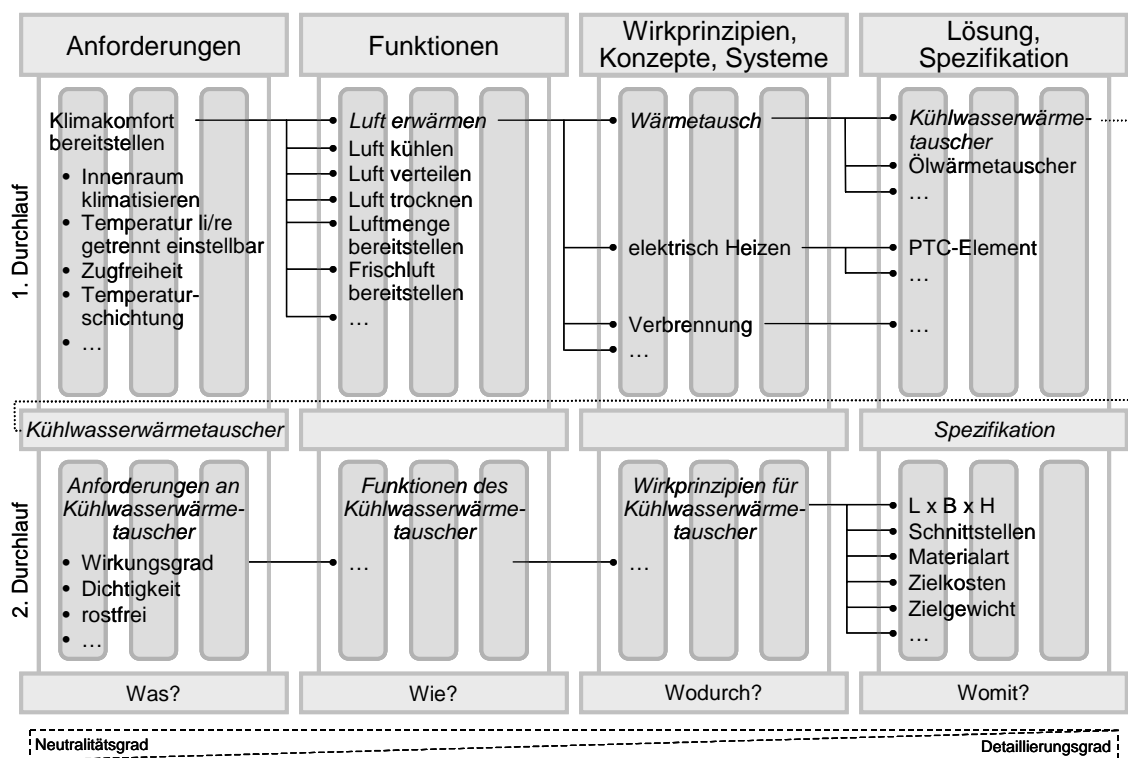


Abbildung 5-8: Vier-Säulen-Modell als methodisches Vorgehen zur Funktionsorientierung am Beispiel Heiz-/Klimagerät

Ablauf am Beispiel Heiz-/Klimagerät

Als Hauptanforderung kann für ein Heiz-/Klimagerät „Klimakomfort bereitstellen“ angenommen werden. Weiter konkretisiert ergeben sich Anforderungen wie „Innenraum klimatisieren“, „Temperatur links/rechts getrennt einstellbar“ etc. Abgeleitet von der Hauptanforderung ergeben sich die notwendigen Funktionen „Luft erwärmen“, „Luft kühlen“, „Luft verteilen“ usw., die zu einer Funktionsstruktur verknüpft werden. Daran anschließend erfolgt die Überleitung in Wirkprinzipien. Für die Funktion „Luft erwärmen“ bieten sich u. a. die Wirkprinzipien „Wärmetausch“, „elektrisch Heizen“ oder „Verbrennung“ an. Untersucht man

die Alternative „Wärmetausch“ näher, so finden sich hierzu technische Lösungen mittels eines „Kühlwasserwärmetauschers“ oder eines „Ölwärmetauschers“.

Wird nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten beispielsweise die Lösung mittels eines „Kühlwasserwärmetauschers“ ausgewählt, wird zur weiteren Konkretisierung derselben das Vier-Säulen-Modell erneut durchlaufen. Ausgehend von den Anforderungen an den „Kühlwasserwärmetauscher“ werden die Funktionsstrukturen abgeleitet und in Wirkstrukturen überführt. Diese werden abschließend exakt spezifiziert, sodass die Merkmalsausprägungen der notwendigen Komponenten vollständig bekannt sind. Hierzu zählen etwa Abmessungen (Länge, Breite, Höhe), die verwendeten Materialien, Zielkosten und -gewicht etc.

Dieses Modell spiegelt die Durchgängigkeit des funktionsorientierten Vorgehens wider. Dabei ist ein iteratives Vorgehen, also das „Hin-und-her-Springen“ zwischen den Säulen, möglich und zur schrittweisen Verfeinerung der Konzepte und Lösungen sogar essenziell. Die Übergänge zwischen den einzelnen Säulen können mithilfe der Methode zur funktionalen Verknüpfung überschritten werden.

5.4.2.2 Funktionale Verknüpfungen

Der Übergang im Vier-Säulen-Modell von Funktionen über Wirkprinzipien hin zu Lösungen wird durch die Verknüpfung von Funktionen und Funktionsträgern unterstützt. Mit der Visualisierung und Variation dieser Verknüpfung werden mehrere Punkte erzielt:

- Bestimmung und Optimierung der Abhängigkeiten,
- Optimierung⁷ der Funktions- und Funktionsträgerstrukturen sowie
- Bestimmung des optimalen Modularisierungsgrads.

Funktionsträger stellen in der Produktstruktur Komponenten oder Systeme dar. Abbildung 5-9 zeigt die Verknüpfung von Funktionen und Funktionsträgern exemplarisch anhand einer Funktionsmatrix⁸. Prinzipiell sind auch andere Darstellungsarten, beispielsweise in Form einer Baumstruktur geeignet.

⁷ EICHINGER ET AL. beschäftigen sich mit der Unterstützung der Optimierung [EICHINGER ET AL. 2006, S. 229-236].

⁸ Dieser Zweck ähnelt dem „House of Quality“, das in der Methode QFD (Quality Function Deployment) Anwendung findet (weiterführende Literatur: LINDEMANN [2005, S. 263f.]). KERSTEN betont, dass die QFD-Matrix den Einfluss der Komponenten auf die vom Kunden wahrgenommenen Qualitätsmerkmale zeigt [KERSTEN 2002, S. 81].

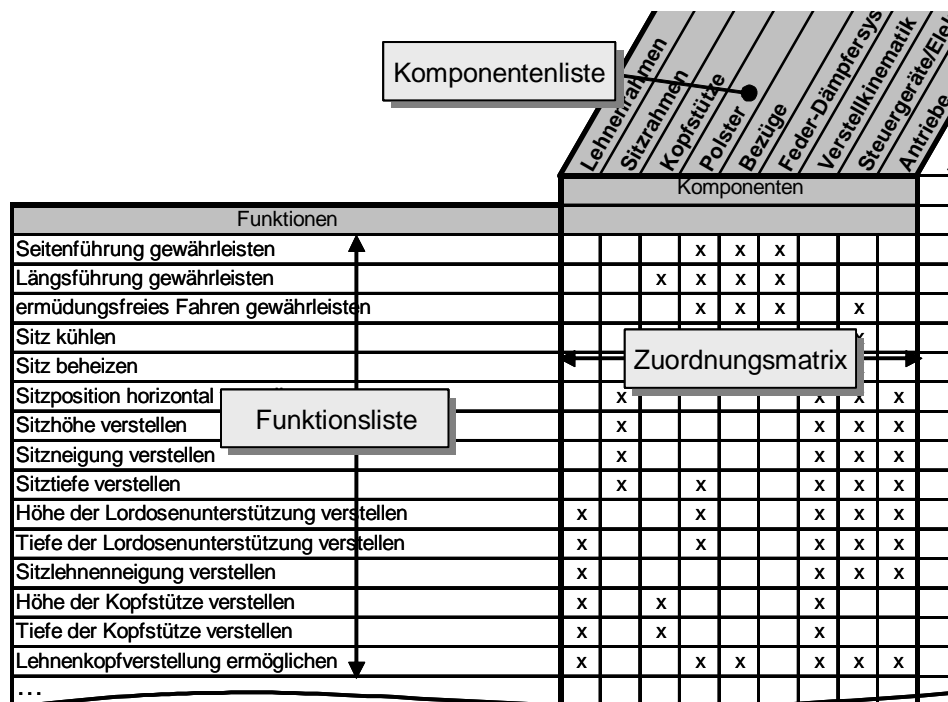


Abbildung 5-9: Verknüpfung von Funktionen und Funktionsträgern am Beispiel Vordersitz

Analog hierzu lässt sich eine Anforderungsmatrix⁹ erstellen, die Anforderungen und Funktionen verknüpft (siehe Anhang 10.9). Zur Optimierung der Funktions- und Funktionsträgerstrukturen sowie zur Optimierung deren Vernetzung bieten sich zahlreiche Operationen an (Abbildung 5-10):

- **Hinzufügen:** Generierung neuer Funktionen oder Funktionsträger, wobei ein unnötiger Anstieg der Teilevielfalt unbedingt vermieden werden sollte.
- **Löschen:** Das Entfernen eines Funktionsträgers, einer Funktion oder eines Verbindungszweigs hilft, die Komplexität des Systems zu reduzieren.
- **Substituieren:** Durch das Löschen bestehender und das Hinzufügen neuer Funktionsträger oder Funktionen können Lösungen optimiert werden.
- **Umhängen:** Der Austausch von Verbindungen zwischen Funktionen und Funktionsträger dient einer optimierten Vernetzung der Strukturen.
- **Integrieren:** Diese Sonderform des Umhängens reduziert die Teilevielfalt, indem ein Funktionsträger gleichzeitig mehrere Funktionen erfüllt oder eine Funktion durch mehrere bereits bestehende Funktionsträger realisiert wird.
- **Differenzieren¹⁰:** Durch das Gegenteil der Integration kann eine anforderungsgerechte Optimierung der Funktions- oder Funktionsträgerstruktur erreicht werden.

⁹ Ähnlich zu der von LINDEMANN empfohlenen Anforderungsmatrix, in der Anforderungen und Produktmerkmale verknüpft werden [LINDEMANN 2005, S. 105ff.].

¹⁰ Die Differenzierung im Sinne der Differenzialbauweise unterscheidet sich von der Differenzierung, die für den Kunden wahrnehmbar sein soll bzw. eine Individualisierung ermöglicht.

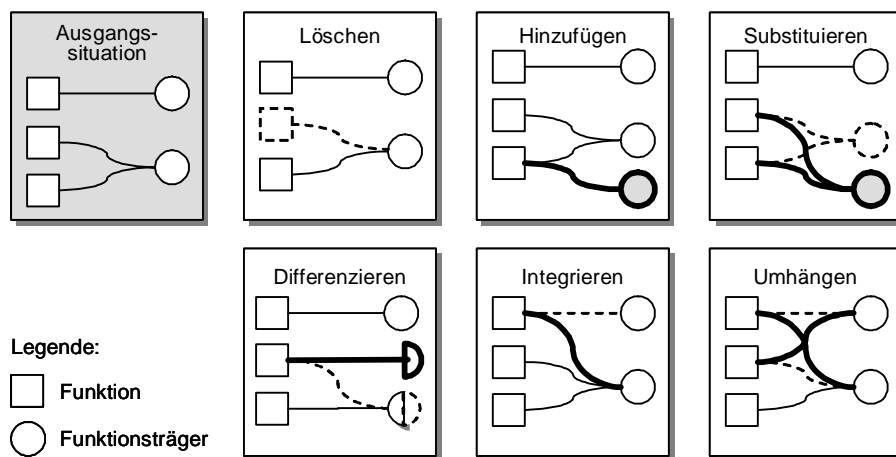


Abbildung 5-10: Operationen zur Verknüpfung von Funktionen und Funktionsträgern

Ein Leitfaden zur Optimierung der Funktionsvernetzung in Form eines Regelwerkes findet sich in Anhang 10.9.

Darüber hinaus ist es durch eine Variation der funktionalen Vernetzung möglich, die Modularität der Baustruktur zu beeinflussen. Dies ist nach CANTAMESSA & RAFELE notwendig, weil aufgrund der starren Beziehung einzelner Funktionen und Komponenten untereinander die Architektur heutiger Automobile meist noch integralen Charakter hat [CANTAMESSA & RAFELE 2002, S. 29].

Der Grad der Ähnlichkeit von Funktions- und Funktionsträgerstruktur ist ein wesentliches Kriterium für die Ausprägung der Modularität. Je größer der Grad der Übereinstimmung zwischen Funktionsstruktur und der physischen Realisierung in der Baustruktur ist, desto modularer ist die Architektur (Abbildung 5-11) [KERSTEN 2002, S. 62; LANG 2002, S. 142f.].

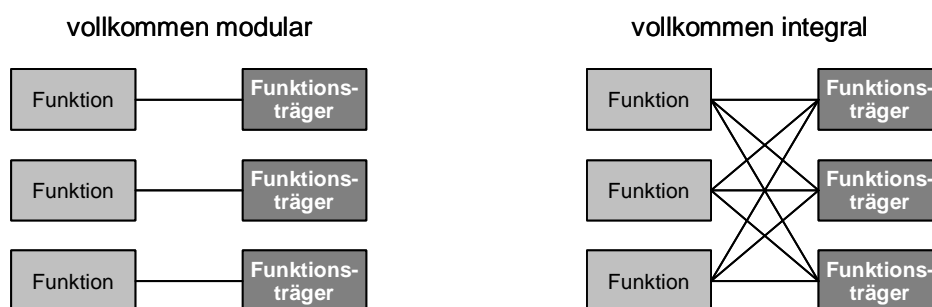


Abbildung 5-11: Der Grad der Entsprechung von Funktions- und Baustruktur ist ein wesentliches Kriterium für die Ausprägung der Modularität [nach KERSTEN 2002, S. 62]

Die Wahl des Modularitätsgrades erfolgt dabei im Spannungsfeld zwischen Funktionsoptimierung, Standardisierung und Überdimensionierung [KERSTEN 2002, S. 67]. Zur rechnerunterstützten Visualisierung, Analyse und Optimierung der Produktstruktur bietet sich das von LINDEMANN & MAURER entwickelte Tool Mofleps (Modelling of flexible Product Structures) an. Dabei setzen sie Einflussmatrizen und -graphen ein [LINDEMANN & MAURER 2006, S. 41-62].

Die beschriebene Methode zur Optimierung der Funktionsvernetzung ist eine einfach anzuwendende und effektive Unterstützung, die zur Reduzierung der Komplexität dient. Ferner werden baukastentypische Anforderungen frühzeitig berücksichtigt. Mithilfe der Operationen wird eine methodische Optimierung der Funktions- und Funktionsträgerstrukturen sowie deren Vernetzung ermöglicht, die relativ schnell wirksame Ergebnisse erzielt.

Das entwickelte Regelwerk gibt durch das Aufzeigen der jeweiligen Auswirkungen der Operationen Denkanstöße für den konkreten Anwendungsfall und Unterstützung bei der Entscheidungsfindung. Folglich wird die Szenariobildung durch eine Variation der Vernetzungen gestützt. Daneben ist auch die Betrachtung aus Markt- und Kundensicht notwendig.

5.4.2.3 Funktionsmatrix aus Kundensicht

Während der Synthesephase werden im Baukastenentwicklungsprozess verschiedene Baukastenszenarios gebildet (vgl. Kapitel 4.4.2.2.2). Zur Unterstützung dieser Szenariobildung bei gleichzeitiger Betonung der Kundensicht wurde eine spezielle Funktionsmatrix entwickelt. Ziel dabei ist, in den Szenarios auch die funktionale Ausstattung der Zielfahrzeuge zu variieren. Abbildung 5-12 stellt den Aufbau der Funktionsmatrix aus Kundensicht dar.

kundenwertige Funktionen	Fahrzeuge**/Segmente				
	UKL		KKL	MKL	
	1er*	130i	3er	5er*	540i, 550i
Luft kühlen		x	x	x	x
Luft trocknen		x	x	x	x
Luft erwärmen	x	x	x	x	x
Luft verteilen	x	x	x	x	x
Temperatur manuell einstellbar	x				
Temperatur li/re manuell einstellbar		x	x	x	x
automatische Temperaturregelung				x	x
Umluftfunktion		x	x	x	x
Mikrofilter		x	x	x	x
Automatische Umluft-Control					x
Aktiv-Kohlefilter					x
Solarsensor					x
Beschlagsensor					x
Restwärmefach in der Mittelkonsole					x
Fondausströmer					x
temperierbare Fondbelüftung					x
Standlüftung					x

*mit Ausnahmen
**Serienausstattungen

Paketierung
Klimaautomatik
Klimaanlage mit erweitertem Umfang
Heizungsanlage

Abbildung 5-12: Aufbau der Funktionsmatrix aus Kundensicht am Beispiel Heiz-/Klimaanlage (Stand 06/06, deutscher Markt) und Angabe der Paketierung

Die Matrix wird durch die Funktionen und die Zielfahrzeuge aufgespannt. In den Zeilen stehen kundenwertige Funktionen, die mithilfe der Funktionsorientierung identifiziert worden sind. Die Spalten beinhalten die Ausstattungslevels der Zielfahrzeuge. In dieser Konstellation

werden die kundenwertigen Funktionen den Fahrzeugen zugeordnet, was in der Regel von den Fahrzeugsegmenten und den Unternehmensstrategien abhängig ist. Somit kann der Matrix mit der funktionalen Fahrzeugausstattung entnommen werden, welches Fahrzeug welche Kundenfunktion erfüllen muss. Darauf aufbauen können denkbare Paketierungen gebildet werden, wie die Abbildung zeigt.

Dieses Vorgehen dient einerseits der Variantenanalyse. Der Matrix kann jederzeit die notwendige Variantenzahl entnommen werden, die von der Zuordnung der kundenwertigen Funktionen zu den Fahrzeugen bzw. der Paketierung abhängig ist. Andererseits wird die Szenariobildung durch die Variation dieser Zuordnung erleichtert. Bei der Szenariobildung gilt es, die Zusammensetzung der Fahrzeugausstattungen zu variieren, um eine optimale Zuordnung und Aufteilung der kundenwertigen Funktionen zu finden. So kann die in Abbildung 5-12 dargestellte Funktionsmatrix in ihrer Zuordnung variiert werden.

Im Zusammenspiel mit den im vorherigen Kapitel beschriebenen funktionalen Verknüpfungen wird das funktionsorientierte Vorgehen umfassend unterstützt (Abbildung 5-13). EICHINGER ET AL. beschäftigen sich intensiv mit Verknüpfungen basierend auf Multiple Design Structure Matrices (MDSM) [EICHINGER ET AL. 2006, S. 229-236].

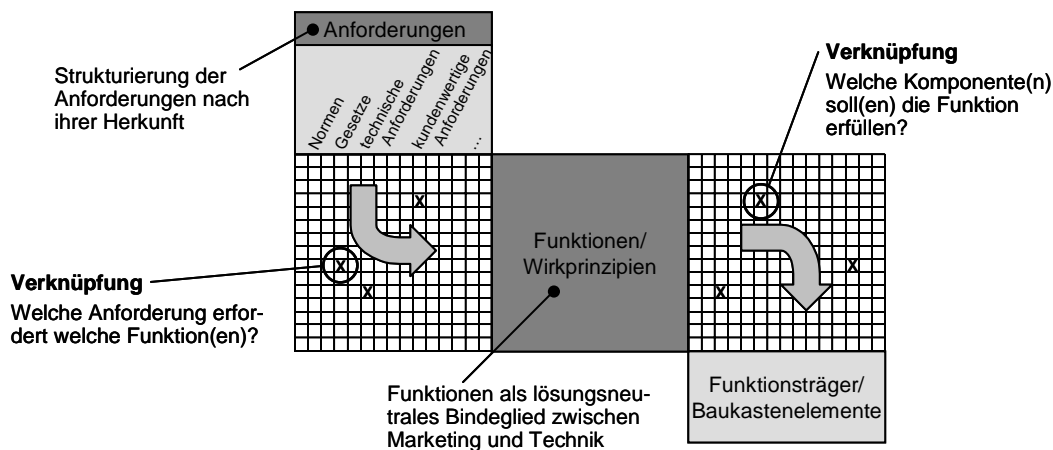


Abbildung 5-13: Zusammenspiel der Verknüpfungen von Anforderungen, Funktionen und Funktionsträgern [nach KLEINSASSER 2006, S. 27].

Diese konsistente Vorgehensweise vereinfacht den Umgang mit der Komplexität des Produktes erheblich. Hierfür ist zusätzlich der richtige Umgang mit den Anforderungen notwendig.

5.4.3 Anforderungsmanagement

Im Hinblick auf den Wandel vom Verkäufer- zum Käufermarkt, die immer kürzer werdenden Entwicklungszeiten und die zunehmende Globalisierung der Märkte ist es für den Unternehmenserfolg von entscheidender Bedeutung, die „richtigen“ Produkte zu entwickeln. An die Handhabung und Verwaltung von Anforderungen werden deshalb besondere Ansprüche gestellt. Gerade dem Änderungsmanagement kommt hier eine große Bedeutung zu, um die

Ergebnisse der Aufgabenklärung wenn nötig aktualisieren zu können und sie während des gesamten Produkterstellungsprozesses für die Projektbeteiligten transparent zu machen. Die Anforderungen können dabei aus verschiedensten Quellen stammen.

Nur durch eine frühzeitige Erfassung aller relevanten Informationen und durch den Aufbau eines gemeinsamen Zielverständnisses im Entwicklungsteam kann eine eindeutige Aufgabenklärung erfolgen.

5.4.3.1 Umgang mit Anforderungen

In der Regel sind Anforderungslisten aufgrund der Komplexität der zu entwickelnden Produkte sehr umfangreich. Für den Einzelnen wird es demnach schwierig, sämtliche Anforderungen im Blickfeld zu haben. Nach SCHWANKL entstehen Probleme, wenn

- Aufgaben vergessen werden,
- Anforderungen erst zu einem späteren Zeitpunkt formuliert werden und
- Anforderungen sich im Laufe der Zeit ändern.

Infolge dessen empfiehlt er neben einer adäquaten Handhabung eine genaue Analyse und Strukturierung der Anforderungen [SCHWANKL 2002, S. 102f.]. Hierzu ist ein umfassendes Anforderungsmanagement notwendig.

Da mittels der Baukastenbauweise übergreifende Synergien genutzt werden sollen, gewinnt das Anforderungsmanagement in diesem Zusammenhang noch mehr an Bedeutung. Im Gegensatz zu konventionellen, singulären Entwicklungen zielt die Baukastenentwicklung auf mehrere Produkte ab. Demzufolge sind die Anforderungen aller betrachteten (Baukasten-)Produkte zu berücksichtigen. Nicht zuletzt setzt ein konsequent funktionsorientiertes Vorgehen auch ein effektives Anforderungsmanagement voraus.

Zur Schaffung von Synergieeffekten und zur direkten Kostensenkung bieten sich die Optimierung und die Harmonisierung von Anforderungen an.

5.4.3.2 Optimierung von Anforderungen

Die Anwendung der Anforderungsoptimierung empfiehlt sich generell bei Produktentwicklungen und ist nicht baukastenspezifisch. Das Hauptziel ist dabei, etwaige Übererfüllungen durch zu hohe Anforderungen zu vermeiden und somit die Produktkosten zu verringern. In der Regel steigen die Kosten, je höher die Ausprägung der zu erfüllenden Anforderungen gewählt werden. Deshalb bietet es sich generell an, alle Ausprägungen der Anforderungen auf ihre Plausibilität hin zu überprüfen.

Dabei muss darauf geachtet werden, aufgrund ausgeprägten Sparwillens oder Sparzwängen die Anforderungen nicht zu weit herunterzusetzen. Anderenfalls entspricht das Produkt nicht den Kundenerwartungen und der Marktanteil sinkt. Als Beispiel können unangemessen umgesetzte Einsparungsprogramme in der Automobilindustrie erwähnt werden, die zu massiven Qualitätsproblemen führten.

Die Harmonisierung von Anforderungen ist dagegen speziell im Umfeld der Baukastenentwicklung notwendig.

5.4.3.3 Harmonisierung von Anforderungen

Um den wiederholten Einsatz verschiedener Bausteine zu ermöglichen, sollten die Baukastenprodukte zur Effizienzsteigerung möglichst ähnliche Anforderungen aufweisen. Da dieser Idealfall in der Praxis selten auftritt, ist eine Harmonisierung der Anforderungen notwendig.

Diese bezweckt eine Angleichung der Zielwerte, um mögliche Zielkonflikte zwischen den betrachteten Produkten verringern oder gar vermeiden zu können. Konträre Anforderungen der betrachteten Produkte erschweren den Baukastenansatz bzw. machen eine höhere Anzahl spezieller Anpassbausteine erforderlich. Für eine Anforderungsharmonisierung müssen in der Regel Kompromisse eingegangen werden, die sich oft als Funktionsüber- und -untererfüllung¹¹ bemerkbar machen. Die daraus resultierenden Auswirkungen müssen in jeder Situation untersucht werden und von den entsprechenden Verantwortlichen abgewägt und gebilligt werden.

Dabei ist es notwendig, Anforderungen auf ihre Kundenwertigkeit hin zu überprüfen. Gegenstand der Analyse kann dabei die Anzahl der Kunden sein, die sich beispielsweise aufgrund einer Reduzierung der Kühlleistung der Klimaanlage für eine andere Fahrzeugmarke entscheiden. Durch die Änderung der Anforderung an die Abkühlkurve könnten andererseits die Entwicklungskosten gesenkt werden. Die Rentabilität einer solchen Entscheidung muss durch eine Gegenüberstellung der entstehenden Kosten bestimmt werden. Nimmt die Mehrheit der Kunden den Realisierungsaufwand für die höhere Abkühlgeschwindigkeit nicht wahr bzw. honoriert diesen nicht, sollte die Anforderung kritisch überprüft werden.

EHRENSPIEL spricht in diesem Zusammenhang von einer Kanalisierung¹², die mittels einer Normierung die Anforderungen angleicht [EHRENSPIEL 1995, S. 620]. Abbildung 5-14 stellt dies am Beispiel Klimakompressor dar, welches nachfolgend näher erläutert wird.

¹¹ Eine Funktionsuntererfüllung ist bei technischen Anforderungen (Dimensionierung/Stabilität, Gesetze etc.) nicht möglich.

¹² EHRENSPIEL schlägt die normative Kanalisierung im Zusammenhang mit einer Baureihenentwicklung vor. Die damit verbundenen Erwartungen und Ziele sind jedoch auf andere Bereiche (z. B. Baukasten) übertragbar [EHRENSPIEL 1995, S. 620].

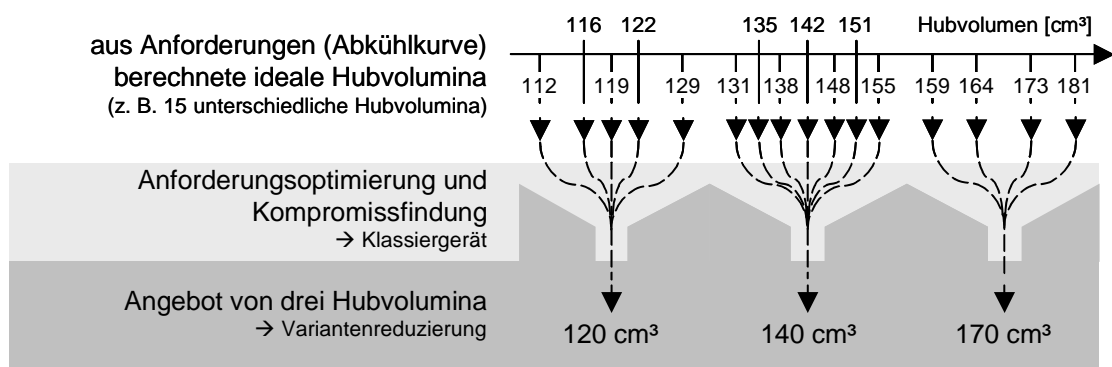


Abbildung 5-14: Harmonisierung der Anforderungen am Beispiel Klimakompressor [nach EHRENSPIEL 1995, S. 620]

Anforderungsgerecht ausgelegt ergeben sich in diesem Beispiel 16 unterschiedliche Hubvolumina, deren Verschiedenartigkeit mit bis zu 8 cm^3 nur geringfügig ist. Durch das Zusammenlegen von Hubvolumina kann die Variantenanzahl auf lediglich drei reduziert werden, um den Klimakompressor wirtschaftlicher zu realisieren. Diese Anforderungsharmonisierung erfordert Kompromisse. Die Reduzierung des Hubvolumens von beispielsweise 129 auf 120 cm^3 stellt eine Funktionsuntererfüllung dar, wohingegen die Steigerung des Hubvolumens von 112 auf 120 cm^3 einer Funktionsübererfüllung entspricht.

Um ein firmenweites Gesamtoptimum übergreifend über alle betroffenen Produkte sicherstellen zu können, ist eine ganzheitliche Betrachtung erforderlich. Als Hilfsmittel eignen sich hierzu die Funktionsorientierung und die zugehörige Erweiterung zur Funktionsvernetzung (vgl. Kapitel 5.4.2).

Das variantengerechte Anforderungsmanagement beeinflusst baukastenrelevante Anforderungen gezielt mit teilweise weitreichenden Auswirkungen, um übergreifende Synergien zu ermöglichen. Als Ausgangspunkt für eine erfolgreiche Zielableitung im Baukastenumfeld stellt es den Wegbereiter für ein effizientes Baukastensystem dar.

5.4.4 Zielableitung im Umfeld Baukasten

Die in den vorherigen Schritten gesammelten Anforderungen entsprechen bei einer üblichen Produktentwicklung meist direkt den zu realisierenden Zielen¹³. Im Vergleich hierzu ergibt sich bei einer Baukastenentwicklung eine Steigerung der Komplexität, die sich u. a. auf folgende Punkte zurückführen lässt:

- Spreizung der Anforderungen:
Aufgrund des übergreifenden Ansatzes können die Ausprägungen gleicher Anforderungen (z. B. Beschleunigungswerte von 0 auf 100 km/h) für einzelne Fahrzeuge verschiedener Segmente bei einer Baukastenentwicklung stark unterschiedlich sein. Diese

¹³ Anhang 10.8 enthält Definitionen des für die Zielableitung relevanten Begriffsumfeldes.

Art der Anforderungsdivergenz tritt bei singulären Entwicklungen in der Regel nicht auf¹⁴.

- Einsatzzeitpunkte der Zielfahrzeuge:
Ebenfalls wegen des übergreifenden Ansatzes liegen die Anlaufzeitpunkte der Zielfahrzeuge oftmals weit auseinander. Hieraus resultiert eine zusätzliche Unschärfe bezüglich der Stabilität, dem Konkretisierungs- und Bekanntheitsgrad der Anforderungen.
- Rückkopplung zwischen Baukastensystemen:
Werden mehrere unterschiedliche Baukastensysteme eingesetzt, sind wechselseitige Auswirkungen zu berücksichtigen. So beeinflussen sich beispielsweise ein Baukasten Cockpit und der Baukasten Heiz-/Klimagerät gegenseitig. Dies trifft zwar prinzipiell auch auf singuläre Entwicklungen zu, aber die Komplexität steigt bei übergreifendem Einsatz erheblich.
- Sourcing- und Lieferantenstrategien:
Um die Abhängigkeit von einzelnen Lieferanten zu vermeiden, kooperiert ein OEM häufig bei unterschiedlichen Modellreihen oder Fahrzeugen mit verschiedenen Zulieferern. Die hieraus zwangsläufig resultierende Vielfalt an technischen Lösungen wird durch ein Baukastensystem reduziert, weil identische oder ähnliche Bausteine übergreifend Verwendung finden. Somit müssen neue Wege beschritten werden, um eine Abhängigkeit von einzelnen Lieferanten zu verhindern.
- Werke und Standorte:
Die einzelnen Modellreihen eines Automobilherstellers werden häufig in unterschiedlichen Werken unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen gefertigt. Bei einem übergreifenden Baukasteneinsatz muss nun sichergestellt sein, dass jedes betroffene Werk in der Lage ist, die entsprechenden Baukastenkomponenten zu verbauen.

Aus diesen Gründen wurde eine Zielableitung im Umfeld der Baukastenentwicklung erarbeitet. Dabei sind nachstehende Anforderungen und Ziele zu berücksichtigen.

5.4.4.1 Anforderungen und Zielsetzung

Wie bereits beschrieben, hat die entwickelte Zielableitung den Zweck, durch stimmige Zielsysteme eine übergreifende Baukastenentwicklung zu ermöglichen, bei gleichzeitiger Schaffung maximaler Synergien. Hierzu werden ausgehend von den unterschiedlichen Anforderungen an das Produktprogramm die vom Baukastensystem zu erfüllenden übergreifenden Gesamtanforderungen abgeleitet. Die vom Produktprogramm zu erfüllenden Anforderungen unterscheiden sich teilweise erheblich. So sind beispielsweise zwischen dem Fahrverhalten, dem Design, der Sitzposition oder der Geländegängigkeit einer Limousine aus der Oberklasse, einem SUV¹⁵ und einem Cabrio eklatante Unterschiede (Abbildung 5-15).

¹⁴ Die Ausprägungen verschiedener Anforderungen eines (singulären) Produktes widersprechen sich oftmals (z. B. Anforderungen bzgl. der Kosten und Anforderungen bzgl. der Qualität). Im Falle einer Baukastenentwicklung können sich aber auch die Ausprägungen bzgl. ein und derselben Anforderung wegen des segmentübergreifenden Einsatzes unterscheiden (z. B. Kosten für Fahrzeuge der Mittel- und Oberklasse).

¹⁵ SUV steht für Sports Utility Vehicle.

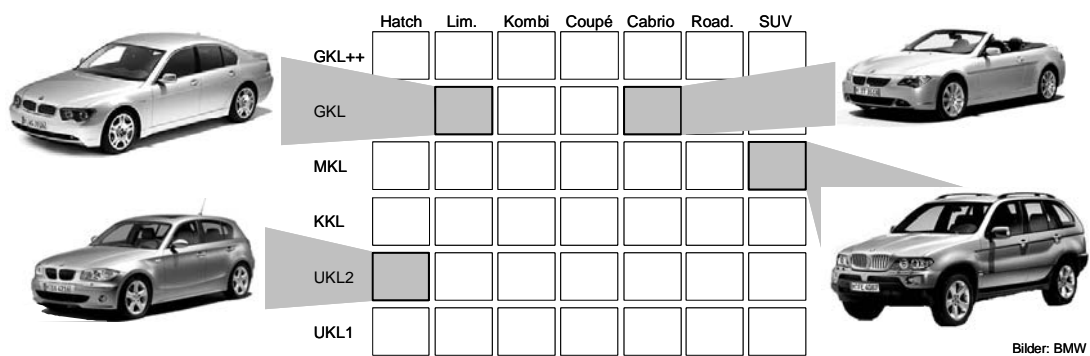


Abbildung 5-15: Zielsysteme in Abhängigkeit der Anforderungen verschiedener Fahrzeugklassen und -arten

Ein Baukastenzielsystem hat dabei zwei Hauptausrichtungen. Zum einen sind Ziele zu berücksichtigen, die das geplante Baukastensystem erreichen muss. Beispielsweise zählen hierzu die zu nutzenden Synergieeffekte und der zur Entwicklung notwendige Aufwand. Zum anderen sind auch Zielvorgaben des anvisierten Baukastensystems betroffen, welche sich an die gewünschten Zielfahrzeuge richten. So müssen etwa die Zielfahrzeuge gewisse Rahmenbedingungen erfüllen, um einen übergreifenden Sitzbaukasten zu ermöglichen (Abstand zwischen Mitteltonnel und Seitenschweller, Befestigungskonzept und Schnittstellen am Bodenblech etc.).

Mehrere Punkte werden mit der Zielableitung sichergestellt:

- Schaffung von Transparenz in der frühen Phase.
- Umgang mit heterogenen Unschärfen und Trendaussagen, bedingt durch unterschiedliche Zeithorizonte.
- Identifikation der baukastenrelevanten Anforderungen.
- Systematisierung des Vorgehens zur optimalen Platzierung und Gestaltung der Grund- und Anpassbausteine.
- Eruiierung der idealen Kompromisse, zwischen Kundenwertigkeit und Baukastenoptimum.
- Erarbeitung von in sich konsistenten und transparenten Baukastenzielsystemen.

Die mitunter relativ hohen Entwicklungskosten für Baukastensysteme verlangen eine möglichst dauerhafte Stabilität der abgeleiteten Zielsysteme, um spätere Änderungen zu vermeiden. Da die festgelegten Rahmenbedingungen über die gesamte anvisierte Lebensdauer des Baukastensystems gelten, sind die hierbei getroffenen Entscheidungen von einer hohen Tragweite. Demnach muss die Zielableitung systematisch und gewissenhaft durchgeführt werden, wozu unterstützende Hilfsmittel erforderlich sind. Zudem ist eine organisatorische und prozesstechnische Verankerung im Unternehmen notwendig.

5.4.4.2 Vorgehen zur Zielableitung

Im Umfeld der Baukastenentwicklung erfolgt die Zielableitung in den drei Schritten (Abbildung 5-16)

- Ermittlung der kundenrelevanten Systemanforderungen und prioritätsorientierte Gewichtung,
- Ableitung und Plausibilisierung der Baukastenzielwerte pro Kundenfunktion und relevantem Zielfahrzeug vor dem Hintergrund des entsprechenden Wettbewerbsumfelds sowie
- Festschreibung und Ausleitung der Anforderungen und Prämissen.

Ein Zielsystem wird in dieser Arbeit vereinfacht als Zieldreieck mit den Achsen Eigenschaften/Funktionen, Kosten und Gewicht dargestellt. In der Realität sind in einem Zielsystem weitaus mehr Aspekte zu berücksichtigen, abhängig von der jeweiligen Situation.

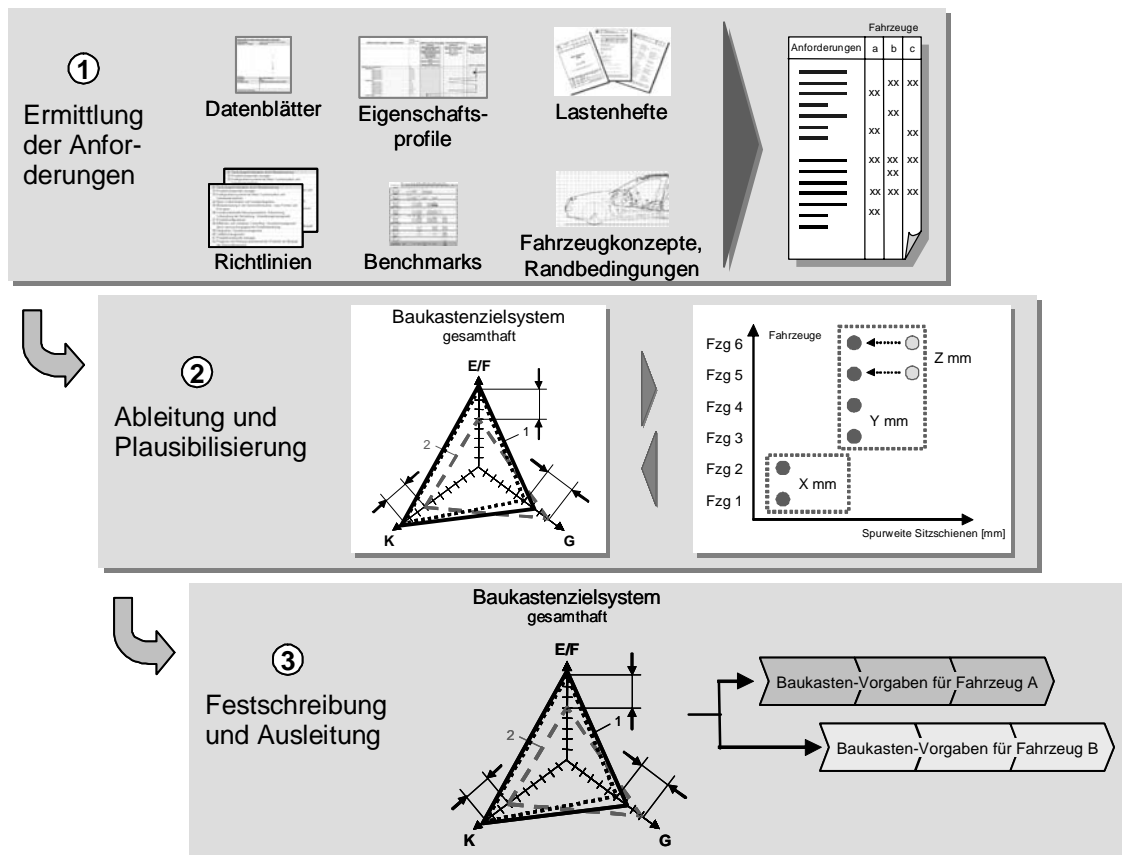


Abbildung 5-16: Systematische Zielableitung im Umfeld Baukastenentwicklung

Die einzelnen Schritte zur Zielableitung werden nachstehend erläutert.

5.4.4.2.1 Ermittlung der Anforderungen

Ziel des ersten Schrittes ist es, durch die Identifikation, Analyse und Aufbereitung der baukastenrelevanten Anforderungen aller potenziellen Zielfahrzeuge umfassend Transparenz zu schaffen. Für eine stabile und belastbare Grundlage der weiteren Zielableitung ist die vollständige Eruiierung sämtlicher in Frage kommenden Anforderungsquellen Voraussetzung. Hierzu gehören u. a. übergreifend geltende Eigenschaftsprofile, Lastenhefte der einzelnen Fahrzeuge, unternehmensweite Richtlinien und Werksnormen, Datenblätter sowie Benchmarks.

Auf Basis des funktionsorientierten Vorgehens erfolgt die Identifikation der baukastenrelevanten Anforderungen. In Abhängigkeit vom geplanten Baukastensystem betrifft dies unterschiedliche Anforderungen. Daneben sind die quantifizierten Ausprägungen sowie deren Genauigkeit und Stabilität zu ermitteln.

Mittels einer Anforderungsmatrix können diese Informationen übersichtlich aufbereitet werden (siehe Anhang 10.9).

5.4.4.2.2 Ableitung und Plausibilisierung der Anforderungen

Der zweite Schritt zielt darauf ab, ein allumfassendes, plausibilisiertes Baukastenzielsystem abzuleiten, das für den übergreifenden Einsatz gilt. Damit wird festgelegt, welche Anforderungen das Baukastensystem erfüllen muss, um die Anforderungen der jeweiligen Zielfahrzeuge abzudecken.

Generierung und Vergleich der Fahrzeugzielsysteme

Hierzu werden zunächst die einzelnen Zielsysteme je Fahrzeug und Funktion abgeleitet und plausibilisiert. Das Zielsystem für ein Gesamtfahrzeug setzt sich aus der Summe aller Einzelzielsysteme pro Funktion zusammen, exemplarisch in Abbildung 5-17 anhand von zweien dargestellt. Infolge von Kompromissen treten Abweichungen auf, die sich in Über- oder Untererfüllungen äußern.

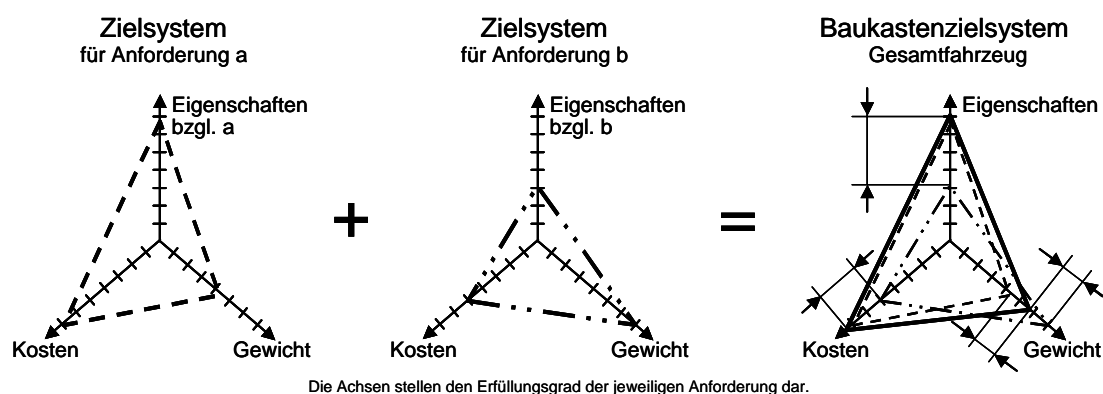


Abbildung 5-17: Zusammensetzung des Zielsystems für ein Gesamtfahrzeug

Diese Prozedur wird so oft durchgeführt, bis für alle betroffenen Fahrzeuge stimmige Zielsysteme zur Verfügung stehen. Für die weitere Baukastenentwicklung ist es notwendig, die Spreizung der jeweiligen Anforderungen zu kennen. Diese zeigt an, wie eng bzw. wie weit die spezifischen Ausprägungen der einzelnen Fahrzeuge beieinander oder auseinander liegen. Angesichts des übergreifenden Einsatzes von Bausteinen ist es notwendig zu wissen, ob und in wie weit sich Anforderungen der betroffenen Fahrzeuge unterscheiden. Je ähnlicher die Werte sind, desto eher kann ein entsprechendes Baukastensystem realisiert werden.

Szenariobildung auf Basis der Anforderungsspreizung

Durch Gegenüberstellung der einzelnen Zielsysteme mittels einer Anforderungsmatrix können solche Unterschiede in den Anforderungen identifiziert werden. Dabei bietet es sich

an, die Anforderungen ihrer Spreizung nach (hoch, mittel, gering), ihrer Festlegbarkeit nach (langfristig, mittelfristig, kurzfristig) etc. zu clustern.

Auf Basis dieser Clusterung erfolgt die Bildung potenzieller Szenarios (Abbildung 5-18). Diese bestehen aus Handlungsalternativen, welche durch unterschiedliche Gestaltungsansätze des zukünftigen Baukastensystems dargestellt werden. Als Handlungsspielraum dient die gezielte Erfüllung oder Abdeckung bestimmter Fahrzeuge, Funktionen oder Anforderungen. Direkt beeinflusst wird hiervon die Wahl der Grund- und Anpassbausteine.

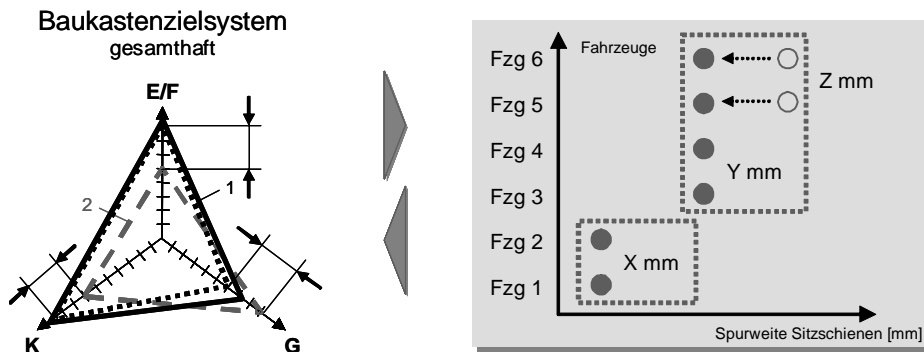


Abbildung 5-18: Szenariobildung auf Basis der Anforderungsspreizung am Beispiel Sitzschienen

Den Input für die geeignete Aufteilung in Grund- und Anpassbausteine stellt die Clusterung der baukastenrelevanten Anforderungen dar. Bei identischen oder relativ ähnlichen Ausprägungen bietet sich die Abbildung in Form eines Grundbausteins an (vgl. Kapitel 4.4.2.2.2). Im Gegensatz dazu können stark differierende Anforderungen durch Anpassbausteine realisiert werden. Weiterhin sollten Grundbausteine langfristig festlegbare und Anpassbausteine kurzfristig festlegbare Anforderungen abdecken, um eine rasche und flexible Reaktion auf unvermittelte Änderungen zu erhalten.

Als Handlungsalternativen gibt es je nach Ausgangssituation unterschiedliche Möglichkeiten zur Gestaltung des Baukastensystems. Tabelle 5-3 stellt gängige Möglichkeiten dar.

Tabelle 5-3: Handlungsoptionen in Abhängigkeit der Anforderungsspreizung

Handlungsoptionen	Ausprägungen der Anforderungen		
	identisch	mittlere Abweichung	große Abweichung
Optimierung der Anforderungen	X	X	X
Harmonisierung der Anforderungen		X	(X)
Variation Grund- und Anpassbausteine	X	X	X
spezifische Erfüllung der Anforderungen durch Anpassbausteine		(X)	X
Fahrzeug im Baukasten nicht berücksichtigt		(X)	(X)

Unterschiedliche Handlungsoptionen haben unterschiedliche Szenarios zur Folge.

Generierung von Baukastenzielsystemen

Anschließend werden Baukastenzielsysteme generiert, die direkt von den Szenarios und Handlungsoptionen abhängig sind. Je nach Gestaltung der Szenarios ergeben sich unter-

schiedliche Zielsysteme, welche die Addition aller im jeweiligen Szenario geltenden spezifischen Fahrzeugzielsysteme darstellt. Soll ein Baukasten die Fahrzeuge A und B abdecken, so muss das zugehörige Baukastenzielsystem die Zielsysteme der beiden Fahrzeuge berücksichtigen. Je nach Wahl der Szenarios ergeben sich somit andere Baukastenzielsysteme, bei deren Generierung auf Plausibilität zu achten ist.

Im Idealfall erfüllt ein Baukastenzielsystem durch die geschickte Wahl der Grund- und Anpassbausteine alle einzelnen Zielsysteme der betrachteten Fahrzeuge. Etwaige Zielabweichungen äußern sich in Über- oder Untererfüllungen der Anforderungen.

Bewertung der Handlungsalternativen

Zur Auswahl des geeignetsten Baukastenzielsystems ist eine umfassende Bewertung notwendig. Während der Baukastenentwicklung werden mehrere Szenarios gebildet, deren Unterschiede erhebliche Auswirkungen auf die Rentabilität des geplanten Baukastensystems haben. Deshalb erfolgt eine ganzheitliche Bewertung der Baukastengestaltung in Form eines Businessplans, der in Kapitel 5.4.6 näher beschrieben wird.

5.4.4.2.3 Festschreibung und Ausleitung der Anforderungen

Der dritte Schritt hat den Zweck, das ausgewählte Baukastenzielsystem als Vorgabe verbindlich festzuschreiben. Zum einen werden damit die Ziele und Anforderungen an das Baukastensystem und zum anderen an die Zielfahrzeuge festgeschrieben (vgl. Kapitel 5.4.4.1).

Diese Festschreibung erfolgt aufgrund des übergreifenden Einsatzes des Baukastensystems mit unterschiedlichen Zeitpunkten analog zu langfristigen Unternehmensplanungen in einer langfristigen Komponentenplanung (siehe Kapitel 5.5).

Das Ergebnis der Zielableitung fließt als Vorgabe in den funktionsorientierten Baukastenentwicklungsprozess aus Kapitel 4.4.2 ein. Zur Unterstützung der baukastengerechten Gestaltung dient der nachfolgende Leitfaden.

5.4.5 Leitfaden zur baukastengerechten Gestaltung und Konstruktion

Gestaltungsrichtlinien unterstützen den Entwickler, den jeweiligen konstruktionsspezifischen Anforderungen und Randbedingungen gerecht zu werden. So existieren nach PAHL & BEITZ unter anderem Richtlinien¹⁶ zur beanspruchungs- und fertigungsgerechten sowie zur norm-, recycling- und korrosionsgerechten Gestaltung [PAHL & BEITZ 1997, S. 332ff.]. Trotz der erfolgreichen Anwendung auf diesen Gebieten fehlen zur Baukastengestaltung derzeit umfangreiche Richtlinien in der Literatur. Im Rahmen der Pilotprojekte wurde deshalb dieser Leitfaden erarbeitet.

¹⁶ vgl. z. B. Konstruktionskataloge nach ROTH [2000]

Der Leitfaden ist in Themenbereiche eingeteilt, die das Baukastensystem, die Varianz und Differenzierung für den Kunden, die betroffenen Schnittstellen, die notwendige Modularisierung, die konstruktive Gestaltung sowie die entsprechenden Randbedingungen behandeln. Die folgende Tabelle 5-4 stellt den Leitfaden zur baukastengerechten Entwicklung und Gestaltung dar.

Tabelle 5-4: Leitfaden zur baukastengerechten Entwicklung und Gestaltung

		betrifft Funktionen	
		betrifft Funktionsträger	
Nr.	Richtlinie		
Baukastensystem			
1	Konzeptkommunalität ausweiten	X	X
2	Komponentenkommunalität ausweiten (Übernahmeteile von Vorgängerprodukten prüfen)	X	
3	Packagekommunalität ausweiten	X	
4	auf eine flexible Erweiterung des Baukastens achten	X	
5	Stoßrichtungen des Baukastens festlegen	X	X
6	Anstreben einer großen Anwendungsbreite von teuren Hauptkomponenten	X	X
Varianz und Differenzierung			
7	Differenzierungen mit möglichst wenigen Bauteilen realisieren	X	
8	Varianz in kostengünstige Teile legen	X	
9	verschiedene Differenzierungen zusammenfassen	X	X
10	Differenzierung nur bei relevanten Teilen	X	X
11	funktionale Varianz durch Konfiguration und nicht durch Konstruktion erreichen	X	X
12	Entkopplung von Sonderausstattungen	X	X
13	Anzahl der farbabhängigen Teile reduzieren	X	X
14	ein neues Bauteil sollte nicht mehr als einen situativ zu definierenden Prozentsatz des Funktions-/Eigenschaftsumfangs einer bereits im Baukasten bestehenden Komponente abdecken.	X	X
15	neue markt- oder auftragsbedingte Varianten von auftragsneutralen Basisvarianten ableiten	X	
16	Entstehung auftragsspezifischer Varianten gegen Ende der Wertschöpfungskette	X	
Schnittstellen			
17	Schnittstellen definieren und standardisieren	X	
18	Festlegungen von Schnittstellen verbindlich behandeln und „einfrieren“	X	
29	Schnittstellen mit allen Beteiligten abstimmen	X	
20	Schnittstellenregeln vorhalten	X	
21	Schnittstellen mit Designelementen verbergen	X	
22	Schnittstellen verwechslungssicher gestalten	X	
23	Priorisierung von Schnittstellen	X	
Modularisierung			
24	geeignet modularisieren bzw. strukturieren	X	
25	möglichst späte Erzeugung der Varianz	X	
26	Vernetzung von Funktionen und Komponenten optimieren	X	
Gestaltung			
27	Mehrfachverwendung eines Bauteils ermöglichen	X	
28	Integralbauweise	X	X
39	Differenzialbauweise	X	X
30	toleranzgerecht konstruieren	X	
31	Varianz möglichst einfach erzeugen	X	
32	zukünftige Entwicklungen berücksichtigen	X	
33	Berücksichtigung des zugehörigen Lebenszyklus	X	X
34	auf eine Kombinierbarkeit der Baukasteninhalte achten	X	
Randbedingungen			
35	Anforderungen harmonisieren	X	X
36	Anforderungen optimieren	X	X
37	Anforderungen und Konzepte zu einem definierten Zeitpunkt „einfrieren“		
38	organisatorische Verankerung des Baukastens		

Die hier aufgeführten Regeln sind als prinzipielle Anhaltspunkte zu verstehen, worauf bei einer variantengerechten Entwicklung zu achten ist. Die Entscheidung zur Selektion der anzuwendenden Regeln muss fallweise getroffen werden. Je nach Projekt erzeugen gewisse Leitlinien Zielkonflikte und schließen sich gegenseitig aus.

Essenziell für den Erfolg einer baukastengerechten Entwicklung ist die angemessene Wahl und exakte Definition geeigneter Schnittstellen. Nach FIRCHAU & FRANKE besteht variantengerechtes Gestalten im Wesentlichen aus der Berücksichtigung der voneinander unabhängigen Kombinierbarkeit von Merkmalen und Funktionen [FIRCHAU & FRANKE 2002, S. 59]. Allerdings bietet es sich gerade bei Grundbausteinen an, eine integrale Bauform zu wählen. Folglich kann keine generelle Empfehlung zum anzustrebenden Modularitätsgrad¹⁷ gegeben werden. Des Weiteren kann keine allgemeingültige Aussage getroffen werden, welche Regeln aus dem Leitfaden in welchem Projekt anzuwenden sind.

Voraussetzung für die Anwendung des Leitfadens ist die umfassende Transparenz über die Anforderungen und Ziele der Baukastenentwicklung. Die Umsetzung wird durch die Optimierung und Harmonisierung der Anforderungen erleichtert. Zusätzliche Anhaltspunkte geben die Ergebnisse der Funktionsorientierung und die in der Zielableitung erarbeitete Anforderungsclusterung. Auch die unterschiedliche Anwendung dieses Leitfadens beeinflusst die Szenariobildung.

Eine umfassende Bewertung der erstellten Szenarios schließt den Baukastenentwicklungsprozess ab.

5.4.6 Bewertung

Die Auswahl des geeigneten Gestaltungsszenarios erfolgt mittels einer umfassenden Bewertung. Gerade bei der übergreifenden Baukastenentwicklung ist es wichtig, ein Gesamt optimum zu finden.

Die Gesamtbetrachtung und Ergebnisdokumentation mit der gesamthaften Bewertung erfolgt mittels eines Businessplans, der alle relevanten Aspekte abdeckt (Abbildung 5-19).

Alle Einzelschritte des Baukastenentwicklungsprozesses werden im für das jeweilige Projekt spezifisch auszuarbeitenden Businessplan mit ihren Ergebnissen anschaulich dargestellt. Dabei gliedert sich der Businessplan in die fünf Oberpunkte Markt/Strategien/Anforderungen, Baukastenszenarios, Einsatzszenarios, Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sowie Projektplanung.

¹⁷ Das Rechnerwerkzeug Mofleps bietet eine automatisierte Unterstützung zur Wahl des Modularitätsgrads (vgl. LINDEMANN & MAURER [2006, S. 41-62]) (vgl. Kapitel 4.4.2.2.1).

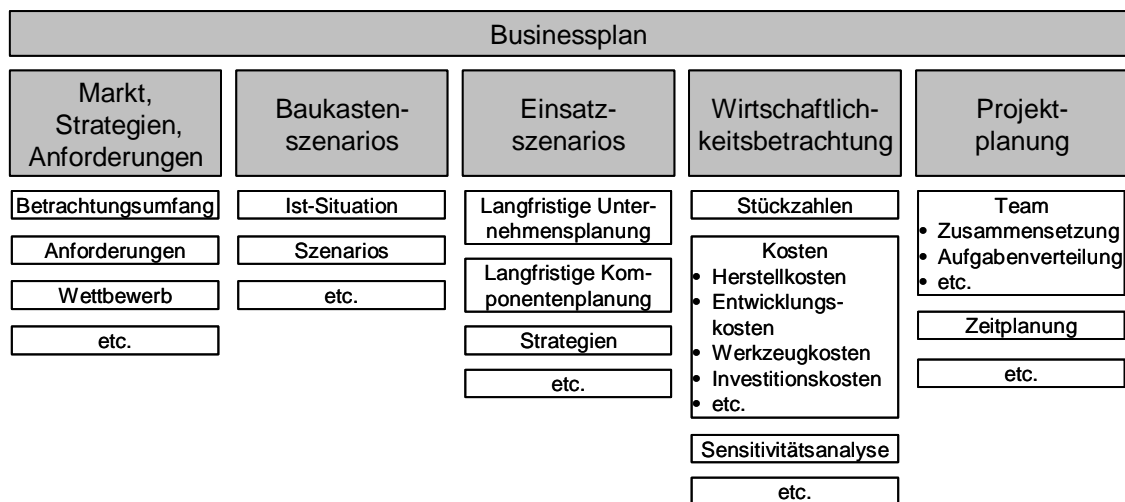


Abbildung 5-19: Businessplan zur gesamthaften Bewertung von Baukastenentwicklungen

Zur Verbesserung der Aussagekraft bieten sich Sensitivitätsanalysen¹⁸ an, mit deren Hilfe Auswirkungen von abweichenden Annahmen oder Randbedingungen auf Basis der bestehenden Zusammenhänge ermittelt werden. LINDEMANN empfiehlt den Einsatz von Sensitivitätsanalysen vorrangig, wenn Aussagen mit einer größeren Unsicherheit behaftet sind [LINDEMANN 2005, S. 269f.]. Hierdurch wird auch die Güte und Belastbarkeit der Entscheidungsbasis ersichtlich.

Eine ausführliche Projektplanung mit Betrachtung des geplanten Ressourceneinsatzes rundet den Businessplan ab.

Je nach Zielsetzung der Baukastenentwicklung kann der Inhalt des Businessplans situativ angepasst werden. Die schlussendlich ausgewählte Baukastenlösung ist anschließend in der Langfristigen Komponentenplanung zu berücksichtigen und abzubilden.

5.5 Langfristige Komponentenplanung

In der Regel verwenden größere Unternehmen eine Langfristige Unternehmensplanung (LUP), um die strategische Planung über einen gewissen zeitlichen Horizont festzulegen. Hierzu wird beispielsweise das für die nächsten zehn Jahre geplante Produktportfolio dargestellt, aufgespannt von der Zeitachse und den einzelnen Produktanläufen. Diese LUP enthält u. a. neben den Verkaufsstarts in den jeweiligen Ländern auch die anvisierten Stückzahlen. In der Regel stützt sich die Geschäftsleitung bei strategischen Entscheidungen, die z. B. das Produktportfolio, die Anzahl der Mitarbeiter, die Werkeanzahl- und -standorte etc. betreffen, auf die LUP.

Analog dazu wurde die Langfristige Komponentenplanung (LKP) ergänzend zum Baukastenentwicklungsprozess erarbeitet. Primäres Ziel der LKP ist es, für die Baukastenentwicklung

¹⁸ DAENZER & HUBER beschäftigen sich ausführlicher mit Sensitivitätsanalysen (DAENZER & HUBER [2002]).

Planungssicherheit zu schaffen. Gleichzeitig wird Transparenz über den übergreifenden Baukasteneinsatz geschaffen. Hierzu wird die geplante Zuordnung der Baukastenkomponenten zu den jeweiligen Fahrzeugen dargestellt.

Die Synergieziele eines erarbeiteten Baukastenansatzes lassen sich nur dann erreichen, wenn die in der LKP festgeschriebene Komponentenplanung stabil umgesetzt wird. Im Falle von geringfügigen Änderungen der Komponentenplanung ist eine Anpassung und erneute Überprüfung des zugrunde liegenden Businessplans erforderlich, um die Auswirkungen beurteilen und abschätzen zu können.

5.6 Zusammenfassung

Die auszugsweise vorgestellten Methoden und Hilfsmittel unterstützten die Entwickler bei der Entwicklung übergreifender Baukastensysteme. Jeder Schritt des funktionsorientierten Baukastenentwicklungsprozesses wird in der erarbeiteten Toolbox umfassend abgedeckt.

Die Verwendung der Werkzeuge ist dabei nicht starr vorgegeben, sondern flexibel den jeweiligen Projektsituationen situativ anpassbar. Der einfache Aufbau der Werkzeuge ermöglicht eine unkomplizierte Handhabung. Durch die unternehmensweite Anwendung der Methodensammlung ist zum einen ein Wiedererkennungseffekt vorhanden und zum anderen die Grundlage für einen Erfahrungsaustausch über alle Projekte hinweg gegeben.

Der Mehrwert der Funktionsorientierung liegt hauptsächlich darin, eine weitestgehend lösungsneutrale Verbindung zwischen den Anforderungen und den Baugruppen über Funktionen zu schaffen. Durch die fehlende Fixierung auf konkrete Lösungen ist die Möglichkeit, innovative Ideen zu finden, wesentlich größer. Zusätzlich wird die Transparenz erheblich erhöht, weil sich die Auswirkungen der jeweiligen Anforderungen und Ziele bis auf die Komponentenebene und umgekehrt verfolgen lassen. Durch diesen Rückschluss ist es möglich, auftretende Zielkonflikte durch eine Anpassung der Ziele zu lösen. Ferner ermöglicht dieser ganzheitliche Ansatz, Ziele und Anforderungen sowie Funktionen und Lösungen produktübergreifend zu betrachten, was eventuelle Entwicklungssynergien mit sich bringt.

Auf Basis des erarbeiteten Vier-Säulen-Modells erfolgt die systematische Umsetzung der Funktionsorientierung. Ergänzend wirken hierzu verschiedene Methoden, um die Konstellation der Anforderungen, Funktionen und Funktionsträgern optimal gestalten zu können. Eine wichtige Voraussetzung ist dabei die umfassende Schaffung von Transparenz.

In diesem Zusammenhang ist der adäquate Umgang mit Anforderungen essenziell. Gerade für die Konzeption übergreifender Baukastensysteme sind weitergehende Anforderungsanalysen und -operationen notwendig. Vorgehen zur Optimierung oder Harmonisierung von Anforderungen dienen der Schaffung übergreifender Synergien. Allerdings ist hierbei in jedem Projekt das richtige Maß zwischen Standardisierung und Differenzierung zu finden.

Aufgrund der gesteigerten Komplexität und der besonderen Rahmenbedingungen erfordert eine Baukastenentwicklung einen spezifischen Ansatz zur Zielableitung. Durch die Auf-

teilung in überschaubare Einzelsysteme wird das Gesamtproblem „Baukastenprodukt entwickeln“ in seiner Komplexität verringert und beherrschbar gemacht. Die hierbei erstellten Szenarios ermöglichen die Identifikation des Optimums für das jeweilige Projekt durch die iterative Bewertung potenzieller Konfigurationen.

Dem in der Literatur¹⁹ und in der Praxis häufig kritisierten Mangel an Gestaltungsregeln im Umfeld der variantengerechten Entwicklung wird mit dem Leitfaden zur baukastengerechten Gestaltung und Konstruktion begegnet. Da in jedem Projekt unterschiedliche Randbedingungen vorherrschen, ist diese Richtlinienammlung bewusst allgemeingültig formuliert.

¹⁹ vgl. JESCHKE [1997] etc.

6 Beispielhafte Anwendung der funktionsorientierten Baukastenentwicklung

Im Folgenden wird an zwei Beispielen¹ die Anwendung wichtiger Elemente des funktionsorientierten Prozesses zur Baukastenentwicklung und deren situativ anwendbaren methodischen Unterstützung erörtert. Als erstes Beispiel dient ein Baukastensystem für Vordersitze. Eine weitere Veranschaulichung erfolgt am Baukastenansatz für Stoffbezüge. Die Verschiedenartigkeit der gewählten Beispiele unterstreicht die universale Anwendbarkeit des Baukastengedankens und die situative Anpassbarkeit.

Die anhand dieser Pilotprojekte gemachten Erfahrungen wurden zur Optimierung des entwickelten Vorgehens wieder eingearbeitet (siehe Kapitel 7).

6.1 Baukasten Sitz

Die Sitzanlage von Kraftfahrzeugen ist innerhalb der Produktstruktur auf der Systemebene (vgl. Kapitel 5.4.1.3) angesiedelt, weshalb die Komplexität zwar relativ hoch, aber klar abgegrenzt ist. Aufgrund dieses Komplexitätsniveaus und der nicht gesamtfahrzeugbestimmenden Bedeutung eignet sich die Vordersitzanlage sehr gut als Pilotprojekt.

Durch die nachfolgende Beschreibung der Ausgangssituation soll ein allgemeines Verständnis für den Bereich Sitze im Automobilbau geschaffen werden.

6.1.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Fahrzeugsitze bestehen aus zahlreichen Baugruppen und Einzelteilen. Abbildung 6-1 stellt den Aufbau eines Vordersitzes schematisch dar.

Gerade bei den Sitzanlagen stieg in den letzten Jahren im Premiumsegment die Möglichkeit zur kundenseitigen Individualisierung stark an. Dies liegt darin begründet, dass der (Vorder-)Sitz eine der wichtigen Schnittstellen zwischen Mensch und Automobil darstellt. Sobald ein Kunde sich im Fahrzeug befindet, kommt er mit dem Sitz in Berührung – egal ob bei stehendem oder fahrendem Fahrzeug.

¹ Aus Gründen der Geheimhaltung werden die beiden Beispiele verfremdet dargestellt. Dies erfolgt durch die Abstraktion der verwendeten Konzepte und der Nicht-Quantifizierung der ausschlaggebenden Kenngrößen.

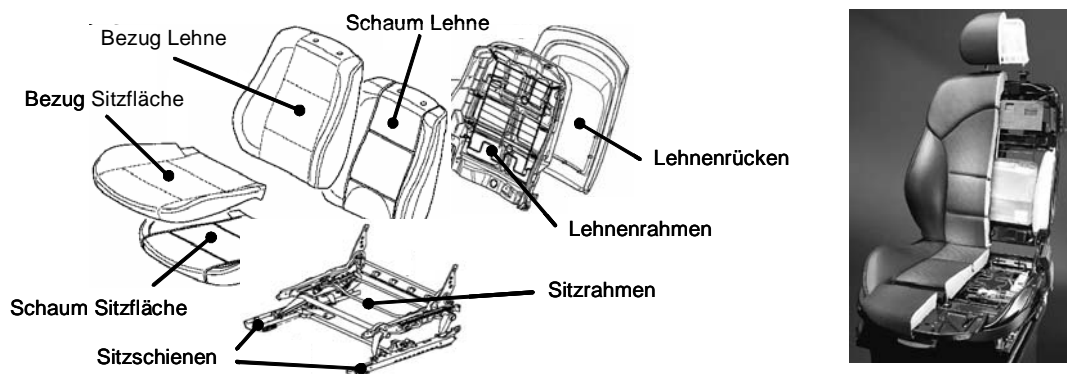


Abbildung 6-1: Schematischer Aufbau eines PKW-Vordersitzes

Der Sitz muss zahlreiche funktionale Anforderungen optimal erfüllen. Hierzu gehören u. a. der Seitenhalt sowie die Abstützung der Oberschenkel und des Rückens. Aufgrund der langen Sitzzeiten sind außerdem bestimmte Komfortmerkmale besonders wichtig, wie z. B. die Vermeidung von Druckstellen, ein angenehmes Klima zwischen Person und Sitzoberfläche sowie ein entspanntes und ergonomisches Sitzen. Etliche Komfortmerkmale sind aber von der Anatomie abhängig, weshalb zahlreiche Verstellmöglichkeiten für den Kunden vorzuhalten sind.

Zusätzlich möchten viele Kunden gerne ihren persönlichen Sitz zusammenstellen, wozu neben funktionalen Ausstattungen auch materielle oder farbliche Merkmale zählen.

Früher war die Modellvielfalt und somit auch die Vielfalt der Sitze überschaubar. Im Jahre 1995 beispielsweise, als das klassische Produktprogramm von BMW hauptsächlich aus den Baureihen 3er, 5er und 7er bestand (vgl. Abbildung 2-7), waren auch die einzelnen Fahrzeugklassen deutlicher voneinander abgegrenzt. Wegen der hieraus resultierenden unterschiedlichen Gegebenheiten in den einzelnen Baureihen (Package, Anforderungen etc.) wurden diese mit jeweils spezifischen Sitzanlagen bedient. Dadurch konnte eine anforderungsgerechte und optimierte Entwicklung realisiert werden (optimiert z. B. auf Package, Komfort, Kosten).

Analog zur Stückzahl abgesetzter Fahrzeuge stieg auch die Vielfalt im Produktportfolio der BMW Group an. Aus der Historie heraus erhöhte sich damit die Variantenzahl der Sitzanlagen exorbitant, wobei gleichzeitig immer mehr Funktionen aus höheren auch in niedrigeren Fahrzeugklassen Einzug hielten. Neu hinzugekommene Komfortfunktionen und Individualisierungen verstärken diesen Effekt.

Dies hat eine hohe Variantenvielfalt an Sitzen zu Folge, die sich beispielsweise auch in einer Vielfalt an Wirkprinzipien für ähnliche Funktionen niederschlägt. Um die gestiegene Komplexität auf einem definierten Kostenniveau beherrschen zu können, sind neue Ansätze gefragt, die übergreifende Synergien nutzen.

6.1.2 Baukastenentwicklung

Nachfolgend werden etliche Elemente des erarbeiteten Vorgehens zur Baukastenentwicklung und der dazugehörigen Unterstützung angewendet. Dabei wird auf unterschiedliche Beispiele

zurückgegriffen. Die aufgeführten Angaben stellen vereinfachte Ausschnitte aus dem realen Umfeld dar.

6.1.2.1 Anforderungsanalyse

Die Analyse der Anforderungen ergab, dass derzeit zahlreiche Variantentreiber existieren. Hierbei wird zwischen Anforderungen

- unterschiedlicher Fahrzeugklassen (Mittel-, Oberklasse etc.),
- verschiedener Fahrzeugarten (Limousine, Coupé, Roadster etc.) und
- generellen Anforderungen (z. B. Crashnormen)

unterschieden. Beispielsweise gibt es unterschiedliche Sitze für Limousine, Coupé und Cabrio, die je nach Fahrzeugklasse weiter differieren. Als Variantentreiber ließen sich u. a. folgende identifizieren:

- Design (räumliche Wirkung des Sitzes im Fahrzeug, Nahtbilder, Farben etc.),
- funktionale Anforderungen (Komfort, Easy-entry-Funktion für 3-türige Fahrzeuge, sitzintegriertes Gurtsystem für Cabrios, Position des H-Punkts² etc.),
- monetäre Anforderungen (Herstellkosten, Montagekosten etc.),
- Ausstattungsmerkmale (mechanische/elektrische Verstellung, Sitzbelüftung etc.),
- verschiedenartige technische Umsetzung (prinzipiell) gleicher Funktionen (Ausführung als Schweiß- oder Tiefziehkonstruktion, unterschiedliche Wirkprinzipien etc.) sowie
- Packageanforderungen (z. B. schmalere oder niedrigere Fahrzeuge).

Ungeachtet dieser Variantenvielfalt sind gewisse Anforderungen und ihre Ausprägungen für jede Sitzanlage beinahe identisch: Die zu beherbergenden Personen sind beispielsweise immer die Gleichen, weshalb auch das Sitzverstellfeld weitgehend gleich ist. Trotzdem bietet ein Sitz in der Oberklasse eine breitere Sitzfläche und spezielle Komfortfunktionen an.

Anforderungen an das Baukastensystem

Das Hauptziel des geplanten Baukastensystems war die Schaffung und Nutzung von Synergieeffekten, wobei sich nachstehende Anforderungen ergaben:

- Erfüllung der fahrzeugspezifischen Anforderungen,
- fahrzeugübergreifender Einsatz der Baukastenprodukte,
- übergreifender Einsatz von Konzepten und Wirkprinzipien,
- identische Sitzgestelle für manuelle und elektrische Verstellung,
- Realisierung von Gleichteilen sowie
- übergreifender Einsatz von Ausstattungsfunktionen.

Der letzte Punkt wird nachfolgend anhand der Ausstattung Lordosenstütze dargestellt.

² Mit H-Punkt wird die Hüftposition einer sitzenden Person relativ zum Fahrzeug bezeichnet, die sich je nach Fahrzeugkonzept (Limousine, Coupé, SUV etc.) zugunsten eines spezifischen Raumgefühls unterscheidet.

Übergreifende Anforderungen an eine Lordosenunterstützung

Die meist als Sonderausstattung erhältliche Lordosenstütze hat die Aufgabe, die Lendenwirbel zu unterstützen, um die natürliche Krümmung der Lendenwirbelsäule auch bei längerem Sitzen beizubehalten. Ergebnis ist eine ergonomische Haltung, die eine entspanntere Ankunft ermöglicht (Abbildung 6-2). Diese natürliche, s-förmige Krümmung tritt bei der Lenden- und Halswirbelsäule auf und wird in der medizinischen Fachsprache mit Lordose bezeichnet³.

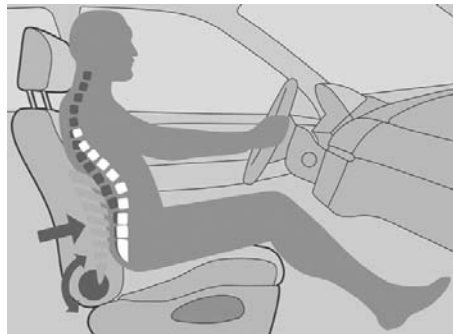


Abbildung 6-2: Veranschaulichung der Lordose bei der Lendenwirbelsäule einer sitzenden Person

An die Lordosenunterstützung werden im Automobilbereich neben den monetären zahlreiche weitere Anforderungen gestellt, wie z. B.

- ergonomische Unterstützung der Lendenwirbel,
- feinfühlig-einstellbare Unterstützung,
- ergonomische Bedienung,
- niedrige Verstellgeräusche,
- Stabilität der eingestellten Position und
- geringer Bauraumbedarf (Package).

Diese Anforderungsanalyse dient als Ausgangspunkt für die Funktionsorientierung.

6.1.2.2 Anwendung der Funktionsorientierung am Teilsystem Lordosenstütze

Abbildung 6-3 stellt die Schritte der Funktionsorientierung anhand des Vier-Säulen-Modells dar und wird nachstehend erläutert.

³ vgl. WWW.WIKIPEDIA.DE [entnommen am 13.06.2006]

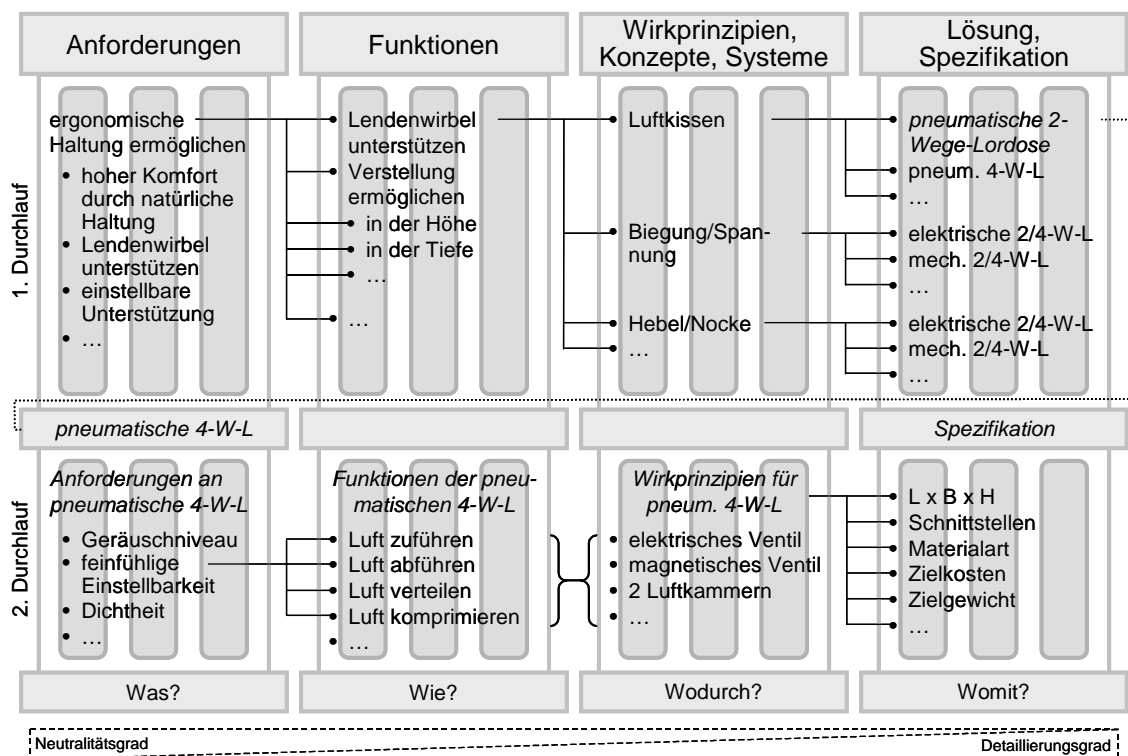


Abbildung 6-3: Funktionsorientierte Entwicklung einer Lordosenstütze mittels des Vier-Säulen-Modells

Ausgehend von den gesammelten Anforderungen lassen sich die zu erfüllenden Funktionen der Lordosenstütze ableiten, wozu neben der Unterstützung der Lendenwirbel beispielsweise die Verstellbarkeit gehört. Als Verstellwege kommen die Tiefe sowie die Höhe der Unterstützung relativ zum Rücken in Frage (siehe Abbildung 6-4). Im ersten Fall spricht man von einer 2-Wege, bei der Möglichkeit beider Verstellungen von einer 4-Wege-Lordosenstütze⁴.

Zur Realisation der Verstellmöglichkeiten bieten sich mehrere Wirkprinzipien an, wobei nachfolgend die Wichtigsten aufgeführt werden (Abbildung 6-4):

- **Luftkissen:**
Durch die Regulierung der Luftmenge kann die Blähung eines Kissens gezielt gesteuert werden.
- **Biegung/Spannung:**
Durch eine Kontraktion oder durch aufgebrachtem Druck wird eine mechanische Spannung erzeugt, die wiederum eine Biegung hervorruft.
- **Hebel/Nocke:**
Mittels Rotation eines Hebels oder einer Nocke kann die Unterstützung reguliert werden.

⁴ Da eine alleinige Verstellung in der Höhe wenig Sinn macht, gibt es eine Höhenverstellung in der Regel nur in Kombination mit der Tiefenverstellung.

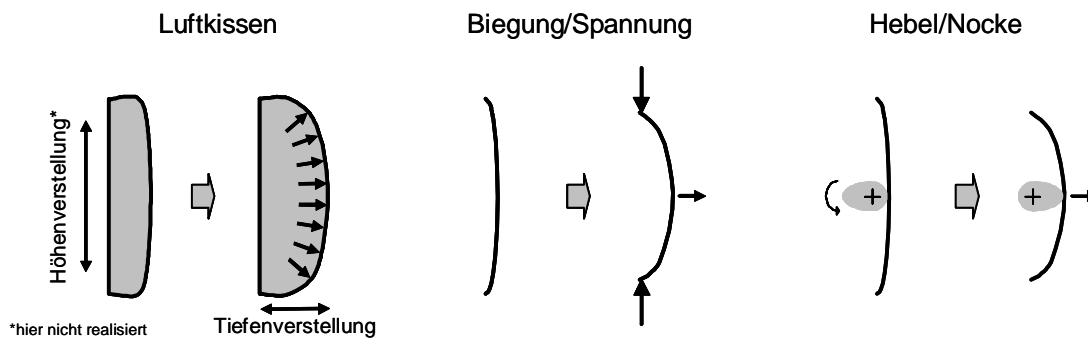


Abbildung 6-4: Alternative Wirkprinzipien zur Realisation der Tiefenverstellung einer Lordosenstütze

Für die Betätigung bieten sich prinzipiell zwei Alternativen an: mechanisch oder elektrisch. Aufgrund des kompletten Verzichts auf jegliche bewegliche Mechanik (außer der erforderlichen Pumpe) wird in diesem Beispiel die pneumatische Lordosenunterstützung im Vier-Säulen-Modell weiter verfolgt.

Als Anforderungen für eine pneumatische 4-Wege-Lordosenstütze sind u. a. ein niedriges Geräuschniveau, die feinfühligkeit Einstellbarkeit sowie die Dichtheit zu nennen. Die Anforderung „feinfühligkeit Einstellbarkeit“ lässt sich im nächsten Schritt in mehrere Funktionen überführen. So muss Luft sowohl zu- als auch abgeführt werden, um die Tiefe der Unterstützung zu variieren. Die zur Höhenverstellung notwendige Funktion „Luft verteilen“ erfordert als Wirkprinzip eine zusätzliche Luftkammer. Durch eine getrennte Ansteuerung der beiden Luftkammern ist dadurch neben der Tiefen- auch eine Höhenverstellung der Lordosenstütze möglich. Außerdem sind neben einem Kompressor Ventile zur Steuerung des Luftvolumens unabdingbar. Diese Komponenten bestimmen das Geräuschniveau, welches möglichst niedrig sein soll.

Im letzten Schritt erfolgt mit der abschließenden Spezifikation die Überleitung zu konkreten Bauteilen.

Die pneumatische 4-Wege-Lordosenunterstützung hat zum einen den Vorteil eines relativ geringen Platzbedarfs. Zum anderen kann auf bewegliche Teile verzichtet werden. Die übrigen aufgezeigten Lösungen müssen für eine Höhenregulierung in der Regel vertikal verschoben werden. Demgegenüber ist die Beherrschung der Geräusentwicklung und der Dichtheit beim pneumatischen System technisch anspruchsvoller.

6.1.2.3 Zielableitung am Beispiel Sitzschienen

Auf Basis der durchgeführten Analyse (Kapitel 6.1.2.1) lassen sich die baukastenspezifischen Anforderungen identifizieren. Auch bei den Sitzschienen gibt es allgemeingültige und fahrzeugspezifische Anforderungen. Erstere gelten für alle Sitzschienen und sind unabhängig vom Einsatzfahrzeug (z. B. Crashnormen, Rasterung der Sitzlängsverstellung). Die Ausprägungen letzterer Anforderungen hingegen können sich unterscheiden (z. B. Befestigungskonzept).

Stark divergierende Ausprägungen kristallisierten sich bei der Spurweite der Sitzschienen heraus. Um bei voll besetzter Rückbank drei Fondpassagieren einen angemessenen Sitzkomfort zuteil werden zu lassen, muss Platz für jeweils drei Füße unter den Vordersitzen vorgehalten werden⁵. Die Spurweite der Sitzschienen ist aber u. a. von der lichten Weite zwischen Seitenschweller und Mitteltunnel abhängig, die somit je nach Fahrzeugbreite unterschiedlich ausfällt (Abbildung 6-5).

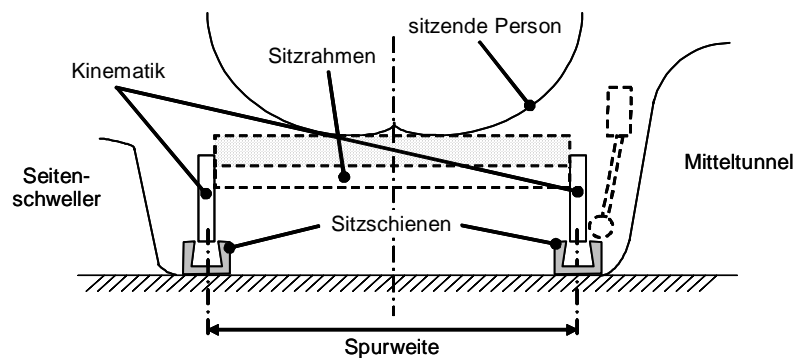


Abbildung 6-5: Spurweite der Sitzschienen als bestimmendes Komfortmaß

Diese Komfortanforderung hat unterschiedliche Spurweiten zur Folge. In Anbetracht des übergreifenden Baukastengedankens stellt dies einen Zielkonflikt dar. Einerseits soll der jeweils mögliche Komfort realisiert werden. Andererseits werden zur Anbindung des identischen Sitzrahmens unterschiedliche Kinematiken notwendig, wodurch die Variantenvielfalt ansteigt. Dies widerspricht dem Ziel eines Baukastensystems, die Varianz zu reduzieren und übergreifende Synergien zu nutzen.

Handlungsalternativen

Zur Lösung dieses Zielkonflikts bieten sich im Rahmen der Zielableitung nun drei Handlungsalternativen an⁶:

- Angleichung der Anforderungen:
Mittels einer Anforderungsharmonisierung können die unterschiedlichen Spurweiten der kleinsten angeglichen werden, um die Kinematik als Gleichteil zu nutzen. Mit dieser Lösung werden bewusst Kompromisse bezüglich des Komfortpotenzials bei größeren Fahrzeugen in Kauf genommen.
- Erfüllung der spezifischen Anforderungen:
Ohne Rücksicht auf die Variantenvielfalt können die jeweiligen Spurweiten umgesetzt werden. Der Komfortgewinn wird mit einer hohen Vielfalt an Kinematiken erkaufte.
- Kompromiss durch Anpassbausteine:
Um den jeweiligen Komfort bei gleichzeitiger Schaffung von Synergieeffekten durch Gleichteile sicherzustellen, finden entsprechende Anpassbausteine Verwendung. Die

⁵ Die mittlere Person platziert jeweils einen Fuß links und rechts vom Mitteltunnel.

⁶ Prinzipiell existiert mit der Anforderungsoptimierung (vgl. Kapitel 5.4.3.2) noch eine weitere Handlungsalternative, welche aber für das vorliegende Beispiel nicht relevant ist.

unverändert einsetzbare Kinematik wird durch Anpassbausteine den unterschiedlichen Spurweiten angepasst.

Die aufgezeigten Handlungsalternativen sind unter den geltenden Rahmenbedingungen zu bewerten. Hierzu wird für jede Alternative ein Zielsystem erarbeitet.

Zielsysteme

Mit den einzelnen Zielsystemen kann die Güte der Zielerfüllung bestimmt werden. Abbildung 6-6 stellt auf Zieldreiecke reduzierte Zielsysteme schematisch dar (vgl. Kap. 5.4.4.2.2). In der Realität sind mitunter weitaus mehr Kriterien als „Eigenschaften“, „Kosten“ und „Gewicht“ relevant. Die Achsen stellen den Erfüllungsgrad der Anforderungen dar.

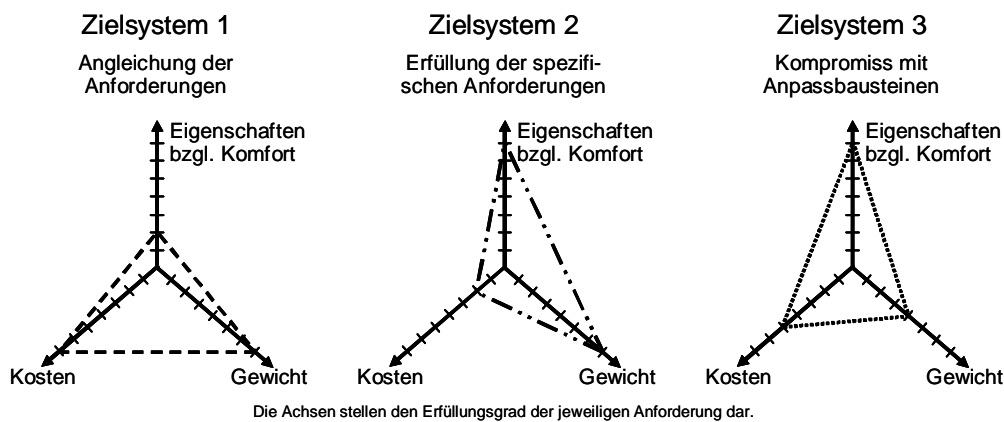


Abbildung 6-6: Bewertung der Handlungsalternativen mithilfe von Zielsystemen

Somit ergeben sich folgende Zielsysteme für die Sitzgestelle:

- **Zielsystem 1:**
Die Harmonisierung der Anforderungen ermöglicht den Einsatz von Gleichteilen, was eine optimale Kostensituation zur Folge hat. Im Gegensatz dazu werden nicht alle Komfortanforderungen erfüllt. Dies spiegelt sich in einem schlechten Wert auf der Achse „Eigenschaften“ in der Abbildung wider. Die Harmonisierung ist gewichtsneutral, d. h. das geforderte Gewicht der Sitzstruktur wird hiervon nicht beeinflusst (und wird deshalb als sehr gut erfüllt dargestellt).
- **Zielsystem 2:**
Durch die Entwicklung angepasster Kinematiken werden alle Komfortanforderungen optimal erfüllt, aber die zusätzlich anfallenden Aufwendungen für Entwicklung, Absicherung und Produktion verschlechtern die Kostensituation drastisch. Diese Maßnahme ist ebenfalls gewichtsneutral und kann die jeweiligen Gewichtsanforderungen sogar optimal erfüllen.
- **Zielsystem 3:**
Der Einsatz von Anpassbausteinen macht Kompromisse nicht nur möglich, sondern auch notwendig. Neben dem übergreifenden Einsatz der Kinematik wird die optimale Erfüllung der Komfortanforderungen durch (kostengünstige) Anpassbausteine er-

reicht⁷. Die Varianz liegt in den Anpassbausteinen und ist damit günstiger als eine Vielfalt bei der Kinematik. Der Kostenvorteil der Gleichteilverwendung wird durch die zusätzlich anfallenden Kosten für die Anpassbausteine teilweise reduziert. Wegen der hinzukommenden Bausteine wird die Gewichtssituation negativ beeinflusst.

Zur Bewertung sind die einzelnen Zielsysteme mit ihren Vor- und Nachteilen sowie den einhergehenden Kompromissen untereinander abzuwägen. Im vorliegenden Fall überwiegen die Vorteile der Kompromisslösung, sodass sich die zusätzlichen Kosten für die Entwicklung und Produktion der Anpassbausteine gegenüber den Alternativen 1 und 2 lohnen.

Darüber hinaus müssen bei der umfassenden Bewertung u. a. weitere Aspekte berücksichtigt werden, wie z. B. die zu erwartenden Stückzahlen (Sonder- oder Serienausstattung), Fertigung und Produktion, Qualität etc. Ferner sind die erzielbaren Skaleneffekte mit den jeweiligen Lieferantenstrategien abzugleichen (vgl. Kapitel 5.4.4).

6.1.2.4 Bestimmung der Kernelemente

Um einerseits der Forderung nach der Reduzierung der Variantenvielfalt und andererseits der Forderung nach der Differenzierung der einzelnen Sitze nachkommen zu können, ist die aus Sitz- und Lehnenrahmen bestehende Metallstruktur als Kernelement des Baukastensystems definiert worden (vgl. Abbildung 6-1). Da die Metallstruktur dem Kunden meist verborgen bleibt, sind Vereinheitlichungen unbemerkt möglich. Mit den sichtbaren Polstern und Bezügen sind die kundenwertigen Komponenten losgelöst vom Baukastenansatz, um eine Differenzierung zu ermöglichen. Die Optik und Haptik eines Sitzes kann somit vergleichsweise kostengünstig variiert werden, je nach Designstrategie oder Kundenwünschen.

Die kostenintensive Entwicklung und Absicherung vielfältiger Metallstrukturen reduziert dieser Baukastenansatz durch den übergreifenden Einsatz. Für den Kunden sollten sich hieraus keine Nachteile ergeben, was allerdings von der Wahl des Szenarios abhängig ist.

6.1.2.5 Anwendung der Funktionsorientierung und Szenariobildung für die Metallstruktur

Zur Generierung kundenwertiger Lösungsszenarios dient der Einsatz einer Funktionsmatrix. Ausgangspunkt ist die in Kapitel 6.1.2.1 durchgeführte Anforderungsanalyse, mit der u. a. Unterschiede bei klassenspezifischen Ausprägungen identifiziert werden. Daran schließt sich mit der Überführung der Anforderungen in Funktionen der nächste Schritt der Funktionsorientierung an. Nun sind alle Funktionen bekannt, die der Sitz aus Kundensicht benötigt. Die zu bildenden Szenarios sind sowohl von den Kundenanforderungen als auch von den Zielfahrzeugen und deren Anforderungen abhängig. Zur systematischen Unterstützung dieser Szenariobildung ist die Kundenfunktionsmatrix zu erstellen. Diese Matrix stellt die einzelnen Kundenfunktionen den verschiedenen Fahrzeugen und Ausstattungen gegenüber, um ein

⁷ Mitunter können Anpassbausteine gewisse Eigenschaften negativ beeinflussen (z. B. Kraftflüsse, Knarrgeräusche).

Optimum aus Baukastensicht generieren zu können. Für den Gesamtsitz ergibt sich die in Abbildung 6-7 dargestellte Funktionsmatrix aus Kundensicht als eine mögliche Alternative.

kundewertige Funktionen	Fahrzeuge				
	Fzg. 1	Fzg. 2	Fzg. 3	Fzg. 4	Fzg. 5
Sitzlängsverstellung	x	x	x	x	x
Sitzhöhenverstellung		x	x	x	x
Sitztiefenverstellung			x		x
Lehnenneigungsverstellung	x	x	x	x	x
Easy-entry				x	x
Knicklehne			x		
Lordosenstütze	x	x	x	x	x
Lehnenbreitenverstellung		x	x		
Belüftungsfunktion			x		
Massagefunktion			x		
sitzintegrierte Gurtfunktion					x

SGS
 Easy-entry
 komfortorientierter Sitz
 sportlicher Sitz
 bauraumoptimierter Sitz

Abbildung 6-7: Funktionsmatrix aus Kundensicht als Vorstufe zur Szenariobildung

Zur Vereinfachung werden die Anforderungen für die Fahrzeugarten Limousine, Kombi, SUV und Roadster in diesem Beispiel entgegen der Realität als identisch angesehen. Coupés benötigen zusätzlich eine Easy-entry-Funktion, um den Fondpassagieren den Einstieg nach hinten zu erleichtern. Das Gleiche trifft auch auf viersitzige Cabrios zu, wobei wegen der nicht vorhandenen B-Säule außerdem noch ein sitzintegriertes Gurtsystem (SGS) notwendig ist⁸.

Ausgehend von unterschiedlichen Varianten der Funktionsmatrix lassen sich verschiedene Lösungsszenarios für die Metallstruktur der Sitzanlage bilden. Alternative Prinzipien zur konstruktiven Breitenanpassung von Sitzgestellen können Anhang 10.10 entnommen werden.

Die beiden in Abbildung 6-8 exemplarisch gezeigten Szenarios unterscheiden sich fundamental. Während bei Variante A insgesamt fünf verschiedene Sitzstrukturen zum Einsatz kommen, beschränkt sich Variante B auf lediglich zwei:

- Variante A:

Hier wurde den verschiedenen Anforderungen der Fahrzeugklassen und -arten Rechnung getragen, um so wenig Kompromisse wie möglich einzugehen. Die Fahrzeugarten Coupé (Easy-entry) und Cabrio (SGS mit Easy-entry) werden dabei mit jeweils eigenen Sitzsystemen bedient, unabhängig von der Fahrzeugklasse. In alle anderen Fahrzeuge werden klassenspezifische Sitzanlagen eingesetzt. Die Ausrichtung ist dabei in den beiden höchsten Klassen besonders komfortabel, in den mittleren und den

⁸ Mangels einer B-Säule muss bei Cabrios auf den sonst üblichen an der B-Säule angeschlagenen oberen Gurtumlenkpunkt verzichtet werden. Obwohl auch Coupés häufig keine B-Säule haben, können aufgrund der steiferen Karosserie und der weniger designkritischen Seitenlinie im Gegensatz zu Cabrios auch andere Lösungen eingesetzt werden (z. B. Gurtbringsysteme). Zweisitzige Fahrzeuge (z. B. Roadster) sind davon nicht betroffen, da der Gurt direkt an der Rückwand angeschlagen werden kann.

unteren Klassen bauraumorientiert sowie bei den Roadstern sportlich ausgerichtet. Somit ergeben sich fünf unterschiedliche Sitzfamilien.

- Variante B:
Durch die Reduktion auf lediglich zwei Sitzfamilien können die übergreifenden Synergieeffekte drastisch erhöht werden. Hierdurch werden allerdings in höherem Maße Kompromisse erzwungen. So wird auf eine klassenspezifische Differenzierung der Sitze verzichtet. Alle Fahrzeuge bekommen die gleiche Sitzanlage, mit Ausnahme der Coupés und Cabrios. In diesen beiden Fahrzeugarten wird zugunsten weiterer Synergien ein sitzintegriertes Gurtsystem inklusive Easy-entry-Funktion eingesetzt.

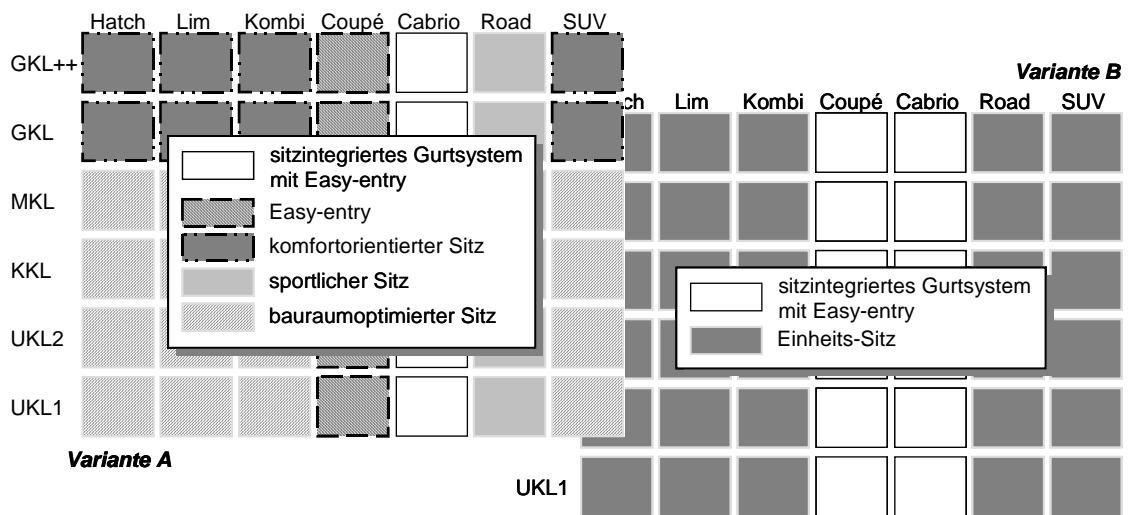


Abbildung 6-8: Unterschiedliche Szenariobildung auf Basis des Produktportfolios

Zwischen diesen beiden Varianten sind weitere Szenarios denkbar. Um die Größe des Lösungsraumes aufzuzeigen, sind für das vorliegende Beispiel bewusst zwei Extrempositionen gewählt worden. Die Gültigkeit der Szenarios ist abhängig von zahlreichen Faktoren. Hierzu zählen beispielsweise die prognostizierten Stückzahlen, die Produktionsmöglichkeiten der betroffenen Werke sowie Unternehmensstrategien bezüglich der Fahrzeugausstattungen.

6.1.3 Ergebnis und Zusammenfassung

Mithilfe der systematischen Vorgehensweise wurde ein Baukastensystem entwickelt, das auf einem flexiblen Komponentenbaukasten basiert. Diese Komponenten umfassen dabei die komplette Metallstruktur, sodass durch die Anpassung von Polstern und Bezügen ausreichend Raum zur Differenzierung bestehen bleibt. Die Komponenten können zu drei unterschiedlichen Sitzstrukturen kombiniert werden, welche mit einer sportlichen sowie bauraum- und komfortorientierten Ausprägung die häufigsten Bedürfnisse abdecken (Abbildung 6-9).

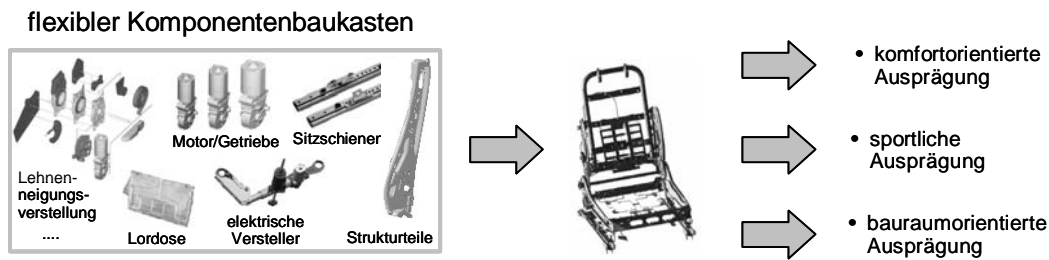


Abbildung 6-9: Flexibler Komponentenbaukasten zur Abbildung von drei Sitzfamilien mit unterschiedlichen Ausprägungen

Aufgrund der gezielten Gleichteilstrategie kann jede Sitzfamilie beinahe beliebig mit den identischen Sonderausstattungen ausgerüstet werden (z. B. Lordosenstütze). Für Coupés wird die Easy-entry Funktion in den bauraumorientierten Sitz integriert. Aufgrund der abweichenden Anforderungen (aufzunehmende Kräfte, Lastpfade etc.) und der projektspezifischen Randbedingungen (Produktion, Kosten etc.) ist das sitzintegrierte Gurtsystem in diesem Beispiel nicht Bestandteil des Baukastensystems.

U. a. werden folgende Vorteile mit diesem Ansatz erreicht:

- Reduzierung der internen Variantenvielfalt auf drei Sitzfamilien,
- Reduzierung der internen Variantenvielfalt im Bereich der Ausstattungen,
- Kostenreduzierung (Einkauf, Herstellung, Absicherung etc.) durch Skaleneffekte,
- Möglichkeit zur kostengünstigen Differenzierung über Polster und Bezüge sowie
- identische Bedienung bei allen Sitzen.

Dieser Baukastenansatz ermöglicht bei einer möglichst geringen internen Vielfalt die Darstellung der geforderten externen Vielfalt. Für den Kunden ergeben sich dabei kaum Nachteile oder Kompromisse. Außerdem können die durch Skaleneffekte eingesparten Ressourcen beispielsweise in höherwertige Bezüge investiert werden, um die Kundenwertigkeit noch weiter zu steigern. Ferner ist der Baukastenansatz durch den modularen Aufbau und die definierten Schnittstellen für neue Funktionen und Ausstattungen in gewissen Grenzen erweiterbar. Für die Kombinierbarkeit der einzelnen Komponenten des Baukastensystems ist die entsprechende Definition von Schnittstellen entscheidend.

Bei der Umsetzung dieses Sitzbaukastens zeigt sich der Vorteil einer systematischen Vorgehensweise bei der Gratwanderung zwischen der kundenwertigen Variantenvielfalt und der Nutzung übergreifender Synergieeffekte.

6.2 Baukasten Stoffe

Im oben beschriebenen Ansatz für Vordersitze beschränkt sich das Baukastensystem auf die Metallstruktur. Bezüge sind aus Gründen der Differenzierungsmöglichkeit bewusst nicht betrachtet worden. Gleichwohl bietet es sich bei unifarbene Stoffen an, ein eigenes Baukastensystem zu etablieren.

6.2.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Ein Sitzbezug besteht aus Mittelbahnen und Wülsten und ist in der Produktstruktur je nach Konzeption (ein- oder mehrteilig) auf der Einzelteil- oder Baugruppenebene angesiedelt. Die Wülste bedecken die Seitenhalt gebenden Seitenwangen eines Sitzes. Um optische Akzente setzen zu können, werden die Seitenwangen von den Mittelbahnen häufig durch die Farbgebung und das Material abgesetzt. Zudem wird das Nahtbild der Komplettsitze variiert (Abbildung 6-10).

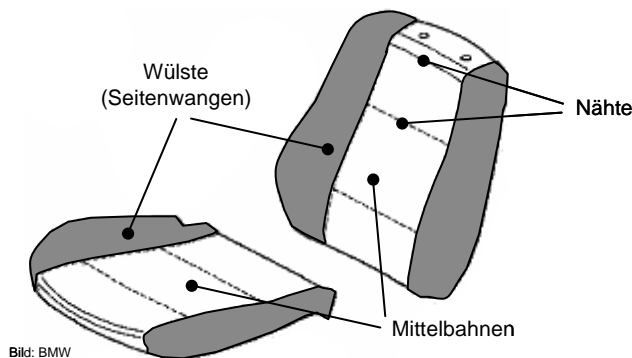


Abbildung 6-10: Zusammensetzung eines Bezuges für Vordersitze

Die Entwicklung eines Sitzmaterials gestaltet sich langwierig und aufwendig und ist für jede Sitzkontur getrennt durchzuführen. Dabei fallen mehrere Entwicklungsschleifen an, die hohe Entwicklungs- und Absicherungskosten verursachen. Diese Iterationen sind besonders bei den Seitenwangen notwendig, um trotz der komplexen Konturen einen faltenfreien Bezug sicherzustellen. Da die jeweiligen Stoffentwicklungen eng mit den betroffenen Fahrzeugprojekten gekoppelt sind und nach deren Projektplanung getaktet werden, sind die Stoffentwicklungen hochgradig terminkritisch.

Mehrere Faktoren bestimmen die Entwicklung von Stoffbezügen. Bei den zugrunde liegenden Stoffen sind u. a. nachfolgende Punkte zu berücksichtigen: Kosten pro Quadratmeter, Lebensdauer, Dehnbarkeit, Verarbeitbarkeit, Qualität, Webart, Farbgebung, Optik, Haptik und Verfügbarkeit. Die Eigenschaften des Stoffgewebes sind dabei durch zahlreiche Parameter beeinflussbar⁹.

Da sich die Sitzkonturen aus Designgründen in beinahe jedem Fahrzeug unterscheiden, sind zahlreiche Bezügeentwicklungen notwendig. Auch Materialien, Farben und Nahtbilder werden zur Differenzierung ständig variiert. Das wachsende Fahrzeugportfolio bindet somit immer mehr Ressourcen zur Bezugsentwicklung und verschärft diese Situation zusätzlich. Zudem differiert der Einsatz von unterschiedlichen Gewebequalitäten, je nach vorherrschendem Trend oder je nach Zielgruppe. Dies erschwert einen Rückgriff auf Erfahrungswerte vergangener Bezugsentwicklungen.

⁹ Hierzu gehören u. a. Bindung, Farbfolge in der Kette, Farbfolge im Schuss, Blatteinzug, unterschiedliches Schussmaterial, Webtechnik (Schaft oder Jacquard), Webdichte, Garnfeinheit, Technologie (z. B. Flachgewebe oder Polgewebe) und Kaschierung.

Der hauptsächliche Variantentreiber ist demnach das Design. Um diese Vielfalt und die damit verbundene Komplexität beherrschbar zu machen, ist ein neuartiger Ansatz gefragt, der übergreifende Synergien nutzt.

6.2.2 Baukastenentwicklung

Im Folgenden werden wiederum Elemente des erarbeiteten Vorgehens zur Baukastenentwicklung und der dazugehörigen Unterstützung angewendet. Die dabei gemachten Angaben stellen auch hier vereinfachte Ausschnitte aus dem realen Umfeld dar.

6.2.2.1 Anforderungsanalyse

Das Hauptziel dieses Baukastenansatzes ist die Reduzierung der Kosten (Entwicklung und Absicherung) und die Beherrschung der Vielfalt. Dabei werden mitunter folgende Anforderungen an das Baukastensystem gestellt:

- Realisierung aller erforderlichen externen Varianten,
- Reduzierung der Anzahl unterschiedlicher Stoffe (interne Varianz),
- Entwicklung eines Baukastens, der neben neuen auch bewährte Stoffe enthält sowie
- Berücksichtigung zukünftiger Fahrzeugprojekte.

Auf Basis dieser Anforderungen erfolgt die Gestaltung des Baukastenansatzes.

6.2.2.2 Baukastenansatz

Um die interne Varianz bei gleichzeitig externer Vielfalt reduzieren zu können, wurde ein Ansatz entwickelt, der auf zwei Grundgedanken basiert. Hierbei ist eine starke Vernetzung mit der Desingabteilung erforderlich, die eine gewisse externe Varianz zur Differenzierung fordert.

Zum einen werden durch eine strategische Vorausentwicklung von abgesicherten Lösungen der Aufwand, die Kosten sowie die gebundenen Kapazitäten für die Stoffentwicklung erheblich reduziert. Aus diesem Pool an fertig entwickelten und universell einsetzbaren Stoffen bedienen sich alle Fahrzeugprojekte. Zum anderen werden durch die Vereinheitlichung von Stoffen Einsparungen (Entwicklungskosten, Absicherungskosten) durch Stückzahleneffekte erzielt.

Um eine möglichst große Designfreiheit zu behalten, beschränkt sich dieser Baukastenansatz auf unifarbene Seitenwangen. Abgeleitet von den projektspezifischen Anforderungen für das Baukastensystem sind die beiden Parameter „Webart“ und „Kosten“ als notwendige Freiheitsgrade identifiziert worden.

Die Besetzung der durch diese Parameter aufgespannten Matrix erfolgt nach strategischen Gesichtspunkten, die neben zukünftigen Trends auch die Lebenszyklen der Fahrzeuge berücksichtigen. Abbildung 6-11 stellt die Standardisierungsmatrix dar.

Bei der Erarbeitung der Standardisierungsmatrix wurde darauf geachtet, für jedes Preissegment Stoffe zur Verfügung zu haben. Die Webarten korrelieren mit den Kosten, da beispielsweise kein Bedarf für einen grob gewebten, exklusiven und teuren Stoff gesehen wird. Deshalb ist das erste Feld auf der Diagonalen in der Abbildung nicht besetzt. Für eine maximale Designfreiheit finden sich im mittleren Feld gleich zwei Stoffe. Diese Kombination von Kosten und Webart wird in einer großen Anzahl an Fahrzeugarten und -klassen verbaut. Außerdem sind die Stoffe so positioniert, dass die segment- oder fahrzeugspezifischen Charaktere durch passende Webarten betont werden können. Die komplette Fahrzeugpalette ist mit Stoffen aus dieser Standardisierungsmatrix zu bedienen.

		Kosten →		
		+	++	+++
Webart ↓	grob		Uni 1	
	mittel	Uni 2	Uni 3 Uni 4	
	fein			Uni 5

Abbildung 6-11: Strategische Standardisierungsmatrix als Baukastenansatz am Beispiel von unifarbene Stoffen

Um eine übergreifende Vorausentwicklung trotz der für die einzelnen Fahrzeuge unterschiedlichen Sitzkonturen zu ermöglichen, wird die Absicherung an einer sogenannten worst-case Kontur vorgenommen. Diese Kontur stellt die Hüllkurve aller möglichen Sitzkonturen dar und ist damit die denkbar ungünstigste. Je extremer die Seitenwangen und die Radien ausfallen, desto schwieriger gestaltet sich das faltenfreie Überziehen der Sitzpolster. Für die worst-case Kontur geeignete Bezüge lassen sich in der Regel problemlos auf weniger ausgeprägten Konturen beziehen.

6.2.2.3 Szenariobildung

Die Einteilung der Standardisierungsmatrix ist bewusst so gewählt worden, dass die Anzahl unifarbener Stoffe die geforderte Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten erlaubt. Abbildung 6-12 stellt ein mögliches Szenario dar, in der Einsatz bestimmter Webarten und Kosten den segment- und fahrzeugspezifischen Charakteren nach ausgerichtet sind.

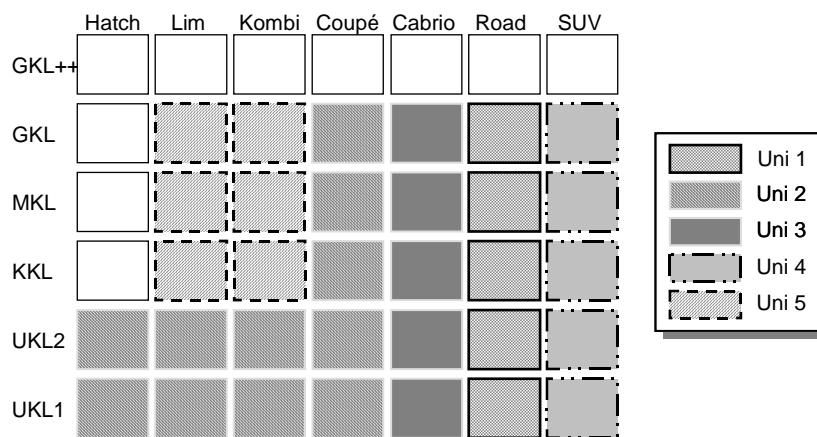


Abbildung 6-12: Einsatzszenario für Stoffe aus der Standardisierungsmatrix

Bei der Auswahl der unifarbene Stoffe in der Standardisierungsmatrix wurde auf eine hohe Kombinierbarkeit mit den Mittelbahnen geachtet. Hierzu steht eine große Anzahl an Materialien, Farbgebungen und Mustern der Mittelbahnen zur Verfügung, um individuelle Fahrzeugausstattungen zu ermöglichen.

6.2.3 Ergebnis und Zusammenfassung

Mit der Entwicklung der Standardisierungsmatrix ist es gelungen, bei nahezu gleichbleibender externer Varianz an Bezügekombinationen die interne Vielfalt drastisch zu reduzieren. Hierdurch werden Einsparungen in den Bereichen Entwicklung und Absicherung erzielt, die zusätzlich durch die übergreifende Entwicklung erhöht werden. Die Absicherung an der worst-case Kontur stellt die Eignung des Stoffes für alle in Betracht kommenden Sitzkonturen sicher. Kosten für Fahrzeugprojekte mit geringem Stoffanteil können durch die Mehrfachverwendung der unifarbene Stoffe erheblich reduziert werden.

Gleichzeitig werden mit der strategischen Wahl des Stoffportfolios die Stoffe vorausschauend gewählt und im Voraus entwickelt. Durch diese Vorausentwicklung wird der eigentliche Entwicklungsprozess für die Stoffe von den Fahrzeugprojekten entkoppelt. Dies bringt Kontinuität in den Prozess, verringert den Termindruck und ermöglicht u. a. eine flexiblere und raschere Reaktion auf Wettbewerber und sich ändernde Trends bzgl. der Gestaltung von Stoffen.

Aufgrund der Abhängigkeit vom Design lebt dieser Baukastenansatz davon, zu gegebener Zeit schrittweise aktualisiert und erneuert zu werden. Hierfür kann ein Leitfaden unterstützend wirken, in dem über festgelegte Absatzanteile gesteuert wird, wann ein Stoff ersetzt werden muss.

6.3 Zusammenfassung

Die hier beschriebenen Beispiele eignen sich besonders für die pilothafte Anwendung des erarbeiteten Baukastenentwicklungsprozesses. Zum einen liegt das an ihren klar umrissenen Komplexitätsniveaus, die nicht zu hoch sind. Zum anderen ist das auf die überschaubaren Projektlaufzeiten zurückzuführen. Ferner lassen sich anhand dieser Pilotprojekte ausgewählte Elemente des erarbeiteten Vorgehens zur Baukastenentwicklung anschaulich darstellen. Schließlich unterscheiden sich beide Projekte deutlich, sowohl bei der Ausgangssituation und dem Projektinhalt als auch bei den Randbedingungen, Anforderungen und Zielen.

Diese unterschiedliche Ausrichtung der Projekte zeigt den universalen Einsatz von Baukastensystemen auf. Gleichzeitig wird neben der Universalität des entwickelten Baukastenentwicklungsprozesses die situative Anwendbarkeit der erarbeiteten methodischen Unterstützung deutlich.

In Korrelation zu den Unterschieden bei den Projekten führt der Entwicklungsprozess im Ergebnis zu völlig verschiedenen Baukastenansätzen. Hierbei offenbaren sich erneut die Vorzüge einer systematischen Vorgehensweise und die situative Anpassbarkeit der methodischen Unterstützung. Zugleich wurde aufgezeigt, dass durch die funktionsorientierte Vorgehensweise Baukastenansätze auch im Premiumsegment an direkten Schnittstellen zum Kunden möglich sind.

In beiden Fällen wurde eine signifikante Reduzierung der externen Variantenvielfalt und Komplexität bei gleichzeitiger Realisierung der gewünschten internen Varianz erzielt. Durch die Schaffung übergreifender Synergieeffekte konnten Einsparungen erzielt werden, die wesentlich höher als die zur Baukastenentwicklung notwendigen Aufwendungen sind. Die mit einem Baukastensystem einhergehenden Nachteile und Kompromisse sind in diesem Fall verschmerzbar.

Die an dieser Stelle getroffenen Entscheidungen sind abhängig von den jeweils gültigen Rahmenbedingungen, weshalb die hier vorgestellten und verfremdeten Beispiele nicht direkt auf andere Projekte übertragbar sind.

7 Kritische Diskussion

In diesem Kapitel erfolgt eine kritische Auseinandersetzung mit den Inhalten sowie den getroffenen Aussagen und Annahmen der vorliegenden Arbeit. Ferner wird auf die notwendigen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Baukastenentwicklung näher eingegangen.

7.1 Diskussion von übergreifenden Baukastensystemen

Die durch Baukastenansätze zu erzielenden Effekte lassen sich prinzipiell mit dem Grad der übergreifenden Ausrichtung steigern, weil hierdurch höhere Skaleneffekte erreichbar sind. In diesem Zusammenhang sind einige Punkte kritisch zu betrachten.

Generell lässt sich sagen, dass die spezifische Anforderungserfüllung von Baukastensystemen gegenüber singulären Einzelentwicklungen bei gleichem Aufwand limitiert ist. Da singuläre Lösungen speziell für einen Anwendungsfall konzipiert sind, ist eine optimale Auslegung auf die jeweiligen Anforderungen möglich. Damit lässt sich eine Güte der Anforderungserfüllung im Spannungsfeld zwischen Eigenschaften, Kosten und Gewicht erreichen, die für übergreifende Baukastenansätze aufgrund der komplexeren Anforderungssysteme und Randbedingungen schwieriger erreichbar ist. Die Erfüllung der gegebenen Anforderungen gestaltet sich mit singulären Lösungen in der Regel weniger aufwendig als mit Baukastenlösungen. Hier gilt es, im Laufe der Entwicklungsphase geeignete Kompromisse und Lösungen zu finden.

Betriebswirtschaftlich gesehen ist ein Baukastenansatz nur zielführend, wenn der zusätzliche Entwicklungsaufwand niedriger als die zu erwartenden Synergieeffekte ausfällt (Abbildung 7-1).

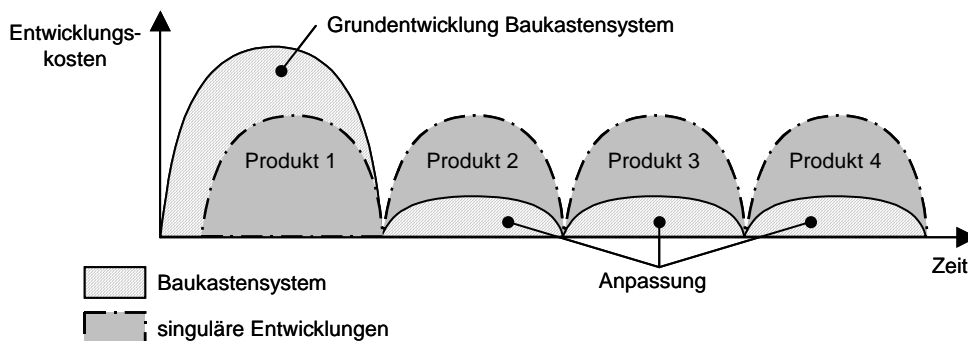


Abbildung 7-1: Rentabilität eines Baukastensystems im Vergleich zu singulären Lösungen

Dies tritt vereinfacht betrachtet ein, wenn in obiger Abbildung die anvisierten Entwicklungskosten für ein Baukastensystem (Summe der hellgrauen Flächen) kleiner als die für singuläre Entwicklungen (Summe der dunkelgrauen Flächen) ist.

Da übergreifende Ansätze nicht mehr eindeutig einem Produkt zugeordnet werden können, erfordert die Finanzierung einer übergreifenden Baukastenentwicklung von den Unternehmen unter Umständen ein Umdenken in der firmeninternen Kostenverrechnung. So gelten für einen Baukastenansatz aufgrund der vorgelagerten Entwicklungsaufwände meist längere Amortisierungszeiten. Dies ist der Grund, warum die in Unternehmen häufig als Grundlage für Investitionsentscheidungen zum Einsatz kommende Kapitalwertmethode¹ zu Bewertung von Baukastenansätzen ungeeignet erscheint.

Außerdem kann die Rentabilität einzelner Projekte sinken, da eine übergreifende Baukastenentwicklung das Gesamtoptimum über alle Projekte anstrebt. Aus diesen Gründen erfordert die Einführung von Baukästen in den Unternehmen häufig ein Changemanagement.

Mit dem übergreifenden Einsatz geht auch ein gesteigertes Entwicklungsrisiko einher, da Elemente des Baukastensystems in höheren Stückzahlen und verschiedenen Produkten Verwendung findet. Demnach hätte der Rückruf einer Baukastenkomponente gravierendere Auswirkungen und Folgen als bei singulären Lösungen. Deshalb muss die Entwicklung von Baukastensystemen unter höchster Sorgfalt geschehen.

Voraussetzung für den übergreifenden Einsatz ist die Flexibilität des Baukastenansatzes. Eine hohe Flexibilität steigert die Einsatzbreite und die anvisierte Lebensdauer des Baukastensystems, weil sowohl breiter gefächerte als auch geänderte und zukünftige Anforderungen bzw. Randbedingungen berücksichtigt und abgebildet werden können. Hierunter fallen auch etwaige Technologiesprünge sowie Innovationen.

Diesen Vorteilen stehen aber auch Nachteile gegenüber. Aufgrund der langfristigeren Orientierung sind spätere Technologiesprünge und Innovationen mit Baukastensystemen schwieriger zu bedienen als mit singulären Lösungen. Mit steigender Flexibilität erhöht sich der Entwicklungsaufwand gegenüber singulären Lösungen. Deshalb ist es notwendig, situativ einen entsprechenden Kompromiss zwischen Flexibilität und Starrheit bei Baukastensystemen zu finden.

Die Notwendigkeit eines übergreifenden oder eines langfristigen Einsatzes von Baukastensystemen ergibt sich wegen des erhöhten Entwicklungsaufwands gegenüber singulären Lösungen. Im Gegensatz zur spezifischen Auslegung für den Einzelfall sind beim übergreifenden Einsatz multiple Anforderungssysteme und zusätzliche Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Deshalb sind umfassende Analysen der Anforderungen und der Ist-Situationen besonders wichtig.

Mitunter erweisen sich verschiedene Baukastenansätze als zielführend. Die Gestaltung des Baukastensystems ist abhängig von den zu erreichenden Zielen und den gegebenen Rahmen-

¹ Die Kapitalwertmethode ist ein Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsberechnung von Investitionen. Sie findet Verwendung, wenn sich die Ein- und Auszahlungen (Kosten und Erträge) einer Investition im Zeitablauf ändern. Um verschiedene Alternativen für Investitionen vergleichen zu können, werden alle zukünftigen Erträge auf einen Zeitpunkt abgezinst, d. h. der sogenannte Barwert (Net Present Value) dieser späteren Erträge errechnet. Je später Überschüsse erzielt werden, desto geringer fällt der Barwert aus und kann die Anfangsinvestition weniger kompensieren [PROJEKTMAGAZIN 2006].

bedingungen. Das Ergebnis der Baukastenentwicklung ergibt sich aus dem ständigen Abwägen, Bewerten und Verändern verschiedener Faktoren.

Zahlreiche Systemlieferanten und Zulieferer haben die Vorteile der Baukastenbauweise erkannt und profitieren von Skaleneffekten, indem sie intern eigene (Lieferanten-)Baukästen einsetzen. Um diese Potenziale selber nutzen zu können, müssen die OEMs auf die Gestaltung von Baukastensystemen Einfluss nehmen. Dies kann nur erreicht werden, indem die OEMs eigene Baukastenentwicklungen vorantreiben. Hierzu muss sich die Zusammenarbeit mit (System-)Lieferanten bzw. die Zusammenarbeit zwischen OEMs verändern.

7.2 Diskussion des erarbeiteten Prozesses zu Baukastenentwicklung

Ziel des erarbeiteten Prozesses ist die universelle Anwendbarkeit für verschiedenste Baukastenentwicklungen. Für den Automobilbau konnte die flexible Anwendbarkeit bestätigt werden.

Vielen Entwicklungsvorhaben ist eine gewisse Unschärfe bzgl. der getroffenen Annahmen eigen. Aufgrund der langfristigen und übergreifenden Auslegung von Baukastensystemen übersteigt die Zahl der Annahmen die einer singulären Entwicklung, sodass die Entscheidungsgrundlage zur Gestaltung des Baukastenansatzes auf zahlreichen Annahmen basiert. Der Mangel an Genauigkeit kann durch den richtigen Umgang mit dieser Unschärfe bewältigt werden.

Zum einen gilt es, die zugrunde liegenden Szenarios gewissenhaft zu erarbeiten und zu bewerten. Zum andern lässt sich die Vorhersehbarkeit durch aussagekräftige Trend- und Wettbewerbsanalysen verbessern. Durch die Reduktion der Unschärfe und der damit verbundenen Risiken wird die Langfristigkeit der Baukastenplanung sichergestellt. Dies erfordert ein klar geregeltes Lebenszyklusmanagement.

Die Anwendung der erarbeiteten Methoden und Hilfsmittel ist abhängig von den Zielen der Baukastenentwicklung sowie den vorherrschenden Rahmenbedingungen.

7.3 Voraussetzungen für eine erfolgreiche Baukastenentwicklung

Aufgrund der Komplexität einer übergreifenden Baukastenentwicklung sind zahlreiche Voraussetzungen zur erfolgreichen Gestaltung von Baukastensystemen notwendig.

Hierzu zählen organisatorische Randbedingungen, welche die Baukastenentwicklung im Unternehmen verankern. Da übergreifende Ansätze von Einzelprojekten losgelöst sind, ist eine klare Unterstützung durch das Management notwendig.

Oberstes Gebot ist ferner die umfassende Schaffung von Transparenz, damit die Analysen und Entscheidungen unter Berücksichtigung aller relevanten Informationen erfolgen. Dazu

gehört auch die intensive Vernetzung mit allen Schnittstellenpartnern, um alle erdenklichen Abhängigkeiten und Auswirkungen frühzeitig erfassen und berücksichtigen zu können.

Die Rentabilität und damit der Erfolg einer Baukastenentwicklung ist stark von der Planungssicherheit und der Eintrittswahrscheinlichkeit der getroffenen Annahmen abhängig.

Schließlich erfordert die Entwicklung eines übergreifenden Baukastenansatzes ein Umdenken der Entwickler, die es gewohnt sind, Projekte nacheinander zu bearbeiten. Voraussetzung für die Anwendung des Prozesses ist ein prinzipielles Verständnis für Systematik und die Fähigkeit, zu abstrahieren.

7.4 Zusammenfassung

Bei der Baukastenentwicklung liegt die Schwierigkeit darin, den optimalen Kompromiss zwischen Flexibilität und Starrheit zu finden. Wird der Baukastenansatz zu flexibel ausgelegt, steigen die Kosten und die Kompromisse bzgl. der Anforderungserfüllung beim übergreifenden Einsatz. Eine zu starre Ausführung dagegen vermindert die erzielbaren Synergieeffekte und die zu erwartende Lebensdauer des Baukastensystems.

Durch die Schaffung der passenden Randbedingungen, die Erfüllung der notwendigen Voraussetzungen und die Anwendung des systematischen Entwicklungsprozesses ist es möglich, Baukästen erfolgreich zu entwickeln.

8 Zusammenfassung und Ausblick

8.1 Zusammenfassung

Die Variantenvielfalt und Komplexität nimmt unter anderem aufgrund der verstärkten Konkurrenzsituation stetig zu. Zur Beherrschung bietet sich die Anwendung der Baukastenbauweise an, die einen möglichen und vielversprechenden Lösungsansatz für diese Varianten- und Komplexitätsproblematik darstellt.

Neben deutlichen Vorteilen der Baukastenbauweise gibt es auch Nachteile und klare Grenzen. Ein Baukastensystem ist demnach nicht in jeder Situation zielführend. Der Einsatz muss in jedem Fall neu abgewägt werden.

In der vorliegenden Arbeit wurde ein umfassender, transparenter Gesamtprozess zur baukastengerechten Entwicklung und Gestaltung erarbeitet. Neben dem eigentlichen Vorgehen wurden Methoden und Hilfsmittel situationsgerecht eingesetzt und anforderungsgerecht erweitert bzw. bei zusätzlichem Bedarf neu entwickelt. Dazu zählen insbesondere nachfolgende Punkte.

Der erarbeitete Prozess zur Baukastenentwicklung ist generisch und erlaubt die systematische Konzeption von Baukästen unterschiedlichster Art. Der Entwickler kann sich schrittweise orientieren, um eine baukastengerechte Gestaltung zu erreichen.

Zentraler Gedanke dieses Prozesses ist die Betonung und Berücksichtigung der Kundensicht bei der Entwicklung. Gerade im Premiumsegment ist ein Baukastenansatz ohne Beeinträchtigung und negativen Effekten für den Kunden zu konzipieren. Mit der Einbettung der Funktionsorientierung in den Baukastenentwicklungsprozess wurde dies ermöglicht. Darüber hinaus können sogar neue kundenwertige Freiräume geschaffen werden. Schwerpunkte sind hierbei das erarbeitete Vier-Säulen-Modell und die Methode zur funktionalen Vernetzung.

Zur zielgerechten Unterstützung dieses funktionsorientierten Prozesses wurden diverse Methoden angeboten, welche ebenso allgemein formuliert sind. So können sie situativ ausgewählt und den jeweiligen Erfordernissen angepasst werden.

Des Weiteren ermöglicht der Prozess zur Zielableitung dem Entwickler, schrittweise die Zielvorgaben des zu konzipierenden, übergreifenden Baukastensystems zu erarbeiten. Um die Erfüllung des Zielsystems durch den Baukasten sicherzustellen, ist bei der Ableitung dessen Stimmigkeit wesentlich.

Mit dem Leitfaden zur baukastengerechten Gestaltung und Konstruktion werden dem Entwickler analog zu bestehenden Gestaltungsrichtlinien konkrete Vorschläge an die Hand gegeben, wie baukastengerecht gestaltet wird. Bedingt durch die projektspezifische Ab-

hängigkeit der optimalen Ausprägung einer Baukastengestaltung werden hierbei vornehmlich Tendenzen aufgezeigt. Dieser Ansatz ermöglicht eine konsequente und gezielte Reduzierung der im Unternehmen vorhandenen Varianten- bzw. Teilevielfalt. Aufgrund der Schwierigkeit, bestehende Produktstrukturen abzuändern, ist der Leitfaden vorzugsweise bei Neuentwicklungen anzuwenden.

In der Toolbox genannten Methodensammlung wurden alle erarbeiteten Prozesse, Methoden und Hilfsmittel aufgenommen, um eine anwendungsspezifische Auswahl treffen zu können. Durch die zentrale Aufbereitung ist der Entwickler in der Lage, sich über die möglichen Handlungsoptionen einen Überblick zu verschaffen und passende situativ auszuwählen. Hierzu zählen beispielsweise diverse Checklisten und Hilfsmittel.

Aufgrund der übergreifenden Ausrichtung des Baukastens gibt es viele Schnittstellen, die bei der Entwicklung eine starke Vernetzung erfordern. In der Konzeptionsphase wird darüber hinaus durch ein fortwährendes Widerspiegeln der Auswirkungen möglicher Baukastengestaltungen eine Entscheidungsgrundlage geschaffen. Eine umfassende Bewertung schließt die Entwicklung des Baukastenansatzes ab.

Zur Absicherung des Gesamtprozesses erfolgte eine Validierung und exemplarische Anwendung an zwei ausgewählten Pilotprojekten aus der Automobilindustrie. Die daraus resultierenden Erfahrungen und Erkenntnisse wurden ausgewertet und zur Optimierung eingearbeitet. Die den Prozess unterstützenden Hilfsmittel berücksichtigen unterschiedliche Rahmenbedingungen, um so den Weg zu erfolgreichen Baukastenentwicklungen zu ebnet.

Mit der Definition dieses schrittweisen Vorgehens steht ein umfassendes Verfahren zur Verfügung, um durch eine frühzeitige und vor allem ausreichende Berücksichtigung baukastentypischer Belange in der Entwicklung einen erfolgreichen Einsatz von Baukastensystemen zu erreichen. Dadurch kann die vom Kunden gewünschte, notwendige externe Variantenvielfalt mit einer möglichst geringen unternehmensinternen Vielfalt realisiert werden. Dies stellt einen weiteren Schritt zur Beherrschung und Reduzierung der Variantenvielfalt und Komplexität dar.

8.2 Ausblick

Für zukünftige Arbeiten bietet es sich an, die Einzelschritte des erarbeiteten Baukastenentwicklungsprozesses in die firmenintern bestehenden Produktentwicklungs- bzw. Produktentstehungsprozesse (PEP) und Meilensteinpläne einzubetten. Durch diese nahtlose Integration in die Unternehmen wird die Abstimmung zwischen den beteiligten Projektschnittstellen erheblich vereinfacht. Zusätzlich ist ein übergreifendes Änderungsmanagement aufzubauen, das für alle Unternehmensprozesse zuständig ist.

Ferner ist eine weiterführende Kostenbetrachtung für Baukastensysteme anzustreben. Gerade im Hinblick auf übergreifende Ansätze sollte darin eine baukastengerechte, auf das Gesamt optimum ausgerichtete Finanzierung enthalten sein. Diese bedeutet eine Abkehr von der heute

in der Industrie meist üblichen verursachungsgerechten bzw. produktbezogenen Kostenbetrachtung.

In einem ersten Ansatz wurde die Langfristige Komponentenplanung erarbeitet. Hier kann eine Erweiterung durchgeführt werden, welche eine Verschmelzung mit der jeweiligen, in der Unternehmung existierenden Langfristigen Unternehmensplanung bezweckt.

Zur weiteren Unterstützung können rechnergestützte Methoden aus dem Bereich Produktindividualisierung (Mass Customization) auf die spezifischen Belange von Baukastensystemen adaptiert werden.

Auf diese Weise kann ein wertvoller Beitrag für die Beherrschung der Variantenvielfalt und Komplexität mittels der Baukastenentwicklung geleistet werden.

9 Literaturverzeichnis

ADAM, D.; JOHANNSWILLE, U.:

Die Komplexitätsfalle. In: ADAM, D. (HRSG.): Komplexitätsmanagement.
Wiesbaden: Gabler 1998, S. 5-28.

AKIYAMA, K.:

Funktionsanalyse. Der Schlüssel zu erfolgreichen Produkten.
Landsberg: Moderne Industrie 1994.

ALDERS, K.:

Komplexitätsmanagement bei der Audi AG. In: 6. Internationales Automobil-Forum, Graz (Österreich),
19.-20. Oktober 2004.
Landsberg: Moderne Industrie 2004.

AMS:

Auf den Punkt gebracht: Neuer Fiat Punto.
[entnommen am 16.09.2004, URL: <http://www.auto-motor-und-sport.de/d/64812>].

BACKHAUS, K.; BÜSCHKEN, J.; VOETH, M.:

Internationales Marketing. 3. Aufl.
Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2000.

BALK, A.; OEHLISCHLAEGER, H.:

Konzeptentwicklung bei Volkswagen Nutzfahrzeuge: Organisation, Methoden, Prozesse. In: Nutzfahrzeuge
mit tragenden Lösungen ins nächste Jahrhundert, München, 4.-5. November 1999.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1999, S. 25-50. (VDI-Berichte 1504)

BARTUSCHAT, M.:

Ein Beitrag zur Beherrschung der Variantenvielfalt in der Serienfertigung.
Essen: Vulkan 1995.

BARTUSCHAT, M.:

Entwicklung und Einsatz eines Konfigurationssystems am Beispiel des Omnibus.
In: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen. Erfahrungen, Methoden und Instrumente, Kassel, 7.-8.
November 2001.
Düsseldorf: VDI-Verlag 2001, S. 103-120. (VDI-Berichte 1645)

BAYUS, L. B.:

Are product life cycles really getting shorter?
Journal of Product Innovation Management (1994) 11, S. 300-308.

BEHLMER, A.; KÖTH, C.-P.:

Wir müssen uns alle bewegen.
AI Automobil Industrie 49 (2004) 5, S. 30-32.

BEHLMER, A.; MISSLER, W.:

Ich halte nichts vom Teilen.
AI Automobil Industrie 49 (2004) 7/8, S. 14-16.

BERHART, W.:

Concept Commonalities.
Arthur D. Little. Automotive Executive Newsletter, Frühjahr 2004, S. 4-5.
[entnommen am 20.09.2005, URL: http://www.adlittle.de/downloads/artikel/Auto1-2004_final.pdf].

- BIEGERT, H.:
Die Baukastenbauweise als technisches und wirtschaftliches Gestaltungsprinzip.
Karlsruhe: TH Karlsruhe, Diss. 1971.
- BLUME, G.; LAMPARTER, H. L.:
So sehen Sieger aus.
Die Zeit (2002) 37, S. 21-22.
- BMW GROUP:
BMW Group aktuell.
[entnommen am 28.10.2004, URL: http://dom4.muc/a/ak/bmw_aktuell.nsf].
- BOHNE, F.:
Entwicklungsbegleitendes Komplexitätsmanagement bei BMW – Konzept und Methoden zur Gestaltung der Kosten der Vielfalt. In: Effektive Entwicklung und Auftragsabwicklung variantenreicher Produkte, Würzburg, 7.-8. Oktober 1998.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1998, S. 15-37. (VDI-Berichte 1434)
- BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W.:
Product Design for Manufacture and Assembly.
New York: Marcel Dekker Inc. 1994.
- BOROWSKI, K.-H.:
Das Baukastensystem in der Technik.
Berlin: Springer 1961. (Wissenschaftliche Normung, Nr. 5)
- BREING, A.; FLEMMING, M.:
Theorie und Methoden des Konstruierens.
Berlin: Springer 1993.
- BULLINGER, H.-J.; WARNECKE, H.-J. (HRSG):
Neue Organisationsformen im Unternehmen.
Berlin: Springer 1996.
- BURCKHARDT, W.:
Wandel im Unternehmen. Vernetztes und kundenorientiertes Gestalten von Produkt und Unternehmen im Umfeld nichtlinearer Veränderungen. In: MILBERG, J.; REINHART, G. (HRSG.): Unsere Stärken stärken. Der Weg zur Wettbewerbsfähigkeit und Standortsicherung. Münchner Kolloquium '94.
Landsberg: Moderne Industrie 1994, S. 137-162.
- CAESAR, C.:
Kostenorientierte Gestaltungsmethodik für variantenreiche Serienprodukte – Variant Mode and Effects Analysis (VMEA).
Düsseldorf: VDI-Verlag 1991. (Fortschritts-Berichte VDI Reihe 2: Fertigungstechnik, Nr. 218)
Zugl. Aachen: TU, Diss. 1991.
- CANTAMESSA, M.; RAFELE, C.:
Modular Products and Product Modularity – Implications for the Management of Innovation and for new Product Development. In: MARJANOVIC, D. (ED.): Proceedings of the 7th International Design Conference, Design 2002, Dubrovnik (Kroatien), 14.-17. May 2002.
Zagreb: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, The Design Society 2002, S. 29-36.
- CLAAR, K. P.:
Gleichteile statt Plattformen.
Automobil Entwicklung (2001) 2, S. 14-20.
- CLAAR, K. P.; SZARGOT, K.:
Die neue Mercedes-Benz C-Klasse.
ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 102 (2000) 7/8, S. 498-506.

CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T.:

Automobilentwicklung mit System.
Frankfurt a. M.: Campus 1992.

DAENZER, W. F.; HUBER, F. (HRSG.):

Systems Engineering. Methodik und Praxis. 11. Aufl.
Zürich: Industrielle Organisation 2002.

DAHMUS, J. B.; GONZALEZ-ZUGASTI, J. P.; OTTO, K. N.:

Modular Product Architecture. In: Proc. of the ASME 2000 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Vol. 4, Baltimore (USA), 10.-13. September 2000.
New York: ASME 2000, S. 225-236.

DANNER, S.:

Ganzheitliches Anforderungsmanagement für marktorientierte Entwicklungsprozesse.
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 24)
Zugl. München: TU, Diss. 1996.

DIN:

Handbuch der Normung. Bd. 1: Grundlagen der Normungsarbeit. 9. Aufl.
Berlin: Beuth 1993.

DIN-NORM 199, Teil 2:

Begriffe im Zeichnungs- und Stücklistenwesen.
Berlin: Beuth 1977.

DIN-NORM 2330:

Begriffe und Benennungen. Allgemeine Grundsätze.
Berlin: Beuth 1993.

DUDEN:

Das Fremdwörterbuch. 7. Aufl.
Mannheim: Dudenverlag 2001. (Duden Band 5) (CD-ROM)

DUDEN:

Die deutsche Rechtschreibung. 23. Aufl.
Mannheim: Dudenverlag 2004. (Duden Band 1) (CD-ROM)

EHRENSPIEL, K.:

Integrierte Produktentwicklung. Methoden für die Prozessorganisation, Produkterstellung und Konstruktion.
München: Hanser 1995.

EHRENSPIEL, K.:

Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 2. Aufl.
München: Hanser 2003.

EHRENSPIEL, K.; KIEWERT, A.; LINDEMANN, U.:

Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren. Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung.
4. Aufl.
Berlin: Springer 2003.

EICHINGER, M.; MAURER, M.; LINDEMANN, U.:

Using Multiple Design Structure Matrices. In: MARJANOVIC, D.: 9th International Design Conference
Dubrovnik, 15-18 May 2006.
Glasgow: The Design Society 2006, S. 229-236.

- EICKHOFF, M.; WIMMER, H.:
 Einzelradaufhängungen – Ein Baukastensystem für Stadt- und Reisebusse sowie Einsatzpotenziale bei LKW. In: Nutzfahrzeuge – Entwicklung im Spannungsfeld von Gesetzgebung, Markt und Innovation, Steyr (Österreich), 22.-23. Mai 2003.
 Düsseldorf: VDI-Verlag 2003, S. 195-215. (VDI-Berichte 1760)
- EILETZ, R.:
 Zielkonfliktmanagement bei der Entwicklung komplexer Produkte – am Beispiel PKW-Entwicklung. Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 32)
 Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- ENTRUP, G.:
 Komplexitätsmanagement erfordert Varianten- und Kostentransparenz. In: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen. Erfahrungen, Methoden und Instrumente, Kassel, 7.-8. November 2001.
 Düsseldorf: VDI-Verlag 2001, S. 11-25. (VDI-Berichte 1645)
- ERDWIG, K.; SCHNEIDER, P.:
 Plattformstrategien. Wettbewerbsstrategien im internationalen Unternehmensverbund.
 [entnommen im September 2004, URL: <http://www.personal.euv-frankfurt-o.de/de/personal/lehre/-veranstaltungen/aktuell/Automobil/plattformen.pdf>].
- ERICSSON, A.; ERIXON, G.:
 Controlling design variants. Modular product platforms.
 New York: ASME Press 1999.
- ERNSTBERGER, U.; SCHÖNEBURG, R.; COLMSEE, H.; MAU, H.-J.:
 Rohkarosserie und passive Sicherheit der neuen C-Klasse.
 ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 102 (2000) 7/8, S. 508-515.
- EVERSHEIM, W.:
 Konventionelle Methoden und Hilfsmittel der Konstruktion. In: EVERSHEIM, W.; SCHUH, G. (HRSG.):
 Betriebshütte. Produktion und Management. 7. Aufl.
 Berlin: Springer 1996, S. 744-754.
- FIRCHAU, N. L.:
 Variantenoptimierende Produktgestaltung.
 Göttingen: Cuvillier 2003.
 Zugl. Braunschweig: TU, Diss. 2003.
- FIRCHAU, N. L.; FRANKE, H.-J.:
 Methoden zur Variantenbeherrschung in der Produktentwicklung. In: FRANKE, H.-J.; HESSELBACH, J.; HUCH, B.; FIRCHAU, N. L. (HRSG.): Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung.
 München: Hanser 2002, S. 52-86.
- FIRCHAU, N. L.; FRANKE, H.-J.; HUCH, B.; MENGE, M.:
 Variantenmanagement: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen erfolgreich beherrschen. In: FRANKE, H.-J.; HESSELBACH, J.; HUCH, B.; FIRCHAU, N. L. (HRSG.): Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung.
 München: Hanser 2002, S. 1-25.
- FRANKE, H.-J.; FIRCHAU, N. L.:
 Zusammenfassender Zwischenbericht des Kalenderjahres 1998 für das BMBF-Projekt Methoden und Werkzeuge zur Konstruktion variantenreicher Produktspektren in der Einzel- und Kleinserienfertigung – „EVAPRO“.
 Braunschweig: TU, Institut für Konstruktionslehre, Maschinen und Feinwerkelemente 1998.

- FROHMÜLLER, H.-G.; KAMMLER, M.; LINDERMUTH, W.; SCHINDLER, C.:
Combino und Avanto – die Plattformfahrzeuge von Siemens Light Rail. In: Plattformen, Standardisierungen, Interoperabilität im Schienenverkehr, Aachen, 13.-14. Juni 2002. Düsseldorf: VDI-Verlag 2002, S. 65-77. (VDI-Berichte 1699) (ISBN 3-18-091699-0)
- FTD (HRSG.):
BMW schafft Arbeitsplätze.
[entnommen am 22.02.2006, URL: <http://www.ftd.de/unternehmen/industrie/49798.html>].
- GEMBRY, S.-N.:
Ein Modell zur Reduzierung der Variantenvielfalt in Produktionsunternehmen.
Berlin: IPK 1998. (Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin)
Zugl. Berlin: TU, Diss. 1998.
- GÖPFERT, J.:
Modulare Produktentwicklung. Zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation.
Wiesbaden: Dt. Univ.-Verlag 1998.
Wiesbaden: Gabler 1998. (Gabler Edition Wissenschaft: Markt- und Unternehmensentwicklung)
Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- GÖPFERT, J.; STEINBRECHER, M.:
Komplexitätsbeherrschung durch modulare Produktentwicklung. In: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen. Erfahrungen, Methoden und Instrumente, Kassel, 7.-8. November 2001.
Düsseldorf: VDI-Verlag 2001, S. 351-368. (VDI-Berichte 1645)
- GOPPELT, G.:
Der Smart – Entwicklung und Technik.
Automobiltechnische Zeitschrift 101 (1999) 6, S. 415-442.
- GORONCY, J.:
Frühe Produktreife.
AI Automobil Industrie special 50 (2005) 7, S. 8-10.
- GRÄSSLER, I.:
Warum Variantenbeherrschung alleine nicht mehr ausreicht – der neue Umgang mit gewollter Varianz in der Automobilindustrie. In: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen. Erfahrungen, Methoden und Instrumente, Kassel, 7.-8. November 2001.
Düsseldorf: VDI-Verlag 2001, S. 89-102. (VDI-Berichte 1645)
- GUTZMER, P.:
Management und Umsetzung der Gleichteilstrategie bei den neuen Porschefahrzeugen Boxster und 911. In: Produktentstehung, wohin geht der Weg? 2. Fachkonferenz Automobilentwicklung und Management '98, Wiesbaden, 29.-30. Juni 1998.
Wiesbaden: 1998.
- HAMSTEN, B.; STANGL, G.:
Aus Modulen kombiniert – die Baureihe Setra-Kombibus.
ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 99 (1997) 7/8, S. 404-413.
- HANDELSBLATT:
BMW denkt über größere Modellpalette nach.
[entnommen am 29.03.2006, URL: <http://www.handelsblatt.com>].
- HÄRDLE, S.:
Der neue TT-Roadster.
ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 101 (1999) 6, S. 372-383.

- HEES, K.:
Ein neues Vorder- und Hinterachskonzept für den neuen Porsche Boxster. In: Reifen, Fahrwerk, Fahrbahn, Hannover, 23.-24. Oktober 1997.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1997, S. 1-18. (VDI-Berichte 1350)
- HEINA, J.:
Variantenmanagement. Kosten-Nutzen-Bewertung zur Optimierung der Variantenvielfalt.
Wiesbaden: Gabler 1999.
Zugl. Cottbus: Brandenburgische TU, Diss. 1999.
- HESSELBACH, J.; MENGE, M.:
Methoden zur Variantenbeherrschung in der Produktion. In: FRANKE, H.-J.; HESSELBACH, J.; HUCH, B.; FIRCHAU, N. L. (HRSG.): Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung.
München: Hanser 2002, S. 87-105.
- HICHERT, R.:
Probleme der Vielfalt, Teil 1, „Soll man auf Exoten verzichten?“.
Wt-Z Industrielle Fertigung 75 (1985), S. 235-237.
- HICHERT, R.:
Probleme der Vielfalt, Teil 2, „Was kostet eine Variante?“.
Wt-Z Industrielle Fertigung 76 (1986), S. 141-145.
- HOLMQVIST, L.:
Die Situation europäischer Zulieferer nach der Süd-Ost-Erweiterung. In: 6. Internationales Automobil-Forum, Graz (Österreich), 19.-20. Oktober 2004.
Landsberg: Moderne Industrie 2004.
- HOMBURG, C.; DAUM, D.:
Wege aus der Komplexitätsfalle.
ZWF (1997) 7/8, S. 333-335.
- HUCH, B.; LÖSCH, J.:
Methoden der Variantenkostenrechnung. In: FRANKE, H.-J.; HESSELBACH, J.; HUCH, B.; FIRCHAU, N. L. (HRSG.): Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung.
München: Hanser 2002, S. 26-51.
- JACOB, H.:
Der Absatz. In: JACOB, H. (Hrsg.): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre in programmierter Form. 3. Aufl.
Wiesbaden: Gabler 1976, S. 301-514.
- JENKINS, G. W.:
Principles of Product Planning for Worldwide Design. ASAE Lecturs Series. Tractor Design (21).
St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers 1997.
- JESCHKE, A.:
Beitrag zur wirtschaftlichen Bewertung von Standardisierungsmaßnahmen in der Einzel- und Kleinserienfertigung durch die Konstruktion.
Braunschweig: Institut für Konstruktionslehre (Hrsg.) 1997. (Bericht Nr. 52)
Zugl. Braunschweig: TU, Diss. 1997.
- JUNG, C.:
Anforderungskklärung in interdisziplinärer Entwicklungsumgebung.
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 61)
Zugl. München: TU, Diss. 2006.

JUNGE, M.:

Controlling modularer Produktfamilien in der Automobilindustrie. Entwicklung und Anwendung der Modularisierungs-Balanced-Scorecard.
Wiesbaden: Gabler 2005.

KADER, R.:

Konfigurieren statt konstruieren.
CAD CAM Magazin für Computeranwendungen in Design und Engineering 23 (2004) 2, S. 46-48.

KAISER, A.:

Integriertes Variantenmanagement mithilfe der Prozesskostenrechnung.
St. Gallen: Univ., Diss. 1995. (Nr. 1742)

KARCH, S.:

Produktspektrum des Siemens-Geschäftsbetriebs Trains: Die Strategie modularer Fahrzeugplattformen greift im Projektgeschäft. In: Plattformen, Standardisierungen, Interoperabilität im Schienenverkehr, Aachen, 13.-14. Juni 2002.
Düsseldorf: VDI-Verlag 2002, S. 55-63. (VDI-Berichte 1699) (ISBN 3-18-091699-0)

KERSTEN, W.:

Wirksames Variantenmanagement durch Einbindung in den Controlling- und Führungsprozess im Unternehmen. In: Plattformkonzepte auch für Kleinserien und Anlagen? Stuttgart, 12.-13. Oktober 1999.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1999, S. 155-175. (VDI-Berichte 1510)

KERSTEN, W.:

Vielfaltsmanagement: Integrative Lösungsansätze zur Optimierung und Beherrschung der Produkte und Teilevielfalt.
München: TCW Transfer-Centrum 2002. (TCW-Report, Nr. 31)

KIENZLE, O.:

Normung und Wissenschaft.
Schweizerische Technische Zeitung (1943), S. 533-539.

KLEIN, B.:

Abbau von Überkomplexität in Produkten und Prozessen.
Konstruktion (2004) 10, S. 75-81.

KLEINSASSER, G.:

Von den Bedürfnissen und Anforderungen über die Funktionen zum Modulkonzept eines Produktes. In: 6. Aachener Tagung Komplexitätsmanagement, Aachen, 22.-23. März 2006.
Aachen: WZLforum, RWTH Aachen 2006.

KLINGENMAYER, R.:

Design von Produktlinien und Modulen. In: 6. Aachener Tagung Komplexitätsmanagement, Aachen, 22.-23. März 2006.
Aachen: WZLforum, RWTH Aachen 2006.

KNECHT, S.; LINGNAU, F.-J.:

Der Fahrerhaus Rohbau der neuen MAN Nutzfahrzeug-Baureihe TG-A. In: Entwicklungen im Karosseriebau, Hamburg, 11.-12. Mai 2000.
Düsseldorf: VDI-Verlag 2000, S. 95-114. (VDI-Berichte 1543)

KOHLHASE, N.:

Strukturieren und Beurteilen von Baukastensystemen. Strategien, Methoden, Instrumente.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1997. (Reihe 1: Konstruktionstechnik/Maschinenelemente, Nr. 275)

KOHLHASE, N.:

Variantenreduzierung in der Praxis – ein Erfahrungsbericht aus der Einzel- und Kleinserienfertigung.
In: Effektive Entwicklung und Auftragsabwicklung variantenreicher Produkte, Würzburg, 07.-08. Oktober 1998.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1998, S. 53-68. (VDI-Berichte 1434)

KOHLHASE, N.:

Marktgerechtes Variantenmanagement durch Baukastenentwicklung und Variantenreduzierung. In:
Plattformkonzepte auch für Kleinserien und Anlagen? Stuttgart, 12.-13. Oktober 1999.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1999, S. 209-223. (VDI-Berichte 1510)

KOLLER, R.:

Konstruktionslehre für den Maschinenbau. Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer
Produkte mit Beispielen. 3. Aufl.
Berlin: Springer 1998.

KÖTH, K.-P.:

Langer Atem.
AI Automobil Industrie 48 (2003) 5, S. 42-43.

KRUSCHWITZ, R.:

Plattformstrategie und Gleichteileverwendung im Volkswagen-Konzern. In: Produktentstehung, wohin geht
der Weg? 2. Fachkonferenz Automobilentwicklung und Management '98, Wiesbaden, 29.-30. Juni 1998.
Wiesbaden: 1998.

KRUSCHWITZ, R.:

Automobilentwicklung im Spannungsfeld zwischen Klein- und Luxusfahrzeugen. In: Entwicklungen im
Karosseriebau, Hamburg, 11.-12. Mai 2000.
Düsseldorf: VDI-Verlag 2000, S. 15-40. (VDI-Berichte 1543)

KÜHBORTH, W.:

Baureihen industrieller Erzeugnisse zur optimalen Nutzung von Kostendegressionen.
Mannheim: Univ., Diss. 1986.

KUNTZ, M.:

Audi steigert Umsatz und Gewinn auf Rekordwerte.
Süddeutsche Zeitung 62 (2006) 45, S. 22.

LANG, R.:

Technologiekombination durch Modularisierung.
Aachen: Shaker 2000.
Zugl. St. Gallen: Univ., Diss. 2000. (Berichte aus der Betriebswissenschaft)

LEMKE, M.; SCHMIDT, R.:

Der neue Seat Arosa.
ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 99 (1997) 7/8, S. 382-394.

LEY, W.:

Produktplattformen: Ein strategischer Ansatz zur Beherrschung der Variantenvielfalt.
IO Management (1999) 7/8, S. 56-60.

LINDEMANN, U. (2001a):

Methoden der Produktentwicklung.
München: Lehrstuhl für Produktentwicklung (Hrsg.) 2001, Umdruck zur Vorlesung Methoden der
Produktentwicklung (WiSe 2001/2002).

LINDEMANN, U. (2001b):

Methoden in der Produktentwicklung.
Konstruktion 53 (2001), S. 76ff.

- LINDEMANN, U.:
Entwicklungsmanagement.
München: Lehrstuhl für Produktentwicklung (Hrsg.) 2004, Umdruck zur Vorlesung
Entwicklungsmanagement.
- LINDEMANN, U. (2005a):
Methodische Entwicklung technischer Produkte. Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden.
Berlin: Springer 2005.
- LINDEMANN, U. (2005b):
Variantenmanagement.
München: Lehrstuhl für Produktentwicklung (Hrsg.) 2005, Umdruck zur Übung Variantenmanagement
(Produktentwicklung und Konstruktion) (SoSe 2005).
- LINDEMANN, U.; MAURER, M.:
Entwicklung und Strukturplanung individualisierter Produkte. In: LINDEMANN, U.; REICHWALD, R.; ZÄH,
M. F. (HRSG.): Individualisierte Produkte. Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion.
Heidelberg: Springer 2006, S. 41-62.
- LINGNAU, V.:
Variantenmanagement. Produktionsplanung im Rahmen einer Produktdifferenzierungsstrategie.
Berlin: Erich Schmidt 1994. (Betriebswirtschaftliche Studien 85)
Zugl. Berlin: TU, Diss. 1994.
- LINK, J; HILDEBRAND, H.:
Database Marketing und Computer Aided Selling.
München: Vahlen 1993.
- LISKE, S.; WESTERHÜS, J.:
Das Rennen um den SOP. Kernmerkmale eines Produkt-Entstehungs-Prozesses (PEP) der Spitzenklasse.
Arthur D. Little. Automotive Executive Newsletter, Frühjahr 2004, S. 1-2.
[entnommen am 20.09.2005, URL: http://www.adlittle.de/downloads/artikel/Auto1-2004_final.pdf].
- LÜDTKE, T.; WANKE, T.:
Flexibilität der Opel Combo Rohkarosserie bei Verwendung von Gleichteilen. In: Entwicklungen im
Karosseriebau, Hamburg, 7.-8. Mai 2002.
Düsseldorf: VDI-Verlag 2002, S. 19-29. (VDI-Berichte 1674)
- MARKS, P.:
Modell- und Variantenvielfalt aus Sicht eines Global Suppliers. In: 6. Internationales Automobil-Forum,
Graz (Österreich), 19.-20. Oktober 2004.
Landsberg: Moderne Industrie 2004.
- MEFFERT, H.:
Marketing. Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung. 9. Aufl.
Wiesbaden: Gabler 2000.
- MEINERS, J. P.:
Die Versuchung.
AI Automobil Industrie 48 (2003) 11, S. 57.
- MENGE, M.:
Ein Beitrag zur Beherrschung der Variantenvielfalt in der auftragsbezogenen Einzel- und
Kleinserienfertigung komplexer Produkte.
Braunschweig: TU, Diss. 2001.

- METZGER, U.; KONTNY, H.; BURKERT, W.-D.:
Integrierte Produkt- und Plattformkonzeption – Vorgehensweise und praktische Ergebnisse. In: Plattformen, Standardisierungen, Interoperabilität im Schienenverkehr, Aachen, 13.-14. Juni 2002.
Düsseldorf: VDI-Verlag 2002, S. 13-28. (VDI-Berichte 1699) (ISBN 3-18-091699-0)
- MEYER, M.; LEHNERD, A. P.:
The power of product platforms. Building values and cost leadership.
New York: The Free Press 1997.
- MÜLLER, M.:
Modularisierung von Produkten. Entwicklungszeiten und -kosten reduzieren.
München: Hanser 2000. (Pocket Power Einkauf und Logistik)
- NASVYTIS, A.:
Die Gesetzmäßigkeiten kombinatorischer Technik.
Berlin: Springer 1953. (Wissenschaftliche Normung, Reihe 3)
- NEFF, T.; JUNGE, M.; KÖBER, F.; VIERT, W.; HERTEL, G. (2001a):
Bewertung modularer Fahrzeugkonzepte im Spannungsfeld zwischen Kundenorientierung und Standardisierung. In: Fahrzeugkonzepte für das 2. Jahrhundert Automobiltechnik, Wolfsburg, 21.-23. November 2001.
Düsseldorf: VDI-Verlag 2001, S. 373-399. (VDI-Berichte 1653)
- NEFF, T.; JUNGE, M.; KÖBER, F.; VIERT, W.; HERTEL, G.; BELLMANN, K. (2001b):
Ein Ansatz zur Bewertung modularer Fahrzeugkonzepte im Spannungsfeld von Standardisierung und Differenzierung. In: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen. Erfahrungen, Methoden und Instrumente, Kassel, 7.-8. November 2001.
Düsseldorf: VDI-Verlag 2001, S. 27-52. (VDI-Berichte 1645)
- NOAE:
Network of Automotive Excellence.
[entnommen am 27.02.2006, URL: <http://www.noae.com>].
- NOKIA:
Nokia Deutschland – Mobiltelefone – Modellübersicht.
[entnommen am 12.02.2006, URL: <http://www.nokia.de/de/mobiltelefone/modelluebersicht/4198.html>].
- OHL, S.:
Prognose und Planung variantenreicher Produkte am Beispiel der Automobilindustrie.
Düsseldorf: VDI-Verlag 2000. (Fortschrittsberichte VDI, Reihe 16, Nr. 120)
- PAHL, G.; BEITZ, W.:
Konstruktionslehre. Methoden und Anwendungen. 4. Aufl.
Berlin: Springer 1997.
- PANKE, H. (2005a):
Internationale Automobil-Ausstellung Frankfurt 2005.
[entnommen am 22.02.2006, URL: <http://dom4.muc/a/ak/reden.nsf>].
- PANKE, H. (2005b):
Pressekonferenz Automobilsalon Genf 2005.
[entnommen am 22.02.2006, URL: <http://dom16.muc/a/ak/reden.nsf>].
- PAPE, E.; BALK, A.; OEHSCHLAEGER, H.:
Die Zukunft des LNfz als eigenständiges Fahrzeugsegment zwischen Lkw und Pkw. In: Fahrzeugkonzepte für das 2. Jahrhundert Automobiltechnik, Wolfsburg, 21.-23. November 2001.
Düsseldorf: VDI-Verlag 2001, S. 201-233. (VDI-Berichte 1653)

- PATZAK, G.:
Systemtechnik – Planung komplexer innovativer Systeme. Grundlagen, Methoden, Techniken.
Berlin: Springer 1982.
- PECQUET, N.:
Methoden zur systematischen Unterstützung des Baukastenentwicklungsprozesses.
München: TU, Lehrstuhl für Produktentwicklung, unveröffentlichte Diplomarbeit 2003. (Nr. 975)
- PICOT, A.; REICHWALD, R.; WIGAND, R. T.:
Die grenzenlose Unternehmung. Information, Organisation und Management. 5. Aufl.
Wiesbaden: Gabler 2003.
- PILLER, F. T.; WARINGER, D.:
Modularisierung in der Automobilindustrie – neue Formen und Prinzipien. Modular Sourcing,
Plattformkonzept und Fertigungssegmentierung als Mittel des Komplexitätsmanagements.
Aachen: Shaker 1999.
- PONN, J.:
Literaturrecherche zur Baukasten- und Variantenproblematik in der Produktentwicklung.
München: TU, Lehrstuhl für Produktentwicklung, unveröffentlichte Semesterarbeit 2000.
- PORTER, M. E.:
Wettbewerbsvorteile: Spitzenleistungen erreichen und behaupten.
Frankfurt a. M.: Campus 1999.
- PRIEMER, B. (2006a):
Kurssteigerung.
AMS Auto Motor und Sport (2006) 5, S. 14-18.
- PRIEMER, B. (2006b):
Audi, BMW, Mercedes: Das bringt die Zukunft.
[entnommen am 25.04.2006, URL: http://www.auto-motor-sport.de/news/auto_und_produkte/audi_bmw_mercedes_das_bringt_die_zukunft.108819.htm].
- PRODUKTION:
Henderson (GM Europe): Marktanteil und Absatz müssen wachsen.
[entnommen am 16.09.2004, URL: <http://www.produktion.de/produktion/news/17781/index.php>].
- PROJEKTMAGAZIN:
Kapitalwertmethode, Definition im Projektmanagement-Glossar.
[entnommen am 04.10.2006, URL: <http://www.projektmagazin.de/glossar/gl-0595.html>].
- PULM, U.:
Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2004. (Produktentwicklung München, Band 56)
Zugl. München: TU, Diss. 2004.
- RADTKE, P.; ABELE, E.; ZIELKE, A. E.:
Die smarte Revolution in der Automobilindustrie. Das Auto der Zukunft – Optionen für Hersteller –
Chancen für Zulieferer.
Frankfurt a. M.: Redline Wirtschaft bei Ueberreuter 2004.
- RANFT, D.; PFERTNER, K.; ARMBRUSTER, R.:
Der neue Porsche 911 Targa. In: Entwicklungen im Karosseriebau, Hamburg, 7.-8. Mai 2002.
Düsseldorf: VDI-Verlag 2002, S. 121-135. (VDI-Berichte 1674)
- RAPP, T.:
Produktstrukturierung. Komplexitätsmanagement durch modulare Produktspektren und -plattformen.
Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. 1999/ Gabler 1999.
Zugl. St. Gallen: Univ., Diss. 1999.

- RATHNOW, P. J.:
Integriertes Variantenmanagement. Bestimmung, Realisierung und Sicherung der optimalen Produktvielfalt.
Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht 1993. (Innovative Unternehmensführung, Band 20)
Zugl. Erlangen-Nürnberg: FAU, Diss. 1992.
- REINHART, G.; LINDEMANN, U.; HEINZL, J.:
Qualitätsmanagement.
Berlin: Springer 1996.
- RENIUS, K. T.:
Two Axle Tractors. In: CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Vol. III.
St. Joseph: American Soc. of Agricultural Engineers, 1999, S. 115-184.
- RENIUS, K. T.:
Global Tractor Development: Product Families and Technology Levels. In: Proceed. Actual Tasks on
Agricultural Engineering, Opatija (Kroatien), 12.-15. Februar 2002.
Opatija: 2002, S. 87-95. (ISSN 1333-2651)
- RENIUS, K. T.; MÖLLE, R.:
Traktoren 2001/2002.
ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 104 (2002) 10, S. 882-889.
- RIEDEL, H.; EVERSHEIM, W.; KORRECK, A.:
Variantenorientierte Produktprogrammplanung – Komplexitätsbewältigung zwischen Markt und Produktion.
In: Plattformkonzepte auch für Kleinserien und Anlagen? Stuttgart, 12.-13. Oktober 1999.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1999, S. 29-47. (VDI-Berichte 1510)
- RIEPE, B.:
Integrierte Produktmodellierung in den frühen Phasen der Produktentstehung. Eine Methode zur
Modularisierung variantenreicher mechatronischer Produkte.
Norderstedt: Books on Demand 2003.
Zugl. Paderborn: Univ., Diss. 2003.
- ROBERTSON, D.; ULRICH, K.:
Planning for Product Platforms.
MIT Sloan Management Review (Summer 1998), S. 19-31.
- ROBINET, M.:
Weltweite Chancen.
AI Automobil Industrie 48 (2003) 11, S. 46-51.
- ROSE, B.:
Blindflug-Gefahr.
AI Automobil Industrie 48 (2003) 6, S. 22-24.
- ROSE, B.:
Die Automobilindustrie fährt mit Vollgas in die Innovationsfalle.
VDI Nachrichten (2004) 6.
- ROSE, B.:
Teure Kostentreiber.
AI Automobil Industrie 40 (2005) 1, S. 16-18.
- ROSENBERG, O.:
Kostensenkung durch Komplexitätsmanagement. In: FRANZ, K.-P.; KAJÜTER, P. (HRSG.):
Kostenmanagement: Wertsteigerung durch systematische Kostensteuerung.
Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2002.

ROTH, K.:

Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Bd. 1: Konstruktionslehre. 3. Aufl.
Berlin: Springer 2000.

SCHALLER, U.:

Beitrag zur vorteilhaften Erzeugniszergliederung bei variantenreicher Serienfertigung im Maschinenbau.
Aachen: RWTH, Diss. 1980.

SCHLECHT, W. P.:

Stabiles Prozess-, Innovations- und Produktmanagement als Erfolgsbasis. In: 6. Internationales Automobil-Forum, Graz (Österreich), 19.-20. Oktober 2004.
Landsberg: Moderne Industrie 2004.

SCHLOTT, S.:

Wahnsinn mit Methode.
Automobil Produktion (2005) 01, S. 38-42.

SCHÖTTNER, J.:

Produktdatenmanagement in der Fertigungsindustrie.
München: Carl Hanser 1999.

SCHUH, G.:

Gestaltung und Bewertung von Produktvarianten. Ein Beitrag zur systematischen Planung von Serienprodukten.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1989. (Fortschrittsberichte VDI, Reihe 2)
Zugl. Aachen: RWTH, Diss. 1988.

SCHUH, G.:

Lean Products – Maximierung von Kundennutzen und Skaleneffekten. In: 6. Aachener Tagung Komplexitätsmanagement, Aachen, 22.-23. März 2006.
Aachen: WZLforum, RWTH Aachen 2006.

SCHUH, G.; CAESAR, C.:

Variantenorientierte Produktgestaltung – Standardisierung und Modularisierung von Serienprodukten.
Konstruktion 41 (1989), S. 207-211.

SCHUH, G.; SCHWENK, U.:

Produktkomplexität managen. Strategien, Methoden, Tools.
München: Carl Hanser 2001.

SCHUH, G.; SPETH, C.:

Integriertes Komplexitätsmanagement. In: Effektive Entwicklung und Auftragsabwicklung variantenreicher Produkte, Würzburg, 07.-08. Oktober 1998.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1998, S. 157-174. (VDI-Berichte 1434)

SCHULTE, C.:

Komplexitätsmanagement. In: CORSTEN, H.; REISS, M. (HRSG.): Handbuch Unternehmensführung.
Wiesbaden: Gabler 1995, S. 757-765.

SCHMIDT, H.:

Beitrag zum Variantenmanagement und zur Prozessoptimierung im Wagenkastenbau von Schienenfahrzeugen.
Stuttgart: Fraunhofer-IRB 2002.
Zugl. Berlin: TU, Diss. 2002.

SCHWANKL, L.:

Analyse und Dokumentation in den frühen Phasen der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 49)
Zugl. München: TU, Diss. 2002.

- SCHWARZ, J.:
Baukastenprinzip.
Automobilwoche edition (2003) 12, S. 48-50.
- SIEBERT, J.:
„Road Map“ für Zulieferer.
AI Automobil Industrie 48 (2003) 11, S. 52-55.
- STETTER, R.:
Method Implementation in Integrated Product Development.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 41)
Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- STOCKMAR, J.:
Variantenmanagement: Varianten vermeiden, beherrschen, reduzieren, finanzieren. Ergebnisse einer Umfrage 2004. In: 6. Internationales Automobil-Forum, Graz (Österreich), 19.-20. Oktober 2004.
Landsberg: Moderne Industrie 2004.
- SUZUE, T.; KOHDATE, A.:
Variety Reduction Program. A production strategy for product diversification.
Cambridge, Mass.: Productivity Press 1990.
- TICHEM, M.; ANDREASEN M. M.; RIITAHUTA, A.:
Design of product families. In: LINDEMANN, U.; BIRKHOFER, H.; MEERKAMM, H.; VAJNA, S. (EDS.):
Proceedings of the 12th International Conference on Engineering Design ICED 1999, München, 24.-26.
August 1999.
München: Technische Universität 1999, S. 1039-1042. (Schriftenreihe WDK 26)
- UNGEHEUER, U.:
Produkt- und Montagestrukturierung: Methodik zur Planung einer anforderungsgerechten Produkt- und
Montagestruktur für komplexe Erzeugnisse in der Einzel- und Kleinserienproduktion.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1986.
- VDA (HRSG.):
Future Automotive Industry Structure (FAST) 2015 – die neue Arbeitsteilung in der Automobilindustrie.
Frankfurt a. M.: VDA 2004. (Band 32)
- VDI (HRSG.):
Elektronische Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung und -steuerung VI. Begriffszusammenhänge,
Begriffsdefinitionen.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1976. (VDI Taschenbuch T 77)
- VDI-RICHTLINIE 2221:
Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1993.
- VIERTLBÖCK, M.:
Modell der Methoden- und Hilfsmiteleinführung im Bereich der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 42)
Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- VOLLRATH, K.:
Boxenstopp für Kleintransporter.
AI Automobil Industrie 48 (2003) 5, S. 44-45.
- VOSS, L.; BAUCH, H.:
Das Mehrtrummeldreschwerk – Grundlage der Cross-Flow-Serie von Case/New Holland. In: Tagung
Landtechnik 2000, Münster, 10.-11. Oktober 2000.
Düsseldorf: VDI-Verlag 2000, S. 51-56. (VDI-Berichte 1544)

WALLENTOWITZ, H.; LEYERS, J.; PARR, T.:

Modulare Universalfahrzeuge – Eine zukünftig unlösbare Aufgabe? In: Fahrzeugkonzepte für das 2. Jahrhundert Automobiltechnik, Wolfsburg, 21.-23. November 2001.
Düsseldorf: VDI-Verlag 2001, S. 37-48. (VDI-Berichte 1653)

WEBBAUKASTEN:

Webbaukasten.
[entnommen am 24.01.2006, URL: <http://www.web-baukasten.de>].

WEBER, T.:

Kundenorientierte Innovationen für das Automobil von Morgen. In: 6. Internationales Automobil-Forum, Graz (Österreich), 19.-20. Oktober 2004.
Landsberg: Moderne Industrie 2004.

WELSCHOF, G.:

Entwicklungslinien im Schlepperbau. Kriterien für die heutige und zukünftige Entwicklung.
Grundlagen der Landtechnik 24 (1974) 1, S. 6-13.

WESTKÄMPER, E.; BARTUSCHAT, M.:

Produktcontrolling – Kostenoptimale Variantenvielfalt.
CIM Management 4/94, S. 26-32.

WILDEMANN, H.:

Produktordnungssysteme – Leitfaden zur Standardisierung und Individualisierung des Produktprogramms durch intelligente Plattformstrategien.
München: TCW-Verlag 2004.

WILDEMANN, H. (2005a):

Teure Vielfalt. Wie Komplexitätsmanagement auch Qualitätskosten reduziert.
QZ Qualität und Zuverlässigkeit 50 (2005) 11, S. 33-36.

WILDEMANN, H. (2005b):

Variantenmanagement. Leitfaden zur Komplexitätsreduzierung, -beherrschung und -vermeidung in Produkt und Prozess. 13. Aufl.
München: TCW Transfer-Centrum 2005.

WILHELM, B.:

Konzeption und Bewertung einer modularen Fahrzeugfamilie.
Aachen: RWTH, Diss. 2001.

WINTERKORN, M.; LACHMANN, R.:

Der Lupo von Volkswagen.
ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 100 (1998) 11, S. 772-794.

WITTE, I.:

Verlustquellen in der Industrie.
München: Oldenbourg 1926.

ZANKER, W.:

Situative Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 36)
Zugl. München: TU, Diss. 1999.

ZETSCHKE, D.:

Produktführerschaft und Kostenführerschaft – ein Widerspruch? In: 15. Internationales Wiener Motorensymposium 1994.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1994, S. 369-382. (Fortschrittsberichte VDI, Reihe 12, Nr. 205)

10 Anhang

10.1 Vor- und Nachteile der Variantenvielfalt

Tabelle 10-1: Vor- und Nachteile der Variantenvielfalt [nach KOHLHASE 1998, S. 56] (vgl. Kapitel 2.2.3.3)

Sicht	Vorteile	Nachteile
Kunde	<ul style="list-style-type: none"> • optimale Lösung des jeweiligen Kundenproblems 	<ul style="list-style-type: none"> • höhere Preise • intransparente Vielfalt
Unternehmen	<ul style="list-style-type: none"> • weltweite Präsenz auf unterschiedlichen Märkten • Wettbewerbsvorteil • hohe Kundenzufriedenheit 	<ul style="list-style-type: none"> • aufwendige Auftragsabwicklung • schlechter Überblick über das vorhandene Teilespektrum • hohe Anforderungen an die Qualifikation der Mitarbeiter, sowohl in der Abwicklung als auch in der Fertigung • Entwicklungsrisiko bei Sonderentwicklungen • kundenindividuelle Produktdokumentation • aufwendige Produktpflege; Steuern von Verbrauchaktionen, wenn lagerhaltige Teile technisch überarbeitet werden • Produktweiterentwicklungen sind aufgrund des hohen Entwicklungsaufwandes nur in großen Zeitabständen möglich • Produktion je nach Anwendung mit Losgröße eins nötig • lange Beschaffungszeiten für exotische Werkstoffe • viele Halbzeuge im Lager durch hohe Werkstoffvielfalt • kostenintensive Ersatzteilhaltung

10.2 Auswirkungen des Variantenmanagements

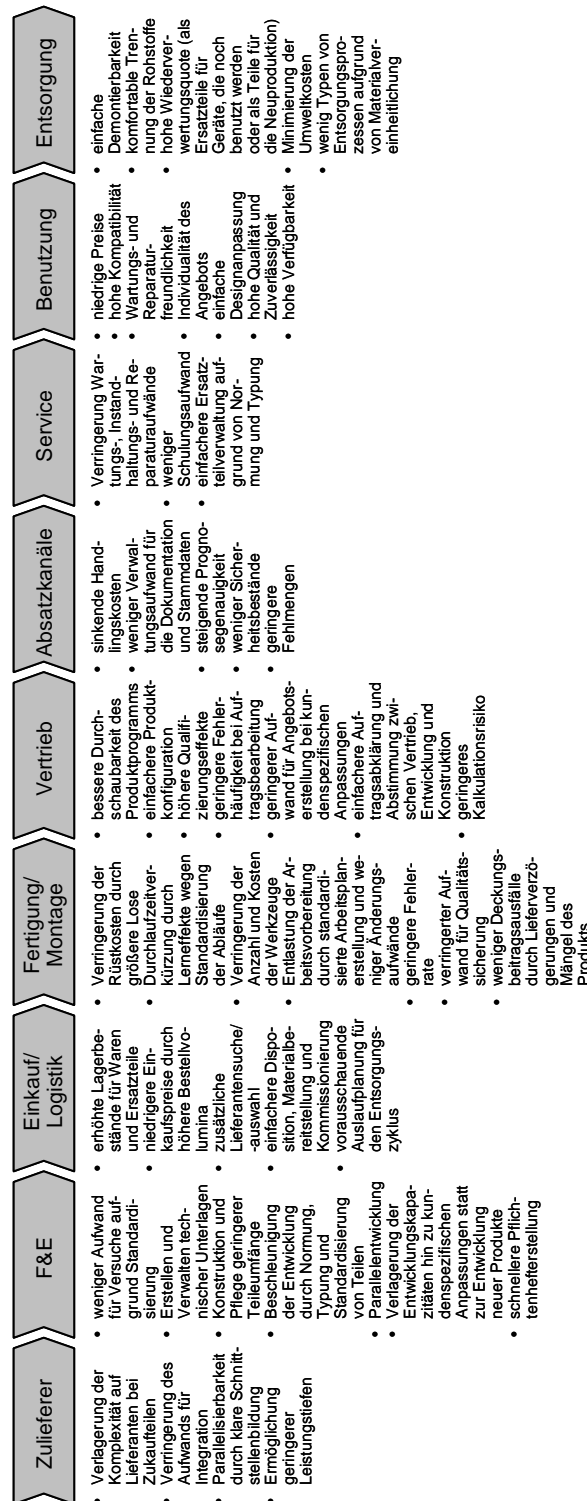


Abbildung 10-1: Auswirkung des Variantenmanagements entlang der gesamten Wertschöpfungskette [WILDEMANN 2005b, S. 244] (vgl. Kapitel 2.2.4.3)

10.3 Überblick über synonym verwendete Begriffe

Tabelle 10-2: Überblick über synonym verwendete Begriffe [nach JESCHKE 1997, S. 27] (vgl. Kapitel 3.1.2.1)

	Begriff	übergeordneter Begriff	Elemente	Gesamtheit
NASVYTIS	Baukastenbauweise	Verfahren	Gegenstände, Elementvorrat	Komplexionen
BOROWSKI	Baukastensystem	Ordnungsprinzip	Bausteine	Dinge
BIEGERT	Baukastenbauweise	gestalterisches Vorgehen	Einzelteile, Baugruppen	Erzeugnisse
ROTH	Baukastentechnik	Konstruktionstechnik	Bauteile	Funktionselemente
EHRENSPIEL	Baukasten	Kombinationssystem	Bauteile, Baugruppen	Produkte, Gesamtfunktion
PAHL & BEITZ	Baukasten(-system)	–	Bausteine (Maschinen, Baugruppen, Einzelteile)	Gesamtfunktion, Funktionsstrukturen
KOHLHASE	Baukastensystem	Bauweise	Bausteine (Maschinen, Baugruppen, Einzelteile)	Baukastenprodukte, Produktvarianten
FIRCHAU & FRANKE	Baukastensystem	–	Bausteine (Einzelteile, Baugruppen, Baukastensysteme)	Produktvarianten
JESCHKE	Baukastensystem	Bauweise	Bausteine	Produkte
vorliegende Arbeit	Baukasten(-system)	Bauweise	Bausteine	Produkte, Baugruppen, Systeme, Komponenten

10.4 Überblick über Arten von Bausteinen

Pahl & Beitz		Borowski		Biegert
Muss-Baustein	Grund-Baustein grundlegend, immer wiederkehrend, allgemein	Groß-Baustein unerlässlich für Aufbau eines voll funktionsfähigen Grunderzeugnisses		Basis-Baustein unerlässlich für Aufbau voll funktionsfähiger Grunderzeugnisse
	Hilfs-Baustein verbindend, anschließ.	Klein-Baustein	Füge-Baustein keine Angaben	Zubehör-Baustein verleiht Grunderzeugnis zusätzliche Funktionalität
Kann-Baustein	Sonder-Baustein besonders, ergänzend, erweiternd		Ausrüstungs-Baustein nicht funktionsfähiger Grundkörper, Funktionalität wird durch Kleinbausteine erreicht	
	Anpass-Baustein zum Anpassen an andere Systeme oder Randbedingungen, z. T. maßlich festgelegt		Zubehör-Baustein funktionsfähiger Grundkörper (Funktionalität bereits ohne Kleinbausteine erreicht), Bild des fertigen Erzeugnisses wird durch Großbausteine bestimmt.	
	Nicht-Baustein nicht vorhersehbar, auftragsbezogen		Anschluss-Baustein nicht funktionsfähiger Grundkörper (Funktionalität wird durch Kleinbausteine erreicht, die die Großbausteine verbinden), Bild des fertigen Erzeugnisses wird durch Großbausteine bestimmt	
		Nicht-Baustein an Kundenwünsche angepasst		Nicht-Baustein an Kundenwünsche angepasst
--		gleichberechtigte Bausteine verschiedene alternativ einsetzbare Bausteine zur Funktionserfüllung		substitutionale BSt. verschiedene alternativ einsetzbare Bausteine zur Funktionserfüllung
--		bevorzugte Bausteine nur ein Baustein zur Funktionserfüllung		nicht substi. BSt. nur ein Baustein zur Funktionserfüllung
--		--		elementare Bausteine Einzelteil
--		--		aggregierte Bausteine Baugruppe

BSt. = Bausteine

Abbildung 10-2: Überblick über Arten von Bausteinen [nach JESCHKE 1997, S. 52] (vgl. Kapitel 3.1.2.2)

10.5 Schnittstellen und Vernetzung

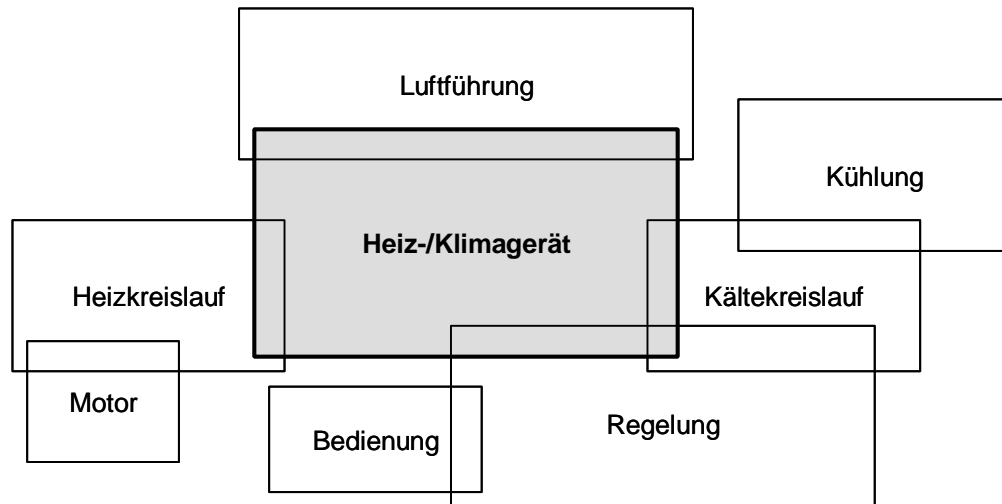


Abbildung 10-3: Schnittstellen und Vernetzung am Beispiel Heiz-/Klimagerät (vgl. Kapitel 4.4.2.2.1)

10.6 Checkliste zur Themenpriorisierung

1. Ansprechpartner	
Abteilung 1	Name, Abteilung, Telefon
Abteilung 2	Name, Abteilung, Telefon
2. Betrachtungsumfang	
	- Modul, System, Komponente
3. Ist-Situation	
Ist-Situation	- Gibt es für den betrachteten Umfang schon ein Baukastensystem? - Wenn nicht, welche Varianten existieren und warum? - Was sind die Variantentreiber?
4. Baukastenansatz	
Beschreibung	- Wie sieht der bestehende Baukastenansatz aus? - Welche Systeme sind betroffen?
Grundbausteine	- Was sind die wertigen Umfänge?
Anpassbausteine und Varianz	- Wo wird Varianz benötigt?
Alternativen	- Wie würde ein überarbeiteter/neuer Baukastenansatz aussehen?
Industriebaukasten-Fähigkeit	- Sinnvoll/geeignet für einen Industriebaukasten?
5. Randbedingungen	
Anforderungen, Lastenhefte, Gesetze	- Welche Anforderungen etc. sind zu berücksichtigen?
Strategien	- Welche Strategien betreffen den Baukasten (z.B. Lieferantenstrategie etc.)?
Kundenrelevanz/Differenzierung	- Welche Komponenten sind vom Kunden direkt erlebbar? - Wo ist eine Differenzierung gefordert?
6. Prämissen	
	- Welche Prämissen sind zur erfolgreichen Baukastenumsetzung notwendig? - Welche Prämissen wurden zur Abschätzung angenommen?
7. Aufwand zur Umsetzung/Überarbeitung des Baukastens (grobe Abschätzung)	
Erforderliche Kapazitäten	- Wie hoch sind die erforderlichen Kapazitäten aller Beteiligten?
finanzielle Mittel	- Entwicklung - Versuch, Prototypen - Absicherung
Zeitplanung	- Wann müssen welche Ergebnisse vorliegen?
8. Nutzen durch Umsetzung/Überarbeitung des Baukastens (grobe Abschätzung)	
Baukasten-Effekte/Stoßrichtung	- monetär - Variantenreduzierung - Skaleneffekte - Betreuungsaufwand
9. Risikobetrachtung	
Stabilität der Randbedingungen	- z. B. Stückzahlen
10. Einsatzszenarios	
Einsatz	- betroffene Zielfahrzeuge - Lebenszyklus des Baukastensystems
Synchronisation	- Einsatztermine

Abbildung 10-4: Checkliste zur Themenpriorisierung (vgl. Kapitel 5.3)

10.7 Merkmale zur Differenzierung

Hauptmerkmale	Merkmale* (Beispiele)
• (An-)Zahl	fix, variabel
• Anordnung	Lage, Reihenfolge, sichtbar, unsichtbar, oben, unten
• Form	Höhe, Breite, Länge, Durchmesser, Raumbedarf
• Leistung	Geschwindigkeit, Drehmoment
• Umsetzung/Realisierung	Technologie, Wirkprinzip, Wirkstruktur
• Funktionsausprägung	fest, variabel
• Design/Wahrnehmung	Optik, Haptik, Akustik, Geruch, Farbe, Form
• Komfort	Bedienkomfort, Komfortempfinden
• Ergonomie	Antropometrie, Intuition
• Bauweise	Kompaktheit, Leichtbaukonzept, Integral-, Differenzialbauweise
• Werkstoff	Oberfläche, Werkstoffeigenschaften, Korrosionsbeständigkeit
• Ökonomie	Anschaffungs-, Betriebs-, Instandhaltungskosten, Lieferzeit
• Sicherheit	aktiv, passiv, Kriminalität (Diebstahl, Sicherheitsfahrzeug)
• Ökologie/Nachhaltigkeit	Ressourcenverbrauch, Umweltverträglichkeit, Recycling
• Qualität	Lebensdauer, Wartungsmöglichkeiten, Oberflächen, Materialien
• Emotionen	Marken, Image, Individualität, Design, Klang, Haptik
• Ausstattung	Sonderausstattung, Wahlmöglichkeiten, Sonderserien
• Länderspezifikationen	Sprache, Gesetze, Normen, Klima, Straßenbeschaffenheit
• Erweiterungsmöglichkeiten	Dachträger, Anhängerkupplung, Nachrüstungen
• Service	Serviceleistungen, Pannendienst, Hotline, Navigation
• Anwenderspezifikationen	Polizei-, Sicherheits-, Taxi-, Standardfahrzeug

*zwischen den Differenzierungsmerkmalen bestehen teilweise Interdependenzen

Abbildung 10-5: Auszug möglicher Differenzierungsmerkmale (vgl. Kapitel 5.4.1.1)

10.8 Definitionen im Umfeld Funktionsorientierung und Zielableitung

Tabelle 10-3: Begrifflichkeiten im Umfeld der Funktionsorientierung und der Zielableitung (vgl. Kapitel 5.4.2)

Begriff	Definition	Literatur
Ziele	Ziele sind strategische Sollvorgaben, welche einem übergeordneten Zweck dienen und entweder explizit vom Kunden formuliert oder zumindest implizit gewünscht sein sollten.	
Eigenschaften	Eigenschaften können beliebige, das Produkt beschreibende Charakteristika sein. Sie setzen sich aus Merkmalen sowie ihren unterschiedlichen möglichen Ausprägungen zusammen. Merkmale können beispielsweise die Farbe, eine Funktion, die Geometrie oder Ähnliches sein, mit unterschiedlich gearteten Ausprägungen.	EHRENSPIEL [1995, S. 23ff.]
Anforderungen	geforderte Eigenschaft, Ausprägung eines Merkmals	LINDEMANN [2005, S. 285]
	spiegeln Solleigenschaften eines Produkts wider und müssen aus den Zielen abgeleitet werden.	
Funktionen	Lösungsneutrale und abstrakte Beschreibung von Zweck, Wirkungsweise und/oder Nutzungsmöglichkeit einer Komponente oder des Gesamtprodukts. Unterteilung in <ul style="list-style-type: none"> • Hauptfunktionen, • Nebenfunktionen und • Teilfunktionen 	EHRENSPIEL ET AL. [2003, S. 344]
	Unterteilung in <ul style="list-style-type: none"> • Gebrauchs- und Geltungsfunktionen, • Grund- und Sekundärfunktionen sowie • notwendige und unnötige Funktionen 	AKIYAMA [1994, S. 64f.]

10.9 Funktionale Verknüpfungen

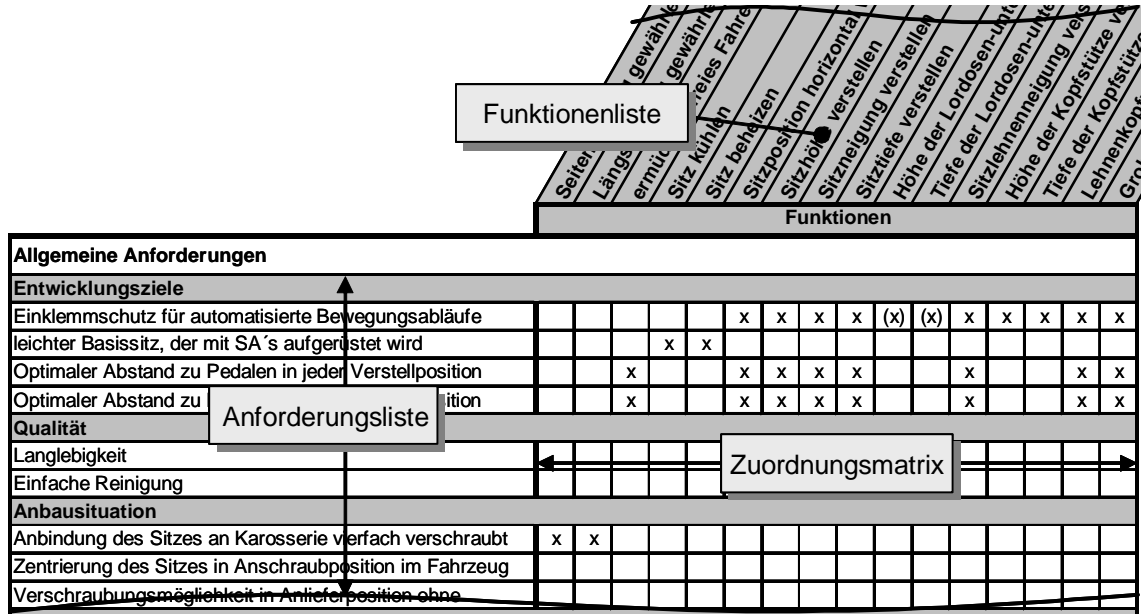


Abbildung 10-6: Anforderungsmatrix: Verknüpfung von Anforderungen und Funktionen (vgl. Kapitel 5.4.2.2)

Dies nachfolgenden Regeln geben einen Überblick über Vor- und Nachteile der verschiedenen Operationen zur funktionalen Vernetzung. Da die Schwerpunkte einer Optimierung situativ vom Anwendungsfall abhängen, kann keine generelle Empfehlung zum Vorgehen gegeben werden.

Tabelle 10-4: Regelwerk zur methodischen Optimierung der funktionalen Vernetzung (vgl. Kapitel 5.4.2.2)

Regel/Möglichkeit	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> pro Komponente nur eine Funktion realisieren 	<ul style="list-style-type: none"> bei einer Änderung der Funktion muss nur die entsprechende Komponente geändert werden Randbedingung: Schnittstellen müssen exakt definiert werden 	<ul style="list-style-type: none"> sehr viele Komponenten → hohe Teilevielfalt
<ul style="list-style-type: none"> Funktionshäufung in einer Komponente 	<ul style="list-style-type: none"> geringe Anzahl von Komponenten 	<ul style="list-style-type: none"> hohe Variantenvielfalt bei Komponenten hoher Änderungsaufwand
<ul style="list-style-type: none"> Funktionen, die sich über den Lebenszyklus nicht ändern, in einer Komponente zusammenfassen 	<ul style="list-style-type: none"> keine Varianz der Komponente geringer Änderungsaufwand (nur eine Komponente muss geändert werden) 	
<ul style="list-style-type: none"> Funktionen, die sich ändern bzw. variabel sind, integrieren 	<ul style="list-style-type: none"> nur die betroffenen Komponenten müssen geändert werden 	<ul style="list-style-type: none"> hohe Varianz der Komponenten
<ul style="list-style-type: none"> Funktionen, die eine Differenzierung für den Kunden (z. B. optisch) ermöglichen, in einem Bauteil realisieren 	<ul style="list-style-type: none"> nur diese Komponente muss geändert werden nicht betroffene Komponenten können als Standard-Komponente ausgeführt werden 	<ul style="list-style-type: none"> hohe Varianz der Komponente
<ul style="list-style-type: none"> Funktionen/Komponenten integrieren 	<ul style="list-style-type: none"> geringere Anzahl von Komponenten 	<ul style="list-style-type: none"> u. U. eine erhöhte Varianz
<ul style="list-style-type: none"> Funktionen/Komponenten differenzieren 	<ul style="list-style-type: none"> Funktionen/Komponenten können speziell dem Anwendungsbedarf angepasst werden 	<ul style="list-style-type: none"> höhere Anzahl von Komponenten

10.10 Prinzipien zur Breitenanpassung von Sitzgestellen

Abbildung 10-7 stellt erarbeitete Möglichkeiten zur Breitenvariation von Sitzgestellen dar. Bei dieser prinzipiellen Betrachtung wurden Faktoren wie Realisierbarkeit, Kraftflüsse, Montierbarkeit, Kosten etc. nicht berücksichtigt. Die Aufzählung geschieht ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

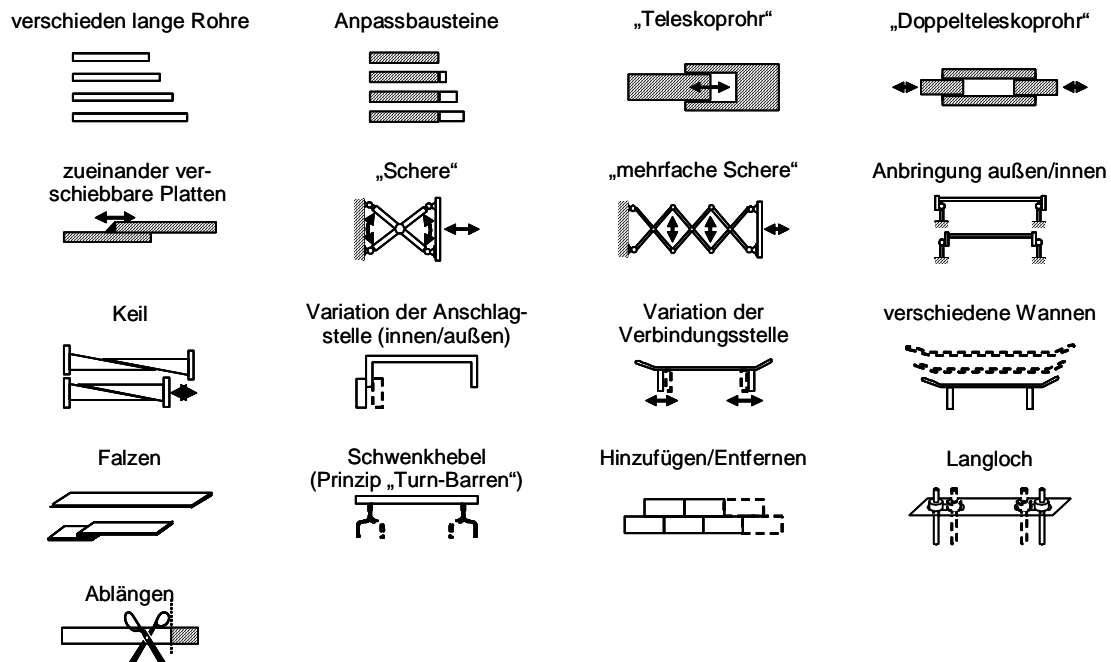


Abbildung 10-7: Prinzipien zur konstruktiven Breitenanpassung von Sitzgestellen (vgl. Kapitel 6.1.2.5)

11 Dissertationsverzeichnis

Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München, Boltzmannstraße 15,
85748 Garching

Dissertationen betreut von

- Prof. Dr.-Ing. W. Rodenacker,
- Prof. Dr.-Ing. K. Ehrlenspiel und
- Prof. Dr.-Ing. U. Lindemann.

- D1 COLLIN, H.:
Entwicklung eines Einwalzenkalenders nach einer systematischen Konstruktionsmethode.
München: TU, Diss. 1969.
- D2 OTT, J.:
Untersuchungen und Vorrichtungen zum Offen-End-Spinnen.
München: TU, Diss. 1971.
- D3 STEINWACHS, H.:
Informationsgewinnung an bandförmigen Produkten für die Konstruktion der Produktmaschine.
München: TU, Diss. 1971.
- D4 SCHMETTOW, D.:
Entwicklung eines Rehabilitationsgerätes für Schwerstkörperbehinderte.
München: TU, Diss. 1972.
- D5 LUBITZSCH, W.:
Die Entwicklung eines Maschinensystems zur Verarbeitung von chemischen Endlosfasern.
München: TU, Diss. 1974.
- D6 SCHEITENBERGER, H.:
Entwurf und Optimierung eines Getriebesystems für einen Rotationsquerschneider mit allgemeingültigen
Methoden.
München: TU, Diss. 1974.
- D7 BAUMGARTH, R.:
Die Vereinfachung von Geräten zur Konstanthaltung physikalischer Größen.
München: TU, Diss. 1976.
- D8 MAUDERER, E.:
Beitrag zum konstruktionsmethodischen Vorgehen durchgeführt am Beispiel eines Hochleistungsschalter-
Antriebs.
München: TU, Diss. 1976.
- D9 SCHÄFER, J.:
Die Anwendung des methodischen Konstruierens auf verfahrenstechnische Aufgabenstellungen.
München: TU, Diss. 1977.
- D10 WEBER, J.:
Extruder mit Feststoffpumpe – Ein Beitrag zum methodischen Konstruieren.
München: TU, Diss. 1978.

- D11 HEISIG, R.:
Längencodierer mit Hilfsbewegung.
München: TU, Diss. 1979.
- D12 KIEWERT, A.:
Systematische Erarbeitung von Hilfsmitteln zum kostenarmen Konstruieren.
München: TU, Diss. 1979.
- D13 LINDEMANN, U.:
Systemtechnische Betrachtung des Konstruktionsprozesses unter besonderer Berücksichtigung der Herstellkostenbeeinflussung beim Festlegen der Gestalt.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1980. (Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften Reihe 1, Nr. 60).
Zugl. München: TU, Diss. 1980.
- D14 NJOYA, G.:
Untersuchungen zur Kinematik im Wälzlager bei synchron umlaufenden Innen- und Außenringen.
Hannover: Universität, Diss. 1980.
- D15 HENKEL, G.:
Theoretische und experimentelle Untersuchungen ebener konzentrisch gewellter Kreisringmembranen.
Hannover: Universität, Diss. 1980.
- D16 BALKEN, J.:
Systematische Entwicklung von Gleichlaufgelenken.
München: TU, Diss. 1981.
- D17 PETRA, H.:
Systematik, Erweiterung und Einschränkung von Lastausgleichslösungen für Standgetriebe mit zwei Leistungswegen – Ein Beitrag zum methodischen Konstruieren.
München: TU, Diss. 1981.
- D18 BAUMANN, G.:
Ein Kosteninformationssystem für die Gestaltungsphase im Betriebsmittelbau.
München: TU, Diss. 1982.
- D19 FISCHER, D.:
Kostenanalyse von Stirnzahnrädern. Erarbeitung und Vergleich von Hilfsmitteln zur Kostenfrüherkennung.
München: TU, Diss. 1983.
- D20 AUGUSTIN, W.:
Sicherheitstechnik und Konstruktionsmethodiken – Sicherheitsgerechtes Konstruieren.
Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz 1985. Zugl. München: TU, Diss. 1984.
- D21 RUTZ, A.:
Konstruieren als gedanklicher Prozess.
München: TU, Diss. 1985.
- D22 SAUERMANN, H. J.:
Eine Produktkostenplanung für Unternehmen des Maschinenbaues.
München: TU, Diss. 1986.
- D23 HAFNER, J.:
Entscheidungshilfen für das kostengünstige Konstruieren von Schweiß- und Gussgehäusen.
München: TU, Diss. 1987.
- D24 JOHN, T.:
Systematische Entwicklung von homokinetischen Wellenkupplungen.
München: TU, Diss. 1987.

- D25 FIGEL, K.:
Optimieren beim Konstruieren.
München: Hanser 1988. Zugl. München: TU, Diss. 1988 u. d. T.: FIGEL, K.: Integration automatisierter Optimierungsverfahren in den rechnerunterstützten Konstruktionsprozess.

Reihe Konstruktionstechnik München

- D26 TROPSCHUH, P. F.:
Rechnerunterstützung für das Projektieren mithilfe eines wissensbasierten Systems.
München: Hanser 1989. (Konstruktionstechnik München, Band 1). Zugl. München: TU, Diss. 1988 u. d. T.: TROPSCHUH, P. F.: Rechnerunterstützung für das Projektieren am Beispiel Schiffsgetriebe.
- D27 PICKEL, H.:
Kostenmodelle als Hilfsmittel zum Kostengünstigen Konstruieren.
München: Hanser 1989. (Konstruktionstechnik München, Band 2). Zugl. München: TU, Diss. 1988.
- D28 KITSTEINER, H.-J.:
Die Auswahl und Gestaltung von kostengünstigen Welle-Nabe-Verbindungen.
München: Hanser 1990. (Konstruktionstechnik München, Band 3). Zugl. München: TU, Diss. 1989.
- D29 HILLEBRAND, A.:
Ein Kosteninformationssystem für die Neukonstruktion mit der Möglichkeit zum Anschluss an ein CAD-System.
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 4). Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D30 DYLLA, N.:
Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren.
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 5). Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D31 MÜLLER, R.:
Datenbankgestützte Teileverwaltung und Wiederholteilsuche.
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 6). Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D32 NEESE, J.:
Methodik einer wissensbasierten Schadenanalyse am Beispiel Wälzlagerungen.
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 7). Zugl. München: TU, Diss. 1991.
- D33 SCHAAL, S.:
Integrierte Wissensverarbeitung mit CAD – Am Beispiel der konstruktionsbegleitenden Kalkulation.
München: Hanser 1992. (Konstruktionstechnik München, Band 8). Zugl. München: TU, Diss. 1991.
- D34 BRAUNSPERGER, M.:
Qualitätssicherung im Entwicklungsablauf – Konzept einer präventiven Qualitätssicherung für die Automobilindustrie.
München: Hanser 1993. (Konstruktionstechnik München, Band 9). Zugl. München: TU, Diss. 1992.
- D35 FEICHTER, E.:
Systematischer Entwicklungsprozess am Beispiel von elastischen Radialversatzkupplungen.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 10). Zugl. München: TU, Diss. 1992.
- D36 WEINBRENNER, V.:
Produktlogik als Hilfsmittel zum Automatisieren von Varianten- und Anpassungskonstruktionen.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 11). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D37 WACH, J. J.:
Problemspezifische Hilfsmittel für die Integrierte Produktentwicklung.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 12). Zugl. München: TU, Diss. 1993.

- D38 LENK, E.:
Zur Problematik der technischen Bewertung.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 13). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D39 STUFFER, R.:
Planung und Steuerung der Integrierten Produktentwicklung.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 14). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D40 SCHIEBELER, R.:
Kostengünstig Konstruieren mit einer rechnergestützten Konstruktionsberatung.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 15). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D41 BRUCKNER, J.:
Kostengünstige Wärmebehandlung durch Entscheidungsunterstützung in Konstruktion und Härterei.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 16). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D42 WELLNIAK, R.:
Das Produktmodell im rechnerintegrierten Konstruktionsarbeitsplatz.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 17). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D43 SCHLÜTER, A.:
Gestaltung von Schnappverbindungen für montagegerechte Produkte.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 18). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D44 WOLFRAM, M.:
Feature-basiertes Konstruieren und Kalkulieren.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 19). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D45 STOLZ, P.:
Aufbau technischer Informationssysteme in Konstruktion und Entwicklung am Beispiel eines elektronischen Zeichnungsarchives.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 20). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D46 STOLL, G.:
Montagegerechte Produkte mit feature-basiertem CAD.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 21). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D47 STEINER, J. M.:
Rechnergestütztes Kostensenken im praktischen Einsatz.
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 22). Zugl. München: TU, Diss. 1995.
- D48 HUBER, T.:
Senken von Montagezeiten und -kosten im Getriebebau.
München: Hanser 1995. (Konstruktionstechnik München, Band 23). Zugl. München: TU, Diss. 1995.
- D49 DANNER, S.:
Ganzheitliches Anforderungsmanagement für marktorientierte Entwicklungsprozesse.
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 24). Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D50 MERAT, P.:
Rechnergestützte Auftragsabwicklung an einem Praxisbeispiel.
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 25). Zugl. München: TU, Diss. 1996
u. d. T.: MERAT, P.: Rechnergestütztes Produktleitsystem.
- D51 AMBROSY, S.:
Methoden und Werkzeuge für die integrierte Produktentwicklung.
Aachen: Shaker 1997. (Konstruktionstechnik München, Band 26). Zugl. München: TU, Diss. 1996.

- D52 GIAPOLIS, A.:
Modelle für effektive Konstruktionsprozesse.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 27). Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D53 STEINMEIER, E.:
Realisierung eines systemtechnischen Produktmodells – Einsatz in der Pkw-Entwicklung
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 28). Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D54 KLEEDÖRFER, R.:
Prozess- und Änderungsmanagement der Integrierten Produktentwicklung.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 29). Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D55 GÜNTHER, J.:
Individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozess.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 30). Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D56 BIERSACK, H.:
Methode für Kraftleinleitungsstellenkonstruktion in Blechstrukturen.
München: TU, Diss. 1998.
- D57 IRLINGER, R.:
Methoden und Werkzeuge zur nachvollziehbaren Dokumentation in der Produktentwicklung.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 31). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D58 EILETZ, R.:
Zielkonfliktmanagement bei der Entwicklung komplexer Produkte – am Beispiel PKW-Entwicklung.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 32). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D59 STÖSSER, R.:
Zielkostenmanagement in integrierten Produkterstellungsprozessen.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 33). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D60 PHLEPS, U.:
Recyclinggerechte Produktdefinition – Methodische Unterstützung für Upgrading und Verwertung.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 34). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D61 BERNARD, R.:
Early Evaluation of Product Properties within the Integrated Product Development.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 35). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D62 ZANKER, W.:
Situative Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 36). Zugl. München: TU, Diss. 1999.

Reihe Produktentwicklung München

- D63 ALLMANSBERGER, G.:
Erweiterung der Konstruktionsmethodik zur Unterstützung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 37). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D64 ASSMANN, G.:
Gestaltung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung.
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 38). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D65 BICHLMAIER, C.:
Methoden zur flexiblen Gestaltung von integrierten Entwicklungsprozessen.
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 39). Zugl. München: TU, Diss. 2000.

- D66 DEMERS, M. T.:
Methoden zur dynamischen Planung und Steuerung von Produktentwicklungsprozessen.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 40). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D67 STETTER, R.:
Method Implementation in Integrated Product Development.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 41). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D68 VIERTLBÖCK, M.:
Modell der Methoden- und Hilfsmiteleinführung im Bereich der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 42). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D69 COLLIN, H.:
Management von Produkt-Informationen in kleinen und mittelständischen Unternehmen.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 43). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D70 REISCHL, C.:
Simulation von Produktkosten in der Entwicklungsphase.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 44). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D71 GAUL, H.-D.:
Verteilte Produktentwicklung – Perspektiven und Modell zur Optimierung.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 45). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D72 GIERHARDT, H.:
Global verteilte Produktentwicklungsprojekte – Ein Vorgehensmodell auf der operativen Ebene.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 46). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D73 SCHOEN, S.:
Gestaltung und Unterstützung von Community of Practice.
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 47). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D74 BENDER, B.:
Zielorientiertes Kooperationsmanagement.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 48). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D75 SCHWANKL, L.:
Analyse und Dokumentation in den frühen Phasen der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 49). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D76 WULF, J.:
Elementarmethoden zur Lösungssuche.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 50). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D77 MÖRTL, M.:
Entwicklungsmanagement für langlebige, upgradinggerechte Produkte.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 51). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D78 GERST, M.:
Strategische Produktentscheidungen in der integrierten Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 52). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D79 AMFT, M.:
Phasenübergreifende bidirektionale Integration von Gestaltung und Berechnung.
München: Dr. Hut 2003. (Produktentwicklung München, Band 53). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D80 FÖRSTER, M.:
Variantenmanagement nach Fusionen in Unternehmen des Anlagen- und Maschinenbaus.
München: TU, Diss. 2003.

- D81 GRAMANN, J.:
Problemmodelle und Bionik als Methode.
München: Dr. Hut 2004. (Produktentwicklung München, Band 55). Zugl. München: TU, Diss. 2004.
- D82 PULM, U.:
Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2004. (Produktentwicklung München, Band 56). Zugl. München: TU, Diss. 2004.
- D83 HUTTERER, P.:
Reflexive Dialoge und Denkbausteine für die methodische Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 57). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D84 FUCHS, D.:
Konstruktionsprinzipien für die Problemanalyse in der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 58). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D85 PACHE, M.:
Sketching for Conceptual Design.
München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 59). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D86 BRAUN, T.:
Methodische Unterstützung der strategischen Produktplanung in einem mittelständisch geprägten Umfeld.
München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 60). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D87 JUNG, C.:
Anforderungsklä rung in interdisziplinärer Entwicklungsumgebung.
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 61). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D88 HESSLING, T.:
Einführung der Integrierten Produktpolitik in kleinen und mittelständischen Unternehmen.
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 62). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D89 STRICKER, H.:
Bionik in der Produktentwicklung unter der Berücksichtigung menschlichen Verhaltens.
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 63). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D90 NISSL, A.:
Modell zur Integration der Zielkostenverfolgung in den Produktentwicklungsprozess.
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 64). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D91 MÜLLER, F.:
Intuitive digitale Geometriemodellierung in frühen Entwicklungsphasen.
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 65). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D92 ERDELL, E.:
Methodenanwendung in der Hochbauplanung – Ergebnisse einer Schwachstellenanalyse.
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 66). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D93 GAHR, A.:
Pfadkostenrechnung individualisierter Produkte – eine flexible entwicklungsbegleitende Kalkulation.
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 67). Zugl. München: TU, Diss. 2006.