

**Konzeption eines Entscheidungsmodells  
für die beschaffungsfokussierte Anwendung modularer Baukästen  
am Beispiel der Automobilindustrie**

Vom Promotionsausschuss der  
Technischen Universität Hamburg  
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor(in) der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften (Dr. rer. pol.)

genehmigte Dissertation

von  
Markus Neumann

aus  
Berlin

2022

1. Gutachter: Prof. Dr. Dr. h. c. Wolfgang Kersten  
Institut für Logistik und Unternehmensführung  
Technische Universität Hamburg

2. Gutachter: Prof. Dr. Christian M. Ringle  
Institute of Human Resource Management and Organizations  
Technische Universität Hamburg

Tag der mündlichen Prüfung: 28.06.2022

## Geleitwort

Ein oftmals sehr wichtiger Erfolgsfaktor im Wettbewerb ist das Angebot kundenindividueller Produkte. Viele Unternehmen bieten ihre Produkte deshalb in einer großen Varianten- und Ausstattungsvielfalt an, so dass das einzelne Produkt nach den Wünschen der Kundinnen oder Kunden individuell konfiguriert werden kann. Die Beherrschung der entstehenden Variantenvielfalt stellt jedoch sowohl hinsichtlich der dafür erforderlichen operativen Prozesse als auch hinsichtlich der entstehenden Kosten eine große Herausforderung für die Unternehmen dar.

Ein mittlerweile weit verbreiteter Lösungsansatz zur Beherrschung der entstehenden Komplexität ist die Definition von Plattformstrategien bzw. modularen Baukästen, auf deren Basis eine Vielzahl von Produktvarianten mit reduziertem Aufwand konfiguriert und hergestellt werden können. Bei der Herleitung der zugrunde liegenden modularen Produktstrukturen werden insbesondere funktionale und räumliche Zusammenhänge der Produktkomponenten berücksichtigt. Während auf diese Weise Anforderungen, die sich aus der Entwicklungs- und Produktionsperspektive ergeben, gut abgebildet werden können, fällt auf, dass die Beschaffungssicht in bisherigen Modularisierungsansätzen kaum berücksichtigt wird. Dies wiegt insofern schwer, als heutzutage regelhaft mehr als 50% der Wertschöpfung von Zulieferanten erbracht wird.

Zur Ableitung geeigneter Handlungsstrategien bedarf es deshalb zweier Voraussetzungen: Erstens muss zur Sicherstellung eines gesamtunternehmerischen Betrachtungsansatzes die in Wissenschaft und Praxis vorherrschende produktorientierte Sichtweise um geeignete Perspektiven ergänzt werden. Zweitens sind unternehmerische Steuerungs- und Analysemodelle zur Anpassung an sich dynamisch veränderliche Rahmenbedingungen zu entwickeln.

Mit seiner Dissertation liefert Herr Neumann einen wichtigen Beitrag, um diese Forschungslücke zu schließen. Am Beispiel der Automobilindustrie konzipiert er ein anwendungsorientiertes Entscheidungsmodell auf Basis eines Künstlichen Neuronales Netzes zur kosten- und komplexitätsoptimierenden Prognose strategischer Beschaffungsentscheidungen. Im Fokus der Forschungsarbeit liegen die beschaffungsfokussierte Identifikation relevanter Einflussfaktoren in Form von Komplexitätstreibern und Modularisierungseffekten sowie deren integrative Zusammenführung in ein strategisches Entscheidungsmodell zur Identifikation existierender Wechselwirkungen. Darüber hinaus werden aus den erzielten Erkenntnissen praxisrelevante Implikationen in Form von beschaffungsstrategischen Handlungsempfehlungen abgeleitet.

Mit der Entwicklung des dynamischen Modellkonzeptes trägt die Arbeit von Herrn Neumann in erheblichem Maße zu einem besseren Verständnis der existierenden Wechselwirkungen zwischen den Themenschwerpunkten Komplexität, modulare Baukästen und Beschaffung bei. Aus den Ergebnissen der Dissertation lassen sich sowohl für die Wissenschaft als auch für die Praxis relevante Hinweise für die kosten- und komplexitätsoptimierende Gestaltung modularer Baukästen ableiten.

Hamburg, im Juli 2022

Prof. Dr. Dr. h. c. Wolfgang Kersten

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand berufsbegleitend im Rahmen des Promotions-programmes der VOLKSWAGEN AG in Kooperation mit dem Institut für Logistik und Unternehmensführung der Technischen Universität Hamburg. In diesem spannenden aber auch herausfordernden Spannungsfeld zwischen Wissenschaft und Praxis konnte ich auf die Unterstützung zahlreicher Menschen vertrauen, die mich auf meinem Weg zum erfolgreichen Abschluss meiner Arbeit begleitet haben. Dafür möchte ich an dieser Stelle herzlichst Danke sagen.

Besonders herzlich möchte ich mich bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Wolfgang Kersten für die Betreuung meiner Arbeit sowie für seine Rolle als Orientierungsgeber bedanken. Danke für das mir entgegengebrachte hohe Maß an Vertrauen hinsichtlich des erfolgreichen Abschlusses des Promotionsprozesses. Herrn Prof. Christian Ringle und Herrn Prof. Carlos Jahn danke ich für die Übernahme des Korreferats bzw. des Vorsitzes des Prüfungsausschusses.

Herrn Dr. Henning Skirde gilt ebenfalls mein Dank für den intensiven Austausch. Die hieraus resultierenden Denkanstöße lieferten sowohl einen inhaltlichen als auch strukturellen Mehrwert für meine Arbeit.

Bei meinen Kollegen und meinen Freunden bedanke ich mich für die stetige Motivationsunterstützung, durch die ich auch in Phasen der Schaffenskrise nie das Ziel aus den Augen verloren habe.

Mein ganz besonderer Dank gilt meiner Familie, ohne deren Unterstützung und Geduld diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Hamburg, im Juli 2022

Markus Neumann

<b>I.</b>	<b>Inhaltverzeichnis</b>	
<b>I.</b>	<b>Inhaltverzeichnis .....</b>	<b>VI</b>
<b>II.</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>XI</b>
<b>III.</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>XII</b>
<b>IV.</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>XV</b>
<b>1.</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1.	Ausgangssituation und Forschungsbedarf .....	1
1.2.	Forschungsansatz und Forschungsdesign.....	4
1.3.	Ableitung der Forschungsfragen und Detaillierung der Forschungsziele .....	6
1.4.	Aufbau und Gang der Untersuchung.....	7
<b>2.</b>	<b>Eingrenzung des Untersuchungsbereichs und theoretische Grundlagen</b>	<b>10</b>
2.1	Entwicklung des Bezugsrahmens .....	10
2.1.1	Systemtheorie – Verständnis eines Unternehmens als komplexes System... 12	
2.1.1.1	Schaffung eines systemtheoretischen Grundverständnisses.....	12
2.1.1.2	Transferierung des Systemgedankens auf das Unternehmen .....	14
2.1.2	Entwicklungen der Automobilindustrie und die Bedeutung der Beschaffung innerhalb der Automobilindustrie.....	16
2.1.2.1	Individualisierungswünsche der Kunden erhöhen das Komplexitätsniveau innerhalb der Automobilindustrie .....	16
2.1.2.2	Der Spagat zwischen externem Individualisierungswunsch und internem Standardisierungszwang.....	20
2.1.2.3	Reifegrad von Standardisierungskonzepten in der Automobilindustrie .....	22
2.1.2.4	Der steigende Wertbeitrag der Beschaffung für den Unternehmenserfolg in der Automobilindustrie .....	26
2.2	Das Spannungsfeld zwischen Komplexität, modularem Baukasten und Beschaffung – Erläuterung und Abgrenzung thematisch relevanter Begriffe .....	30
2.2.1	Themenschwerpunkt: Komplexität .....	30
2.2.1.1	Dimensionen der Komplexität und Ableitung des Komplexitätsbegriffs .....	31
2.2.1.2	Klassifizierung bezüglich Art der Komplexität .....	35
2.2.1.3	Klassifizierung bezüglich Herkunft der Komplexität .....	37

---

2.2.1.4	Handlungsstrategien im Umgang mit Komplexität .....	40
2.2.1.5	Einordnung des modularen Baukastens als Instrument des Komplexitätsmanagements .....	44
2.2.2	Themenschwerpunkt: modularer Baukasten.....	46
2.2.2.1	Erfolgspotenzial Mass Customization .....	47
2.2.2.2	Grundtypen der Produktmodularität.....	49
2.2.2.3	Abgrenzung der Begrifflichkeiten Modul, Modularisierung und Modularität	51
2.2.2.4	Strukturierungsspektrum der Produktarchitektur .....	55
2.2.2.5	Die Plattform als eindimensionales Produktstrukturierungskonzept .....	58
2.2.2.6	Der Modulare Baukasten als zweidimensionales Produktstrukturierungs- konzept des Mass Customization .....	59
2.2.2.7	Abriss der historischen Entwicklung .....	64
2.2.2.8	Wirkungsdimensionen und Erfolgsbeitrag des modularen Baukastens im Unternehmen.....	65
2.2.2.9	Einordnung des modularen Baukastens als Instrument für die Beschaffung .....	67
2.2.3	Themenschwerpunkt: Beschaffung.....	69
2.2.3.1	Einbettung der Beschaffung in die innerbetriebliche Wertschöpfungskette	70
2.2.3.2	Strategie und Ziele der Beschaffung .....	74
2.2.3.3	Funktionen des Beschaffungsmanagements.....	77
2.2.3.4	Einordnung strategischer Beschaffungsaktivitäten hinsichtlich der Komplexitätswirkung.....	79
2.3	Zusammenfassende Darstellung der themenrelevanten Wirkungszusammenhänge .....	80
<b>3.</b>	<b>Stand der Wissenschaft: Der beschaffungsfokussierte Beitrag modularer Baukästen zur Komplexitätsoptimierung .....</b>	<b>84</b>
3.1	Identifizierung von Komplexitätstreibern und deren Wirkung auf das Unternehmen .....	86
3.1.1	Kategorisierung von Komplexitätstreibern .....	87
3.1.1.1	Exogene Komplexitätstreiber .....	90
3.1.1.2	Endogene Komplexitätstreiber.....	91
3.1.2	Funktionsbereichsspezifische Einordnung von Komplexitätstreibern der innerbetrieblichen Wertschöpfung .....	95
3.1.2.1	Komplexitätstreiber in der Entwicklung.....	96

---

3.1.2.2	Komplexitätstreiber in der Beschaffung .....	97
3.1.2.3	Komplexitätstreiber in der Produktion und Logistik .....	100
3.1.2.4	Komplexitätstreiber im Vertrieb und After-Sales .....	101
3.1.3	Zuordnung der Komplexitätstreiber zu den Funktionsbereichen der Wertschöpfungskette .....	102
3.2	Identifizierung von Modularisierungseffekten und deren Wirkung auf das Unternehmen .....	104
3.2.1	Kategorisierung von Modularisierungseffekten .....	105
3.2.1.1	Effektwirkung hinsichtlich Kosten.....	110
3.2.1.2	Effektwirkung hinsichtlich Zeit.....	111
3.2.1.3	Effektwirkung hinsichtlich Qualität .....	112
3.2.1.4	Effektwirkung hinsichtlich Flexibilität.....	112
3.2.1.5	Effektwirkung hinsichtlich Risiko .....	114
3.2.2	Funktionsbereichsspezifische Einordnung von Modularisierungseffekten der innerbetrieblichen Wertschöpfung.....	115
3.2.2.1	Modularisierungseffekte der Entwicklung.....	117
3.2.2.2	Modularisierungseffekte der Beschaffung.....	118
3.2.2.3	Modularisierungseffekte der Produktion und Logistik .....	121
3.2.2.4	Modularisierungseffekte des Vertriebs und After-Sales .....	122
3.2.3	Zuordnung der Modularisierungseffekte zu den Funktionsbereichen der Wertschöpfungskette .....	124
3.3	Integrative Zusammenführung der Ergebnisse aus dem aktuellen Stand der Wissenschaft und Implikation für die Beschaffung.....	126
<b>4.</b>	<b>Praxisanalyse: Modulare Baukästen und deren Einflüsse auf die Komplexität aus Sicht der Beschaffung am Beispiel des Volkswagen Konzerns.....</b>	<b>131</b>
4.1	Forschungsmethodik und Forschungsprozess.....	132
4.2	Forschungsobjekt Volkswagen Konzern .....	133
4.3	Exploration durch Anwendung semi-strukturierter Experteninterviews .....	135
4.3.1	Sampling-Strategie und Zusammensetzung des Samples.....	137
4.3.2	Entwicklung des Leitfadens.....	141
4.3.3	Durchführung der Experteninterviews .....	142
4.3.4	Theoretische Sättigung .....	144

---

4.4	Transkription der Daten .....	146
4.5	Inhaltsanalyse .....	148
4.6	Darlegung zentraler Ergebnisse.....	151
4.6.1	Existenz eines einheitlichen Begriffsverständnis in Theorie und Praxis.....	151
4.6.2	Wahrnehmung von Komplexität im Unternehmen und Komplexitätswirkung des modularen Baukastens .....	154
4.6.3	Herausforderungen im Umgang mit Komplexität .....	157
4.6.4	Gründe für die Implementierung modularer Baukästen .....	159
4.6.5	Herausforderungen im Umgang mit modularen Baukästen .....	160
4.6.6	Ableitung praxisrelevanter Komplexitätstreiber und Modularisierungseffekte .....	164
4.6.7	Implikationen für die Beschaffung.....	167
4.6.7.1.	Rollenwahrnehmung der Beschaffung.....	167
4.6.7.2.	Wirkungsweise des modularen Baukastens auf die Beschaffung.....	168
4.6.7.3.	Stellhebel für einen komplexitätsoptimierenden Umgang mit modularen Baukästen.....	169
4.6.8	Zukünftige Entwicklungstendenzen .....	172
4.7	Zusammenfassende Darstellung der Forschungslücke aus Wissenschaft und Praxis und Implikationen für den weiteren Forschungsprozess .....	175
4.8	Kritische Würdigung zur Entsprechung anzuwendender Gütekriterien .....	179
<b>5.</b>	<b>Konzeption eines strategischen Entscheidungsmodells auf Basis eines Künstlichen Neuronalen Netzes (KNN) .....</b>	<b>181</b>
5.1	Funktionale Grundidee des Entscheidungsmodells .....	182
5.2	Forschungsmethodik und Forschungsprozess .....	186
5.3	Identifikation relevanter Modellvariablen und Aufbau eines Kennzahlensystems .....	189
5.3.1	Verdichtung modellrelevanter Einflussfaktoren aus Theorie und Praxis .....	189
5.3.2	Transformation modellrelevanter Einflussfaktoren zu Modellkennzahlen .....	193
5.3.3	Ableitung des Kennzahlensystems .....	196
5.4	Entwicklung des Entscheidungsmodells auf Basis eines Künstlichen Neuronalen Netzes (KNN) .....	200
5.4.1	Grundlagen zu KNN.....	201
5.4.1.1	Anwendungsbereiche und Anwendbarkeit.....	203
5.4.1.2	Aufbau und Funktionsweise.....	205

---

5.4.1.3	Netztopologie .....	209
5.4.1.4	Klassifikation .....	211
5.4.1.5	Lernalgorithmen .....	214
5.4.1.6	Zusammenfassende Darstellung selektierter Ausprägungsalternativen KNN .....	216
5.4.2	Modellerstellung auf Basis eines Multi-Layer-Perceptron .....	216
5.4.2.1	Festlegung der Netztopologie .....	217
5.4.2.2	Datenerhebung und Datenskalierung .....	224
5.4.2.3	Anwendung der Backpropagation als Lernalgorithmus.....	231
5.4.2.4	Festlegung der Lernparameter .....	233
5.4.2.5	Netztraining.....	238
5.4.2.6	Zusammenfassende Ergebnisdarstellung des Trainingsprozesses .....	241
5.4.2.7	Finale schematische Darstellung des Entscheidungsmodells.....	246
5.5	Verifizierung der Eignung von KNN für den Prozess der Modellkonzeption..	247
<b>6.</b>	<b>Pilotanwendung des Modellkonzeptes am Beispiel des Modularen Querbaukastens des Volkswagen Konzerns .....</b>	<b>251</b>
6.1	Methodische Umsetzung des Demonstrators als Einzelfallstudie .....	251
6.2	Datenauswahl .....	253
6.3	Pilotanwendung des Entscheidungsmodells .....	255
6.3.1	Modifizierung des Faktorensets .....	255
6.3.2	Modellsimulation .....	259
6.3.3	Ergebnisdarstellung .....	260
6.4	Validierende Ergebnisanalyse und Ableitung von Handlungsempfehlungen .	261
6.5	Nutzenbeitrag des Entscheidungsmodells für Theorie und Praxis .....	267
<b>7.</b>	<b>Zusammenfassende Schlussbetrachtung und Ausblick .....</b>	<b>271</b>
7.1	Meilensteine des Forschungsprozesses und Darlegung zentraler Ergebnisse .....	271
7.2	Kritische Würdigung bestehender Limitationen .....	277
7.3	Weiterführender Forschungsbedarf.....	278
<b>V.</b>	<b>Anhang – Anschreiben und Interviewleitfaden .....</b>	<b>281</b>
<b>VI.</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>286</b>

## II. Abkürzungsverzeichnis

AnzLief	Lieferantenanzahl
AnzNut	Anzahl Nutzer
AnzProdOrtLief	Anzahl Produktionsstandorte Lieferant
AnzTnr	Variantenanzahl (Anzahl Teilenummern)
A-Preis	(Material-) Einzelkosten
BedQuo	Vergabevolumen (Bedarf quotiert)
BPA	Backpropagation-Algorithmus
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
COP	Carry-over part
evtl.	eventuell
f.	(und) folgende Seite
ff.	(und) fortfolgende Seiten
ggü.	gegenüber
HGR	Hauptgruppe
inkl.	inklusive
Invest	Gesamtinvestition
Kap.	Kapitel
KNN	Künstliches Neuronales Netz
Log	Logistische (Aktivierungsfunktion)
MEB	Modularer Elektrifizierungsbaukasten
MGR	Mittelgruppe (einer Teilenummer)
MLB	Modularer Längsbaukasten
MLP	Multi-Layer-Perceptron
MQB	Modularer Querbaukasten
OEM	Original Equipment Manufacturer (Hersteller des finalen Produkts)
RPROP	Resilient Backpropagation
S.	Seite
Tanh	Tangens Hyperbolicus (Aktivierungsfunktion)
TNR	Teilenummer
u.a.	unter anderem
usw.	und so weiter
v. Chr.	vor Christus (Zeitangabe)
VDA	Verband der Automobilindustrie
vgl.	vergleiche
vs.	versus
z.B.	zum Beispiel

### III. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Forschungsansatz der anwendungsorientierten Wissenschaft.....	5
Abbildung 2:	Schematische Darstellung zum Aufbau und Gang der Untersuchung.....	9
Abbildung 3:	Schematische Darstellung zum Bezugsrahmen .....	11
Abbildung 4:	Systemtheoretische Darstellung eines Unternehmens .....	15
Abbildung 5:	Entwicklungstendenzen Variantenreichtum und Lebenszykluszeit 1997 zu 2015 .....	19
Abbildung 6:	Übersicht Anzahl genutzter Plattformen globaler OEMs.....	23
Abbildung 7:	OEM-Reifegradübersicht angewandeter Standardisierungskonzepte ...	25
Abbildung 8:	Prozentualer Anteil Beschaffungsvolumen am Umsatzerlös eines OEMs .....	28
Abbildung 9:	Komplexitätsdimensionen und Merkmalsausprägungen der Komplexität .....	34
Abbildung 10:	Formen der strukturellen Komplexität.....	35
Abbildung 11:	Entstehungsherkunft und Wirkungszusammenhang von exogener und endogener Komplexität.....	38
Abbildung 12:	Differenzierung der Komplexitätsstrategien nach Beeinflussbarkeit und zeitlichem Wirkungshorizont.....	42
Abbildung 13:	Modulare Strukturierungsansätze als Lösungsansatz im Umgang mit Variantenvielfalt .....	45
Abbildung 14:	Die 5 Grundtypen der Produktmodularität .....	49
Abbildung 15:	Abgrenzungskriterien der modularen und integralen Produktarchitektur ... .....	56
Abbildung 16:	Strukturierungsspektrum der Produktarchitektur in Abhängigkeit des Modularitätsgrades .....	57
Abbildung 17:	Modularitätsstufen in Abhängigkeit des Modularitätsgrades.....	62
Abbildung 18:	Integrativer Charakter der modularen Baukastenstrategie .....	64
Abbildung 19:	Wirkungsdimensionen des modularen Baukastens .....	67
Abbildung 20:	Innerbetriebliche Wertschöpfungskette .....	71
Abbildung 21:	Einordnung der Beschaffungsstrategie in bestehende Wirkungszusam- menhänge.....	76
Abbildung 22:	Funktionen des Beschaffungsmanagements.....	77
Abbildung 23:	Komplexitätswirkung beschaffungsstrategischer Entscheidungen am Beispiel der Erfolgsfaktoren Kosten und Risiko .....	79
Abbildung 24:	Zusammenfassende Darstellung des Wirkungszusammenhangs .....	83
Abbildung 25:	Analysewürfel und dreistufiger Analyseprozess .....	85
Abbildung 26:	2-stufiges Konzept zur Entwicklung eines Kriterienkataloges für die strukturierte Allokation von Modularisierungseffekten .....	106
Abbildung 27:	Darstellung des integrativen Analyseprozesses .....	130

Abbildung 28:	Schematische Darstellung des qualitativen Forschungsprozesses .....	133
Abbildung 29:	Mehrmarkencharakteristik der modularen Baukastenstrategie des Volkswagen Konzerns .....	135
Abbildung 30:	Grobstrukturierung der Experteninterviews .....	144
Abbildung 31:	Darstellung der theoretischen Sättigung .....	145
Abbildung 32:	Angewandtes Regelsystem für den Transkriptionsprozess .....	148
Abbildung 33:	Angewandtes Regelsystem für den Analyseprozess.....	150
Abbildung 34:	Codierter Textauszug aus Interview J .....	151
Abbildung 35:	Integrativer Betrachtungsansatz.....	178
Abbildung 36:	Funktionale Grundidee des Entscheidungsmodells.....	184
Abbildung 37:	Einordnung spezifischer Beschaffungsaufgaben in das Beschaffungsprozessmodell.....	185
Abbildung 38:	Prozessdetaillierung der fünf Konzeptionierungsstufen des Entscheidungsmodells .....	188
Abbildung 39:	Übersicht des Verdichtungs- und Transformationsprozesses zur Ableitung des Kennzahlensystems.....	189
Abbildung 40:	Verdichtungsprozess modellrelevanter Einflussfaktoren .....	190
Abbildung 41:	Transformationsprozess modellrelevanter Einflussfaktoren in Modellkennzahlen .....	194
Abbildung 42:	Ableitung des Kennzahlensystems.....	198
Abbildung 43:	Transformationsprozess eines KNN nach dem EVA-Prinzip .....	202
Abbildung 44:	Inhaltliche Schwerpunkte bei der Grundlagenvermittlung .....	203
Abbildung 45:	Modell des Signalverarbeitungsprozesses eines künstlichen Neurons in Anlehnung an das biologische Vorbild .....	207
Abbildung 46:	Schematische Darstellung gängiger Aktivierungsfunktionen .....	209
Abbildung 47:	Exemplarische integrative Darstellung der externen und internen Netztopologie eines KNN .....	211
Abbildung 48:	Klassifizierungsmöglichkeit zur Unterscheidung gängiger Netzarchitekturen .....	213
Abbildung 49:	Klassifizierungsmöglichkeit von Lernalgorithmen .....	215
Abbildung 50:	Prozessdarstellung des Überwachten Lernens .....	215
Abbildung 51:	Funktionale Anpassungsfähigkeit eines KNN.....	219
Abbildung 52:	..... Netztopologie des Entscheidungsmodells .....	222
Abbildung 53:	Festlegung der Netztopologie mithilfe der Simulationssoftware MemBrain .....	223
Abbildung 54:	Exemplarisches Beispiel für den Prozess der Informationsverdichtung .....	227
Abbildung 55:	Ganzheitliche Prozessdarstellung der Datenerhebung .....	229
Abbildung 56:	Import und Gruppierung der skalierten Daten mithilfe des Lesson Editors von MemBrain .....	231
Abbildung 57:	Die zwei Phasen des Backpropagation-Algorithmus (BPA) .....	232

---

Abbildung 58:	Festlegung von Lernalgorithmus und Lernparameter mithilfe des Teacher Managers.....	238
Abbildung 59:	Bestimmung Optimum für Trainingsabbruchs in Abhängigkeit der Fehlerfunktion.....	240
Abbildung 60:	Funktionsbeschreibung und modifizierbare Einstellungen des Skriptes TrainValidate .....	241
Abbildung 61:	Netzfehler zum Zeitpunkt des optimalen Trainingsabbruchs $Z_{opt}$ .....	242
Abbildung 62:	Finale externe Netztopologie des Entscheidungsmodells .....	243
Abbildung 63:	Schematische Darstellung des Entscheidungsmodells .....	247
Abbildung 64:	Schaubild der schematischen Prozessdarstellung des Demonstrators	253
Abbildung 65:	Selektionsprozess der Datenauswahl.....	254
Abbildung 66:	Wirkungszusammenhänge der Modellvariablen .....	258
Abbildung 67:	Prozess der Modellsimulation.....	260
Abbildung 68:	Transformierte Ergebnisdarstellung der Modellsimulation .....	262
Abbildung 69:	Anwendbarkeit und Nutzenbeitrag des Entscheidungsmodells für spezifische Beschaffungsaufgaben des Beschaffungsprozesses.....	269
Abbildung 70:	Funktionsbereichsübergreifende Kopplung des Entscheidungsmodells .....	279

#### IV. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Detaillierung Forschungsziele .....	6
Tabelle 2:	Ranking Plattformstandardisierungsgrad globaler OEMs .....	24
Tabelle 3:	Gesamtübersicht struktureller Komplexitätstreiber .....	89
Tabelle 4:	Zuordnungsmatrix der Komplexitätstreiber auf die Funktionsbereiche der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette .....	103
Tabelle 5:	Gesamtübersicht Modularisierungseffekte gruppiert nach den Erfolgsfaktoren .....	109
Tabelle 6:	Zuordnungsmatrix der Effektwirkung von Modularisierung auf die .....	125
Tabelle 7:	Funktionsbereichsfokussierung relevanter Arbeiten mit Themenschwerpunkt Modularisierung .....	128
Tabelle 8:	Funktionsbereichsfokussierung relevanter Arbeiten mit Themenschwerpunkt Komplexität .....	128
Tabelle 9:	Detailübersicht durchgeführter Experteninterviews .....	140
Tabelle 10:	Komplexitätsverständnis (Praxisanalyse) .....	152
Tabelle 11:	Zuordnungsmatrix Effektwirkung der Komplexität mit Praxisbezug .....	165
Tabelle 12:	Zuordnungsmatrix Effektwirkung der Modularisierung mit Praxisbezug .....	166
Tabelle 13:	Expertenanforderungen an ein anwendungsorientiertes Entscheidungsmodell .....	181
Tabelle 14:	Bewertung der Vorteilhaftigkeit eines KNN .....	183
Tabelle 15:	Übersicht modellrelevanter Einflussfaktoren .....	192
Tabelle 16:	Zuordnungsmatrix der Integrationsfähigkeit modellrelevanter Einflussfaktoren über Modellkennzahlen .....	196
Tabelle 17:	Selektionsübersicht der Ausprägungsalternativen von KNN .....	216
Tabelle 18:	Kennzahlenspezifische Ableitungsvorschriften .....	227
Tabelle 19:	Datenskalierung auf Basis der linearen Transformation .....	230
Tabelle 20:	Übersicht gewählter Lernparameter .....	237
Tabelle 21:	Gewichtsmatrix des besten Netzes zum Zeitpunkt des Trainingsoptimums .....	244
Tabelle 22:	Matrix der kennzahlenbasierten Wirkungszusammenhänge .....	244
Tabelle 23:	Qualitative Beurteilung für die Eignung von KNN .....	250
Tabelle 24:	Modifiziertes Faktorensatz .....	258
Tabelle 25:	Ergebnis der Modellsimulation .....	261
Tabelle 26:	Analyseergebnisse der Pilotanwendung .....	265
Tabelle 27:	Zielerreichungsgrad gesetzter Forschungsziele .....	277



## 1. Einleitung

### 1.1. Ausgangssituation und Forschungsbedarf

Innerhalb des Beziehungsgeflechts zwischen Markt und Unternehmen ist eine signifikante Zunahme der Komplexität festzustellen (vgl. Bliss 2000, S.2f.; Fixson 2007, S.97ff.; Kirchhof 2003, S.1), die durch die vorherrschende Intransparenz der Kosten-Nutzen-Wirkungen entlang der Wertschöpfungskette begünstigt wird (vgl. Müller et al. 2013, S.75). Folgerichtig ist die Komplexitätszunahme nicht auf einzelne Unternehmen beschränkt, sondern spiegelt sich innerhalb ganzer Wertschöpfungsnetzwerke wider (vgl. Kersten et al. 2013, S.90) und ist somit auch in der Beschaffung als Bestandteil der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette deutlich spürbar (vgl. Stölzle 2007, S.200).

Da die Komplexität eines Unternehmens in hohem Maß von dessen Marktaktivitäten determiniert wird, sieht sich ein Unternehmen bei jeder Interaktion mit seiner Umwelt einem Zielkonflikt zwischen Kosten und Nutzen seiner Aktivitäten ausgesetzt (vgl. Bliss 2000, S.12). Gleichzeitig führen steigende Komplexität und Intransparenz zu einem erhöhten Risiko im Hinblick auf das Treffen betriebswirtschaftlicher Entscheidungen (vgl. Blumberg et al. 2008, S.4).

Um dieser durch den ökonomischen und demographischen Wandel gestiegenen Komplexität entgegen zu wirken, wird der Implementierung von Modularisierungskonzepten sowohl in der Wissenschaft als auch in der Wirtschaft zunehmend Bedeutung zugesprochen (vgl. Campagnolo & Camuffo 2010, S.259; Fixson 2007, S.85ff; Gershenson et al. 2003, S.295; Morris & Donnelly 2006, S.262). Vor allem innerhalb der Automobilindustrie wird die Entwicklung und Implementierung modularer Standardisierungskonzepte zur Produktstrukturierung intensiv vorangetrieben. Beispielhaft kann hier der Volkswagen Konzern genannt werden, der seit der Markteinführung des Golf 7 im Jahr 2012 sein Produktportfolio von Fahrzeugen zunehmend auf Basis modularer Baukästen, als eine Form der modularen Produktstrukturierung, aufbaut. Dadurch kann gerade der Automobilindustrie ein hoher Reifegrad bei der Anwendung modularer Baukästen bescheinigt werden.

OEMs<sup>1</sup> verfolgen mit der Implementierung verschiedenster Modularisierungskonzepte das Ziel, sowohl die aktuellen technischen Entwicklungstendenzen als auch den Differenzierungszwang innerhalb des Produktportfolios zur Befriedigung des zunehmenden

---

<sup>1</sup> Unter dem Begriff Original Equipment Manufacturer (OEM) wird im Rahmen dieser Arbeit entsprechend der Definition von PILLER UND WARINGER (1999, S.18) „eine wirtschaftliche Einheit verstanden, die selbsterstellte und/ oder fremdbeschaffte Güter zu einem Endprodukt verbindet und diese am Markt Endverbrauchern anbietet.“

Individualisierungsanspruchs der Kunden kosten- und komplexitätsoptimiert bewerkstelligen zu können (vgl. Junge 2005, S.2; Krusche et al. 2004, S.929; Salerno 2001, S.93f.; Skirde 2015, S.1; Takeishi & Fulimoto 2001, S.385).<sup>2</sup>

Nach Einschätzung des Volkswagen Konzerns liegen die Herausforderung globaler OEMs darin, ihr Produktportfolio flexibel sowohl an die kulturellen Besonderheiten als auch an die unterschiedlichen wirtschaftlichen Gegebenheiten einzelner Regionen anzupassen, um das wachsende individuelle Mobilitätsbedürfnis der Menschen befriedigen zu können (vgl. Hackenberg 2011, S.48ff.). Damit wird das Produktportfolio in hohem Maß durch den Zwang zur Anpassungsfähigkeit an einzelne regionale Märkte determiniert. Dieser externe Anpassungszwang spiegelt sich im Unternehmen sowohl in der Gestaltung implementierter Produktstrukturierungskonzepte als auch im existierenden Kosten- und Komplexitätsniveau wider. Die Harmonisierung der augenscheinlichen Gegensätze von kostengetriebener Effizienz<sup>3</sup> und kundengetriebener Produktvielfalt beschreibt seit Jahren das weiterhin zu lösende aktuelle Problem vieler OEMs (vgl. Hüttenrauch & Baum 2008, S.1).

Durch die Implementierung angesprochener Modularisierungskonzepte erhoffen sich Unternehmen, die positiven Effekte hinsichtlich der Erfolgsfaktoren Kosten, Qualität, Zeit, Flexibilität und Risiko zur Erhaltung und Verbesserung der eigenen Wettbewerbsfähigkeit zu realisieren (vgl. Fixson 2007, S. 94; Kersten et al. 2011, S.20; Schuh et al. 2013, S.82; Werners & Pietschmann 2011, S.58). Gleichzeitig soll der angesprochene Konflikt zwischen Effizienz und Vielfalt gemeistert werden (vgl. Hüttenrauch & Baum 2008, S.2).

Die positive Erfolgswirkung von Modularisierung konnte bereits in empirischen Studien nachgewiesen werden (vgl. Eitelwein et al. 2012, S.84). Weiterhin führt WILDEMANN (2001, S.4) aus, dass durch den Einsatz modularer Produktstrukturen die Erschließung neuer Absatzmärkte und hieraus resultierende Umsatzsteigerungen möglich sind, ohne die Unternehmenskomplexität zu erhöhen.

Gleichzeitig ist zu den Auswirkungen einer zunehmenden Modularisierung auf die Höhe der zu realisierenden Kosteneinsparungen und das existierende Komplexitätsniveau noch keine einheitliche abschließende Aussage getroffen worden (vgl. Fixson & Clark 2002, S.131). Laut einer Studie von WARBURTON ET AL. (2013) liegen potenzielle Kosteneinsparungen durch die Generierung zusätzlicher Skaleneffekte nach Einschätzung der befragten OEMs in einem Intervall von 2-5% bis annähernd 20%. Da 55-70% der Kosten eines OEMs durch den Fremdbezug von Fahrzeugkomponenten verursacht werden, muss vor allem der Unternehmensbereich Beschaffung bei der skalenbezogenen Kostenoptimierung fokussiert betrachtet werden. Weiterhin betonen die Autoren, dass es kaum Hinweise über eine positive Korrelation zwischen Volumenwachstum und Rendite

---

<sup>2</sup> Individualisierung wird als der höchstmögliche Differenzierungsgrad verstanden und orientiert sich nicht an den Anforderungen einer Kundengruppe sondern am Anspruch eines individuellen Nachfragers (vgl. Gonsior 2008, S.14).

<sup>3</sup> Effizienz spiegelt das Verhältnis zwischen eingesetzten Mitteln und erzieltm Ergebnis wider. Effizientes Handeln setzt voraus, Dinge richtig zu machen, wohingegen effektives Handeln dadurch beschrieben wird, die richtigen Dinge zu machen (vgl. Hüttenrauch & Baum 2008, S.5).

gibt. Ferner führen die Autoren aus, dass mit steigendem Produktionsvolumen je Plattform die zu erzielenden Einsparungspotenziale tendenziell abnehmen und begründen die negative Korrelation damit, dass OEMs mit zunehmenden produzierten Jahresvolumen ihre Produktion entsprechend existierender Kapazitäten global auf mehrere Standorte aufteilen. Dies spiegelt sich ebenso in den Kosten beim Lieferanten wider, da auch hier mit steigendem Bedarf in zusätzliche Produktionslinien und Werkzeuge investiert werden muss.

Darüber hinaus sind die derzeit existierenden methodischen Ansätze zur Gestaltung modularer Baukästen in einem hohen Maß durch eine vorrangig produktorientierte Sichtweise geprägt, bei der der modulare Konstruktionsgedanke des Baukastens und seiner Bestandteile im Vordergrund steht. Die Auswirkung auf das Gesamtunternehmen im Allgemeinen und die Beschaffung im Besonderen wird hierbei nicht hinreichend genug betrachtet.

Resultierend aus dem beschriebenen Sachverhalt gestaltet es sich für Unternehmen schwierig, eine Aussage darüber zu treffen, inwieweit die Umsetzung modularer Baukästen Optimierungspotenziale bereitstellt oder aber zu einer Erhöhung des unternehmensinternen bereichsübergreifenden Abstimmungs- und Koordinierungsaufwand führt, somit Kapazitäten bindet und Kosten verursacht (vgl. Kohlhase 1997, S.3).

Eine Aussagefähigkeit hierüber besitzt vor allem für die Beschaffung enorme Wichtigkeit, um ihrem hohen Stellenwert im Unternehmen hinsichtlich ihres Beitrags zum Unternehmenserfolg gerecht werden zu können (vgl. Kap. 2.1.2.4). Erst durch eine am Unternehmensziel ausgerichtete komplexitäts- und kostenoptimale Beschaffungsstrategie kann der Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit gesichert werden.

Aus Beschaffungssicht ist eine Beurteilung der Wirtschaftlichkeit modularer Baukästen aber erst dann gegeben, wenn eine ganzheitliche Betrachtung der beschriebenen Thematik erfolgt und existierende Wechselwirkungen zwischen Komplexität, modularem Baukasten und Beschaffung in einem Modellkonzept integriert werden. Folgerichtig sehen KERSTEN ET AL. (2011, S.19) vor allem bei der Untersuchung der Modularisierungswirkung auf Kosten und Komplexität weiteren Forschungsbedarf.

Basierend auf diesem belegten Forschungsbedarf zur Überwindung der bestehenden Forschungslücke liegt das Hauptforschungsziel dieser Arbeit in der:

Zo: Konzeption eines Entscheidungsmodells, welches der Beschaffung ermöglicht, die aus der Anwendung modularer Baukästen resultierenden Effekte hinsichtlich einer komplexitätsoptimierenden Beschaffungsstrategie gezielter auszuschöpfen und gleichzeitig die Prognosefähigkeit der Kosten-Nutzen-Wirkung beschaffungsstrategischer Entscheidungen im Umgang mit modularen Baukästen zu verbessern.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Unter dem Begriff der Prognose wird die „fundierte Voraussage von Entwicklungen, Zuständen oder Ereignissen, die zu einem späteren Zeitpunkt eintreten“, verstanden (Heuer 1997, S.155).

Dafür wird die bisher vorrangig angewandte produktorientierte Sichtweise in Bezug auf Modulare Baukästen um eine Beschaffungsperspektive erweitert. Die beschaffungsfokussierte Identifikation relevanter Einflussfaktoren in Form von Komplexitätstreibern und Modularisierungseffekten sowie deren integrative Zusammenführung in ein strategisches Entscheidungsmodell stellen die Kernziele der Arbeit dar.

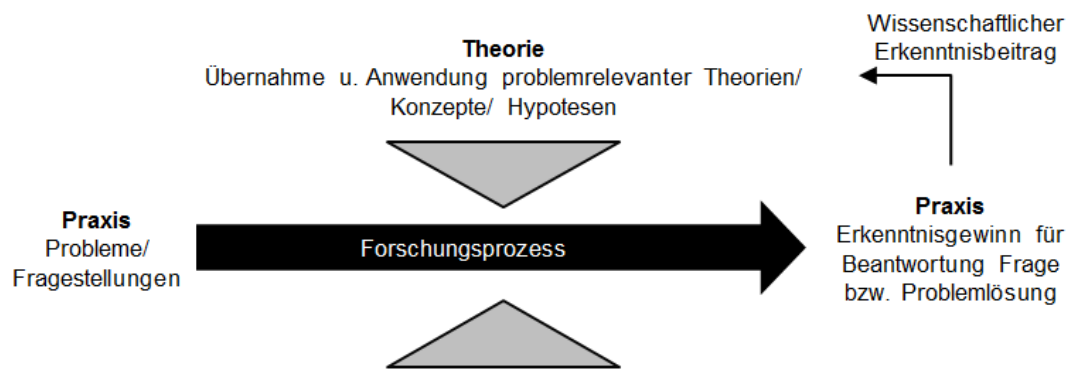
Somit wird einerseits der aktuelle Stand der Wissenschaft unter dem Aspekt einer ganzheitlichen Betrachtung erweitert und andererseits der steigende Einfluss der Beschaffung auf den wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens berücksichtigt. Durch die Fokussierung der wechselseitigen Beziehungen der drei Themenfelder Komplexität, modularer Baukasten und Beschaffung wird untersucht, welchen Einfluss modulare Baukästen auf die Beschaffung haben und wie die induzierte Komplexität aus Sicht der Beschaffung gezielt optimiert werden kann.

## 1.2. Forschungsansatz und Forschungsdesign

Der in dieser Arbeit zur Beantwortung der Forschungsfrage gewählte Forschungsansatz begründet sich auf die Ausführungen von ULRICH (1982) zur anwendungsorientierten Wissenschaft. ULRICH (1982, S.1) charakterisiert die anwendungsorientierte Wissenschaft als Tätigkeit, bei der basierend auf einer Übernahme bzw. Anwendung problemrelevanter Theorien und theoriegeleiteter Konzepte die Entwicklung von Regeln, Modellen und Verfahren für das praktische Handeln verfolgt wird. Aufgrund der engen Verzahnung von Theorie und Praxis spricht ULRICH (1982, S.1) in diesem Zusammenhang von einer „wissenschaftsgeleiteten Praxis“. Die anwendungsorientierte Forschung stellt das Bindeglied zwischen Grundlagenforschung und Praxis dar und schafft somit die Voraussetzungen für ein wissenschaftsgeleitetes Verhalten bei der Lösung praktischer Problemstellungen (vgl. Ulrich 1982, S.3).

Basierend auf einer bestehenden Fragestellung bzw. eines zu lösenden Problems aus der Praxis wird unter Zuhilfenahme bestehender wissenschaftlicher Theorien und Konzepte ein Forschungsprozess durchlaufen, an dessen Ende ein Erkenntnisgewinn erzielt wird, der zur Beantwortung der Frage bzw. zur Lösung des Problems beiträgt. Das Ziel der anwendungsorientierten Forschung liegt demnach primär in der praxisbezogenen Verwertung der Forschungsergebnisse (vgl. Kirchhof 2033, S.5). Dabei sollte es stets Anspruch des Forschenden sein, dass aus den erlangten praxisfokussierten Ergebnissen auch stets ein wissenschaftlicher Erkenntnisbeitrag ableitbar ist.

Da der Forschungsansatz der anwendungsorientierten Wissenschaft in hohem Maß die von GLÄSER UND LAUDEL (2009, S.30ff.) postulierten vier methodologischen Prinzipien des Forschungsprozesses widerspiegelt, ist es Anspruch dieser Arbeit, dass sich der gewählte Forschungsprozess immer auch an der Entsprechung dieser Prinzipien orientiert, die da lauten: Prinzip der Offenheit, Prinzip des theoriegeleiteten Vorgehens, Prinzip des regelgeleiteten Vorgehens und Prinzip des Verstehens. Eine schematische Darstellung des gewählten Forschungsansatzes ist in der folgenden Grafik dargestellt.



**Methodologische Prinzipien des Forschungsprozesses**

- Prinzip der Offenheit
- Prinzip des theoriegeleiteten Vorgehens
- Prinzip des regelgeleiteten Vorgehens
- Prinzip des Verstehens

Abbildung 1: Forschungsansatz der anwendungsorientierten Wissenschaft

Führt man sich weiterhin vor Augen, dass die aufgezeigte Problemstellung betriebswirtschaftlicher Natur ist, so lässt sich die Arbeit in das Feld der Wirtschaftsforschung, als eine anwendungsorientierte Sozialwissenschaft, einordnen (vgl. Müller 2000, S.13). In der Wirtschaftsforschung besteht das Ziel u.a. in der Informationsbereitstellung zur Lösung von bzw. Entscheidungsfindung bei betriebswirtschaftlicher Problemstellungen (vgl. Blumberg et al. 2008, S.4).

Die optimale Strukturierung des auf die Lösung der betrachteten Problemstellungen ausgerichteten Forschungsprozesses setzt die Wahl eines geeigneten Forschungsdesigns voraus. Die zu beantwortenden Forschungsfragen und gesetzten Forschungsziele determinieren somit stets das Forschungsdesign.

Das Forschungsdesign dieser Arbeit ist angelehnt an die Ausführungen von SAUNDERS ET AL. (2009, S.152) zur Thematik „sequential mixed method research“. Gewählt wird demnach eine sequentielle Kombination von qualitativer Forschungsmethodik zur explorativen Datenerhebung und quantitativer Forschungsmethodik zur nachgelagerten Datenanalyse. Dabei fließen die Ergebnisse der qualitativen Praxisanalyse (vgl. Abschnitt 4) in eine nachgelagerte quantitative Analyse der Wirkungszusammenhänge ein (vgl. Abschnitt 5). Der gewählte sequentielle Mixed-Methods-Ansatz ist Grundvoraussetzung für die systematische und strukturierte Beantwortung der Forschungsfragen und stellt gleichzeitig die effiziente Gestaltung des Forschungsprozesses sicher.

Das gewählte Forschungsdesign entspricht damit in seiner Grundstruktur dem Verallgemeinerungsmodell, das u.a. MAYRING (2001, S.8) beschreibt. Der qualitative Designbaustein ist dabei notwendige Vorbedingung für die nachgelagerte quantitative Forschung (vgl. Blumberg et al. 2008, S.196; Flick 2008, S.80; Hugl 1995, S.25).

Da die Beantwortung der Forschungsfragen und der daraus resultierende Erkenntnisgewinn zentrale Rollen einnehmen, wird im Rahmen dieser Arbeit eine pragmatische Sichtweise eingenommen (vgl. Saunders et al. 2009, S.109ff.).

### 1.3. Ableitung der Forschungsfragen und Detaillierung der Forschungsziele

Nachdem das Forschungsdesign der Arbeit dargelegt wurde, erfolgt im Folgenden die Ableitung relevanter Forschungsfragen.

Die Notwendigkeit der Formulierung von Forschungsfragen liegt dabei in der Schaffung eines einheitlichen Verständnisses über den Forschungsinhalt dieser Arbeit (vgl. Kaufmann & Denk, 2011, S.66). Im Detail lauten die aus dem Hauptforschungsziel  $Z_0$  (siehe Kap. 1.1) abgeleiteten Forschungsfragen wie folgt:

- F<sub>1</sub>: Welches sind die beschaffungsrelevanten Gestaltungsvariablen für das Entscheidungsmodell aus Sicht von Wissenschaft und Praxis?
- F<sub>2</sub>: In welchen Wirkungszusammenhängen stehen die identifizierten Modellvariablen zueinander?
- F<sub>3</sub>: Welche Handlungsempfehlungen lassen sich hinsichtlich einer komplexitätsoptimierenden Ausrichtung der Beschaffungsstrategie aus den gewonnenen Erkenntnissen ableiten?

Aus den genannten Forschungsfragen lassen sich wiederum Teilziele formulieren (vgl. Tabelle 1).<sup>5</sup> An dieser Stelle sei explizit darauf hingewiesen, dass die dargestellten Teilziele nicht per se zu Beginn der Themenbearbeitung feststanden, sondern mit fortschreitendem Forschungsprozess als relevante Ziele im Sinne von erforderlichen Meilensteinen zur Beantwortung der Forschungsfragen festgelegt wurden.

	Inhalt	Kapitel	Frage	
Forschungsprozess	1. Teilziel	Aufzeigen des Spannungsfeldes zwischen Komplexität, Modularem Baukasten und Beschaffung	2	
	2. Teilziel	Erarbeitung einer Übersicht beschaffungsrelevanter Komplexitätstreiber	3 und 4	F <sub>1</sub>
	3. Teilziel	Erarbeitung einer Übersicht beschaffungsrelevanter Modularisierungseffekte	3 und 4	F <sub>1</sub>
	4. Teilziel	Ableitung eines Kennzahlensystems als Basis für die Modellkonzeption	5	F <sub>2</sub>
	5. Teilziel	Aufzeigen der Wirkungszusammenhänge zwischen den Modellvariablen	5	F <sub>2</sub>
	6. Teilziel	Ableitung von Handlungsempfehlungen für eine optimierte Beschaffungsstrategie	6	F <sub>3</sub>

Tabelle 1: Detaillierung Forschungsziele

Durch das Aufzeigen des Spannungsfeldes zwischen Komplexität, modularem Baukasten und Beschaffung erfolgt die thematische Sensibilisierung sowie die hieraus ableitbare Notwendigkeit der Forschungsaktivität. Somit versinnbildlicht das **erste Teilziel** die Legitimation der Forschungsarbeit und legt den Grundstein für den Forschungsprozess.

Das **zweite** und **dritte Teilziel** sind eng miteinander verknüpft und umfassen die Identifizierung beschaffungsrelevanter Komplexitätstreiber und Modularisierungseffekte als zu

<sup>5</sup> Sowohl die explizite Nennung von Forschungsfragen als auch die Ausarbeitung von Teilzielen liefern einen wichtigen Beitrag für die Strukturierung und die Stringenz des gesamten Forschungsprozesses (vgl. Mayring 2001, S.10).

betrachtende Modellvariablen im weiteren Modellkonzeptionierungsprozess. Ausarbeitungen zur Erfüllung dieser beiden Teilziele beinhalten die Beantwortung der Frage, inwieweit die aus wissenschaftlichen Arbeiten extrahierten Einflussgrößen von der Praxis bestätigt oder aber als wenig relevant erachtet werden.

Darauf aufbauend liegt das **vierte Teilziel** in der Ableitung eines Kennzahlensystems. Die Relevanz dieses Teilziels ist damit zu begründen, dass der inhaltliche Umfang und strukturelle Aufbau des Kennzahlensystems die Struktur und damit letztlich auch die zu erreichende Aussagekraft des Entscheidungsmodells determiniert.

**Das fünfte Teilziel** befasst sich mit der Eruierung der Wirkungszusammenhänge der zum Kennzahlensystem gehörenden Modellvariablen. Erst durch das explorative Aufzeigen etwaiger Abhängigkeiten der Modellvariablen und deren Relevanz ist es möglich mithilfe des zu entwickelnden Entscheidungsmodells das Optimierungspotenzial strategischer Maßnahmen zu identifizieren.

Die Ableitung beschaffungsstrategischer Handlungsempfehlungen für einen komplexitätsoptimierenden Umgang mit modularen Baukästen beschreibt das **sechste Teilziel** dieser Arbeit. Dabei soll abschließend die Frage beantwortet werden, welcher strategische Mehrwert aus der Anwendung modularer Baukästen für die Beschaffung realisiert werden kann.

Diese Arbeit befasst sich somit mit der grundlegenden Frage, wie die Beschaffung die aus der Anwendung modularer Baukästen resultierenden Effekte hinsichtlich einer komplexitätsoptimierenden Beschaffungsstrategie gezielt ausschöpfen kann. Dies setzt die Kenntnis relevanter Einflussfaktoren in Form von Komplexitätstreibern und Modularisierungseffekten sowie deren Wirkung auf die Beschaffung und vice versa voraus. Die beschaffungsfokussierte Identifikation und integrative Zusammenführung dieser Einflussfaktoren in ein strategisches Entscheidungsmodell zur Prognose der Kosten-Nutzen-Wirkung beschaffungsstrategischer Entscheidungen stellen die Kernziele der Arbeit dar. Hierbei werden sowohl die modulare Struktur des Fahrzeugs als auch vorgelagerte Make-or-Buy Entscheidungen als gegeben angenommen. Damit ist diese Arbeit thematisch klar von Arbeiten zum Modular Sourcing abzugrenzen.<sup>6</sup>

#### 1.4. Aufbau und Gang der Untersuchung

Die Arbeit orientiert sich hinsichtlich ihres strukturellen Aufbaus und prozessualen Gangs an dem zyklischen Modell zur Strukturierung wissenschaftlicher Arbeiten. KIEGELMANN (2002, S.5) führt hierzu aus: „There are three general perspectives within research processes that can be distinguished: application, exploration and explication.“ Folglich lassen sich alle Aktivitäten innerhalb des Forschungsprozesses den drei Grundperspektiven Anwendung, Exploration und Erklärung zuordnen. Die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit einer Thematik ist hierbei nicht als ein linearer Prozess zu verstehen, sondern

---

<sup>6</sup> Unter dem Begriff des Modular Sourcing wird der Bezug einbaufertiger modularer Baugruppen oder Systemen verstanden (vgl. Piller & Waringer 1999, S.52; Wannenwetsch 2004, S. 125).

lässt sich durch einen sich überlappenden zyklischen Prozess mit Rückkopplungsschleifen charakterisieren, der sich auch in der Strukturierung dieser Arbeit widerspiegelt (vgl. Kiegelmann 2002, S.5ff.).

Die Gliederung der Arbeit erfolgt in sieben Abschnitte. Ausgehend von bestehenden Erkenntnissen und Problemstellungen aus Wissenschaft und Praxis wurden in **Abschnitt 1** einleitend die Relevanz des Forschungsthemas erörtert und die Zielsetzungen dieser Arbeit abgeleitet.

In **Abschnitt 2** erfolgen die Darlegung theoretischer Grundlagen und die Ausarbeitung des zugrundeliegenden Begriffsverständnisses. Durch die Erläuterungen zur Systemtheorie und die Darstellung aktueller Entwicklungstendenzen in der Praxis wird die Arbeit sowohl in einen theoretischen als auch einen praktischen Bezugsrahmen eingeordnet. Dadurch werden die primären Betrachtungselemente Komplexität, modularer Baukasten und Beschaffung logisch miteinander verknüpft.

**Abschnitt 3** spiegelt den aktuellen Stand der Wissenschaft wider und bewertet themenrelevante Arbeiten hinsichtlich des Beitrags der Modularisierung zur Komplexitätsoptimierung aus Sicht der Beschaffung. Die theoriegeleitete Identifizierung möglicher relevanter Einflussgrößen in Form von Modularisierungseffekten und Komplexitätstreibern ist hierbei zentrales Ziel dieses Kapitels.

In Analogie zu Abschnitt 3 befasst sich **Abschnitt 4** mit dem aktuellen Stand der Praxis. Am Beispiel der Automobilindustrie wird der beschaffungsfokussierte Einfluss modularer Baukästen auf die Komplexität des Fahrzeug-Entstehungs-Prozesses untersucht. Die Durchführung von Experteninterviews und somit die Entscheidung für eine explorative Forschungsmethodik soll zielgerichtet dazu beitragen, etwaig bestehende Diskrepanzen zwischen Wissenschaft und Praxis aufzuzeigen.

In **Abschnitt 5** erfolgt die Konzeption des strategischen Entscheidungsmodells. Hierfür werden die in Abschnitt 3 und 4 identifizierten relevanten Einflussgrößen in einem Kennzahlensystem zusammengeführt. Als quantitative Forschungsmethodik stellt die strukturelle Entwicklung eines strategischen Entscheidungsmodells auf Basis eines Künstlichen Neuronalen Netzes (KNN) den zentralen Bestandteil dieses Abschnittes dar. Der Abschnitt schließt mit der Verifizierung der Eignung KNN für die Modellkonzeptionierung.

Daran anschließend stehen in **Abschnitt 6** die praxisorientierte Konzeptvalidierung des Modells durch Anwendung eines Demonstrators sowie die Ableitung von Handlungsempfehlungen und Darlegung des theoretischen und praktischen Erkenntnisbeitrags im Fokus.

In **Abschnitt 7** erfolgt im Rahmen der Schlussbetrachtung die Auseinandersetzung mit der Frage, inwieweit es die vorliegende Arbeit geschafft hat, die in Abschnitt 1 aufgezeigte

Forschungslücke zu schließen. Die zentralen Ergebnisse und damit der realisierte Mehrwert der Arbeit werden zusammenfassend dargestellt. Der Abschnitt schließt mit der Diskussion existierender Limitationen und dem Aufzeigen des weiteren Forschungsbedarfs.

Die schematische Darstellung über den Aufbau und Gang dieser Arbeit ist in Abbildung 2 detailliert dargestellt.

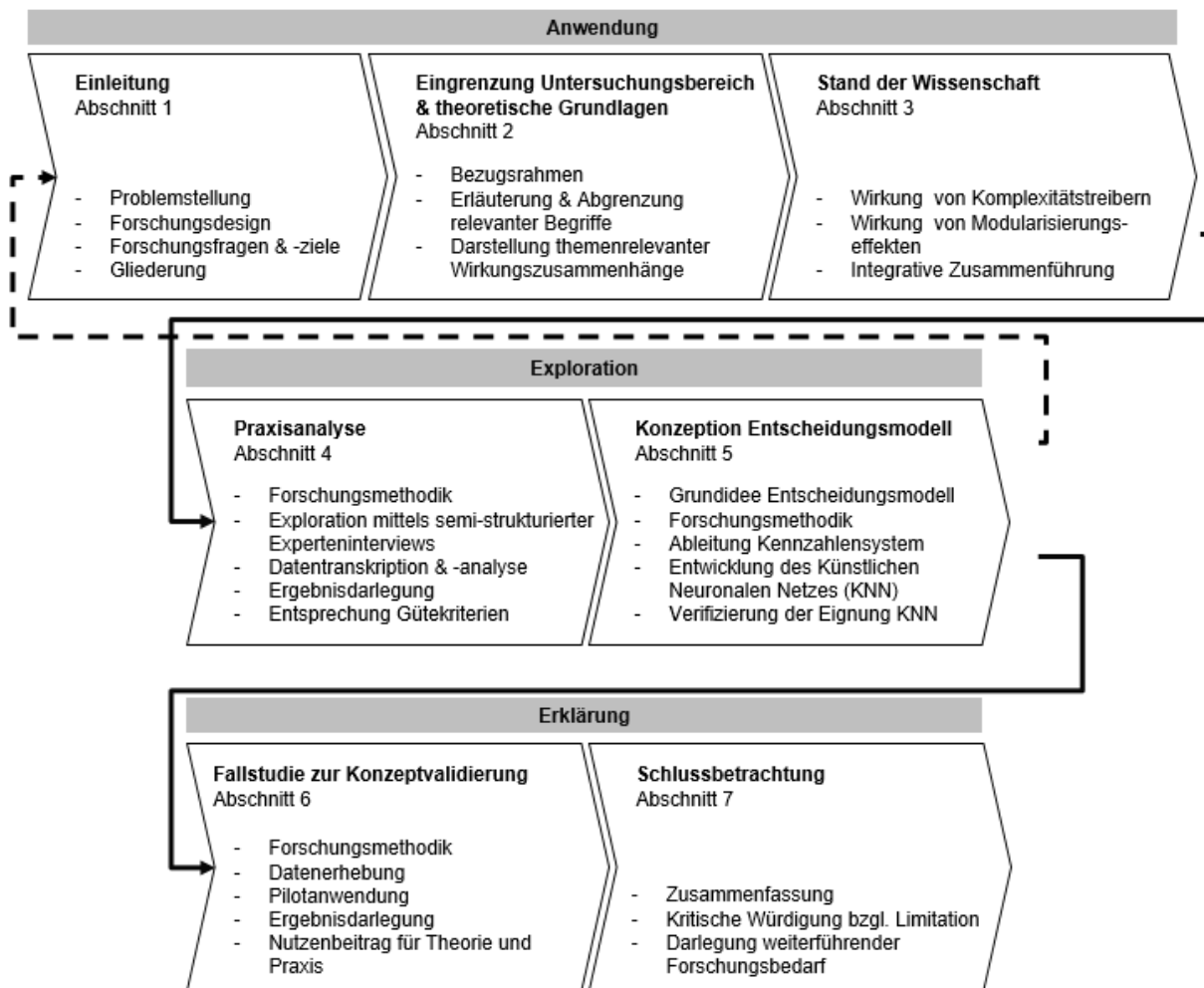


Abbildung 2: Schematische Darstellung zum Aufbau und Gang der Untersuchung

## 2. Eingrenzung des Untersuchungsbereichs und theoretische Grundlagen

Aufbauend auf den einleitenden Ausführungen und der Detaillierung der Forschungsziele liegt die Zielstellung dieses Abschnitts in der thematischen Einordnung des Forschungsschwerpunktes.

Im ersten Teil (Kap. 2.1) erfolgt hierzu der Aufbau eines Bezugsrahmens. Durch die Einbettung der Arbeit sowohl in eine theoretische als auch in eine praktische Bezugsebene erfolgt eine klare Eingrenzung des Untersuchungsbereichs. Die schematische Verknüpfung der forschungsrelevanten Betrachtungselemente Komplexität, modularer Baukasten und Beschaffung spannt darüber hinaus das zu Grunde liegende Beziehungsgeflecht auf und determiniert den strukturellen Aufbau des nachgelagerten Forschungsprozesses.

Hierauf aufbauend befasst sich der zweite Teil (Kap. 2.2) mit der Erläuterung und Abgrenzung zentraler Begrifflichkeiten. Durch die logische Verknüpfung einzelner Begrifflichkeiten wird die bereits in der schematischen Darstellung des Bezugsrahmens aufgezeigte thematische Festlegung der forschungsrelevanten Betrachtungselemente Komplexität, modularer Baukasten und Beschaffung dargelegt.

Der Abschnitt schließt mit der zusammenfassenden Darstellung der gewonnenen Erkenntnisse (Kap.2.3).

### 2.1 Entwicklung des Bezugsrahmens

Wissenschaftler setzen sich in ihrem Forschungsalltag mit wissenschaftlichen Untersuchungen auseinander, die mit einer hohen Regelmäßigkeit durch einen hohen Grad komplexer, somit vielschichtiger und zum Teil mehrdeutiger Zusammenhänge gekennzeichnet sind (vgl. Maucher [ohne Jahresangabe], S.1). In diesem Kontext ist der Aufbau eines Bezugsrahmens unabdingbar, da selbiger durch seine inkludierte Ordnungsfunktion den Wissenschaftler bei seiner Planung und Strukturierung des Forschungsprozesses unterstützt und einen effizienten problemlösungsorientierten Ansatz zur Erreichung der Forschungsziele sicherstellt (vgl. Kubicek, S.18).

Da das thematische Vorverständnis durch ein hohes Maß an Subjektivität gekennzeichnet ist, besteht die Notwendigkeit in der Darstellung der zugrunde liegenden Betrachtungsperspektive, die es dem Forscher ermöglicht, die forschungsrelevanten Zusammenhänge sowohl gedanklich als auch sprachlich zum Ausdruck zu bringen (vgl. Kubicek 1977, S.17).

MALIK (1996, S.21) versteht unter einem Bezugsrahmen „[...] ein System von Prämissen [...], das ein in sich meistens aber nicht notwendigerweise, konsistentes „Bild“ einer Realität entstehen lässt. Ein Bezugsrahmen ist vergleichbar mit einem Koordinatensystem, das bestimmt, was als relevant angesehen wird, auf welche Weise Wahrnehmungen, Beobachtungen, Aussagen, Behauptungen usw. zu interpretieren sind, [...]“.

Ein Bezugsrahmen kann zusammenfassend demnach als ein theoretisch geprägtes Konstrukt verstanden werden, welches die aus der Problemstellung abgeleiteten Verbundenheitsannahmen in Form von wechselseitigen Beeinflussungsbeziehungen abbildet (vgl. Kubicek 1977, S.18).

Der zur Verdeutlichung der angesprochenen Ursache-Wirkungs-Beziehung der forschungsrelevanten Betrachtungselemente als zweckmäßig erachtete Bezugsrahmen ist in Abbildung 3 dargestellt.<sup>7</sup>

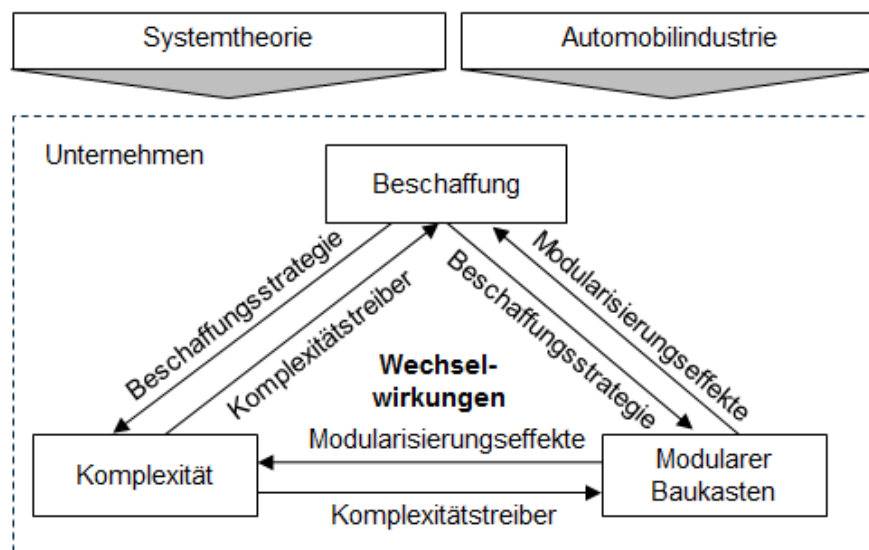


Abbildung 3: Schematische Darstellung zum Bezugsrahmen

Basierend auf dem in Abschnitt 1 aufgezeigten Forschungsbedarf konzentriert sich diese Arbeit in der Identifikation der unternehmensbezogenen Wirkungszusammenhänge von Komplexität, modularem Baukasten und Beschaffung, die folglich die drei primären Analyseeinheiten darstellen.

Da ein Unternehmen abstrakt formuliert als ein komplexes System zu verstehen ist, wird die Einbettung der Arbeit in den Kontext der Systemtheorie als theoretische Bezugsebene als sinnvoll erachtet (vgl. Kap. 2.1.1). Mit der Konzentration auf die Automobilindustrie als praktische Bezugsebene wird der Tatsache Rechnung getragen, dass basierend auf den Erkenntnissen aus Literaturrecherche und fortschreitendem Forschungsverlauf der Automobilindustrie bezogen auf die Forschungsthematik ein hoher Reifegrad bescheinigt werden kann (vgl. Kap. 2.1.2). Folglich ist der aus der Arbeit resultierende wissenschaftliche Fortschritt hier als besonders hoch einzuschätzen. Die Integration der theoretischen und praktischen Bezugsebene beim Aufspannen des Bezugsrahmens ermöglicht eine klare Abgrenzung des Untersuchungsbereichs und fördert gleichzeitig die von KUBICEK (1977, S.17) geforderte einheitliche Betrachtungsperspektive.

<sup>7</sup> Es ist zu betonen, dass der hier final dargestellte Bezugsrahmen mit fortschreitendem Forschungsverlauf einer stetigen Gültigkeitsprüfung unterzogen und bei Notwendigkeit iterativ modifiziert wurde.

Die aus der Problemstellung abgeleiteten Fragestellungen hinsichtlich des Wirkungszusammenhangs der Analyseeinheiten werden durch die dargestellten Pfeile symbolisiert (vgl. Kubicek 1977, S.18). Diese formulierten Verbundenheitsannahmen resultieren aus theoriegeleiteten Vorüberlegungen, um eine gezielte Fragestellung an die Realität sicherzustellen und nicht zielführenden induktiven Aktionismus zu vermeiden (vgl. ebenda, S.21).

Demnach wird davon ausgegangen, dass die Existenz von Modularisierungseffekten, Komplexitätstreibern und die Festlegung beschaffungsstrategischer Maßnahmen eine gegenseitige Beeinflussung hervorruft und damit jeweils Wechselwirkungen zwischen den Analyseeinheiten bestehen. Daher bilden die Identifikation relevanter Größen und deren Beziehungen in den Abschnitten 3 und 4 neben der Modellkonzeptionierung die zwei wichtigsten Teiletappen zur Erreichung der formulierten Forschungsziele.

### **2.1.1 Systemtheorie – Verständnis eines Unternehmens als komplexes System**

Folgt man den Ausführungen von WILLKE (2014, S.13), dann ist die Einbettung der Forschungsarbeit in eine theoretische Bezugsebene „unabdingbare Voraussetzung jeder praktischen Problemlösung, da sie das Instrumentarium für Beobachtungen, Analysen und Strategien bereitstellt. Dies ist notwendig, um verstehen zu können, welche Art und Qualität von Problemen vorliegt und welche Form der Intervention sinnvoll sein können“. Die einleitenden Ausführungen haben verdeutlicht, dass Unternehmen mit einem steigenden Komplexitätsniveau konfrontiert sind. Komplexität und deren Entstehung ist dabei eng mit dem Systembegriff verbunden. So zeigt u.a. SKIRDE (2015, S.11) in seiner Arbeit unter Bezug auf weiterführende Arbeiten, die Komplexität als eine direkte Systemeigenschaft nennen, die enge Verzahnung zwischen Komplexität und Systembegriff auf. Resultierend hieraus bildet die Systemtheorie die theoretische Bezugsebene der Arbeit, da sie bezogen auf das Verständnis von Komplexität eine Brückenfunktion einnimmt und somit zur inhaltlichen Verknüpfung der betrachteten Themenschwerpunkte dieser Arbeit beiträgt (vgl. Lammers 2012, S.9).

Nachfolgend soll daher der systemtheoretische Ansatz erläutert werden. Im Anschluss erfolgt dann die Übertragung der systemtheoretischen Grundüberlegungen auf das Unternehmen, wodurch ein Verständnis für Unternehmen als komplexe Systeme geschaffen wird.

#### **2.1.1.1 Schaffung eines systemtheoretischen Grundverständnisses**

Allgemein gesprochen befasst sich die Systemtheorie inhaltlich mit der Analyse komplexer Zusammenhänge (vgl. Horváth 2009, S.83). Da der systemtheoretische Ansatz ferner auf dem Beziehungsgeflecht des Systems mit seiner Umwelt basiert, versteht WILLKE (2014, S.7) die moderne Systemtheorie auch als System-Umwelt-Theorie.

Unter einem System ist der hierarchische Aufbau eines Ganzen aus mehreren Einzelteilen zu verstehen. Ein System besitzt die Eigenschaft, gemäß einer gewünschten Abstraktionshöhe, in beliebig kleine Subsysteme mit differenzierbaren Relationen aufgeteilt werden zu können (vgl. Mayer 2007, S.11f.; Willke 2014, S.61). Die kleinsten und nicht mehr weiter zerlegbaren Bestandteile eines Systems werden als Elemente bezeichnet (vgl. Scherf 2003, S.35; Zettl 2009, S.28). Jedes System kann durch seine systemspezifische Struktur, basierend auf der selektiven Verknüpfung seiner Elemente und der zeitabhängigen Systemzustände durch die Existenz von Wechselwirkungen (Relationen) zwischen diesen Elementen, beschrieben werden (vgl. Scherf 2003, S.9 u. 42).

Die hieraus entstehende Wechselwirkung zwischen zweckorientiertem Strukturaufbau (Gesamtheit aller Elemente und deren Relationen) und strukturbedingtem Verhalten des Systems beschreiben KREIMEYER UND LINDEMANN (2011, S.36): „The system fulfills a purpose, which guides the meaningful arrangement of entities and relations. The behavior of the system is, in turn, the arrangement of the system`s elements.”

Um der genannten Zweckerfüllung zu entsprechen, ist der Aufbau von Austauschbeziehungen zwischen System und Systemumwelt erforderlich. BROCKHAUS (2013, S.15) sieht in dem Aufbau von Austauschbeziehungen die Notwendigkeit zur Sicherstellung der Lebensfähigkeit eines Systems.

Aufgrund existierender wechselseitiger Austauschbeziehungen zur Systemumwelt wird von einem offenen System gesprochen (vgl. Luhmann 1975, S.45; Macharzina & Wolf 2005, S.71). Ein offenes System ist u.a. dadurch gekennzeichnet, dass es ausgehend von den Subsystemen bzw. Elementen eines Systems solche Relationen gibt, die systemgrenzen-übergreifend Beziehungen in Form von Input-Output-Beziehung zu systemfremden Elementen und anderen Systemen zum Austausch von Informationen oder Materialien unterhalten (vgl. Brockhaus 2013, S.15; Kirchhof 2003, S.9).

Auf höchster Meta-Ebene lässt sich die System-Umwelt-Beziehung dadurch beschreiben, dass das System durch existierende systemeigene Operationen Eingangsgrößen der Umwelt umwandelt und wieder an die Umwelt abgibt (vgl. Zettl 2009, S.28). MAYER (2007, S.11) beschreibt diese Operationen auch ganzheitlich als Funktion des Systems. Die Eingangsgrößen eines Systems werden dabei als Input und alle in ihrer Wirkungsrichtung entgegengesetzten Ausgangsgrößen als Output eines Systems bezeichnet (vgl. Mayer 2007, S.10).

Gleichzeitig baut das System mittels systemeigenen Operationen Systemgrenzen auf, die eine Abgrenzung des Systems zur Umwelt erwirken und so eine Unterscheidung von System und Umwelt ermöglichen. LUHMANN (1975, S.92) fasst dies unter dem Begriff der operativen Geschlossenheit zusammen. Folglich muss aufgrund der notwendigen Operationalisierbarkeit der Aussage ZETTLs (2009, S.27) teilweise widersprochen werden, wonach der Aufbau einer Systemgrenze für ein System eine willkürliche Handlung darstellt.

Durch die Einbettung in ein Beziehungsgeflecht stehen sowohl das System mit seiner externen Umwelt als auch die internen Systemelemente untereinander in einem stetigen wirkungs- und strukturbezogenen Gestaltungs- sowie Anpassungsprozess (vgl. Horváth 2009, S.79). Die beschriebenen Wechselwirkungen determinieren daher die einem zeitlichen Veränderungsprozess unterliegende Struktur eines Systems (vgl. Scherf 2003, S.7). Diese Beziehungen unterliegen somit keinesfalls einem statischen Zustand, sondern sind durch ein Maß an Dynamik charakterisiert (vgl. Luhmann 1975, S.66).

Die eingangs beschriebene strukturelle Selektion ermöglicht es einem System einerseits, den durch die Dynamik hervorgerufenen Grad der Unbestimmtheit sowohl der internen Systembeziehungen als auch der System-Umwelt-Beziehungen, die aus der Gesamtheit der abstrakt denkbaren Relationen seiner System-Elemente resultieren, zu reduzieren und führt andererseits zur Entstehung von Komplexität (vgl. Luhmann 1975, S.206).

Komplexität ist folglich eine Merkmalseigenschaft von Systemen, hervorgerufen durch eben diese beschriebene selektive Interaktion der Systeme und ihrer Systemelemente unter dem Einfluss ihrer Systemumwelt (vgl. Malik 1996, S.37; vgl. auch Bliss 2000, S.81). Da Komplexität sowohl eine Eigenschaft des Systems als auch der Umwelt darstellt, ist Komplexität nicht auf einzelne Elemente beschränkbar, sondern ist als eine kollektive Eigenschaft des strukturierten Gesamtsystems zu verstehen (vgl. Scherf 2003, S.67). KIRCHHOF (2003, S.50) beschreibt Komplexität folglich als inhärente Eigenschaft aller Systeme und führt aus: „Wenn man in diesem System leben will, muss man in und mit Komplexität leben.“

LUHMANN (1975, S.9) führt in diesem Zusammenhang aus, dass das inkludierte Komplexitätsniveau der Umwelt aufgrund der höheren Anzahl existierender Freiheitsgrade das Komplexitätsniveau des Systems um ein Vielfaches übersteigt und sieht in dem resultierenden Komplexitätsgefälle zwischen Umwelt und System das Grundproblem der Systemtheorie (vgl. ebenda, S.210). Als Folge dieses Komplexitätsgefälles, lassen sich zukünftige Systemzustände nicht mehr vollständig durch existierende Verhaltensmuster des Systems vorhersagen (vgl. Sargut & Gunther-McGrath 2011, S.25). Aber auch wenn man sich von dem Gedanken lösen muss, alle potentiell eintretenden Zustände komplexer Systeme prognostizieren zu können, ist die Kenntnis über die Gesetzmäßigkeit komplexer Systeme unabdingbar, um sich nicht in einem „naiven Machbarkeitsglauben“ zu verlieren (vgl. Malik 1996, S.14f.). Basierend auf der Systemtheorie kann somit ein Grundverständnis für die Entstehung von Komplexität geschaffen werden.

#### 2.1.1.2 Transferierung des Systemgedankens auf das Unternehmen

Überträgt man die systemtheoretischen Überlegungen des vorangestellten Kapitels auf das Unternehmen, so kann ein Unternehmen als offenes, sozio-technisches, dynamisches, vieldimensionales und damit komplexes System verstanden werden (vgl. Macharzina & Wolf 2005, S.71; Malik 1996, S.23; Mayer 2007, S.34; Kirchof 2003, S.38; Schuh 2005, S.5). Ein Unternehmen ist weiterhin charakterisiert „by flows of information

and materials across the borders of the firm“ (Brockhaus 2013, S.15). Dieses grundsätzliche Begriffsverständnis erweitert HORVÁTH (2009, S.79) um die Komponente der zweckorientierten Zielerreichung und die Einbettung der Unternehmung in ein Beziehungsgeflecht.<sup>8</sup> Demnach wirken bei einer Unternehmung die einzelnen Systemelemente auf Basis eines bewussten Gestaltungsprozesses zweckorientiert im Sinne der Zielerreichung zusammen (vgl. Horváth 2009, S.79).

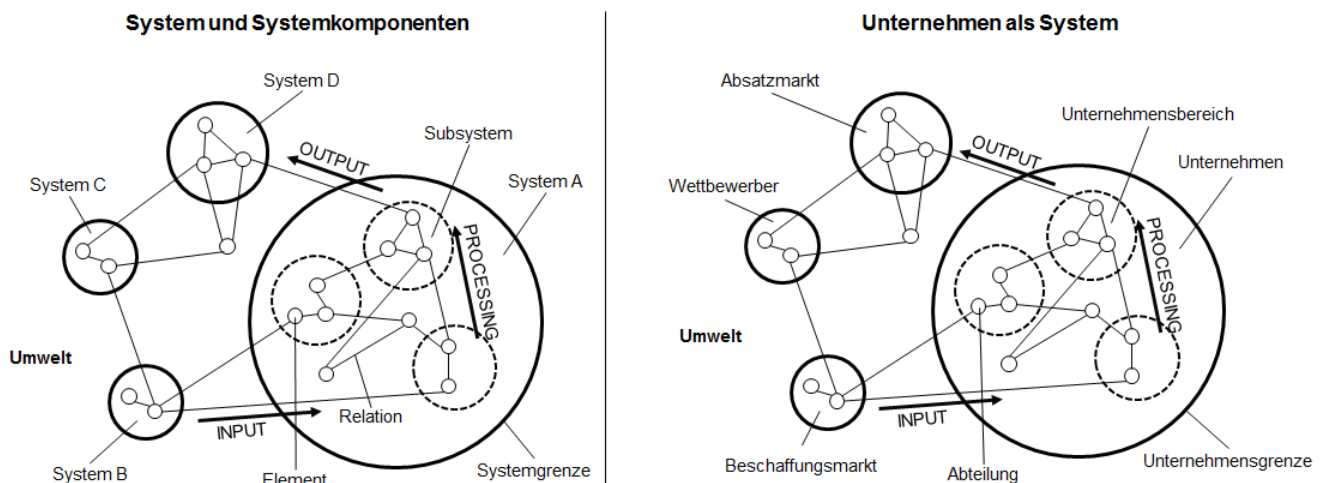


Abbildung 4: Systemtheoretische Darstellung eines Unternehmens

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Skirde (2015, S.11)

Abbildung 4 stellt das Unternehmen basierend auf den systemtheoretischen Vorüberlegungen abstrahiert dar. Die einzelnen Unternehmensbereiche, wie z.B. Entwicklung, Beschaffung oder Vertrieb, können als Subsysteme verstanden werden, die sich aus einer bestimmten Anzahl von Abteilungen zusammensetzen. Die Abteilungen bilden die Elemente, die sich über ihre spezifische Funktion den jeweiligen Unternehmensbereichen zuordnen lassen. Zwischen den Abteilungen existieren bereichsinterne und bereichsübergreifende Beziehungen, über die der Informations- und Materialfluss innerhalb des Unternehmens realisiert wird. Diese Beziehungen sind dabei nicht allein auf das Unternehmen beschränkt. Entsprechend dem Ansatz, Unternehmen als offene Systeme zu verstehen, bildet das Unternehmen auch Beziehungen mit anderen Systemen oder Elementen seiner Umwelt aus. Der Austausch von Leistungen und Informationen ist dabei Grundvoraussetzung für die Zweckerfüllung eines Unternehmens (vgl. Kirchhof 2003, S.35). Der Beschaffungsmarkt, der Absatzmarkt und Wettbewerber sind beispielsweise existierende Systeme der Unternehmensumwelt, mit denen das Unternehmen im Rahmen seiner Aktivitäten wechselseitige Austauschbeziehungen unterhält, um die eigene Zielerreichung zu verfolgen. Diese Austauschbeziehungen sind für das Unternehmen eine notwendige Bedingung, um das eigene Überleben sicherzustellen, setzen aber das

<sup>8</sup> Die Begriffe Unternehmung und Unternehmen werden in der betriebswirtschaftlichen Literatur synonym verwendet (vgl. Macharzina & Wolf 2005, S.15). Im Rahmen dieser Arbeit werden beide Begrifflichkeiten daher ebenfalls synonym verwendet.

Unternehmen gleichzeitig externen Umwelteinflüssen aus (vgl. Brockhaus 2013, S.15), die Einfluss auf das Komplexitätsniveau des Unternehmen haben. Unternehmen bestehen damit nicht nur aus Subsystemen, sondern können gleichzeitig selbst als ein Subsystem charakterisiert werden, welches über seine Umwelt in bestehende Rechts- und politische Systeme integriert und dadurch technischen, kulturellen, sozialen und wirtschaftlichen Einflüssen ausgesetzt ist (vgl. Schmieder & Thomas 2005, S.10).

Zusammenfassend können Unternehmen somit als zielorientierte, vieldimensionale, offene, dynamische und folglich als hochgradig komplexe Systeme verstanden werden (vgl. Bliss 2000, S.89; Kirchhof 2003, S.11), die sich in Bezug auf ihre Umwelt durch eine Input-Processing-Output-Funktion charakterisieren lassen (vgl. Macharzina & Wolf 2005, S.71).

### **2.1.2 Entwicklungen der Automobilindustrie und die Bedeutung der Beschaffung innerhalb der Automobilindustrie**

Nachdem im vorangestellten Kapitel der systemtheoretische Ansatz erläutert wurde, wird im nachfolgenden Kapitel mit den Ausführungen zur Automobilindustrie der Praxisbezug der Arbeit hergestellt, um eine einheitliche theoretische und praktische Verständnisebene zu schaffen und die Arbeit hinsichtlich ihres Kernthemas einzuordnen. Dazu wird im ersten Teil das existente Spannungsfeld zwischen externem Individualisierungsanspruch der Kunden (Kap.2.1.2.1) und internem Standardisierungszwang der Unternehmen (Kap.2.1.2.2) aufgespannt und gleichzeitig die fokussierte Betrachtung der Automobilindustrie begründend dargelegt. Daran anschließend erfolgt mit Vorgriff auf den weiteren Forschungsprozess die Beantwortung der Frage, warum die Beschaffung als primär relevanter, praxisbezogener Themenschwerpunkt dieser wissenschaftlichen Arbeit festgelegt wird (Kap.2.1.2.4).

#### **2.1.2.1 Individualisierungswünsche der Kunden erhöhen das Komplexitätsniveau innerhalb der Automobilindustrie**

*„It is a world where speed of business is rapid and accelerating, where new technologies create new products once stunning and useful, and where the pace of change has created an environment that is fraught with risk and reward“ (Baldwin & Clark 2000, S.1).*

Die Automobilindustrie zählt aufgrund ihres hohen Gesamtumsatzes und der weltweit mehr als 8 Mio. Beschäftigten zu den global wichtigsten Industriezweigen (vgl. Proff & Proff 2008, S.17; Reichhuber 2010, S.213) und nimmt gerade in Deutschland eine Schlüsselfunktion der Volkswirtschaft ein (vgl. Schneider 2011, S.31). Allein in Deutschland waren in der Automobilindustrie 2015 im Jahresmittel 792.500 Menschen beschäf-

tigt (VDA 2016, S.15). Der vom VDA geschätzte bzw. vorläufig angegebene Gesamtumsatz der deutschen Automobilindustrie lag für 2016 bei 404.611 Mio. EUR (VDA 2017, Internetquelle).

Gleichzeitig unterliegt die Automobilindustrie wie kaum ein anderer Industriezweig seit mehr als 10 Jahren vermehrt einem strategierelevanten Veränderungsprozess, hervorgerufen durch sich ändernde wirtschaftliche, technologische, ökologische, politisch-rechtliche und sozio-kulturelle Rahmenbedingungen (vgl. Bogaschewsky & Kohler 2007, S.143; Hüttenrauch & Baum 2008, S.33ff.; Proff & Proff 2008, S.45; Schneider 2011, S.34ff.). HÜTTENRAUCH UND BAUM (2008, S.2) sprechen in diesem Zusammenhang von der „Effizienten Vielfalt“ als dritte Revolution in der Automobilindustrie<sup>9</sup>.

Zu den prägenden Faktoren und herausfordernden Trends in der Automobilindustrie zählen u.a. (vgl. Göpfert et al. 2012, S.12ff.; Schneider 2011, S.37; Untiedt, 2008, S.110; Schiele et al. 2011, S.21; Schiele et al. 2012, S.1178):

- eine voranschreitende Globalisierung
- ein aus der steigenden Kundenorientierung<sup>10</sup> resultierender Anstieg angebotener Fahrzeugmodelle und -derivate
- ein zunehmender Kostendruck durch einen intensivierten Wettbewerb mit rückläufigen Renditen und die hieraus resultierende Fragmentierung der Märkte
- ein Anstieg der Bedeutung von Umweltaspekten und die daraus resultierende Verschärfung von Umweltregularien
- ein hoher Innovationsdruck vor allem im Bereich der E-Mobilität
- eine Neuausrichtung der Wertschöpfungskette begründet in einer zunehmenden Reduzierung der Wertschöpfungstiefe seitens der OEMs und gleichzeitiger Konsolidierungstendenzen auf dem Zuliefermarkt

Vor allem der aktuell diskutierte und von vielen OEMs vollzogene Übergang zur Elektromobilität stellt die Branche vor fundamentale Veränderungen, da die erforderliche Implementierung neuer Fahrzeugkonzepte die Kostenstruktur innerhalb der Automobilindustrie tiefgreifend verändert (vgl. Proff 2013, S.2). Zusätzlich werden die Herausforderungen aus Sicht des OEMs dadurch verstärkt, dass die genannten Faktoren in einer Wechselwirkung zueinander stehen und sich zum Teil negativ beeinflussen (vgl. Göpfert et al. 2012, S.20).

Als Folge dieser veränderten Markt- und Umweltbedingungen (vgl. Bliss 2000, S.1), sehen sich global aufgestellte OEMs nach einer Einschätzung von KLINK UND GÄNZLE (2010, S.78) zunehmend mit der Herausforderung konfrontiert, sich mit einer wachsen-

---

<sup>9</sup> Für detaillierte Ausführungen der revolutionären Stufen in der Automobilindustrie wird auf HÜTTENRAUCH UND BAUM (2008, S.5ff.) verwiesen.

<sup>10</sup> Unter Kundenorientierung ist die Ausrichtung des Produktprogramms an den manifesten und latenten Kundenbedürfnissen zu verstehen (vgl. Olbrich & Battenfeld 2005, S.168).

den Heterogenität der globalen Kundenprofile und der Forderung nach verkürzten Lebenszykluszeiten der Produkte auseinandersetzen zu müssen (vgl. auch Gneiting & Sommer-Dittrich 2008, S.102; Junge 2005, S.1).

Kunden können nicht mehr einfach nur als ein großer homogener Absatzmarkt angesehen werden. Vielmehr haben OEMs die Notwendigkeit erkannt, dass zur Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit die Erforschung und Befriedigung individueller Kundenwünsche und deren Bedürfnisse essentiell sind (vgl. Gneiting & Sommer-Dittrich 2008, S.102; Pine 2006, S.6). Die Herausforderung liegt dabei darin, die durch die Individualisierungstendenzen hervorgerufene Produktvielfalt zu marktfähigen Preisen zu realisieren, um die eigene Wettbewerbsfähigkeit zu wahren (vgl. Arnoscht 2001, S.1).

Aus Unternehmenssicht führen diese Entwicklungen einerseits zu einer Zunahme der Vernetzung unternehmensinterner, heterogener Gestaltungsparameter und andererseits zu steigenden dynamisierten Wechselwirkungen mit der Unternehmensumwelt (vgl. Bliss 2000, S.2; Pine 2006, S.131).

Die mit diesen Entwicklungstendenzen einhergehende Zunahme und Beherrschung der Variantenvielfalt symbolisiert noch immer die zentrale Problemstellung vieler OEMs (vgl. Kohlhase 1997, S.1). Schaut man sich die aktuellen Entwicklungstendenzen an, stellt man fest, dass KOHLHASEs Aussage auch nach mehr als 20 Jahren weiterhin ein hohes Maß an Aktualität besitzt. Der Anstieg der Variantenvielfalt ist dabei nicht allein auf die Ebene des End-Produkts beschränkt, sondern spiegelt sich in hohem Maß auch in einer zunehmenden Vielfalt eingesetzter Fahrzeugkomponenten wider (vgl. Schuh 2005, S.10).

Weiterhin führt der zur Befriedigung der Kundenwünsche erforderliche Zwang zur Auffächerung des Produktportfolios zu sinkenden Verkaufszahlen je Fahrzeug (vgl. Doran & Hill 2009, S.67; Piller & Waringer 1999, S.19). Als Folge davon sehen sich OEMs mit sinkenden Skaleneffekten und einer verminderten Produktionseffizienz mit steigenden Produktionskosten konfrontiert (vgl. Erixon 1998, S.10f.).

WILDEMANN (2001, S.4) führt hierzu aus, dass ein Verdopplung der Varianten einen Kostenanstieg im Unternehmen von 20-30% nach sich zieht. Die positive Korrelation zwischen Variantenanzahl je Produkt bzw. Gesamtzahl der produzierten Varianten und Kostenanstieg konnte dabei bei durchgeführten Projekten zum Komplexitätsmanagement in mehr als 60 Unternehmen aufgezeigt werden (vgl. Wildemann 2001, S.4).

Gleichzeitig zu den Kosten nehmen die technologische Produktkomplexität und damit der Entwicklungsaufwand stetig zu (vgl. Müller 2000, S.2). Die verstärkte Markt- und Kundenorientierung führen somit zu einem zunehmenden Anstieg der Unternehmenskomplexität (vgl. Schuh 2005, S.15f.; Wildemann 2011, S.212).

FIXSON (2005, S.346) fasst die aktuellen Entwicklungstendenzen sehr treffend wie folgt zusammen: „[...] the competition has intensified for many firms through increased demand heterogeneity and shorter product life cycles. Formerly large mass markets have

fractured into smaller niche markets demanding higher levels of product variety while competitors are introducing new products in shorter intervals“.

Diese Aussage ist mitnichten allein auf die Automobilindustrie beschränkt, sondern spiegelt sich gemäß einer Studie der Unternehmensberatung ROLAND BERGER (2012) auch in den Entwicklungstendenzen anderer Wirtschaftszweige wider (vgl. Abbildung 5).

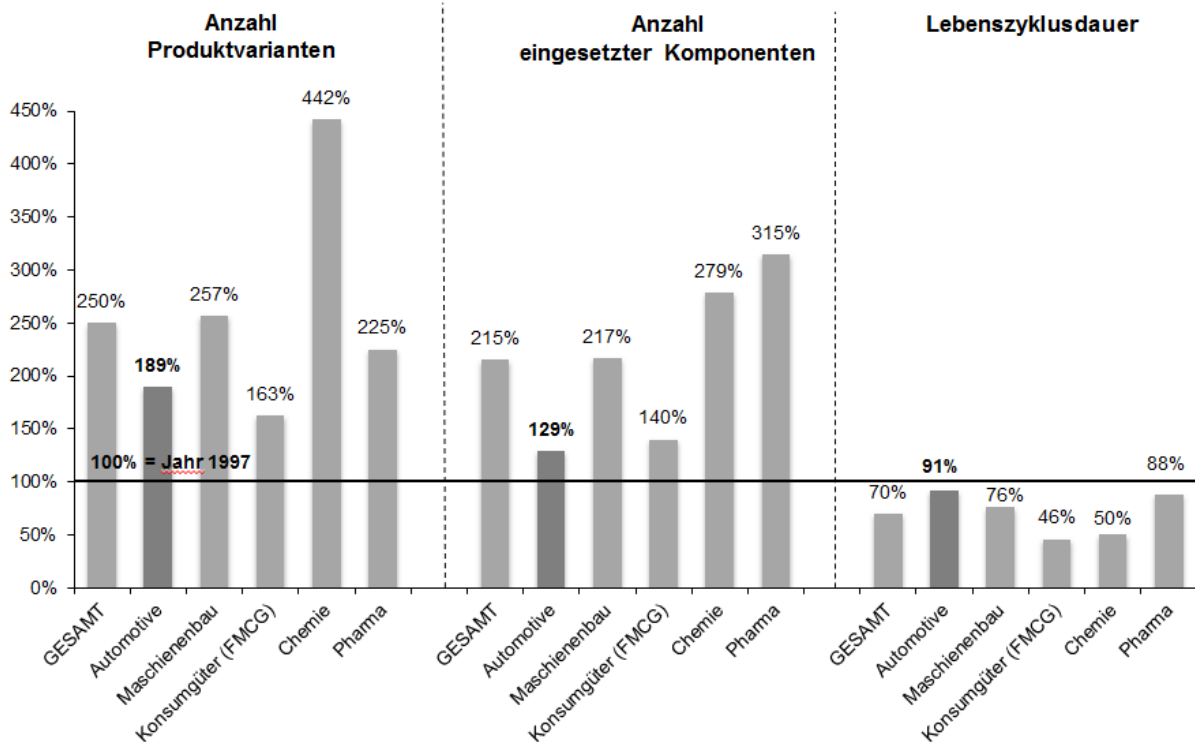


Abbildung 5: Entwicklungstendenzen Variantenreichtum und Lebenszykluszeit 1997 zu 2015<sup>11,12</sup>  
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Roland Berger (2012)

Demnach gehen die Autoren der Studie davon aus, dass sich im Zeitraum von 1997 bis 2015 die Anzahl der am Markt angebotenen Produktvarianten und damit letztlich auch das existierende Produktkomplexitätsniveau mehr als verdoppelt haben (+150%).

EVERSHEIM ET AL. (1998, S.29) sehen den Anstieg der Variantenvielfalt in drei Ursachen begründet: erstens die zunehmende Sättigung der Märkte, zweitens der daraus resultierende Zwang zur Ausschöpfung kleinerer Marktnischen und drittens der erforderliche marktspezifische Anpassungszwang der Produkte ausgelöst durch die voranschreitende Globalisierung.

Gleichzeitig hat sich im selben Zeitraum die Dauer eines Lebenszyklus um durchschnittlich 30% reduziert bzw. in den Bereichen Konsumgüter und Chemie annähernd halbiert. Wenn auch nicht in diesem hohen Maß, so sieht sich auch die Automobilindustrie mit der

<sup>11</sup> Unter Fast Moving Consumer Goods (FMCG) werden Konsumgüter mit einem schnellen Abverkauf wie z.B. Lebensmittel, Drogeriewaren und Hygieneartikel zusammengefasst.

<sup>12</sup> Der im Rahmen der Darstellung verwendete Komponentenbegriff fasst alle Begrifflichkeiten wie z.B. Rohmaterialien, Bauteile, Bausteine, Baugruppen, etc. zusammen.

stetigen Verkürzung der Lebenszyklen konfrontiert. Vor allem der zunehmende Wettbewerbsdruck und der steigende Globalisierungszwang zur Erschließung neuer Absatzmärkte werden hierbei als die primären Treiber der Produktkomplexität genannt. Die mit dieser Entwicklung verbundenen Kostensteigerungen sind in der gesamten Wertschöpfungskette wiederzufinden.

Durch die kostspieligen Investitionen der letzten Jahre in die Weiterentwicklung bestehender Konzepte zur Handhabung des stetig steigenden Komplexitätsniveaus besitzen vor allem die Unternehmen der Automobilindustrie mit Blick auf das Komplexitätsmanagement von Produkten einen hohen Reifegrad. Dieser spiegelt sich dadurch wider, dass trotz des erweiterten Produktportfolios (+89%) der Zuwachs zusätzlich eingesetzter Komponenten unterdurchschnittlich begrenzt werden konnte (+29%). Folgerichtig attestieren die Autoren der Studie Unternehmen der Automobilindustrie im Umgang mit den steigenden Individualisierungswünschen der Kunden eine Vorreiterrolle.

#### 2.1.2.2 Der Spagat zwischen externem Individualisierungswunsch und internem Standardisierungszwang

*„Every OEM has to think about the tradeoff between common parts that save money and differentiation that is necessary to support a variety of models and brands“ (Warburton et al., 2013, S.18).*

Komplexe Produkte können durch eine hohe Funktions- und Komponentenvielfalt charakterisiert werden und erfordern bei der Anwendung von Technologien häufig zusätzliches Spezialwissen (vgl. Arnoscht 2011, S.95). Bezogen auf die Automobilindustrie verdeutlicht allein die fokussierte Betrachtung eines Fahrzeugs hinsichtlich der Varianten-, Teileanzahl und der Fertigungsschritte, dass die Entwicklung und Herstellung eines Fahrzeugs ein für ein Massenprodukt selten anzutreffendes Maß an Komplexität beinhaltet (vgl. Bak 2006, S.269ff.; Klink & Gänzle, 2010, S.78; MacDuffie 2013, S.14; Michalos et al. 2010, S.81; Schneider 2011, S. 37). Ein Fahrzeug besteht in der Regel aus mehr als 10.000 Einzelteilen (vgl. Göpfert & Steinbrecher 2000, S.20). Folglich stellt PINE (2006, S.208) fest: „There are few products more complex than automobiles, and few processes more complex than automobile manufacture.“

Eine weitere Zunahme der Komplexität in der Automobilindustrie im Allgemeinen und in der Beschaffung im Besonderen wird darüber hinaus durch den variantenerhöhenden Individualisierungswunsch der Kunden sowie deren zunehmendes Nachhaltigkeitsbewusstsein und den vor allem im Volumensegment anzutreffenden Kostendruck hervorgerufen (vgl. Hofmann & Staiger 2020, S.179; Piller & Waringer 1999, S.20). Dabei ist nach Einschätzung von ERIXON (1998, S.8) die Variantenexplosion nicht ausschließlich auf gesteigerte Kundenanforderungen zurückzuführen, sondern wird auch durch die unternehmensinterne Produktentwicklung beeinflusst.

Die bereits 1993 von REISS getätigte Aussage „Wer strategisch überleben will, muss stimmige Kombinationen von Produkten, Märkten, Wettbewerbs- und Ressourcenkonstellationen im Griff haben“ (Reiß 1993, S.4) ist heutzutage noch genauso aktuell wie damals.

Um im Umgang mit dem steigenden Komplexitätsniveau und den aktuellen Marktbedingungen weiterhin wettbewerbsfähig zu bleiben, stellt der Einsatz intelligenter Strategien im Rahmen des Komplexitätsmanagements für Unternehmen einen wichtigen Erfolgsfaktor dar. Vor allem durch den Ansatz der Standardisierung und Modularisierung können Unternehmen den hohen Grad der Produktkomplexität bei gleichzeitigem Einsatz einer begrenzten Anzahl von Produktkomponenten meistern und zusätzlich Kostenreduzierungspotenziale realisieren.

Wurden in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts vorrangig Kosten als dominierender strategischer Erfolgsfaktor angesehen, erlangten über die letzten 50 Jahre zusätzliche Erfolgsfaktoren bezogen auf Qualität, Flexibilität, Zeit, Service und Vielfalt zunehmende Bedeutung für das Unternehmen (vgl. Kaluza & Blecker 2005, S.4f.).

Ein Unternehmen kann folglich nur dann erfolgreich am Markt bestehen, wenn es den Spagat zwischen Befriedigung der Kundenwünsche nach Individualisierung einerseits und den Zwang zur Kostenreduzierung andererseits, bei gleichzeitig hohem Qualitätsstandard und Innovationsdruck zur Erhaltung der eigenen Wettbewerbsfähigkeit, meistert.

OEMs versuchen hierauf zunehmend mit einer am Kundennutzen orientierten externen Auffächerung des Produktportfolios auf Basis eines flexibel gestalteten internen Produktprogramms und einem gleichzeitig steigenden internen Standardisierungsgrad zur Generierung weitreichender Skaleneffekte zu reagieren (vgl. Kersten et al. 2009, S.1136; Lorenzi & Di Lello 2001, S.427; Mondragon et al. 2006, S.347; Skirde 2015, S.1; Wildemann 2011, S.212). Gleichzeitig müssen OEMs zwingend dafür Sorge tragen, dass das entsprechend der Ausführungen zur Systemtheorie (vgl. Kap. 2.1.1) inkludierte Komplexitätsniveau nicht gänzlich ausufert und sich kontraproduktiv auf die Kostenstruktur und damit auf die Wettbewerbsfähigkeit auswirkt.

KLINK UND GÄNZLE (2010, S.78ff.) sprechen in diesem Zusammenhang von der Gefahr der doppelten Komplexitätsfalle. Um dem angesprochenen Individualisierungswunsch der Kunden zu entsprechen, haben die OEMs in den letzten Jahren ihr Produktportfolio enorm erweitert. Dies resultiert neben einem Anstieg der Komplexität in steigenden Stückkosten, die durch den existierenden Wettbewerbsdruck nicht in vollem Umfang an den Kunden weitergegeben werden können. Um die intern anfallenden Kosten zu senken, müssen Skaleneffekte durch eine verstärkte Produktstandardisierung und gleichzeitige Volumenerhöhung generiert werden. Auch hierdurch wird wiederum Komplexität erzeugt. Der zunehmende Standardisierungsgrad führt im Umkehrschluss aber dazu, dass es einerseits für OEMs immer schwieriger wird, ihre Produkte kundenwirksam zu diffe-

renzieren und andererseits negative Ausstrahlungseffekte durch Qualitätsmängel und resultierende kostspielige Rückrufe zu vermeiden. Die Gefahr einer Komplexitätsfalle ist immer dann gegeben, wenn überproportionale Kostenerhöhungen nur degressiven Erlöszuwächsen gegenüberstehen, was ab einer kritischen Variantenanzahl dazu führt, dass trotz sinkender Gewinne das Komplexitätsniveau weiter ansteigt (vgl. Adam & Johannwille 1998, S.14). Die aufgezeigte Wechselwirkung gewinnt mit steigendem Absatzvolumen zunehmend an Bedeutung. Bereits ADAM UND JOHANNWILLE (1998, S.6) sehen die Ursachen der Komplexitätsfalle einerseits in einer unzureichenden ganzheitlichen Berücksichtigung der Kostenwirkung bereichsfokussierter Entscheidungen und andererseits in einer mangelnden strategischen Ausrichtung implementierter Controlling-Instrumente zur Steuerung von Komplexität begründet.

Kundenindividualisierung der Produkte und die Gleichteileverwendung zur Erhöhung des Standardisierungsgrades stellen dabei gegensätzliche Ziele dar (vgl. Junge 2005, S.6). Bezogen auf die Komplexitätswirkung muss eine Entscheidung hinsichtlich einer Auffächerung des Produktportfolios und damit die Zunahme der Variantenvielfalt einer Kosten-Nutzen-Betrachtung unterzogen werden (vgl. Piller & Waringer 1999, S.22).

Zur Erreichung der beschriebenen komplementären Ziele einer Kostenreduzierung einerseits und eines hohen Grads an Produktvarianz und Flexibilität andererseits setzen die großen OEMs in den letzten Jahren zunehmend auf die Implementierung modularer Produktstrukturierungsstrategien (vgl. Fixson & Clark 2002, S.131; Schuh et al. 2013, S.82; Skirde 2015, S.1, Takeishi & Fujimoto 2001, S.380), da Modularisierung einen hohen externen Differenzierungsgrad bei einem gleichzeitig hohen internen Standardisierungsgrad ermöglicht (vgl. Gonsior 2008, S.21).

### 2.1.2.3 Reifegrad von Standardisierungskonzepten in der Automobilindustrie

In seiner branchenübergreifenden Studie „Effizienter Innovieren mit Produktbaukästen“ aus dem Jahre 2009 zeigt ARNOSCHT (2011, S.57) auf, dass viele Unternehmen die Möglichkeit erkannt haben, durch den Einsatz von Baukästen eine Produktvielfalt zu erzeugen ohne dabei auf Skaleneffekte verzichten zu müssen.

Bezogen auf die Automobilindustrie zeigen SHANKAR ET AL. (2012) in ihrer Studie, dass die 12 größten global agierenden Automobilkonzerne, mit einem prognostizierten Produktionsanteil von 74% im Jahr 2020, zur Bewältigung des beschriebenen Zielkonflikts Standardisierungskonzepte im Rahmen der Produktstrukturierungsstrategie einsetzen. Demnach belief sich 2010 die Gesamtzahl existierender Plattformen auf 223, wobei vor allem die Volumenhersteller ihre Variantenvielfalt an Fahrzeugen aus einer hohen Anzahl an Plattformen ableiten (vgl. Abbildung 6).<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Bei Renault-Nissan handelt es sich um ein Bündnis der eigenständigen Unternehmen Renault und Nissan mit Sitz in Amsterdam. Somit ist die Einordnung Japan eigentlich nicht korrekt, wird aber entsprechend der zitierten Studie in der Abbildung beibehalten.

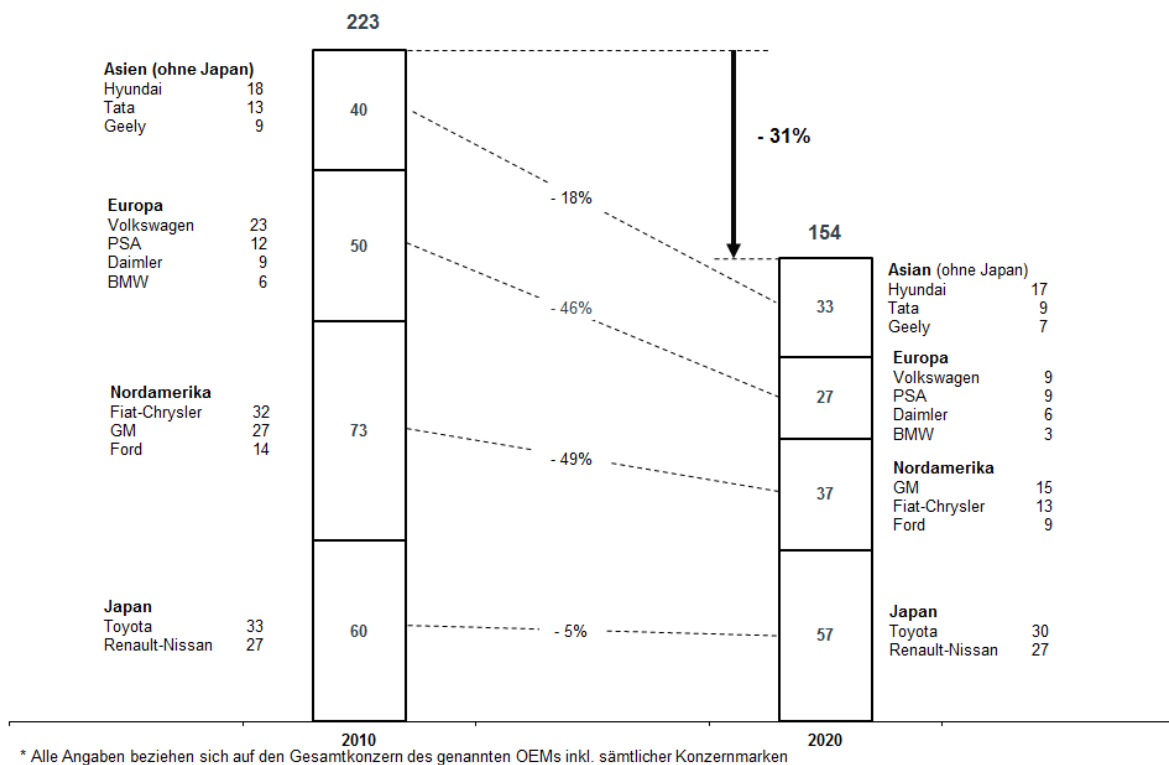


Abbildung 6: Übersicht Anzahl genutzter Plattformen globaler OEMs  
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Shankar et al. (2012)

Ferner geht die Studie davon aus, dass bestehende Rahmenbedingungen die OEMs weiterhin dazu zwingen werden, ihren Standardisierungsgrad zu erhöhen. Das führt dazu, dass bis 2020 mit einer Reduzierung der Plattformanzahl um 31% auf 154 zu rechnen ist.<sup>14</sup> Gleichzeitig werden konzernübergreifend Investitionen für die Implementierung und Weiterentwicklung bestehender Standardisierungskonzepte in Höhe von 85-90 Mrd. € getätigt. Die dadurch generierten Synergien beziffern die Autoren für die TOP 5-6 OEMs auf jährliche Kosteneinsparungen von 5-6 Mrd. € und Reduzierungen der Entwicklungszeit und -kosten um 20-30%. Die beschriebenen Konsolidierungstendenzen führen sowohl zu einer Zunahme der Modellanzahl je Plattform als auch zu einem Anstieg des produzierten Jahresvolumens von auf einer Plattform basierenden Fahrzeugen (vgl. Tabelle 2). Dabei werden 2020 die 10 größten Plattformen 26% des jährlichen gesamten globalen Produktionsvolumens ausmachen.<sup>15</sup>

<sup>14</sup> Ähnliche Tendenzen liefert auch JUNGE (2005) im Rahmen seiner durchgeführten Experteninterviews: „Darüber hinaus trifft es laut Expertenmeinung tendenziell zu, dass durch die Standardisierungsbestrebungen im Zuge der Modularisierung die Plattformanzahl reduziert werden kann“ (Junge 2005, S.105).

<sup>15</sup> Aufgrund fehlender Quellen lässt sich die Prognose von SHANKAR ET AL. (2012) für das Jahr 2020 nicht vollumfänglich quantifizieren. Nach einer aktuellen Studie von TSCHIESNER ET AL. (2020) sind, auch begünstigt durch die finanziellen Restriktionen durch COVID-19, vermehrt strategische Partnerschaften in Bezug auf Elektrifizierung, neue Konnektivitäts- und Mobilitätskonzepte sowie autonomes Fahren zwischen OEMs feststellbar. So hat bspw. Volkswagen angekündigt, seinen Elektrifizierungsbaukasten MEB auch Wettbewerbern zugänglich zu machen, um hieraus zusätzliche Skaleneffekte zu generieren (vgl. Paschek, 2019, S.9). Es kann folglich konstatiert werden, dass sich die von SHANKAR ET AL. (2012) prognostizierten Konsolidierungstendenzen in den aktuellen Marktentwicklungen widerspiegeln und somit zumindest qualitativ belegt werden können.

Rangfolge	Anzahl Plattformen	Anzahl Modelle	Durchschn. Modelle je Plattform	Durchschn. Jahresvolumen je Plattform (in Tsd.)				
<b>2010</b>								
1.	Toyota	33	Renault-Nissan	95	PSA	3,75	Ford	364
2.	Fiat-Chrysler	32	Toyota	90	Ford	3,57	Hyundai	361
3.	Renault-Nissan	27	GM	74	Renault-Nissan	3,52	Volkswagen	327
4.	GM	27	Volkswagen	61	GM	2,74	PSA	305
5.	Volkswagen	23	Fiat-Chrysler	58	Toyota	2,73	GM	274
6.	Hyundai	18	Ford	50	Volkswagen	2,65	Renault-Nissan	271
7.	Ford	14	PSA	45	BMW	2,50	Toyota	249
8.	Tata	13	Hyundai	41	Daimler	2,44	BMW	249
9.	PSA	12	Daimler	22	Geely	2,44	Daimler	172
10.	Daimler	9	Daimler	22	Hyundai	2,28	Fiat-Chrysler	122
11.	Geely	9	Tata	19	Fiat-Chrysler	1,81	Geely	89
12.	BMW	6	BMW	15	Tata	1,46	Tata	62
<b>2020 (Prognose)</b>								
1.	Toyota	30	Renault-Nissan	107	Daimler	9,00	Volkswagen	1335
2.	Renault-Nissan	27	Toyota	99	Volkswagen	7,89	Daimler	872
3.	Hyundai	17	GM	73	PSA	5,11	Ford	871
4.	GM	15	Volkswagen	71	GM	4,87	GM	735
5.	Fiat-Chrysler	13	Fiat-Chrysler	59	Ford	4,56	PSA	642
6.	Volkswagen	9	PSA	46	Fiat-Chrysler	4,54	Hyundai	595
7.	Ford	9	Ford	41	Geely	4,43	Fiat-Chrysler	548
8.	Tata	9	Hyundai	41	Renault-Nissan	3,96	BMW	463
9.	PSA	9	Geely	31	BMW	3,83	Toyota	452
10.	Geely	7	Daimler	27	Toyota	3,30	Renault-Nissan	430
11.	BMW	6	Tata	23	Tata	2,56	Tata	394
12.	Daimler	3	BMW	23	Hyundai	2,41	Geely	269

OEM Ranking Plattformstandardisierungsgrad	
1.	Daimler
2.	Tata
3.	Volkswagen
4.	Fiat-Chrysler
5.	Geely
6.	GM
7.	BMW
8.	Ford
9.	PSA
10.	Renault-Nissan
11.	Toyota
12.	Hyundai

Tabelle 2: Ranking Plattformstandardisierungsgrad globaler OEMs<sup>16</sup>  
 Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Shankar et al. (2012)

Weiterhin führen SHANKAR ET AL. (2012) aus, dass die beschriebenen Tendenzen global gesehen zwar einheitlich sind, es jedoch von den absoluten Werten große regionale Abweichungen gibt. Während das Reduzierungsniveau der Plattformen in Nordamerika und Europa mit -49 respektive -46% hoch ist, fallen im asiatischen Raum mit einem Rückgang von 18% und vor allem in Japan mit einer marginalen Reduzierung von 5% die Zahlen deutlich geringer aus. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch in den angegebenen Werten für die durchschnittliche Modellanzahl und das Produktionsvolumen je Plattform. Auch hier nehmen die asiatischen Hersteller überwiegend hintere Platzierungen im Ranking ein. Begründet wird dies mit einer im Vergleich zu europäischen OEMs deutlich höheren angebotenen Fahrzeugdifferenzierung asiatischer Hersteller. Zusammenfassend bescheinigt die Studie Daimler bei den Premiumherstellern und Volkswagen bei den Volumenherstellern den höchsten Standardisierungsgrad.

Vergleichbare Entwicklungstendenzen, jedoch mit abweichenden absoluten Zahlen, beschreiben die Analysten von ROLAND BERGER UND LAZARD (2013) in ihrer Studie. Bei einem deutlich geringeren Untersuchungsumfang mit nur vier selektierten OEMs (Volkswagen, BMW, GM und Toyota) werden in der Studie die Jahre 2000 und 2010 mit prognostizierten Zahlen für 2019 verglichen. Auch hier gehen die Autoren davon aus, dass die Modellvielfalt deutlich zunimmt, sich gleichzeitig aber die Anzahl der genutzten

<sup>16</sup> Alle Angaben beziehen sich auf den Gesamtkonzern des genannten OEMs inkl. sämtlicher Konzernmarken.

Plattformen reduziert bzw. konstant bleibt und folgerichtig das Jahresvolumen je Plattform deutlich ansteigt.

Damit verdeutlichen beide Studien das hohe Reifegradniveau eingesetzter Standardisierungskonzepte in der Automobilindustrie. Bezogen auf die Beantwortung der Forschungsfragen besteht jedoch vor allem bei den in Tabelle 2 zusammengefassten Ergebnissen eine eingeschränkte Aussagekraft, da SHANKAR ET AL. (2012) sämtliche Ergebnisse auf Plattformen beziehen und keine weiterführenden Aussagen zum aktuellen Reifegrad verwendeter Baukästen liefern.

Hierzu wird an dieser Stelle erneut auf die Studie von ROLAND BERGER (2012) verwiesen, da durch den höheren Detaillierungsgrad bei der Ableitung des Reifegrades eine Differenzierung zwischen Plattform- und modularer Baukastenstrategie respektive Modulstrategie erfolgt (vgl. Abbildung 7).

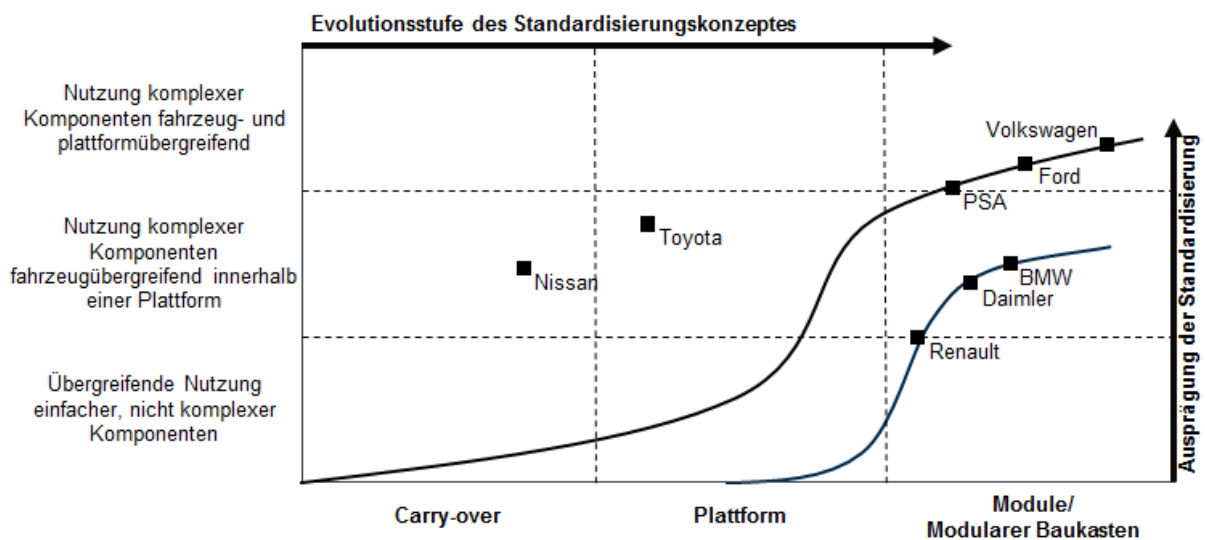


Abbildung 7: OEM-Reifegradübersicht angewandter Standardisierungskonzepte  
Quelle: eigene ergänzte Darstellung in Anlehnung an Roland Berger (2012)

Aus der Darstellung lassen sich zwei Aussagen ableiten. Erstens lässt sich eine positive Korrelation zwischen Evolutionsstufe und Ausprägung der Standardisierung erkennen. Mit fortschreitender Evolution des implementierten Standardisierungskonzeptes nehmen Ausprägung und Durchdringungstiefe der Standardisierung im Produktportfolio zu. Zweitens kann festgehalten werden, dass die Mehrheit der untersuchten Unternehmen aktuell den Evolutionsschritt von der Plattform- hin zur Modul- bzw. modularen Baukastenstrategie vollzogen hat, wobei dem Volkswagen Konzern gegenwärtig der höchste Reifegrad im Vergleich zu anderen OEMs attestiert wird.

Auch hier wird die Ausnahmerolle japanischen Hersteller bei der Implementierung modularer Strukturierungsansätze ersichtlich. Als Erklärung führt MacDuffie (2013, S.17) an, dass nach Einschätzung der Hersteller aus der bereits existierenden Zusammenarbeit mit den Lieferanten Vorteile generiert wurden, die tiefgreifende Änderungen in der Pro-

duktstruktur obsolet erscheinen lassen. Weiterhin versuchen japanische Hersteller kulturell bedingt das erhöhte Risikopotenzial negativer Ausstrahlungseffekte bei Qualitätsproblemen durch den fahrzeugübergreifenden Einsatz von Modulen zu vermeiden (vgl. MacDuffie 2013, S.17).

TAKEISHI UND FUJIMOTO (2001, S.384) sehen den Grund der unterschiedlichen Evolutionsstufen der Produktstrukturierung zwischen japanischen und europäischen OEMs in der unterschiedlichen Intention der Modularisierungsstrategie begründet. Westliche OEMs nutzen Produktmodularisierung vorrangig dazu, mittels Outsourcing<sup>17</sup> die eigene Wertschöpfung zu reduzieren und damit Kosten zu senken. Japanische Automobilhersteller setzen Modularisierung dagegen primär dazu ein, ihre internen Produktionsprozesse effizient zu gestalten.

Resultierend aus den vorangestellten Ausführungen erscheint die Fokussierung auf die Automobilindustrie als praktischer Bezugsrahmen besonders sinnvoll. Durch den der Automobilindustrie attestierten hohen Reifegrad hinsichtlich der zu untersuchenden Thematik ist davon auszugehen, dass bei gleichzeitigem Anspruch nach einem effizienten Forschungsprozess die Qualität der zu gewinnenden Erkenntnisse hier am höchsten einzuordnen ist.

#### 2.1.2.4 Der steigende Wertbeitrag der Beschaffung für den Unternehmenserfolg in der Automobilindustrie

*„Aufgrund der zunehmenden Globalisierung und der damit einhergehenden Reduzierung der Wertschöpfungstiefe zahlreicher Unternehmen haben der Einfluss der Beschaffung auf den Unternehmenserfolg und damit auch die Bedeutung der Beschaffung in den letzten Jahren stark zugenommen“ (Maucher et al. 2012, S.55).*

In den vorangestellten Kapiteln wurde am Beispiel der Automobilindustrie erläutert, dass Unternehmen heutzutage mit einem steigenden Komplexitätsniveau und einem Zwang zur Reduzierung des eigenen Kostenniveaus konfrontiert sind, um dem steigenden Wettbewerbsdruck standhalten zu können (vgl. Dehnen 2004, S.1).

Als Folge daraus beschränken sich OEMs vermehrt auf unternehmensspezifische Kernkompetenzen, welches eine zunehmende Reduzierung der Wertschöpfungstiefe hervorruft (vgl. Fiege 1998, S.128; Gonsior 2008, S.79f.; Piller & Waringer 1999, S.93; Schneider 2011, S.38ff.). GARCIA SANZ (2007, S.5) geht aufgrund der aktuellen Markttendenzen davon aus, dass sich der schon sehr geringe Wertschöpfungsanteil der OEMs von ca. 35% zukünftig weiter reduzieren wird und hierdurch ein grundlegender Strukturwandel innerhalb der Wertschöpfungsketten ausgelöst wird.

---

<sup>17</sup> Bei weiterführendem Interesse wird auf ARNOLD (2000) verwiesen, der mit Hilfe eines entwickelten Outsourcing-Modells Empfehlungen für die optimale Gestaltung von Outsourcing-Entscheidungen ableitet.

Basierend auf der Arbeit von ANDERSON UND PARKER (2002) lässt sich die Reduzierung der Wertschöpfungstiefe mit einer zunehmenden Implementierung modularer Strukturierungsansätze begründen. Die Autoren kommen anhand ihres entwickelten Modells zu der Schlussfolgerung, dass ein steigender Modularitätsgrad<sup>18</sup> sehr wahrscheinlich zu einem verstärkten Outsourcing führt (vgl. Anderson & Parker 2002, S.334).

Die Konzentration auf Kernkompetenzen und die damit verbundene Optimierung der Wertschöpfung liefern einen Beitrag zur Sicherung von Wettbewerbsvorteilen und beeinflussen damit den Unternehmenserfolg, da hierdurch positive Kosten- und Qualitätseffekte realisiert werden können (vgl. Gonsior 2008, S.157f.; Proff 2013, S.12; siehe auch Kap. 3.2).

Als Ergebnis dieser Entwicklung sind OEMs mit dem Problem konfrontiert, der zunehmenden Technisierung der Automobile kein adäquates eigenes Entwicklungs- und Fertigungs-Know-how entgegensetzen zu können (vgl. Piller & Waringer 1999, S.91).

Die beschriebene Kompetenzverlagerung vom OEM zum Zulieferer und der daraus resultierende ansteigende Fremdbezug von Leistungen führen dazu, dass die Beschaffung an der Schnittstelle zwischen Unternehmen und Umwelt zunehmend an Bedeutung gewinnt (vgl. Gonsior 2008, S.26; Hofmann et al. 2012, S.1; Krampf 2000, S.1).

Getrieben von den sich ändernden Rahmenbedingungen<sup>19</sup>, durchläuft die Beschaffung einen stetigen Evolutionsprozess (vgl. Kaufmann 2002, S.5ff.). War die Rolle der Beschaffung anfänglich nur auf die rein operative Teilebereitstellung der produktionsorientierten Unternehmensaktivitäten beschränkt, rückten ab 1980 mit der zunehmenden Marktorientierung ganzheitliche, globale und performanceorientierte Beschaffungsmarktaktivitäten innerhalb des Supply Chain Managements<sup>20</sup> in den Fokus (vgl. Arnold 2000, S23f.; Kaufmann 2002, S.8).

Da die Beschaffung am Beginn des innerbetrieblichen Materialflusses steht und diesen durch strategische Entscheidungen maßgeblich mitgestaltet, ist die Beschaffung eine bestimmende Stellgröße des Unternehmenserfolgs (vgl. Wannenwetsch 2004, S.87). So kann argumentiert werden, dass durch ein steigendes Beschaffungsvolumen potentiell höhere Kosteneinsparungen zu realisieren sind, wodurch der Wertbeitrag der Beschaffung zum Unternehmenserfolg steigt (vgl. Glock & Hochrein 2011, S.160).

Die Beschaffung rückt somit vor allem in wirtschaftlich schwierigen Zeiten in den Fokus, da durch die Beschaffung generierte Einsparungen das Unternehmensergebnis direkt positiv beeinflussen (vgl. Hofmann et al. 2012, S.1).

---

<sup>18</sup> Zur begrifflichen Erläuterung wird auf Kap. 2.2.2.4 verwiesen.

<sup>19</sup> VAN WEELE & ROZEMEIJER (1996, S.153f.) sprechen in diesem Zusammenhang von drei revolutionären Veränderungen, mit denen sich die Unternehmen konfrontiert sehen: die Globalisierung der Märkte, die Informationsgesellschaft sowie die Käufermarktorientierung (siehe auch Kap. 2.2.1.5).

<sup>20</sup> Folgt man den Ausführungen von KAUFMANN (2002, S.12) umfasst der Begriff Supply [Chain] Management alle strategische und operativen Aktivitäten zur Versorgung eines Unternehmens „with direct and indirect materials, services, rights, and machinery and equipment from sources external to the organization, aimed at contributing to the achievement of sustainable competitive advantage.“

Über die letzten 20 Jahre ist sowohl ein stetiger Anteil des Beschaffungsvolumens am Gesamtumsatz von Industrieunternehmen als auch ein zunehmender Internationalisierungsgrad der Beschaffungsaktivitäten feststellbar (vgl. Himpel 2013, S.88). HIMPEL (2013, S.88) führt hierzu als Größenordnung des Anstiegs einen Anteil von jeweils bis zu 90% an, ohne dabei eine spezifische Branche zu nennen.

Schaut man sich, fokussiert auf die Automobilindustrie, die in Abbildung 8 exemplarisch für einen OEM aufgeführten Zahlen an, so wird ersichtlich, welchen hohen Wertbeitrag die Beschaffung zum Unternehmenserfolg und damit zum Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit beisteuert. Demnach beträgt das Beschaffungsvolumen für den Betrachtungszeitraum 2001 bis 2015 durchschnittlich ca. 66% (vgl. auch Bogaschewsky 2001, S.174; Bogaschewsky & Kohler 2007, S.143). Betrachtet man nur das Zeitintervall 2010 bis 2015 liegt der Anteil mit durchschnittlich rund 70% nochmals höher.

Ähnliche Zahlen spiegelt auch die Studie von WARBURTEN ET AL. (2013, S.26) wider, die führenden OEMs für die Beschaffung externer Kaufteile einen anteiligen Kostenblock in Höhe von 55-70% der Gesamtkosten attestiert. Die Beschaffung besitzt folglich einen signifikanten Wertbeitrag für den Unternehmenserfolg (vgl. Glock & Hochrein 2011, S.168).

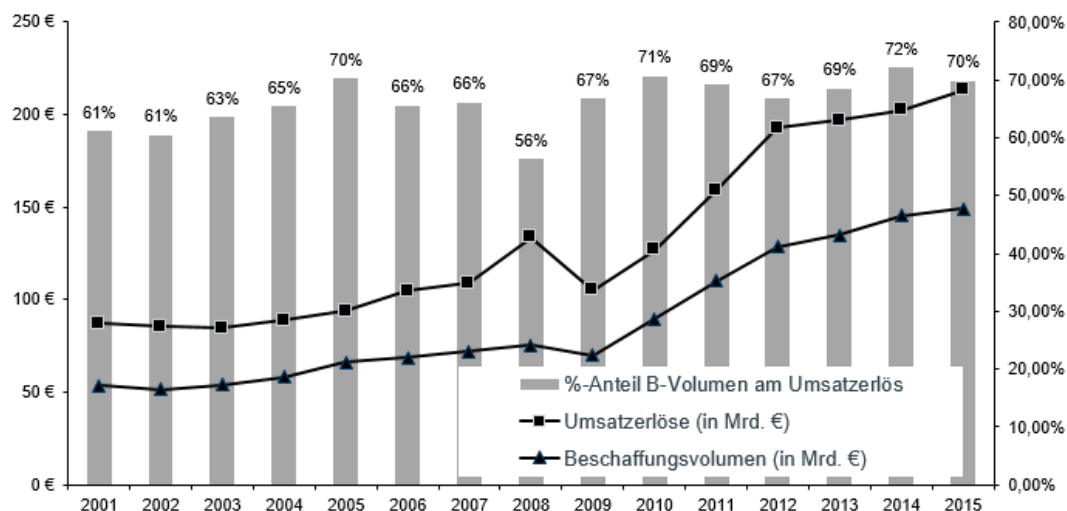


Abbildung 8: Prozentualer Anteil Beschaffungsvolumen am Umsatzerlös eines OEMs  
Quelle: eigene Darstellung auf Datenbasis Geschäftsbericht Volkswagen 2016

Zusätzlich erfordern neue Technologien vor allem auf dem Gebiet der e-Mobility bei den OEMs eine strategische Neuausrichtung bzw. Modifizierung der eignen Kernkompetenzen und führen darüber hinaus zu einem steigenden Implementierungszwang neuer Technologien in die eigenen Produkte bei gleichzeitig steigendem Anteil der Lieferanten an der Wertschöpfung (vgl. Knapp et al. 2016, S.36; Mondragon et al. 2006, S.354ff.). Entsprechend formulieren die Analysten von ROLAND BERGER UND LAZARD (2012): „Electrification and systems integration will result in an evolution of the value chain.“

Durch die innerhalb der Wertschöpfungsnetzwerke wahrzunehmende Schnittstellenfunktion gehört die Integration aktueller Trends und die schnelle Reaktion auf Marktveränderungen in hohem Maß zum Tagesgeschäft der Beschaffung (vgl. Otto 2014, S.21).

Da annähernd alle global agierenden OEMs ein weitverzweigtes Netzwerk aus Produktionsstandorten aufgebaut haben, sieht sich die Beschaffung, hervorgerufen durch einen steigenden Lokalisierungsgrad, außerdem vermehrt mit marktspezifischen lokalen Supply Chains konfrontiert.

Dabei stehen neben der immer wichtiger werdenden Aufgabe der Innovationsintegration nach wie vor die Generierung von Kosteneinsparungen und die auf den fortschreitenden globalen Standardisierungsprozess abgestimmte Beschaffungsstrategie im Fokus (vgl. Knapp et al. 2016, S.4).

MARTENS führt hierzu aus, dass Globalisierung und Internationalisierung und der gleichzeitig verstärkte Rollout von Plattformen und Modulen eine Veränderung in der Beschaffungsstrategie hervorgerufen haben. Wurden früher Vergaben an Lieferanten je Region betrachtet, so versucht man zukünftig im Sinne von „Weltbebauungsplänen“ Umfänge zu bündeln und Lieferanten regionenübergreifend zu nominieren (vgl. Martens 2012, S.25). Die beschriebenen Globalisierungstendenzen, die steigende Marktsegmentierung und die Zunahme global verteilter Produktionsstandorte führen aus Beschaffungssicht zur Entstehung und zum Ausbau globaler Liefernetzwerke, sowie zu einem zunehmenden Aufwand bei der Gestaltung der Zulieferer- und Beschaffungsstrukturen (vgl. Rodriguez 2007, S.53ff.). Entscheidungen zum Lieferanten- und Risikomanagement erfordern vor dem Hintergrund zunehmender Volumenbündelungen zur Generierung weiterer Skaleneffekte zwingend eine ganzheitlich zu betrachtende Kosten-Nutzenanalyse.

OTTO (2012, S.23) geht davon aus, dass sich diese Entwicklungstendenzen in einem steigenden Komplexitätsniveau für die Beschaffung widerspiegeln werden.

Für KNAPP et al (2016, S.4) sind die Beschaffungsabteilungen der Automobilindustrie am besten darauf vorbereitet, die zukünftigen Herausforderungen zu bewältigen. Entsprechend einer Befragung unter 200 Beschaffungsmanagern lag branchenübergreifend die primäre Herausforderung der Beschaffung auch 2016 in der Generierung von Kosteneinsparungen und deren Messbarkeit (vgl. Knapp et al. 2016, S.12). Damit bleibt die TOP-Herausforderung im Vergleich zum Untersuchungsjahr 2014 unverändert und besitzt mit einer Nennungsquote von 100% in der Automobilbranche die höchste Priorität (vgl. ebenda, S.13).

Zusammenfassend wird anhand des beschriebenen Wertbeitrags der Beschaffung für den Unternehmenserfolg deutlich, dass im Rahmen einer skaleneffektbezogenen Kostenoptimierung zwingend die Beschaffung als ein Themenschwerpunkt dieser Arbeit betrachtet werden muss, da die Beschaffung einen wichtigen Beitrag zur Rentabilität eines Unternehmens liefert und damit dessen Wettbewerbsfähigkeit sicherstellt (vgl. Gonsior 2008, S.28). Durch den hohen Einfluss auf das Kostenniveau des Unternehmens stellt die Beschaffung folglich einen wettbewerbsentscheidenden Faktor dar und trägt in hohem Maße zum Erfolg oder Misserfolg eines Unternehmens bei. Resultierend hieraus,

rücken der strategische Hebel der Beschaffung und der direkte Einfluss der Beschaffungsaktivitäten auf den Unternehmenserfolg verstärkt in den Fokus des Topmanagements (vgl. Bogaschewsky & Kohler 2007, S.143; Kaufmann 2002, S.14).

## **2.2 Das Spannungsfeld zwischen Komplexität, modularem Baukasten und Beschaffung – Erläuterung und Abgrenzung thematisch relevanter Begriffe**

Nachdem im vorangestellten Abschnitt der theoretische und praktische Bezugsrahmen aufgespannt wurde, behandelt dieser Abschnitt die drei Themenschwerpunkten dieser Arbeit. Ziel dieses Abschnittes ist zum einen die Abgrenzung der Begrifflichkeiten Komplexität, modularer Baukasten und Beschaffung zur Schaffung eines inhaltlichen Grundverständnisses. Zum anderen erfolgt die logische Verknüpfung der drei Themenschwerpunkte, um deren simultane Integration bei der thematischen Auseinandersetzung als Notwendigkeit zur Schließung der aufgezeigten Forschungslücke aufzuzeigen.

### **2.2.1 Themenschwerpunkt: Komplexität**

Einleitend zum Themenschwerpunkt Komplexität sei angemerkt, dass das Phänomen Komplexität weder eine neue Trenderscheinung darstellt (vgl. Sargut & Gunther-McGrath 2011, S.24) noch per se als positiv oder negativ zu bewerten ist (vgl. Mayer 2007, S.33; Skirde 2015, S.13f.), sondern abstrakt gesehen „nur“ eine relative Ausprägung eines Systems darstellt. Festzustellen ist, dass die Auseinandersetzung mit dem Thema Komplexität neben den wissenschaftlichen Diskussionen zunehmend in der Praxis an Bedeutung gewinnt (vgl. Gießmann & Lasch 2010, S.152). Grund hierfür ist ein in der Praxis feststellbarer Komplexitätsanstieg bei der Leistungserstellung, den GIESSMANN UND LASCH (2010, S.152ff.) mit ihrer Studie zum Thema „Komplexität und Komplexitätsmanagement in der Unternehmenspraxis“ aufzeigen. Das Gefühl eines stetigen Komplexitätsanstiegs sieht MÖLLER (2013, S.65) jedoch nicht darin begründet, dass die Welt komplexer wird, sondern dass unsere Analysefähigkeiten und -anforderungen durch die Verwendung leistungsfähiger IT-Systeme stetig zunehmen.

Unstrittig ist dabei festzustellen, dass sich Komplexität sowohl positiv als auch negativ auf das Unternehmen auswirkt (vgl. Wüpping 2011, S.67). So kann beispielsweise der monetäre Nutzeneffekt von Komplexität in der Generierung zusätzlicher Deckungsbeiträge durch eine Volumenausweitung aufgrund eines erweiterten Kundenkreises, in der Generierung eines höheren zu erzielenden Preisniveaus durch gesteigerten Kundennutzen oder in einer Reduzierung der proportionalen Herstellkosten durch eine optimierte anforderungsspezifische Komponentenauslegung liegen (vgl. Bohne 1998, S.40 ff.). Komplexität kann somit durchaus den Unternehmenserfolg positiv beeinflussen und zur Verbesserung der eigenen Wettbewerbsposition durch Schaffung von Alleinstellungsmerkmalen beitragen (vgl. Schuh 2005, S.V).

Dennoch wird der Begriff Komplexität im alltäglichen Sprachgebrauch verstärkt mit negativen Assoziationen wie Unsicherheit oder sogar Hilflosigkeit in Verbindung gebracht und als Problem verstanden (vgl. Kirchhof 2003, S.49; Scherf 2003, S.1), dessen Lösung ab einem bestimmten Komplexitätsgrad die geistigen Fähigkeiten des Menschen übersteigt (vgl. Sargut & Gunther-McGrath 2011, S.24).

Auslöser hierfür ist oft die Tatsache, dass sich komplexe Problemstellungen aufgrund einer hohen Kopplungsintensität der Parameter und fehlender Ressourcen nicht gänzlich analysieren lassen und dadurch die Auswirkungen getroffener Entscheidungen infolge fehlender Kenntnis über bestehende Wechselwirkungen und die existierende Zeitvarianz des Systems nur bedingt abschätzbar sind (vgl. Dehnen 2004, S.30; Lammers 2012, S.17). Komplexität verursacht Intransparenz bezüglich der Wirkungszusammenhänge und führt somit zu Unsicherheit (vgl. Bohne 1998, S.20).

Diese Schwierigkeiten im Umgang mit Komplexität sind nicht allein auf die subjektive Wahrnehmung des Einzelnen beschränkt, sondern wirken sich auch auf den Umgang mit Komplexität im Unternehmen aus (vgl. Mayer 2007, S.33) und bestimmen somit in hohem Maß das Komplexitätsniveau eines Unternehmens.

BLISS (2000, S.12) beschreibt daher den Zielkonflikt zwischen Kosten- und Nutzendimension der Komplexität als „zentrales Dilemma der marktorientierten Unternehmensführung.“ Komplexität verursacht einerseits Kosten, ermöglicht andererseits dem Unternehmen durch den Aufbau von Varietät das eigene Produktprogramm flexibel an heterogene Marktbedürfnisse der Kunden anzupassen, somit die Kundenzufriedenheit zu erhöhen und Wettbewerbsvorteile zu generieren (vgl. Bliss 2000, S.11). Komplexität ist somit eine Begleiterscheinung unternehmerischen Handelns (vgl. Reiß 1993, S.3).

Die Ausführungen verdeutlichen die Notwendigkeit einer detaillierten Auseinandersetzung mit der Komplexitätsthematik. Das in den letzten Jahren stark zunehmende Komplexitätsbewusstsein der Unternehmen (vgl. Castellanos 2012, S.80) verdeutlicht, dass die Unternehmen diese Notwendigkeit erkannt haben und die Optimierung des Komplexitätsniveaus einen wichtigen Erfolgsbeitrag darstellt.

### 2.2.1.1 Dimensionen der Komplexität und Ableitung des Komplexitätsbegriffs

Wie bereits ausgeführt ist die Entstehung von Komplexität vielschichtig. Komplexität kann daher in einer ersten definitorischen Annäherung als ein mehrdimensionales und multidisziplinäres Phänomen verstanden werden, welches in verschiedensten Erscheinungsformen zum Ausdruck kommt (vgl. Adam & Johannwille 1998, S.6; Kersten et al. 2006, S.326).

Dies spiegelt sich auch in der heterogenen Verwendung des Komplexitätsbegriffs in den einzelnen formalen, realen und intradisziplinären Wissenschaften und Forschungszweigen wider (vgl. Bandte 2007, S. 50ff.; Kersten et al. 2006, S.326; Luhmann 1975, S.204; Mayer 2007, S.20; Skirde 2015, S.12;). Der transdisziplinäre Charakter der Komplexität

(Kirchhof 2003, S.12) und der hohe Abstraktionsgrad des jeweiligen Begriffsverständnisses führen zu einem hohen definitorischen Varietätsgrad in Abhängigkeit der jeweiligen Forschungsziele (vgl. Castellanos 2012, S.18).

Daher wird der Aussage von SKIRDE (2015, S.12) entsprochen, wonach eine erneute detaillierte definitorische Auseinandersetzung und Betrachtung einzelner Wissenschaftsdisziplinen aufgrund der Vielzahl vorliegender Arbeiten als nicht zielführend erachtet wird. In ähnlicher Weise äußert sich auch DEHNEN (2004, S.30).

Als zielführender wird der Ansatz erachtet, im Folgenden Aussagen aus der Wissenschaft exemplarisch darzulegen und hieraus ein im Rahmen dieser Arbeit anwendbares Begriffsverständnis von Komplexität abzuleiten.

Etymologisch lässt sich der Begriff Komplexität mit den Worten „zusammenhängend“ und „vielfumfassend“ beschreiben (vgl. Kopenhagen 2004, S.13). Hieraus ist ableitbar, dass Komplexität eng mit den Begrifflichkeiten Vielfalt und Relation verbunden ist.

Basierend auf einem eher abstrakten Ansatz definiert CASTELLANOS (2012, S.23) Komplexität als „a structural and behavioral attribute of a system, which describes the events and outputs at different detail levels as abstracted by the system's observer“.

Trotz des hohen Abstraktionscharakters ist hieraus ersichtlich, dass Komplexität einen hohen Subjektivitätsgrad besitzt und von der gewählten Betrachtungsgranularität abhängt (vgl. Stüttgen 1999, S.22). MAYER (2007, S.21) führt folglich aus, dass die Komplexitätswahrnehmung mit zunehmendem Detaillierungsgrad eines Systems ansteigt.

Nach ZETTL (2009, S.14) lässt sich Komplexität durch die Anzahl und Vielfalt vorhandener Elemente innerhalb eines Systems und deren Beziehungen charakterisieren.

Folglich kann die Komplexität eines Systems durch die Betrachtung von zwei Hauptdimensionen beschrieben werden (vgl. Fixson & Clark 2002, S.133). Die erste Dimension beschreibt die Elemente aus denen ein System zusammengesetzt ist. Die zweite Dimension betrachtet die wechselseitigen Beziehungen, die unter den Elementen existieren. BOHNE (1998, S.20) sieht in der Kopplung beider Dimensionen, also die Vielfalt der Elemente und die aus der Verbundenheit der Elemente resultierenden Wechselwirkungen, das konstituierende Merkmal von Komplexität.

Für PILLER (2000, S.179) wird die Komplexität eines Systems hervorgerufen durch seine strukturelle Vielschichtigkeit und die dynamische Veränderlichkeit der Beziehungen seiner strukturbestimmenden Elemente.

Die Vielschichtigkeit wird als Varietät des Systems bezeichnet und resultiert aus der Anzahl von Elementen und deren Diversität (vgl. Piller 2000, S.179). Mit steigendem Diversitätsgrad, d.h. dem Auftreten unterschiedlicher Arten von Elementen, und/ oder steigender Elementanzahl nehmen die Varietät und damit die Komplexität des Systems zu.

Für ETHIRAJ UND LEVINTHAL (2004, S.161) entspringt Komplexität „from the often unknown nature and magnitude of interactions between different parts of the system and the consequent system performance implications“. Die Beziehungen können dabei verstärkender, abschwächender oder neutraler Natur sein und sich zusätzlich dynamisch

verändern, wodurch selbst bei einer kleinen Änderung eines Sub-Systems im Gesamtsystem ein hohes Maß an nichtlinearen und unvorhersehbaren Veränderungen hervorgerufen werden kann (vgl. Ethiraj & Levinthal 2004, S.161).

Die fehlende Linearitätseigenschaft bewirkt, dass komplexe Systeme nicht in einen ursprünglichen Zustand rückführbar sind. BLISS (2000, S.26f.) fasst dieses Phänomen unter dem Begriff der Irreversibilität zusammen. Die inkludierte Unvollständigkeit bekannter Verhaltensmuster eines Systems führt somit dazu, dass trotz einer theoretisch vollständigen Informationsbasis über die einzelnen Elemente und deren Relationen keine hundertprozentige Vorhersage über das Gesamtverhalten des Systems möglich ist (vgl. Wüpping 2011, S.66).

Die Veränderlichkeit der Systemzustände ist dabei innerhalb eines komplexen Systems von Rückkopplungseffekten geprägt, die dazu führen, dass sich die aus der Veränderung von Systemelementen resultierenden Zustände eines Systems gegenseitig beeinflussen (vgl. Bliss 2000, S.25). „Eine Systemreaktion ist dann Ursache und Wirkung zugleich“ (Bliss 2000, S.73).

Basierend auf den in Kapitel 2.1.1 dargelegten Überlegungen zur Systemtheorie definiert LUHMANN (1975, S.207) Komplexität „nicht einfach nur [als] die Menge der strukturell ermöglichten Relationen, sondern deren Selektivität“ und leitet hieraus eine positive Korrelation zwischen dem Grad der strukturellen Selektion eines Unternehmens und dessen Komplexitätsniveau ab (vgl. ebenda, S.207).

Komplexität kann daher als graduelle Ausprägung eines Systems verstanden werden (vgl. Stüttgen 1999, S.22), die durch die vielfältigen Zusammensetzungsmöglichkeiten des Systems als Ganzes entsteht (vgl. Rosenberg 2002, S.226).

SCHUH (2005, S.34) stellt Komplexität und Vielfalt in einen Beziehungszusammenhang: „Bezeichnet die Komplexität [...] eine Eigenschaft des Systems, ist die Vielfalt [...] die dazugehörige Maßeinheit.“ Somit kann Vielfalt als eine Merkmalsausprägung von Komplexität verstanden werden.

Aus den dargelegten Aussagen lassen sich folgende Rückschlüsse bzgl. eines allgemeingültigen Komplexitätsverständnisses ziehen:

- 1) Komplexität besitzt eine qualitative, quantitative und zeitliche Dimension.
- 2) Die Komplexität eines Systems wird bestimmt durch die Komplexitätsmerkmale Konnektivität, Varietät und Dynamik.
- 3) Varietät und Konnektivität sind miteinander korrelierte Komplexitätsmerkmale (vgl. Kopenhagen 2004, S.13).
- 4) Die Komplexitätswahrnehmung ist abhängig von der gewählten Betrachtungsgranularität.
- 5) Das Komplexitätsniveau eines Systems hängt von dessen Selektionsfähigkeit ab.

Abbildung 9 stellt den Zusammenhang zwischen den Dimensionen und Merkmalen der Komplexität schematisch dar.

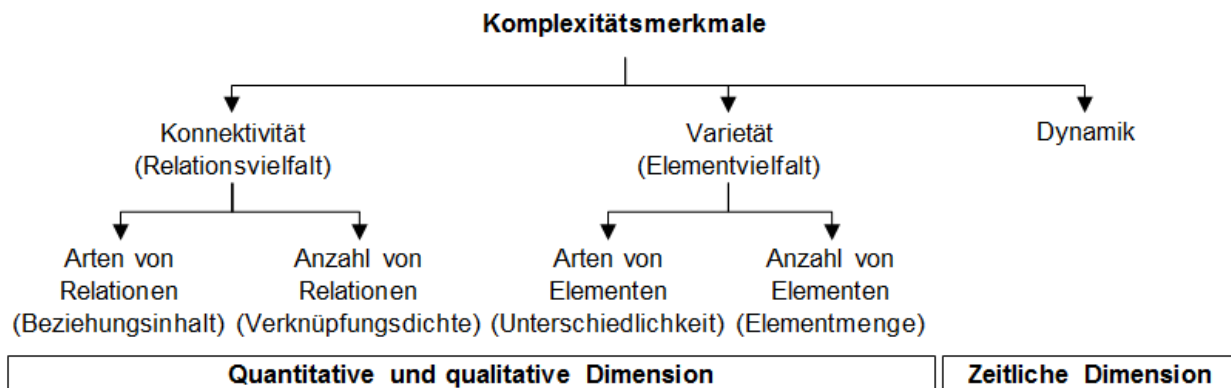


Abbildung 9: Komplexitätsdimensionen und Merkmalsausprägungen der Komplexität  
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Skirde 2015, S.13

Während die quantitative und qualitative Komplexitätsdimension die Anzahl und Verschiedenheit relevanter Elemente und deren Vernetzung untereinander beschreibt, berücksichtigt die zeitliche Komplexitätsdimension die Dynamik<sup>21</sup> relevanter Sachverhalte (vgl. Weissenberger-Eibl & Koch, 2011, S.37).<sup>22</sup>

Zusammenfassend kann Komplexität entsprechend des systemtheoretischen Verständnisses als relative Systemeigenschaft verstanden werden, determiniert durch ein bestimmtes Maß an Element- und Relationsvielfalt und deren dynamische Veränderlichkeit über die Zeit (vgl. Blackenfelt 2001, S.37; Bohne 1998, S.23; Gießmann 2010 S.34; Kersten et al. 2013, S.90; Schuh 2005, S.5).

Komplexe Phänomene sind dabei durch ein hohes Maß an instabilen, nichtlinearen und aufgrund existierender Rückkopplungen schwer erklärbares Verhalten gekennzeichnet (vgl. Klaus 2005, S.363). Resultierend hieraus entziehen sich komplexe Systeme eindeutig isolierbaren Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen (vgl. Bliss 2000, S.73).

Gleichzeitig kann festgehalten werden, dass jede gewählte Produktarchitektur<sup>23</sup> ein bestimmtes Komplexitätsniveau des Produktes hervorruft. Die existierende Abhängigkeit zwischen Strukturierung und resultierendem Komplexitätsniveau ist nicht allein auf das Produkt beschränkt, sondern spiegelt sich auch im Komplexitätsniveau bestehender Prozesse und Organisationsstrukturen des Unternehmens wider (vgl. Willke 2014, S.68).

<sup>21</sup> Unter dem Begriff Dynamik werden die Änderungshäufigkeit, das Änderungsausmaß und die Änderungsgeschwindigkeit existierender System- und/ oder Umweltzustände verstanden (vgl. Horváth 2009, S.79; Piller 2000, S.109).

<sup>22</sup> Im Gegensatz zu PILLER (2000, S.109), der Komplexität und Dynamik als zwei eigenständige Begrifflichkeiten betrachtet, wird im Rahmen dieser Arbeit Dynamik als eine Komplexitätsdimension verstanden.

<sup>23</sup> Die Produktarchitektur beschreibt die funktionale und physische Zusammensetzung sowie deren transformatorischen Zusammenhang eines Produkts (vgl. Schuh et al. 2012, S.117).

### 2.2.1.2 Klassifizierung bezüglich Art der Komplexität

Nachdem im vorangestellten Kapitel die einzelnen Dimensionen der Komplexität erläutert und darauf basierend ein einheitliches Grundverständnis für den Komplexitätsbegriff abgeleitet wurde, sollen in diesem Kapitel die ursächlichen Gründe für die Komplexitätsentstehung dargelegt werden.

Folgt man den Ausführungen von KIRCHHOF (2003, S.12ff.), dann kann Komplexität entsprechend ihrer Entstehung in strukturelle und funktionale Komplexität unterschieden werden.

Die **strukturelle Komplexität** eines Systems kann als Maß für die systemeigene strukturelle Variationsfähigkeit verstanden werden. Durch das Bereithalten von Reaktionsalternativen ist es einem System möglich auf verschiedenste Umwelteinflüsse reagieren zu können (vgl. Kirchof 2003, S.12).

Wie in Abbildung 10 dargestellt, erfolgt die Erläuterung der strukturellen Komplexität eines Systems anhand der bereits konkretisierten Komplexitätsmerkmale (vgl. Kap. 2.2.1.1).

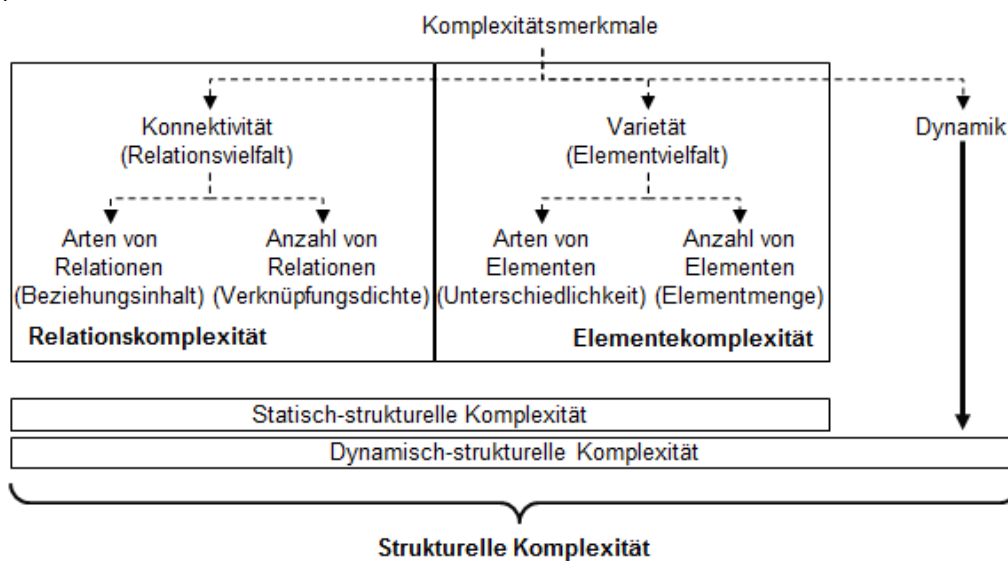


Abbildung 10: Formen der strukturellen Komplexität

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Skirde 2015, S.13 und Kirchof 2003, S.13

Basierend auf einer existierenden Vielfalt an Elementen und deren Relationen ist ein definierter statischer Systemzustand geprägt durch ein bestimmtes Maß an Elemente- und Relationskomplexität. Die **statisch-strukturelle Komplexität** ist somit als Systemfunktion der Elemente- und Relationsvielfalt zu verstehen (vgl. Kirchof 2003, S.13; Lammers 2012, S.17). Mit steigender Element- und/ oder Relationsvielfalt erhöht sich die Komplexität eines Systems (vgl. Wüpping 2011, S.66).<sup>24</sup>

<sup>24</sup> Im Gegensatz dazu spricht ARNOSCHT (2011, S.88) im Hinblick auf den statischen Charakter von der Kompliziertheit und nicht von der Komplexität eines Systems und sieht in der Existenz der Kompliziertheit eine notwendige, jedoch keine hinreichende Bedingung für Komplexität (vgl. Arnoscht 2011, S.88). Erst der dynamische Aspekt lässt Systeme komplex erscheinen (vgl. ebenda, S.88).

Die kombinatorischen Überlegungen lassen den Rückschluss zu, dass es für jeden bestimmten Komplexitätsgrad eine Substitutionsbeziehung zwischen Element- und Relationsvielfalt gibt (vgl. Bliss 2000, S.93). Diese Substitutionsbeziehung spiegelt sich auch in den Ausführungen DEHNENS (2004, S.196) zum optimalen Komplexitätsgrad wider: „Ein optimaler Komplexitätsgrad liegt dann vor, wenn innerhalb eines Systems die Anzahl und Art der Systemelemente und deren Beziehungen so gestaltet werden, dass es auf die externen Einflüsse effektiv und effizient reagieren und so seine verfolgten Ziele realisieren kann.“ ADAM UND JOHANNWILLE (1998, S.10) interpretieren einen Komplexitätsgrad daher als kombinatorische Ausprägung verschiedener Komplexitätsmerkmale.

Da Unternehmen durch ihre Interaktion mit ihrer Umwelt stetig einem potentiellen Anpassungszwang ausgesetzt sind, ist es nachvollziehbar, dass eine rein statische Betrachtung der strukturellen Komplexität bei der Suche nach dem optimalen Komplexitätsgrad nicht die Realität abbilden kann (vgl. Bliss 2000, S.95). Hierzu führt KIRCHHOF (2003, S.14) aus: „In realen Systemen treten auf Grund von Vorzuständen des Systems und Umweltveränderungen bestimmte zukünftige Zustände mit größerer Wahrscheinlichkeit ein als andere Zustände.“

Diese Aussage inkludiert neben der statischen Sichtweise zusätzlich die Betrachtung von Veränderungen über die Zeit. Es erfolgt somit die Integration des bisher nicht betrachteten Komplexitätsmerkmals Dynamik. Dynamische Komplexität entsteht durch die unvorhersehbare Reaktion eines Systems auf ein bestimmtes Set von Einflussgrößen in Abhängigkeit der internen Verkettung seiner Elemente (vgl. Bozarth et al. 2009, S.79).

**Dynamisch-strukturelle Komplexität** kann somit als die im Zeitverlauf veränderliche statisch-strukturelle Komplexität verstanden werden (vgl. Dehnen 2004, S.31; Lammers 2012, S.18).

Da Komplexität entsprechend den definitorischen Ausführungen in Kapitel 2.2.1.1 unabhängig vom dynamischen Aspekt aus der Unwissenheit über die bestehenden Wechselwirkungen zwischen einzelnen Systemelementen resultiert, wird im Rahmen dieser Arbeit den Ausführungen KIRCHHOFs entsprochen, wonach auch ohne Berücksichtigung der dynamischen Dimension von einer statisch-strukturellen Komplexität des Systems gesprochen werden kann.

Die strukturelle Komplexität eines Systems setzt sich somit aus einer statischen und einer dynamischen Strukturkomponente zusammen und ist abhängig von der Veränderlichkeit seiner Element- und Relationsvielfalt über die Zeit (vgl. Bliss 2000, S.127; Kirchhof 2003, S.18). Ein Komplexitätsproblem kann folglich stets in eine statische und eine dynamische Komponente aufgespalten werden (vgl. Schuh 2005, S.8f.).

Im Gegensatz dazu resultiert **funktionale Komplexität** nicht aus der Systemstruktur selbst sondern aus der selektiven Erfassung, Abbildung und dem Umgang mit der durch die Systemstruktur hervorgerufenen Komplexität (vgl. Kirchhof 2003, S.18). „Sie ist die

situative Variationsfähigkeit eines Systems bzw. seiner Akteure durch Selektion einer angemessenen Antwort auf die aktuelle Umweltkomplexität“ (Kirchhof 2003, S.15). Damit wird deutlich, dass funktionale Komplexität eine subjektive Prägung durch den Betrachter erfährt und von dessen Wahrnehmungen und Interpretationen von Komplexität sowie dessen Fähigkeiten im Umgang mit Komplexität abhängt (vgl. Kirchhof 2003, S.17; ebenda, S.45).

Da der Fokus dieser Arbeit in der Objektivierung der Wirkungszusammenhänge zwischen Komplexität und modularem Baukasten liegt und der Modulare Baukasten als ein Produktstrukturierungsansatz zu verstehen ist, wird im nachfolgend das Hauptaugenmerk auf die strukturelle Komplexität gelegt.

Um Limitationen in der Aussagekraft der Arbeit im Umgang mit Komplexität zu vermeiden, wird innerhalb des Forschungsprozess bei Erfordernis ein Bezug zur funktionalen Komplexität hergestellt. Damit wird dem Sachverhalt entsprochen, dass Entscheidungen im Umgang mit Komplexität aufgrund des inkludierten Subjektivitätsgrads stets auch von einer subjektivierten und damit funktionalen Komplexität beeinflusst werden.

### 2.2.1.3 Klassifizierung bezüglich Herkunft der Komplexität

Geleitet durch den systemtheoretischen Ansatz liegt die Zielstellung dieses Kapitels in der theoriegeleiteten Ableitung eines Grundgerüsts zur Klassifizierung der Entstehungsherkunft von Komplexität, auf dessen Basis im weiteren Verlauf des Forschungsprozesses die detaillierte Identifizierung relevanter Komplexitätstreiber erfolgt (vgl. Kap. 3.1).

Sowohl das Unternehmen als System als auch seine Systemumwelt sind von einem bestimmten Maß an Komplexität gekennzeichnet (vgl. Bohne 1998, S.21). Durch die Interaktion mit seiner Umwelt ist das Unternehmen somit einer Umweltkomplexität ausgesetzt, die Einfluss auf das Unternehmen ausübt und der sich das Unternehmen durch den Aufbau unternehmensspezifischer Komplexität zur Sicherstellung der eigenen Überlebensfähigkeit zu entsprechen versucht (vgl. Kirchhof 2003, S.39).

Hieraus lässt sich ableiten, dass es Auslöser für die strukturelle und funktionale Komplexität eines Unternehmens geben muss, die einerseits aufgrund der Interaktion mit der Umwelt auf das Unternehmen projiziert werden und andererseits durch den Zwang des Komplexitätsaufbaus im Unternehmen selbst entstehen. Vor diesem Hintergrund ist die Komplexität eines Systems nur unter Bezugnahme der Systemumwelt bewertbar (vgl. Bliss 2000, S.123).

Das Komplexitätsniveau eines Unternehmens ist somit das Ergebnis des Zusammenwirkens von exogener Komplexität (Umweltkomplexität) und endogener Komplexität (Unternehmenskomplexität) (vgl. Kirchhof 2003, S.39). Exogene Komplexität beschreibt das

Komplexitätsniveau der Unternehmensumwelt. Auswirkungen der exogenen Komponente des Komplexitätsniveaus werden, wie bereits erläutert, durch die Interaktion des Unternehmens mit seiner Umwelt auf das Unternehmen projiziert. Im Gegensatz dazu wird die endogene Komplexität primär durch unternehmensspezifische Gegebenheiten beeinflusst.

Eine in der Literatur ebenfalls häufig anzutreffende alternative Bezeichnung ist die Unterteilung in externe und interne Komplexität (vgl. Lammers 2012, S.33ff.; Mayer 2007, S.22ff.; Piller 2000, S.109). Da die Begrifflichkeiten inhaltlich gleichbedeutend sind, erfolgt im Rahmen dieser Arbeit zur Wahrung eines einheitlichen Verständnisses die Verwendung der Begriffe exogene und endogene Komplexität.

**Exogene Komplexität** beschreibt die Komplexität der unternehmerischen Umwelt hervorgerufen durch die Anzahl und Verschiedenartigkeit existierender Umweltfaktoren (vgl. Piller 2000, S.109). Bezogen auf die vorangestellten systemtheoretischen Ausführungen resultiert die exogene Komplexität aus der Interaktion eines Unternehmens mit seiner Systemumwelt und spiegelt die Anforderungen der Märkte und damit der Systemumwelt wider (vgl. Piller & Waringer 1999, S.6). Erhöht man den thematischen Detaillierungsgrad, kann den Ausführungen von KIRCHOF (2003, S.39) folgend exogene Komplexität in eine Markt- und Gesellschaftskomplexität unterteilt werden (siehe Abbildung 11).

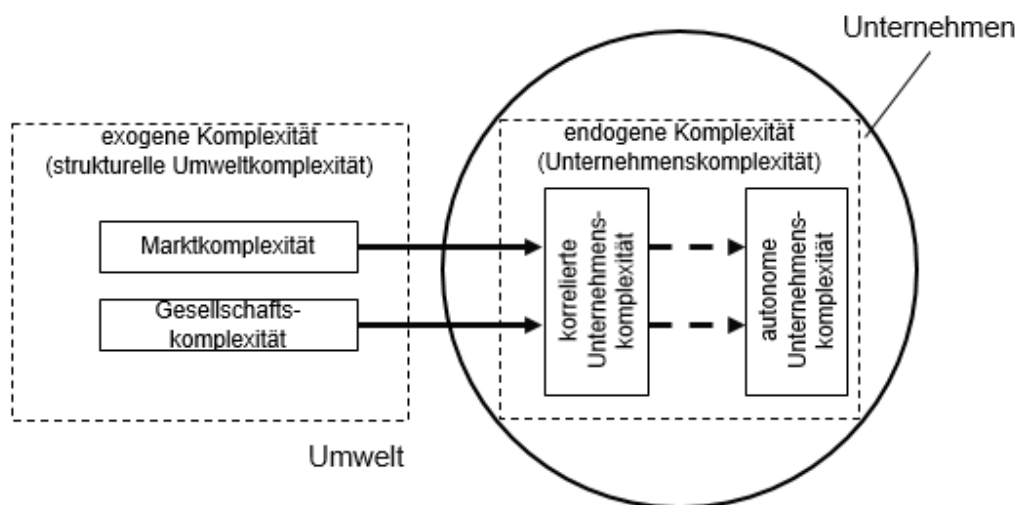


Abbildung 11: Entstehungsherkunft und Wirkungszusammenhang von exogener und endogener Komplexität

Durch die Notwendigkeit zum Überleben Austauschbeziehungen mit seiner Umwelt eingehen zu müssen, ist das Unternehmen einer nur bedingt beeinflussbaren aber dennoch unternehmensspezifischen **Marktkomplexität** ausgesetzt, die durch die vorherrschenden Bedingungen auf den Absatz-, Beschaffungs- Kapital-, Arbeits- und Technologiemärkten determiniert wird und dadurch die Wettbewerbssituation des Unternehmens beeinflusst (vgl. Kirchhof 2003, S.39).

Im Gegensatz dazu besteht nach Einschätzung von KIRCHHOF (2003, S.39) bei der **Gesellschaftskomplexität** für das Unternehmen kaum eine Möglichkeit der Einflussnahme, so dass das Maß der Gesellschaftskomplexität als gegeben angesehen werden muss. Gesellschaftskomplexität wird determiniert durch das bestehende Polit-, Wirtschafts- und Rechtssystem sowie Faktoren aus Ökologie und Kultur (vgl. Kirchhof 2003, S.39).

**Endogene Komplexität** wird ausgelöst von der Vielschichtigkeit des Leistungs- und Produktionsprogramms (vgl. Piller 2000, S.109) und kann entsprechend KIRCHHOF (2003, S.39) wiederum in korrelierte und autonome Unternehmenskomplexität unterteilt werden (siehe Abbildung 11).

Um der exogenen Komplexität entsprechen zu können, muss das Unternehmen ein bestimmtes Maß an endogener Komplexität bereitstellen (vgl. Kirchhof 2003, S.39). Diese Art der Komplexität wird nach KIRCHHOF (2003, S.39f.) als **korrelierte Unternehmenskomplexität** bezeichnet. „Nur durch den Aufbau und die Beherrschung von interner Komplexität können Systeme auf Einflüsse des Umfeldes reagieren“ (MAYER 2007, S.22). Es existiert also ein Zusammenhang zwischen exogener Umwelt- und endogener Systemkomplexität. MAYER sieht daher das Vorhandensein der Umweltkomplexität als eine Hauptursache für die Entstehung der Systemkomplexität (vgl. Mayer 2007, S.23). Um zu überleben ist ein System gezwungen einen bestimmten Grad der bestehenden Umweltkomplexität durch den Aufbau eigener Systemkomplexität abzubilden, um Einflüsse der Umwelt durch den Aufbau geeigneter systemeigener Relationen kompensieren zu können (vgl. Mayer 2007, S.22). Die exogene Umweltkomplexität hat folglich einen unmittelbaren Einfluss auf einen Teil der endogenen Unternehmenskomplexität (vgl. Bliss 2000, S.6). Korrelierte Unternehmenskomplexität wird vorrangig determiniert von der Kundenstruktur, dem Produkt und dem damit verbundenen Produktprogramm sowie der eingesetzten Technologie.

Die vorangestellten Ausführungen haben gezeigt, dass zwischen exogener und endogener Komplexität eine Korrelation existiert. Diese Korrelation ist durch ein bestimmtes Maß an Unvollständigkeit gekennzeichnet (vgl. Mayer 2007, S.23). Das bedeutet, dass es innerhalb eines Unternehmens Komplexität gibt, die unabhängig von der Umweltkomplexität entsteht und daher als **autonome Unternehmenskomplexität**<sup>25</sup> beschrieben wird (vgl. Kirchhof 2003, S.39). Autonome Unternehmenskomplexität wird bestimmt durch das Produktionsprogramm, die Fertigungssysteme, die Prozesse, den Organisationsaufbau und durch die implementierten Informations-, Planungs-, Steuerungs- und Kontrollsysteme (vgl. Kirchhof 2003, S.40).

---

<sup>25</sup> Da die autonome Unternehmenskomplexität von der korrelierten Unternehmenskomplexität determiniert wird (vgl. Kirchhof 2003, S.40), ist die Bezeichnung der autonomen Unternehmenskomplexität aus Sicht des Autors rein formell nicht 100% korrekt, da entsprechend der Kausalkette auch eine indirekte Wirkung der Marktkomplexität auf die autonome Unternehmenskomplexität erfolgt (vgl. Kirchhof 2003, S.41). Auf eine detaillierte Diskussion dieser Thematik wird verzichtet, da sie für den weiteren Forschungsprozess nicht als zielführend erachtet wird.

#### 2.2.1.4 Handlungsstrategien im Umgang mit Komplexität

*„Etwas plakativ kann die These formuliert werden, dass die Komplexitätstreibenden Einflussgrößen lediglich Rahmenbedingungen darstellen, innerhalb derer sich ein dem Wirtschaftlichkeitsprinzip verpflichtetes unternehmerisches Handeln vollziehen muss“ (Bohne 1998, S.63).*

Das einleitende Zitat verdeutlicht die Notwendigkeit für ein Unternehmen, geeignete Strategien zu ergreifen, um wirtschaftlich mit dem durch die Existenz von Komplexitätstreibenden Einflussgrößen existierenden Komplexitätsniveau umgehen zu können. Die Darlegung grundlegender Handlungsstrategien im Umgang mit Komplexität stellt den inhaltlichen Kern dieses Kapitels dar.

Bevor auf die einzelnen Handlungsstrategien im Umgang mit Komplexität eingegangen wird, sollen die thematisch mit dem Komplexitätsmanagement eng verknüpften grundlegenden **Basisaussagen ASHBYS und LUHMANNs** zum Umgang mit Komplexität beschrieben werden, da durch die Basisaussagen das Grundverständnis für den Nutzenbeitrag der einzelnen Handlungsstrategien des Komplexitätsmanagements zur Erreichung eines optimalen Komplexitätsniveaus geschärft wird.

Die erste Basisaussage des Komplexitätsmanagements, auch als Gesetz der erforderlichen Varietät bezeichnet, ist auf ASHBY zurückzuführen und lautet in der deutschen Übersetzung **„Nur Varietät kann Varietät absorbieren“** (vgl. Kirchhof 2003, S.58). Inhaltlich ist hierunter zu verstehen, dass aus Sicht des Unternehmens der Varietät externer Umwelteinflüsse nur in dem Umfang entsprochen werden kann, in dem das Unternehmen interne Varietät aufbaut. Entsprechend beruht der Ansatz ASHBYS darin, durch das Verhalten von systemeigenen Verhaltensmustern besser auf potentielle Umweltzustände reagieren zu können, um der externen Umweltvarietät zu entsprechen (vgl. Kirchhof 2003, S.58). Je höher der Grad der statischen Komplexität eines Systems ist, desto bedeutet je mehr potenzielle Umweltkonfigurationen das System durch seine Elemente und Relationen strukturell abbilden kann, desto erfolgreicher ist das System hinsichtlich seiner Überlebensfähigkeit und Zielerreichung (vgl. Bliss 2000, S.143f.; Kirchhof 2003, S.58). Strukturelle Unternehmenskomplexität wird bei ASHBY als lebensnotwendige und positive Eigenschaft eines Unternehmens angesehen (vgl. Kirchhof 2003, S.58).

Die zweite Basisaussage, der Satz LUHMANNs zur erforderlichen Selektivität, besagt **„Nur Komplexität reduziert Komplexität“** (vgl. Kirchhof 2003 S.57). Basierend auf einem existierenden Komplexitätsgefälle zwischen System und Systemumwelt, setzt sich Komplexität aus Systemsicht aus einem Anteil bestimmter und unbestimmter Komplexität zusammen (vgl. Kirchhof 2003, S.57). Die Umwelt besitzt dabei stets ein höheres Komplexitätsniveau als das System (vgl. Bliss 2000, S.148). Aus dem Sinnzusammenhang mit seiner Systemumwelt ermöglicht die Anwendung von Selektionsstrategien dem System, durch die Auswahl bestimmter Elemente und Aufbau von Relationen, unbestimmte

Umweltkomplexität in bestimmte Systemkomplexität umzuwandeln. Durch den Aufbau von Systemkomplexität wird gleichzeitig Umweltkomplexität reduziert. Da es dem System aufgrund des existierenden Komplexitätsgefälles ähnlich wie bei ASHBY nicht gelingen wird, jeden Zustand der Umwelt systemadäquat abzubilden, muss das System durch die situative Anwendung von Selektionsmustern aus der Vielzahl potentieller Zustände diejenigen herausfiltern, die der Ziel- und Zwecksetzung des Systems entsprechen. Die hieraus resultierende Unbestimmtheit ermöglicht dem System ein hohes Maß an Flexibilität bei der Erzeugung überlegener Selektionsmuster zum Ausgleich des Komplexitätsgefälles zwischen System und Systemumwelt. Ein System kann seiner Umwelt umso besser entsprechen, je unbestimmter es ist, da mit steigendem Grad der Unbestimmtheit die Freiheitsgrade der Selektionsstrategie zunehmen und dadurch die Qualität der erzeugten Selektionsmuster verbessert wird (vgl. Kirchhof 2003, S.59; vgl. auch Bandte 2007, S.73).

Die Basisaussagen ASHBYs und LUHMANNs verdeutlichen das Dilemma eines Unternehmens im Umgang mit Komplexität. Unter einem gegebenen Maß existierender Umweltkomplexität muss ein Unternehmen strategische Maßnahmen ergreifen, die es ihm ermöglichen mit einem begrenzten Maß an Ressourcen und einem erforderlichen Maß an Flexibilität ein optimales endogenes Komplexitätsniveau aufzubauen, um wirtschaftliches Handeln zu gewährleisten und somit die Wettbewerbsfähigkeit sicherzustellen.

Die Ableitung hierfür erforderlicher Handlungsstrategien ist die Kernaufgabe des **Komplexitätsmanagements**. Unter dem Begriff des Komplexitätsmanagements können dabei sämtliche Maßnahmen zusammengefasst werden, die sich mit der Gestaltung, Steuerung und Entwicklung der Vielfalt des Leistungsspektrums eines Unternehmens befassen (vgl. Gonsior 2008, S.236). Das Komplexitätsmanagement ist dabei als „ein kontinuierliches Streben nach einem optimalen Komplexitätsgrad“ (Lammers 2012, S.26) zu verstehen, bei dem aus Sicht des Unternehmens der exogenen Komplexität durch ein bestimmtes Maß an endogener Komplexität entsprochen wird, um die Überlebensfähigkeit des Unternehmens zu gewährleisten. Grundvoraussetzung hierfür ist die Existenz eines komplexen Systems und damit das Vorliegen eines bestimmten Komplexitätsniveaus (vgl. Skirde 2015, S.18). Durch ergreifen strategischer Maßnahmen kann im Rahmen des Komplexitätsmanagements das Komplexitätsniveau erhöht oder gesenkt werden, um das Komplexitätsoptimum zu erreichen (vgl. Schuh 2005, S.43f.).

Die innerhalb des Komplexitätsmanagements zur Anwendung kommenden Handlungsstrategien sind die Komplexitätsvermeidung, -reduzierung und -beherrschung (vgl. Piller & Waringer 1999, S.28; Skirde 2015, S.18f.).

Obwohl die einzelnen Strategien hinsichtlich ihres optimalen Wirkungspotentials einen unterschiedlichen Implementierungszeitpunkt erfordern, ist eine klare Abgrenzung aufgrund bestehender Überschneidungen der Strategien innerhalb der Wertschöpfungsphasen nicht möglich (vgl. Gonsior 2008, S.237f.)

In Analogie zu LAMMERS (2012, S.117) erscheint eine Differenzierung basierend auf der Beeinflussbarkeit und den zeitlichen Wirkungshorizont bei der in Abbildung 12 dargestellten Einordnung der drei Basisstrategien in den Wertschöpfungsprozess am geeignetsten.

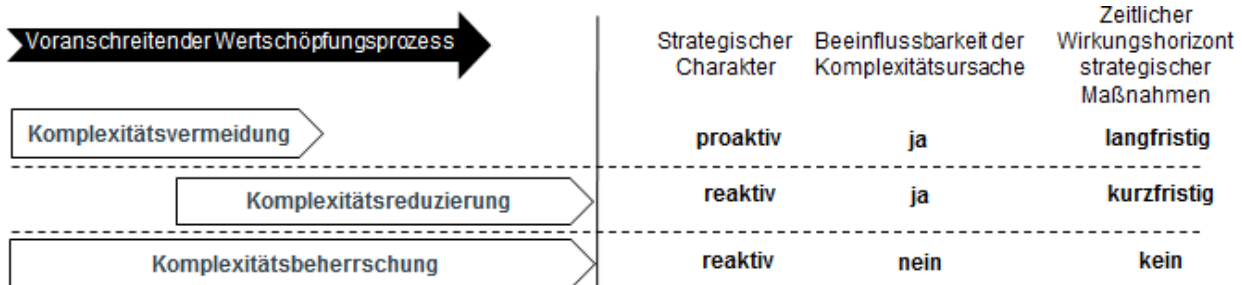


Abbildung 12: Differenzierung der Komplexitätsstrategien nach Beeinflussbarkeit und zeitlichem Wirkungshorizont

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Lammers (2012, S.117)

Aufgrund des beschriebenen asymmetrischen Kostenverhaltens zwischen dem Auf- und Abbau von Komplexität, ist die **Komplexitätsvermeidung** hinsichtlich ihres Wirkungspotenzials gegenüber der Komplexitätsreduzierung als vorteilhafter einzuschätzen (vgl. Lammers 2012, S.30).

Dabei können zukunftsorientierte Maßnahmen der Komplexitätsvermeidung nur unter Gegenwartsbezug in einem sehr frühen Stadium des Produktlebenszyklus, nämlich im Stadium der Produktentwicklung, sinnvoll eingesetzt werden (vgl. Lammers 2012, S.116; Piller 2000, S.226; Skirde 2015, S.18), da mit fortschreitender Wertschöpfung der bis dahin erbrachte Aufwand, wie bspw. getätigte Entwicklungsleistungen oder die Erstellung von Prototypenwerkzeugen, nicht mehr vollumfänglich rückgängig gemacht werden kann (vgl. Gonsior 2008, S.238). Da sämtliche präventive Maßnahmen zur Vermeidung von Komplexität Ausstrahlungseffekte auf alle nachgelagerten Wertschöpfungsstufen besitzen, sind Entscheidungen aufgrund des langen Umsetzungs- und Wirkungshorizontes nach Möglichkeit immer auf Basis einer ganzheitlichen Betrachtung der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette zu treffen (vgl. Skirde 2015, S.19).

Die strategische Anwendung der **Komplexitätsreduzierung** ist immer dann erforderlich, wenn die Beherrschung der Komplexität nicht mehr möglich ist bzw. der erforderliche Aufwand für eine Beherrschung als zu hoch erachtet wird (vgl. Gonsior 2008, S.239). Eine Komplexitätsreduzierung erfordert also die Existenz eines bestimmten Komplexitätsniveaus (vgl. Skirde 2015, S.19). „Komplexitätsreduktion umfasst demnach alle Maßnahmen, die geeignet sind, die Unternehmenskomplexität in ihrer absoluten Wirkung, die Markt Komplexität in ihrer relativen Wirkung [...] zu minimieren“ (Bliss 1998, S.152). Folglich sieht BLISS (2000, S.37) die Notwendigkeit darin, jeder technologischen Komplexitätsbeherrschung Maßnahmen der Komplexitätsreduzierung voranzustellen.

Bei der Komplexitätsreduzierung steht die aktive Reduktion derjenigen Faktoren im Vordergrund, die die Unternehmenskomplexität sowohl direkt als auch indirekt erzeugen (vgl. Bliss 2000, S.38) und deren Ursache das Unternehmen aktiv selbst beeinflussen kann.

Die Komplexität eines Produktes lässt sich in erster Linie durch die Reduzierung etwaiger Produktkomponenten und durch die Reduzierung der Anzahl und Intensität ausgebildeter Beziehungen verringern bzw. eliminieren (vgl. Bliss 1998, S.152; Gießmann 2010, S.42; Göpfert & Steinbrecher 2000, S.20), da hierdurch vor allem die beiden Komplexitätsdimensionen Varietät und Konnektivität positiv beeinflusst werden. Durch die vereinfachte Gestaltung von Produkten und Prozessen kann das bestehende Komplexitätsniveau somit minimiert werden (vgl. Piller & Waringer 1999, S.30; Skirde 2015, S.19). Gleichzeitig führt eine Vereinfachungen zu einem reduzierten Bedarf an Ressourcen (vgl. ebenda, S.34). Im Gegensatz dazu lässt sich die Komplexitätsdimension Dynamik durch Maßnahmen der Komplexitätsreduzierung nur dann positiv beeinflussen, wenn eine direkte Beeinflussung dynamischer Prozesse durch das Unternehmen möglich ist. Da Dynamik in erster Linie aber durch Umweltgegebenheiten auf das Unternehmen projiziert wird, ist das Beeinflussungspotential gering.

Die Strategie der Komplexitätsreduzierung ist nach der Aussage von MEYER UND LEHNERD (1997, S.99) eminent wichtig, da hierdurch in der Regel Kosteneinsparungen generiert werden. Dennoch schätzt GONSIOR (2008, S.239) die zu erreichenden Potentiale im Vergleich zu den beiden anderen Strategien bei der Komplexitätsreduzierung am geringsten ein. Grund hierfür ist, dass im Rahmen der Komplexitätsreduzierungen nicht alle für die Beherrschung der Komplexität getroffenen Maßnahmen vollumfänglich und somit kostenneutral rückgängig gemacht werden können (vgl. Gonsior 2008, S.239). Hierzu zählen z.B. notwendig gewordene Investitionen in EDV-Infrastruktur zur Beherrschung eines bestimmten Komplexitätsniveaus. Die durch diese irreversiblen Kosten entstandene Differenz des Kostenniveaus wird als Kostenremanenz bezeichnet (vgl. Gonsior 2008, S.240; Rapp 1999, S.67; Schuh 2005, S.23f.; Skirde 2015, S.50f.). Dieses Phänomen verdeutlicht die Tatsache, dass Komplexitätskosten nicht allein an die Anzahl der Varianten gekoppelt sind sondern auch an deren Existenz (vgl. Schaffer & Schleich 2008, S.161).<sup>26</sup>

Im Gegensatz zu den Strategien der Komplexitätsvermeidung und -reduzierung, bei denen eine Senkung des Komplexitätsniveaus differenziert nach dem optimalen Anwendungszeitpunkt und der zeitlichen Wirkung strategischer Maßnahmen im Fokus steht (vgl. Skirde 2015, S.18), verfolgt die Strategie der **Komplexitätsbeherrschung** das Ziel, entlang des gesamten Wertschöpfungsprozesses den Umgang mit einem nicht durch das Unternehmen beeinflussbaren aber zur Sicherung der Überlebensfähigkeit erforderlichen Komplexitätsniveau effizient sicherzustellen (vgl. Lammers 2012, S.116).

---

<sup>26</sup> BLECKER UND ABDELKAFI (2006) definieren Komplexitätskosten als: "costs of inefficiency that incur when large product variety has to be handled and produced".

Die Handhabung von Komplexitätskosten stellt Unternehmen vor große Herausforderungen. Als Gründe hierfür sind in erster Linie die funktionsübergreifende Wirkung, das zeitverzögerte Auftreten der Kostenwirkung, das asymmetrisch dynamische Verhalten und das Auseinanderfallen von Komplexitätsverursachung und Kostenanfall zu nennen (vgl. Skirde 2015, S.49ff.). Da der Fokus dieser Arbeit nicht in der Bestimmung von Komplexitätskosten liegt, wird auf die detaillierte thematische Auseinandersetzung verzichtet. Vielmehr sei bei weiterführendem Interesse auf SKIRDE (2015) verwiesen, der sich in seiner Arbeit mit der Existenz von Komplexitätskosten detailliert beschäftigt und diese bei der kostenorientierten Bewertung modularer Produktarchitekturen einfließen lässt.

Durch die Interaktion mit einer dynamischen Umwelt und den hieraus resultierenden wechselnden Anforderungen lässt sich aus Sicht des Unternehmens Komplexität gleichzeitig niemals gänzlich vermeiden (vgl. Gonsior 2008, S.247). Vielmehr haben die Ausführungen zu den Basisaussagen von ASHBY und LUHMANN verdeutlicht, dass der Aufbau eines bestimmten Komplexitätsniveaus zur Sicherung der Überlebensfähigkeit des Unternehmens zwingend erforderlich ist. Eine separat betrachtete Minimierung der Komplexität kann daher im Sinne einer optimalen Komplexitätsstrategie niemals zielführend sein (vgl. Gießmann 2010, S.42f.). Daher darf im Rahmen eines ganzheitlichen Komplexitätsmanagements die Komplexitätsbeherrschung nicht vernachlässigt werden (vgl. Piller & Waringer 1999, S.30).

Hierbei geht es primär darum, die Auswirkungen der dem System innewohnenden Restkomplexität durch geeignete Maßnahmen händelbar zu machen (vgl. Piller 2000, S.227). Dabei soll sich das große externe Komplexitätsniveau der Umwelt nur in einem überschaubaren und damit beherrschbaren internen Komplexitätsniveau widerspiegeln (vgl. Skirde 2015, S.19). Die Beherrschbarkeit von Komplexität kann bspw. erhöht werden, indem das komplexe Gesamtsystem in kleine separat zu betrachtende Teile aufgespalten wird (vgl. Baldwin & Clark 2000, S.64).

Strategien der Komplexitätsbeherrschung finden immer dann Anwendung, wenn die Ursache der Komplexität nicht im Einflussbereich des Unternehmens liegt und somit durch Maßnahmen der Komplexitätsreduzierung oder -vermeidung nicht beeinflussbar ist (vgl. Lammers 2012, S.117).

Abschließend sei ausgeführt, dass ein ganzheitliches Komplexitätsmanagement niemals allein auf das Produkt zu beschränken ist, da sich die Komplexität eines Produktes durch die korrelierte Komplexitätswirkung auch in der Organisationskomplexität der Unternehmensprozesse widerspiegelt (vgl. Göpfert 2000, S.20). Da sich weiterhin existierende Bereichsziele gegenseitig beeinflussen, ist mit Hinblick auf die Optimierung der Nutzenfunktion des Gesamtunternehmens die ganzheitliche Betrachtung komplexitätsstrategischer Maßnahmen erforderlich (vgl. Piller & Waringer 1999, S.32; Rapp 1999, S.16). Einzusetzende Methoden des Komplexitätsmanagements müssen daher das Erkennen und Steuern der dem Komplexitätsniveau des Unternehmens zugrunde liegenden Ursache-Wirkungs-Beziehungen ermöglichen (vgl. Lammers 2012, S.27).

#### 2.2.1.5 Einordnung des modularen Baukastens als Instrument des Komplexitätsmanagements

*„The modularity concept arose mostly from the need to simplify the management of complex systems“ (Pandremenos et al. 2009, S.148).*

Die bisherigen Ausführungen haben gezeigt, dass die Entwicklungstendenzen innerhalb der Automobilindustrie zu einem steigenden Komplexitätsniveau geführt haben. Experten

gehen davon aus, dass die Produktkomplexität in den letzten Jahren um das 6-fache angestiegen ist (vgl. Piller & Waringer 1999, S.77).

FIXSON (2007, S.97f.) sieht für diese Entwicklung primär zwei Auslöser: Erstens die zunehmende Interkonnektivität der Beziehungen innerhalb der Supply Chain und der Produktionsnetzwerke ausgelöst durch die voranschreitende Globalisierung. Zweitens die erforderliche Anpassung an kundenspezifische Anforderungen und der daraus resultierende Zwang der Auffächerung des Produktportfolios, um individuelle Nischenmärkte bedienen zu können (vgl. Piller & Waringer 1999, S.1). Sowohl Globalisierung als auch Kundenindividualisierung rufen einen intensivierten internationalen Wettbewerb hervor (vgl. Kersten et al. 2009, S.1136).

Durch die steigende Komplexität der Unternehmensumwelt sehen sich Unternehmen entsprechend den Basisaussagen ASHBYs und LUHMANNs mit der Aufgabe konfrontiert, einerseits die exogene Komplexität der Umwelt zu erfassen und andererseits die endogene Komplexität des Unternehmens zu optimieren (vgl. Wildemann 1998, S.20).

PILLER (2000, S.199) sieht folglich die Notwendigkeit in der Implementierung von Maßnahmen, die eine kundenindividuelle Leistungserstellung ermöglichen und dabei die Potentiale eines standardisierten Massenprodukts realisieren. Hierzu müssen Unternehmen den in Abbildung 13 dargestellten Zielkonflikt zwischen notwendiger kundenorientierter externer Differenzierung (Erhöhung externer Variantenvielfalt) und interner kostenorientierter Standardisierung (Reduzierung interner Variantenvielfalt) auflösen, um damit die Korrelation zwischen exogener und endogener Komplexität aufzubrechen (vgl. Skirde 2015, S.24).

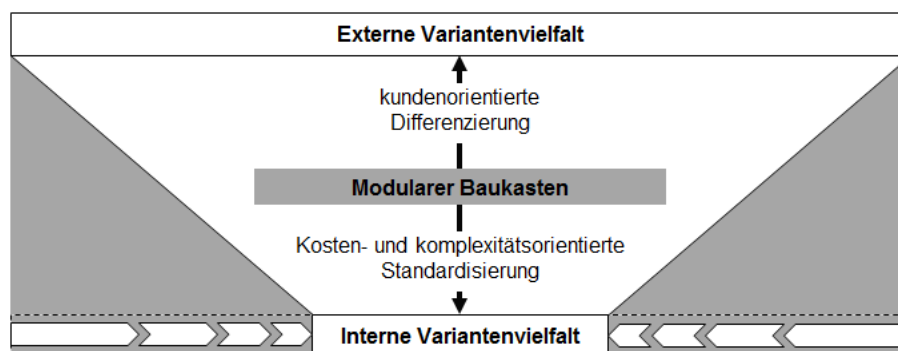


Abbildung 13: Modulare Strukturierungsansätze als Lösungsansatz im Umgang mit Variantenvielfalt  
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Skirde (2015, S.24)

Um das vom Kunden geforderte hohe Maß an Variantenvielfalt anbieten zu können, ohne gleichzeitig das unternehmensbezogene Komplexitätsniveau enorm ansteigen zu lassen, werden in der Automobilindustrie seit über 15 Jahren verstärkt Modul- und Plattformkonzepte als Instrumente des Komplexitätsmanagements für eine kostenorientierte Komplexitätsbewältigung eingesetzt (vgl. Kopenhagen 2004, S.2; Skirde 2015, S.24; Werners & Pietschmann 2011, S.58).

Durch die Realisierung inkludierter Effektwirkungen können durch die Anwendung des modularen Baukastens positive strategische Potentiale sowohl bei der Komplexitätsvermeidung als auch bei der Beherrschung und Reduzierung von Komplexität generiert (vgl. Doran & Hill 2009, S.67; Gonsior 2008, S.250; Göpfert 2000, S.20; Piller & Waringer 1999, S.35) und somit das Niveau der Relations-, Elemente- und der dynamischen Komplexität im Unternehmen optimiert werden (vgl. Bliss 1998, S.156). Die Einordnung zu einer der drei Basisstrategien wird in der Literatur dabei nicht einheitlich vorgenommen (vgl. Skirde 2015, S.42f.).

Modularisierungskonzepte beeinflussen in hohem Maß das Komplexitätsniveau innerhalb des Unternehmens, müssen gleichzeitig aber auch ein bestimmtes systemspezifisches Komplexitätsmaß abbilden. KOPPENHAGEN (2004, S.2) beschreibt Modularität aus systemtechnischer Sicht folgerichtig als konträres, strukturbeschreibendes Merkmal zur Komplexität. Das lässt den Rückschluss zu, dass jedes komplexe System zu einem bestimmten Grad modular aufgebaut ist. BALDWIN UND CLARK (2000, S.149) führen an: „Many complex adaptive systems, both natural and artificial, have characteristically modular structures“. Modularisierung und der hieraus resultierende hierarchische Strukturaufbau ermöglicht es einem System Komplexität zu managen und sich von der Umwelt als System abzugrenzen (vgl. Gneiting & Sommer-Dittrich 2008, S.101).

Zusammenfassend kann somit festgestellt werden, dass zwischen Komplexität und Modularität ein Wirkungszusammenhang existiert und der modulare Baukasten im Rahmen des Komplexitätsmanagements einen produktfokussierten Ansatz zur Reduzierung, Vermeidung und Beherrschung der Unternehmenskomplexität darstellt (vgl. Ethiraj & Levinthal 2004, S.159; Gießmann 2010, S.57.).

### **2.2.2 Themenschwerpunkt: modularer Baukasten**

Die bisherigen Ausführungen haben gezeigt, dass eine modulare Produktstrukturierung eine erfolgsversprechende Handlungsstrategie im Umgang mit einem stetig steigenden Komplexitätsniveau darstellt.

In ihrem Literature Review haben CAMPAGNOLO UND CAMUFFO (2010) die zunehmende Bedeutung von Modularisierungskonzepten „as a design principle of complex systems in management studies“ herausgearbeitet. Zu einer vergleichbaren Aussage kommen auch EITELWEIN ET AL. (2010, S. 80), die modularen Konzepten eine breitgefächerte Anwendung über fast alle Industriesektoren hinweg bei der Herstellung komplexer Produkte attestieren. In seiner weitreichenden Literaturrecherche stellt FIXSON (2007, S. 85) hierzu fest: „As a consequence, over the last 15 years research on modularity and commonality has surged in several research communities“ und bescheinigt der Thematik aufgrund einer steigenden Anzahl wissenschaftlicher Publikationen bei fortschreitender Betrachtung der einzelnen Jahresscheiben weiterhin eine hohe wissenschaftliche Relevanz (vgl. Fixson 2007, S.86).

Folgerichtig hat auch die thematische Auseinandersetzung mit Modularisierungskonzepten im Umgang mit einem stetig steigenden Komplexitätsniveau in der Automobilindustrie seit Ende des letzten Jahrtausends ein zunehmendes Interesse in Wissenschaft und Praxis hervorgerufen (vgl. Campagnolo & Camuffo 2010, S.259; Doran & Hill 2009, S.65; MacDuffie 2013, S.15; Salerno et al. 2008, S.380; Ulrich & Tung 1991, S.73).

ZETTL (2009, S.53) sieht den Einsatz eines Modularisierungskonzepts für die Produktstrukturierung besonders dann als sinnvoll an, wenn es um kundenindividuelle und damit variantenreiche Massenprodukte geht, die durch eine hohe Produktkomplexität und einen hohen Herstellungsaufwand gekennzeichnet sind. Damit erscheint die Anwendung modularer Baukästen als Modularisierungsstrategie für ein Automobil besonders prädestiniert, da es die effiziente, kosten- und komplexitätsoptimierte Generierung und Handhabung einer breiten am Kundennutzen orientierten Produktvarianz unterstützt (vgl. Blackenfelt 2001, S.1; ebenda, S.7; Junge 2005, S.4).

Im Rahmen ihrer Literaturrecherche innerhalb eines Betrachtungszeitraums von 1986-2007 identifizieren CAMPAGNOLO UND CAMUFFO (2010) 125 relevante Studien, die sich thematisch mit Modularisierungskonzepten befassen und stellen fest: „[...] this broad based appeal has generated some controversies and ambiguities on how modularity should be defined, measured and used in managerially meaningful ways.“ Die Autoren sehen die Inhomogenität innerhalb des Begriffsverständnisses dabei in den unterschiedlichen disziplinären natur- und ingenieurwissenschaftlichen Grundorientierungen der Studien begründet (vgl. Campagnolo & Camuffo 2010, S.260).

Daher besteht das Ziel dieses Kapitels neben der Erläuterung und Abgrenzung relevanter Begriffe in der Schaffung eines einheitlichen interdisziplinären Begriffsverständnisses.

#### 2.2.2.1 Erfolgspotenzial Mass Customization

*„Henry Ford’s dictum, “You can have any color car you want as long as it’s black,” is long gone from the automobile industry” (Pine 2006, S.7).*

Die bisherigen Ausführungen haben verdeutlicht, dass das Konzept der reinen Massenproduktion in der Automobilindustrie lange ausgedient hat. Globalisierung und steigender Marktdruck haben zu einer Transformation von absatzorientierten homogenen Massenmärkten mit stabiler Nachfrage zu Käufermärkten geführt, in denen Unternehmen ihr Handeln am Kundennutzen ausrichten müssen, um wettbewerbsfähig zu sein (vgl. Piller 2000, S.85; ebenda, S.138). Weder kann mit einer Massenproduktion einheitlicher Fahrzeuge die vom Kunden geforderte Variantenvielfalt bereitgestellt noch kann auf die existierende Volatilität der Märkte in ausreichendem Maß reagiert werden (vgl. Morris & Donnelly 2006, S.263).

Aus den scheinbar konträren Zielstellungen einerseits den Kundenindividualisierungsanspruch zu bedienen und andererseits das Kostenniveau annähernd konstant zu halten, wird seit Beginn der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts der Ansatz des Mass Customization verstärkt verfolgt (vgl. Fixson 2007, S.85; Jiao et al. 2004, S.83; Morris & Donnelly 2006, S.264).

Bezogen auf die Wortherkunft handelt es sich bei Mass Customization um ein Oxymoron der Begriffe „Mass Production“ und „Customization“ (vgl. Piller 2000, S.201). Im deutschsprachigen Raum wird daher der Ausdruck der kundenindividuellen Massenproduktion als begriffliches Synonym für Mass Customization verwendet (vgl. Piller 2000, S.4).

„Mass Customization typically means selling highly individual products on a mass scale“ (Morris & Donnelly 2006, S.264). Eine ähnliche Definition liefern auch WERNERS UND PIETSCHMANN (2011, S.55), die Mass Customisation als „die kundenindividualisierte Leistungsdifferenzierung mit einer Kostenstruktur, die mit einer Massengüterproduktion vergleichbar ist“ verstehen.

Mass Customization verbindet also die Strategien der Differenzierung und Kostenführerschaft (vgl. Piller 2000, S.91). Durch ein hohes kundenorientiertes Differenzierungspotential des Produktprogramms und die Generierung von kostensenkenden Skaleneffekten kann die Wettbewerbsposition gesichert bzw. neue Wettbewerbsvorteile erschlossen werden.<sup>27</sup>

Die Intention liegt in der Kombination der Effizienz einer Massenproduktion mit den Differenzierungsmöglichkeiten einer kundenspezifischen Anpassung (vgl. Jiao et al. 2004, S.84), um der zunehmenden Heterogenisierung und Individualisierung der Märkte zu entsprechen (vgl. Piller 2000, S.4). Dadurch erhalten OEMs die Möglichkeit neben existierenden Skaleneffekten aus der Massenproduktion zusätzliche Verbundeffekte zu generieren (vgl. Pine 2006, S.48).

PANDREMENOS ET AL. (2009, S.148) formulieren für die Automobilindustrie zusammenfassend vier Ziele für den Einsatz der Mass Customization-Strategie: Erreichung einer höheren kundenorientierten Varietät, hohes Volumen, geringes Kostenniveau und schnelle Auslieferung.

Das aufgezeigte Erfolgspotenzial von Mass Customization liegt in der „Standardisierung der Individualisierung“ (Piller 2000, S.209), d.h. aus einem möglichst hohen internen Standardisierungsgrad heraus ein differenziertes am Kundennutzen orientiertes Produktportfolio bereitzustellen (vgl. ebenda, S.209). Die steigende Kundenorientierung aufgrund einer hohen marktgerichteten Variantenvielfalt führt zu einer Nutzensteigerung für den Kunden und damit letztlich zu einem Anstieg der Umsätze (vgl. Schuh 2005, S.25).

Da durch die steigende interne Varietät und dem damit verbundenen Komplexitätsanstieg zusätzliche Kosten einhergehen, ist die Festlegung des richtigen Verhältnisses zwischen

---

<sup>27</sup> Bei weiterführendem Interesse zum Thema Mass Customization wird auf die Arbeit von PILLER (2000, S.200ff.) verwiesen.

externer Differenzierung zur Generierung von Wettbewerbsvorteilen, und interner Standardisierung zur Generierung von Skaleneffekten, sinnvoll abzuwägen (vgl. Blackenfelt 2001, S.13; Fisher et al. 1999, S.297; Piller 2000, S.245; ebenda, S.264). Um unnötige Komplexitätskosten und den hieraus resultierenden Wettbewerbsnachteil zu vermeiden, liegt das Ziel im Aufbau eines minimalen internen Komplexitätsniveaus zur Entsprechung bestehender Marktanforderungen (vgl. Junge 2005, S.1; Rapp 1999, S.152).

Zur Optimierung der internen Varietät und damit einhergehend die Begrenzung der variantenabhängigen Kosten sind nach Aussage REICHHUBERS (2010, S.81) „prinzipiell alle Strategien, die eine Gleichteileverwendung anstreben“ geeignet.

Diese Strategien können prozessbasiert oder produktbasiert ausgerichtet sein (vgl. Fisher et al. 1999, S.297). Basierend auf dieser Unterteilung werden im Rahmen dieser Arbeit modulare Strukturierungsansätze als produktbasierte Strategie zur Auflösung des bei erster Betrachtung scheinbar gegensätzlichen Entscheidungsproblems verstanden.

Die Anwendung einer Produktmodularisierung ermöglicht ein breitgefächertes, am Kundennutzen orientiertes Produktsortiment in kürzester Zeit bereitzustellen und dabei gleichzeitig Kosteneinsparungen durch die Generierung von Skaleneffekten sowie die Erhöhung der Produktivität bei einem vertretbaren endogenen Komplexitätsniveau zu generieren (vgl. Arnheiter & Harren 2005, S.701; Schuh 2005, S.129).

Somit kann Modularisierung nach dem Verständnis von PANDREMENOS ET AL. (2009) als eine Mass Customization-Strategie angesehen werden. In ähnlicher Form äußern sich auch ARNHEITER UND HARREN (2005, S.701): „Because of this advantage, modularity is seen as one of the keys to economical mass customization“.

#### 2.2.2.2 Grundtypen der Produktmodularität

Es konnte gezeigt werden, dass die Vorteilhaftigkeit der Modularität in der Generierung einer hohen Produktvarietät durch die Verwendung standardisierter Komponenten begründet liegt (vgl. Ulrich & Tung 1991, S.77).

In ihrer Arbeit stellen ULRICH UND TUNG (1991, S.77ff.) fünf Grundtypen der Produktmodularität zur Erreichung von Standardisierung und Variantenvielfalt industrieller Produkte vor (vgl. Abbildung 14).

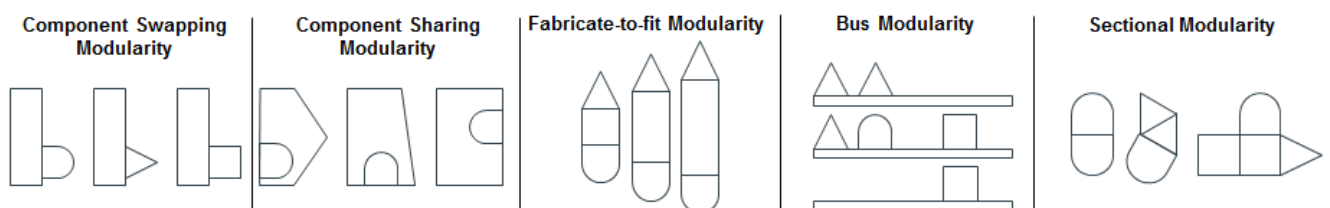


Abbildung 14: Die 5 Grundtypen der Produktmodularität  
Quelle: entnommen Ulrich & Tung (1991, S.77)

### Component-swapping modularity

Hierbei wird die Produktvarietät durch die Kombination eines Basis-Produkts mit verschiedenartigen Typen einer Komponente erreicht. Bezogen auf ein Fahrzeug spiegelt sich dieser Modularitätstyp bspw. in der Möglichkeit der unterschiedlichen Felgenauswahl für ein Fahrzeug wider.

### Component-sharing modularity

Dieser Typ verfolgt im Vergleich zur *Component-swapping modularity* genau den gegensätzlichen Weg, bei dem die gleiche standardisierte Komponente in verschiedene Produktfamilien eingesetzt wird, um dadurch Verbundeffekte zu generieren und gleichzeitig die interne Teilevielfalt zu minimieren (vgl. Pine 2006, S.200f.). Sowohl die Anwendung von Plattformen als auch von modularen Baukästen sind strategische Ansätze in der Automobilindustrie, die *Component-sharing modularity* verfolgen.

### Fabricate-to-fit modularity

Bei diesem Ansatz werden eine oder mehrere standardisierte Komponenten mit einer stufenlos anpassbaren Komponente kombiniert. Die Ausprägung der stufenlosen Anpassung liegt zumeist in der Modifizierung einer physischen Dimension der Komponente. Eine Fahrzeugkomponente, bei dem dieser Typ der Modularität Anwendung findet, ist der Kabelbaum. Durch Kombination standardisierter Steckverbindungen und Nutzung variabler Kabellängen kann ein Kabelbaum auf die spezifischen Anforderungen des Fahrzeugs angepasst werden.

### Bus modularity

*Bus modularity* beschreibt die Möglichkeit, basierend auf einer standardisierten Produktstruktur mit einer spezifischen Anzahl standardisierter Schnittstellen, durch den Einsatz einzelner Komponenten und deren Kombination verschiedenste Produktvarianten zu generieren (vgl. Pine 2006, S.205). Die Abgrenzung zu den bisherigen Modularitätstypen liegt darin, dass bei *Bus modularity* sowohl Anzahl als auch Anordnung einzusetzender Komponenten variiert werden können, wohingegen die anderen Typen der Modularität nur eine Variation der Komponenten erlauben.

### Sectional modularity

*Sectional modularity* erlaubt den größten Varietätsgrad und ermöglicht dadurch die beste kundenindividuelle Produktpassung (vgl. Pine 2006, S.208). Hier erfolgt die beliebige Kombination einzelner Komponenten aus einem Komponentenset über die Kopplung verfügbarer Schnittstellen. Hierdurch sind weitreichende Variationen der Produktstruktur möglich. Als Beispiel führen die Autoren Lego Steine an, die in einer annähernd unerschöpflichen Art und Weise über ihre standardisierten Schnittstellen miteinander kombinierbar sind.

Abschließend ist anzumerken, dass die dargestellten Archetypen nicht separiert zu betrachten sind, da in einem Produkt mehrere Modularitätstypen gleichzeitig auftreten können. Abstrakt betrachtet integrieren alle aufgezeigten Typen das Prinzip der *Sectional modularity*, da die Entstehung von Varietät immer die Verbindung von Komponenten über standardisierte Schnittstellen erfordert.

### 2.2.2.3 Abgrenzung der Begrifflichkeiten Modul, Modularisierung und Modularität

Wirft man einen Blick in die einschlägige Literatur wird deutlich, dass trotz der weit verbreiteten Verwendung der genannten Begriffe keine einheitlich verwendete Begriffsdefinition existiert (vgl. Erixon 1998, S.53; Fixson & Clark 2002, S.131; Gershenson et al. 2003, S.296; Werners & Pietschmann, 2011, S.57).<sup>28</sup> So stellen GERSHENSON ET AL. (2003, S.296) fest: „[...] while the term ‘modular’ is used often, there has been little effort made to come to a consensus on the definition of this term and its appropriate use.“ Ähnlich lassen sich auch ULRICH UND TUNG (1991, S.73) zitieren: „The term modularity is used in many ways“.

Wenn man den Zeitpunkt beider Aussagen betrachtet, muss attestiert werden, dass sich trotz der intensivierten Forschung auf diesem Gebiet bzgl. eines einheitlichen Begriffsverständnisses wenig getan hat. Dieses Phänomen ist mitnichten allein auf die Wissenschaft beschränkt, sondern spiegelt sich auch in unterschiedlichen Begriffsauffassungen innerhalb der Praxis wider (vgl. Piller & Waringer 1999, S.40ff.).

Ziel dieses Kapitels ist es daher, bestehende Definitionen auszugsweise darzulegen und zu einem vereinheitlichten dem weiteren Forschungsprozess zugrundeliegenden Begriffsverständnis zusammenzuführen.

Dabei wird sich für die nachfolgende begriffliche Abgrenzung grundlegend dem Begriffsverständnis von MACDUFFIE (2013) angeschlossen. MACDUFFIE (2013, S.8f.) beschreibt „Modularity-as-property“ und „Modularization-as-process“ und stellt gleichzeitig eine enge Verzahnung beider Begrifflichkeiten fest. Die existierenden dynamischen Wechselbeziehungen beider Begrifflichkeiten führen dazu, „that examination of one without the other is inevitably incomplete“ (MacDuffie 2013, S.10).

Entsprechend wird in diesem Kapitel zuerst der Begriff Modularität als eine Systemeigenschaft herausgearbeitet und dann die Überleitung zum Begriff Modularisierung als Prozess vollzogen. Anschließend erfolgt die Erläuterung des Modulbegriffs, als die zu betrachtende Baugruppeneinheit innerhalb des Prozesses der Modularisierung.

---

<sup>28</sup> Für die ausführliche Darstellung existierender Definitionen zum Begriff Modularität wird als weiterführende Literatur auf die umfangreiche Arbeit von GERSHENSON ET AL. (2003) verwiesen.

### Modularität als Systemeigenschaft

Modularität wird in der Wissenschaft als eine relative graduelle Systemeigenschaft definiert (vgl. Gerhenson et al. 2003, S.303; Kersten et al. 2011, S.18) und resultiert aus der Zerlegung eines Produktes in Bauteilgruppen (vgl. Gerhenson et al. 2004, S.33).

Damit ist der Begriff Modularität eng mit den erläuterten Begrifflichkeiten der integralen und modularen Produktarchitektur verbunden und gibt Aufschluss über den Grad der modularen Gestaltung eines Produktes. „Modularity [...] is a continuum describing the degree to which a system's components can be separated and recombined“ (Schilling 2000, S.312).

SALERNO ET AL. (2008, S.378) verstehen Modularität „not only or not even mainly as a physical location issue, but as abroad strategic and organisational issue [...]“.

Für WILLKE (2014, S.61), der sich dem Begriff der Modularität über den systemtheoretischen Ansatz nähert, beschreibt Modularität den Moment der Verbundenheit einzelner Subsysteme eines Systems und deren Informationsaustausch über selektive Schnittstellen. Diese Momentaufnahme ist einem dynamischen Prozess unterworfen, so dass die voneinander unabhängig existierenden Ereignisse nicht zwingend auch eine Relevanz für das Gesamtsystem aufweisen.

ULRICH UND TUNG (1991, S.73) leiten ihr Begriffsverständnis für Modularität aus den Kriterien Unabhängigkeit, Standardisierung und Austauschbarkeit als relative Struktureigenschaften eines Produktes ab. Dabei vermeiden die Autoren aber eine klare Definition sondern umschreiben Modularität mit den Worten: „[...] independence of components is the property of a design that allows standardization and interchangeability“ (Ulrich & Tung 1991, S.73).

Nach Aussage von BALDWIN UND CLARK (2000, S.59) sichert Modularität innerhalb eines komplexen Systems ein hohes Maß an Flexibilität. Die Autoren merken weiterhin an: „The driving force behind a quest for modularity is always the desire to achieve the right balance between fruitful uncertainty and paralyzing complexity“(ebenda, S.59).

Modularität kann somit zusammenfassend als eine Merkmalsausprägung komplexer Systeme verstanden werden (vgl. Campagnolo & Camuffo 2010, S.259), bei der die Komplexität des Gesamtprodukts auf separierbare Komponenten (Module) transferiert wird (vgl. MacDuffie 2013, S.11).

### Modularisierung als Prozess

Modularisierung kann abstrakt gesehen als eine Strategie der Innendifferenzierung verstanden werden, mit der durch die Zerlegung des Produkts in Subsysteme sowohl die Elementvielfalt als auch die Relationsvielfalt und Relationsintensität verringert werden

und somit eine Reduzierung der strukturellen Komplexität erfolgt (vgl. Dehnen 2004, S. 62f.; Kirchhof 2003, S.64).

KERSTEN ET AL. (2011, S.18) definieren Modularisierung als die „modulare Strukturierung eines Systems zur Erreichung eines [bestimmten Modularitäts-]Grades“. Damit ist der Begriff Modularisierung nicht mit der Transferierung eines rein integral aufgebauten Produkts in ein 100% modular gestaltetes Produkt gleichzusetzen, sondern beschreibt allein den Prozess der Produktstrukturierung zur Änderung des Modularitätsgrades (vgl. Rapp 1999, S.59).

PILLER UND WARINGER (1999, S.38) verstehen unter Modularisierung „die Zerlegung eines Fahrzeugs in einzelne Fahrzeugmodule“ und deren Subsysteme nach räumlichen und funktionalen Kriterien.

ETHIRAJ UND LEVINTHAL (2004, S.162) sehen dabei das Hauptziel des Modularisierungsprozesses darin „to group strongly interacting elements or parts together and separate weakly interacting ones“.

EITELWEIN ET AL. (2012, S.79) umschreiben den Prozess der Modularisierung als Separation von „komplexer Strukturen in weitgehend voneinander unabhängige und einzeln koordinierbare Substrukturen“. Ziel der Separation ist es, dass die gebildeten Substrukturen im Vergleich zur Gesamtstruktur ein geringeres Komplexitätsniveau aufweisen (vgl. Kamrani & Nasr 2010, S.66; Lorenzi & Di Lello 2001, S.432).

Da Komplexität von einem hohen Maß an Dynamik geprägt ist und die Produktgestaltung somit von sich ändernden internen und externen Einflussgrößen abhängt, ist Modularisierung darüber hinaus als stetiger evolutionärer Lernprozess zu verstehen, der sich sowohl in einem steigenden als auch sinkenden Modularitätsgrad des Produktes widerspiegeln kann (vgl. MacDuffie 2013, S.12f.). MACDUFFIE (2013, S.8) beschränkt Modularisierung dabei nicht allein auf den Prozess der Produktstrukturierung, sondern versteht Modularisierung darüber hinaus auch als Gestaltungsprozess von Unternehmensgrenzen und seiner Umwelt.

Modularisierung lässt sich somit als Gruppierungsprozess von Produkt- und Unternehmensstrukturen verstehen, bei dem einzelne Komponenten, die untereinander eine hohe Konnektivität besitzen, zu Modulen mit definierten Schnittstellen zusammengefasst werden (vgl. Persson & Ahlström 2013, S.56). Das Ergebnis des Modularisierungsprozesses spiegelt sich somit in der Produktarchitektur und Organisationsstruktur eines Unternehmens wider (vgl. Zettl 2009, S.27). Der Prozess der Modularisierung ist nicht allgemeingültig anwendbar, sondern berücksichtigt immer auch unternehmensspezifische Anforderungen (vgl. Erixon 1998, S.58).

### Modul als Bauteilgruppe

Wenn unter Modularisierung der Prozess der Zerlegung des Gesamtprodukts und Gliederung einzelner physischer Komponenten zu Bauteilgruppen verstanden wird, dann lassen sich genau diese Bauteilgruppen als Module bezeichnen (vgl. Lorenzi & Di Lello 2001, S.429). In Analogie hierzu definiert ZETTL (2009, S.27) ein Modul als „das Objekt der Modularität“.

„Ein Modul ist Teil eines Ganzen, und das Ganze besteht aus einer Mehrzahl von Modulen“ (Piller & Waringer 1999, S.39). KOPPENHAGEN (2004, S.21) beschreibt Module als autonome Einheiten der Produktarchitektur (vgl. auch Mayer 2007, S.42). In Abhängigkeit des gewählten Abstraktionsgrads können Module wiederum aus einer bestimmten Anzahl von Subsystemen einer niedrigeren Hierarchiestufe bestehen (vgl. Zettl 2009, S.33).

Für PERSSON (2006, S.333) stellt ein Modul eine Einheit dar, „where interactions among components are stronger than the ones taking place among different subsystems“ (vgl. auch Baldwin & Clark 2000, S.63).

Dieses Kriterium der Kopplungsintensität ergänzen GERSHENSON ET AL. (2003, S. 303) um das Ähnlichkeitskriterium mit Bezug auf den Lebenszyklusprozess der in einem Modul zusammengefassten Komponenten, um sämtliche Modularisierungseffekte realisieren zu können. „[...] a module is a grouping of components that are similar in the life-cycle processes they undergo, and independent from all components outside of the module as they go through their life-cycle“ (Gershenson et al. 2003, S.303).

Bezogen auf den Montageaspekt sprechen PILLER UND WARINGER (1999, S.39) bei einem Modul von einer lokal abgeschlossenen und einbaufertigen Einheit physisch miteinander verbundener Bausteine zur Montage an oder in einem Fahrzeug.

Eine vergleichbare produktionsfokussierte Definition wählt auch MACDUFFIE (2013, S.17) und bezeichnet ein Modul als „a chunk of physically proximate components that are sub-assembled independently from the rest of the vehicle, tested for functionality, and installed in a single step in final assembly“.

Das Modularisierungspotenzial eines Bauteils ist dabei positiv mit der fahrzeugübergreifenden Verwendungshäufigkeit des Bauteils korreliert (vgl. Krusche et al. 2004, S.930). Die Einsatzmöglichkeit eines Moduls und der Aufwand für eine funktionale oder physische Anpassung wird gemäß SELIGER ET AL. (1997, S.595) von der Gestaltung der Schnittstellen determiniert.

Durch eine existierende Schnittstellenstandardisierung ist es möglich, durch den Austausch und die Kombination bestimmter Module und deren eindeutig zugeordneten (Teil)Funktionen die Funktionsmerkmale des Gesamtprodukts anzupassen, um externen Anforderungen zu entsprechen (vgl. Kersten et al. 2011, S.18).

Versucht man die exemplarisch aufgeführten Definitionen zu vereinheitlichen, dann lässt sich der Modulbegriff auf folgende Eigenschaften verdichten. Demnach kann ein Modul durch seine funktionale und physische Unabhängigkeit, durch die Existenz standardisierter Schnittstellen und seine Abgeschlossenheit charakterisiert werden, die einen kombinatorischen und somit flexiblen fahrzeugübergreifenden Einsatz ermöglichen (vgl. Arnoscht 2011, S.20). KOPPENHAGEN (2004, S.77f.) sieht dabei in der Gewährleistung der Abgeschlossenheit der technisch funktionalen Beziehungen der Module die Grundvoraussetzung für das inkludierte Reduzierungspotenzial der Produktkomplexität.

#### 2.2.2.4 Strukturierungsspektrum der Produktarchitektur

Die Grundlage zur Diskussion des Strukturierungsspektrums liefert die Aussage von SALERNO (2001): „[...] the concept of modularity [...] has a physical and a functional dimension [...].“ Folglich liegt die Abgrenzung der Begrifflichkeiten einer integralen bzw. modularen Produktarchitektur in der notwendigen Betrachtung der funktionalen und physischen Dimension (vgl. Kersten & Kern 2005, S.240).

WERNERS UND PIETSCHMANN (2011, S.57) verstehen unter „funktionaler Unabhängigkeit [...] die Erfüllung verschiedener Teilfunktionen in separaten Komponenten [...]. Hingegen wird unter physischer Unabhängigkeit die durch Schnittstellen bedingte Trennbarkeit während der Nutzungsphase beschrieben.“

Basierend hierauf spielen für die nachfolgenden Erläuterungen zum Strukturierungsspektrum zwischen modularer und integraler Produktarchitektur zwei Kriterien eine zentrale Rolle: die physisch-funktionale Beziehungszuordnung und die damit verbundene Beziehungsintensität zwischen und innerhalb einzelner Produktkomponenten (vgl. Abbildung 15).

KERSTEN ET AL. (2011, S.16) führen aus, dass es innerhalb einer **modularen Produktarchitektur** „einen eindeutigen Zusammenhang zwischen den physischen Komponenten und den (Teil-)Funktionen eines Produktes gibt.“ Die technisch funktionale Beziehungsintensität innerhalb der physischen Einzelkomponenten (Module) ist hierbei sehr viel stärker ausgeprägt als zwischen den Modulen (vgl. Kersten & Kern 2005, S.240).

In einem vollständig modular gestalteten Produkt ist außerdem jede spezifische Produktfunktion einer einzigen physischen Produktkomponente entsprechend einer 1-zu-1 Beziehung zugeordnet (vgl. Ulrich & Tung 1991, S.74). Das schließt aber nicht aus, dass einer physischen Komponente mehrere Funktionen zugeordnet sind. „Each component designed for modularity is supposed to support one or more functions“ (Kamrani & Nasr 2010, S.57). Eine modulare Produktstrukturierung ist demnach durch die Existenz einer maximalen funktionalen und physischen Unabhängigkeit zwischen einzelnen Komponenten und der gleichzeitigen Existenz maximaler physischer und funktionaler Abhängigkeitsbeziehung zwischen den Elementen einer Komponente gekennzeichnet (vgl. Campagnolo & Camuffo 2010, S.259; Göpfert 2000, S.21; Kopenhagen 2004, S.21; Ulrich &

Tung 1991, S.73f.). Die interne Beziehungsstärke eines Moduls ist im Verhältnis zu existierenden externen Beziehungen somit deutlich größer (vgl. Persson & Ahlström 2013, S.56). Ein modularer Produktaufbau ist demnach durch einen hohen funktionalen Dezentralisierungsgrad charakterisiert (vgl. Baldwin & Clark 2000, S.14).

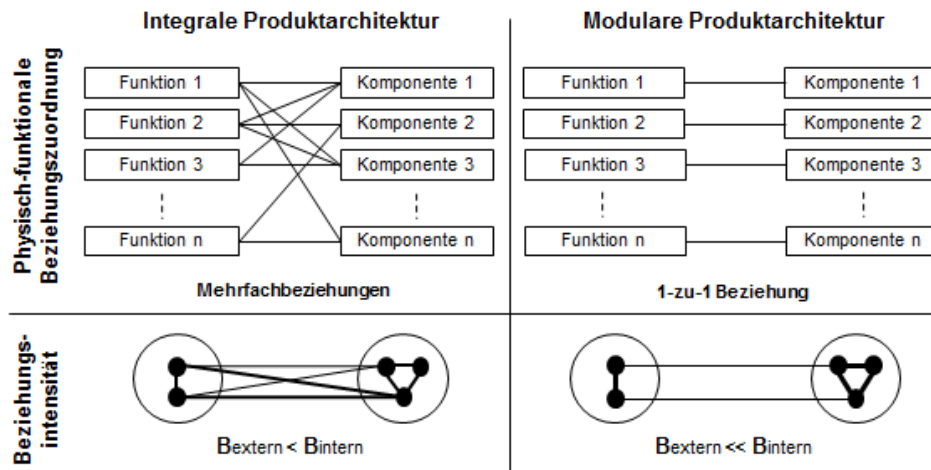


Abbildung 15: Abgrenzungskriterien der modularen und integralen Produktarchitektur  
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Kersten et al. (2011, S.17 und 18)

Im Gegensatz hierzu zeichnet sich eine **integrale Produktarchitektur** durch eine starke funktionale und physische Abhängigkeit der Komponenten untereinander aus (vgl. Campagnolo & Camuffo 2010, S.266; Fine et al. 2005, S.392; Werners & Pietschmann 2011, S.57). Eine eindeutige Funktionszuordnung zu einer Einzelkomponente ist nicht gegeben, wodurch auch die Beziehungsintensitäten zwischen den einzelnen Komponenten deutlich stärker ausgeprägt sind.

Eine integrale Produktstruktur ist also gegenüber einer modularen Produktstruktur durch ein deutlich höheres Komplexitätsniveau gekennzeichnet, hervorgerufen durch die Mehrfachrelation zwischen Komponenten und Funktionen (vgl. Kersten et al. 2011, S.17).

Betont werden muss hierbei, dass es sich bei einem rein integralen bzw. modularen Aufbau um die zwei Intervallgrenzen des Strukturierungsspektrums der Produktarchitektur handelt. In der Realität sind diese zwei extremen Archetypen kaum anzutreffen, sondern es existiert, wie in Abbildung 16 dargestellt, ein Kontinuum mit fließenden Übergängen (vgl. Campagnolo & Camuffo 2010, S.260; Fixson & Clark 2002, S.132; Kersten et al. 2011, S.18; MacDuffie 2013, S.11; Skirde 2015, S.33).

SCHMIEDER UND THOMAS (2005, S.251) führen hierzu aus, dass „komplexe Produktarchitekturen nur schwer zu modularisieren sind“ und konstatieren, dass „in einem Automobil keine pure Modularität erreicht werden kann“ (Schmieder & Thomas 2005, S.251).

Modularität stellt somit eine graduelle und relative Eigenschaft der Produktarchitektur dar (vgl. Kersten & Kern 2005, S.240; Ulrich & Tung 1991, S.73). „The more functional tasks and coupling interfaces the element has, the less modular it is“ (Fine et al. 2005, S.396).

Produkte sind immer zu einem bestimmten Grad ( $X$ ) modular und zu einem bestimmten Grad ( $1-X$ ) integral aufgebaut (vgl. Persson 2006, S.335; Schilling 2000, S.312).

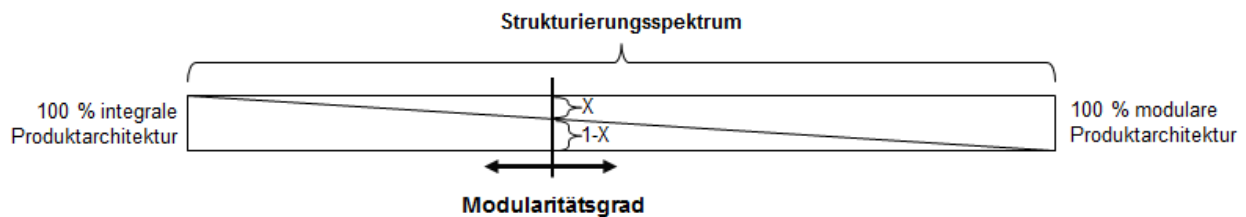


Abbildung 16: Strukturierungsspektrum der Produktarchitektur in Abhängigkeit des Modularitätsgrades

Der **Modularitätsgrad**, als Messgröße der Modularität, ist dabei mitnichten als ein statischer Zustand zu verstehen, sondern unterliegt innerhalb des aufgezeigten Strukturierungsspektrums einer dynamischen Anpassungsfähigkeit (vgl. Campagnolo & Camuffo 2010, S.260). So führt bspw. SCHILLING (2000, S.318) aus, dass mit steigender Heterogenität sowohl der Eingangsgrößen (Inputfaktoren) als auch der durch die Kundenwünsche determinierte Varianz des Produktprogramms (Outputfaktoren) der Modularisierungsdruck steigt. Die Wahl des Modularitätsgrades hat dabei sowohl Einfluss auf das Kosten- und Risikoniveau (vgl. Werners & Pietschmann, 2011, S.57) als auch auf das Komplexitätsniveau eines Produktes. So sehen PERSSON UND AHLSTRÖM (2013, S.59) in einer vollständig integralen Produktarchitektur, aufgrund der fehlenden funktionalen Separationsfähigkeit der Komponenten, die komplexeste Form der Produktstrukturierung. Die negative Korrelation zwischen Modularitätsgrad und Komplexitätsniveau eines Produktes bewirkt, dass mit steigendem Produktmodularitätsgrad das Komplexitätsniveau des Produktes abnimmt.

Demgegenüber betonen PILLER UND WARINGER (1999, S.83), dass es aus Unternehmenssicht mit steigender Anzahl des durch die Modularisierung bereitgestellten Variationsgrads neben den positiven kundenorientierten Individualisierungsmöglichkeiten auch zu einer modularisierungsbedingten Komplexitätssteigerung kommt und merken an: „Hier stehen sich der Wunsch nach hoher externer und niedriger interner Varietät gegenüber“ (Piller & Waringer 1999, S.83).

Gleichzeitig sehen PERSSON UND AHLSTRÖM (2013, S.72) in einer vollständig modularen Produktstrukturierung die Gefahr der negativen Beeinträchtigung der Produktperformance. Somit können mit Blick auf die Innovationsfähigkeit durch eine Erhöhung des integralen Strukturierungsgrads auch Wettbewerbsvorteile<sup>29</sup> geschaffen werden (vgl. MacDuffie 2013, S.9).

ETHIRAJ UND LEVINTHAL (2004, S.160) stellen hierzu fest, dass es bei der Strukturierung eines komplexen Systems einen bestimmten, jedoch variablen Modularitätsgrad

<sup>29</sup> Wettbewerbsvorteile definiert PILLER (2000, S.111) als „(relative) Positionsvorteile eines Anbieters im Vergleich zur Konkurrenz“, die „die Erfolgsposition eines Unternehmens am Markt“ begründen. Weiterhin führt PILLER (2000, S.112) aus: „Ein Wettbewerbsvorteil ist nur dann von Nutzen, wenn er über einen längeren Zeitraum eine überlegene Position des Unternehmens sichern kann (strategischer Wettbewerbsvorteil).“

gibt, ab dem sich Modularität negativ auf das Produkt auswirkt. Dieser trade-off zwischen modularem und integralem Produktdesign ist dabei gemäß FINE AT AL. (2005, S.392f.) von unterschiedlichen Zielstellungen geprägt: „Arguments for integral design are often technical or performance-based, while the rationale supporting modular design is usually based on economic considerations such as cost and time-to-market“.

KOPENHAGEN (2004, S.28) fasst den beschriebenen trade-off zwischen integraler und modularer Produktarchitektur wie folgt zusammen: „Die Architektur eines Produktes sollte so integral wie nötig sein, um ein ausreichendes Zusammenwirken der Produktkomponenten im Hinblick auf die Gesamtfunktionsoptimierung des Produktes sicherzustellen und gleichzeitig so modular wie möglich sein, um eine komplexitätsminimale Strukturierung des Produktes zu gewährleisten“.

Eine komplexitätsoptimale Produktstrukturierung sollte folglich immer unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf die Performance des Produktes sowie unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Kennzahlen erfolgen.

#### 2.2.2.5 Die Plattform als eindimensionales Produktstrukturierungskonzept

Eine spezielle Form der Produktmodularisierung stellt laut BALDWIN UND WOODARD (2009, S.25) die Produktstrukturierung auf Basis einer Plattformarchitektur dar (vgl. auch Schuh 2005, S.132).

MEYER UND LEHNERD (1997, S.7) definieren eine Plattform als „a set of common components, modules, or parts from which a stream of derivative products can be efficiently created and launched“. Eine Plattform fasst somit eine maximale Anzahl standardisierter Haupt-Fahrzeugkomponenten der Bereiche Aggregate, Karosserie, Elektrik, Ausstattung und Fahrwerk zusammen, die modell- und/ oder markenübergreifend innerhalb eines bestimmten Fahrzeugsegments eingesetzt werden können (vgl. Meyer & Lehnerd 1997, S.39; Müller 2000, S.5; Piller & Waringer 1999, S.64ff.).

Ergänzt um eine Zeitdimension definiert SCHUH (2005, S.133) den Begriff der Produktplattform in einer allgemeingültigeren Form als „Zusammenfassung derjenigen Komponenten, Schnittstellen und Funktionen, die über eine ganze Produktfamilie vereinheitlichtbar, d.h. zeitlich stabil sind“.

Durch die Festlegung der in der Plattform zusammengefassten Komponenten mit definierten Schnittstellen und Funktionen bestimmt die Gestaltung einer Plattform und die hieraus resultierenden Kombinationsmöglichkeiten der einzelnen Komponenten in hohem Maß die Architektur eines Fahrzeuges (vgl. Meyer & Lehnerd 1997, S.39; Müller 2000, S.3).

Durch den Einsatz standardisierter Komponenten und deren Kombination wird eine hohe externe Varietät innerhalb der Modellpalette bei einem gleichzeitig relativ geringen internen Komplexitätsniveau ermöglicht (vgl. Pandremenos et al. 2009, S.150; Piller & Warin-

ger 1999, S.70). Dadurch ist es Unternehmen möglich, schnell auf sich ändernde Markterfordernisse und Kundenbedürfnisse zu reagieren (vgl. Baldwin & Woodard 2009, S.24; Müller 2000, S.3).

Die Implementierung von Plattformen ermöglicht dabei eine höhere Standardisierung (vgl. Meyer & Lehnerd 1997, S.120).<sup>30</sup> Mithilfe von Standardisierung kann die Unternehmenskomplexität durch die Realisierung von Synergieeffekten gesenkt werden (vgl. Zettl 2009, S.14). Hierdurch werden Kosteneinsparungen generiert und die Produktperformance gesteigert (vgl. Meyer & Lehnerd 1997, S.58). Daher kann der Einsatz einer Plattformstrategie vor allem bei komplexen Produkten zur Steuerung der Produktkomplexität vorteilhaft eingesetzt werden (vgl. Baldwin & Woodard 2009, S.24; Röh 2011, S.3).

Da der Einsatz einer Plattform in der Regel auf eine bestimmte Fahrzeugklasse mit ähnlichen Produkten begrenzt ist (vgl. Müller 2000, S.17), kann die Plattform als ein eindimensionaler Strukturierungsansatz verstanden werden (vgl. Abbildung 17). Durch die Verwendung gleicher Komponenten innerhalb von Fahrzeugen mit ähnlichem Leistungs- und Qualitätsniveau wird hier von einer horizontalen Vereinheitlichung gesprochen (vgl. Gonsior 2008, S.268).

Der hohe Gleichteileverwendungsgrad kann jedoch dazu führen, dass eine Plattformstrategie die Markenidentität eines Fahrzeugs negativ beeinflusst (vgl. Hüttenrauch & Baum 2008, S.127). Gleichzeitig kann das Effizienzniveau einer Plattform aufgrund fehlender klassenübergreifender Synergien ab einem bestimmten Punkt nicht weiter erhöht werden (vgl. ebenda, S.133).

Hieran wird ersichtlich, dass die Plattform strukturelle Grenzen hinsichtlich einer flexiblen Produktgestaltung besitzt und daher in der Automobilindustrie nur noch selten konsequent umgesetzt wird (vgl. Junge 2005, S.18).

#### 2.2.2.6 Der Modulare Baukasten als zweidimensionales Produktstrukturierungskonzept des Mass Customization

Durch existierende lokal beschränkte Marktrestriktionen und eine zunehmende Marktfragmentierung mit reduzierten Losgrößen müssen sich OEMs zunehmend von der Idee eines auf einer Plattform aufgebauten „world car“ mit großer Volumenstückzahl lösen und Strategien verfolgen, die es ihnen ermöglichen ihr Fahrzeugportfolio an den jeweiligen Markterfordernissen auszurichten (vgl. Morris & Donnelly 2006, S.265). Diese Markterfordernisse können z.B. einen kulturellen, wirtschaftlichen oder gesetzlichen Ursprung besitzen.

---

<sup>30</sup> MEYER UND LEHNERD (1997, S.120) weisen in diesem Zusammenhang ausdrücklich darauf hin, dass die Begriffe der Standardisierung und Plattform nicht als Synonyme verstanden werden, da Standardisierung zwar durch die Anwendung einer Plattformstrategie erreicht werden kann, aber eine Plattform nicht durch die Konzeptanwendung der Standardisierung entsteht. Vielmehr ist die Standardisierung als eine Hauptsäule der Plattformstrategie zu verstehen (vgl. Schmieder & Thomas 2005, S.114).

Die Plattformstrategie stößt bei verstärkter Markt- und Kundenorientierung durch ein hohes Maß an Inflexibilität zunehmend an ihre Grenzen, wodurch auch die Reaktionsfähigkeit eines Unternehmens, sich auf ändernde Rahmenbedingungen flexibel und schnell anpassen zu können, negativ beeinflusst wird. Daher verfolgen globale OEMs durch Einsatz der modularen Baukastenstrategie das Ziel, das ohne Zweifel in der Vergangenheit erfolgreich angewandte Plattformkonzept durch die marken- und fahrzeugklassenübergreifende Verwendung modularer Fahrzeugkomponenten weiterzuentwickeln (vgl. Röh, 2011, S.3). SCHMIEDER UND THOMAS (2005, S.103) sehen in den zunehmenden Modularisierungstendenzen einen Flexibilitätsanstieg begründet, wodurch eine effizientere Bearbeitung des Zielkonflikts zwischen Differenzierung und Standardisierung ermöglicht wird.

Im deutschsprachigen Raum wird unter dem Begriff des modularen Baukastens ein Konzept zur modularen Produktgestaltung verstanden. Alternative Bezeichnungen sind das Baukastenprinzip oder die Baukastenbauweise (vgl. Kopenhagen 2004, S.2). Im englischsprachigen Raum ist der Terminus Baukasten nicht existent und es wird stattdessen im Allgemeinen von *Modularity* gesprochen (vgl. Gonsior 2008, S.44).

Die weitreichende Anwendungsmöglichkeit von modularen Baukästen spiegelt sich auch in den existierenden Begriffsdefinitionen verschiedenster Disziplinen oder Branchen wider (vgl. Arnoscht 2011, S.26f.; Kohlhase 1997, S.6). Da diese sich nach Aussage KOHLHASES (1997, S.6) in ihren inhaltlichen Aussagen sehr ähneln, soll im Folgenden auf eine dezidierte Darlegung einzelner Definitionen verzichtet und stattdessen das begriffliche Verständnis des modularen Baukastens in der Automobilindustrie fokussiert betrachtet werden.<sup>31</sup>

Der Terminus modularer Baukasten ist ein vor allem in der Automobilindustrie seit einigen Jahren verwendeter Begriff. Beginnend mit der Verwendung in Unternehmensveröffentlichungen von Volkswagen und BMW hat sich der Begriff heutzutage im Sprachgebrauch von Konzernen und Analysten der Automobilbranche fest etabliert (vgl. Warburton et al. 2013, S.13).

Das beschriebene Strukturierungskonzept wurde bei Volkswagen mit Markteinführung des Golf7 im Jahr 2012 unter dem Begriff des Modularen Querbaukastens (MQB) implementiert und zwischenzeitlich konzernweit ausgerollt. Die Bezeichnung Querbaukasten bezieht sich auf die charakteristische Einbauposition des Motors quer zur Fahrtrichtung. Hierdurch erfolgt bspw. die Abgrenzung zum ebenfalls im Volkswagen Konzern angewendeten Modularen Längsbaukastens (MLB), der in der Entwicklungshoheit der Marke

---

<sup>31</sup> Auf eine weiterführenden detaillierte Klassifizierung von Baukastensystemen, wie sie ARNOSCHT (2011, S.30ff.) in seiner Arbeit vornimmt, soll an dieser Stelle verzichtet werden, da diese Detaillierung aus Sicht des Autors keinen zusätzlichen Mehrwert bei der Beantwortung der aufgezeigten Forschungsfragen liefert.

Audi liegt und bei dem der Motor längs zur Fahrtrichtung verbaut wird. Zwischenzeitlich wurde die Baukastenfamilie um den Modularen Elektrifizierungsbaukasten (MEB) erweitert, der sämtliche Fahrzeugprojekte mit vollelektrifizierten Antriebskonzepten bündelt.

Die aus den flexiblen Strukturierungsmöglichkeiten des Baukastens zu realisierenden Optimierungspotenziale liegen aus Konzernsicht einerseits in der Nutzung positiver Wirkungseffekte bezüglich der Beherrschbarkeit des steigenden Komplexitätsniveaus und andererseits in der Schaffung globaler Kostensynergien (vgl. Hackenberg 2011, S.46). Durch die existierenden Freiheitsgrade des modularen Baukastens sind fahrzeugspezifische Anpassungen schneller und kostengünstiger möglich, wodurch das Unternehmen flexibel auf etwaige Marktveränderungen reagieren und sein Modellportfolio auf die individuellen Kundenwünsche zuschneiden kann (vgl. ebenda, S.48). Die voranschreitende Systematisierung der Produktarchitekturgestaltung ermöglicht zukünftig die Realisierung größerer Skaleneffekte über das gesamte Produktprogramm (vgl. Arnoscht 2011, S.139).

Ein modularer Baukasten ist dadurch gekennzeichnet, dass an eine einer Plattform sehr ähnelnden Grundstruktur, die sich aus wenigen Grundkörpern der Haupt-Fahrzeugkomponenten aus den Bereichen Aggregate, Karosserie, Elektrik, Ausstattung zusammensetzt, innerhalb des Fertigungsprozesses unterschiedliche Anbauteile angebaut werden, um eine große Variantenvielfalt zu realisieren (vgl. Rapp 1999, S.52). Ein modularer Baukasten fasst dabei die Gesamtheit aller standardisierten Fahrzeugkomponenten zusammen, aus deren Kombination die Herstellung eines Fahrzeugs erfolgt (vgl. Piller & Waringer 1999, S.60; Rapp 1999, S.52).

Wie in Abbildung 17 dargestellt, liegt die Abgrenzung zu einer reinen Modulstrategie darin, dass Schnittstellen primär zwischen den Grundkörpern und Anbauteilen und weniger zwischen Anbauteilen untereinander aufgebaut werden (vgl. Rapp 1999, S.52).<sup>32</sup>

Die Auswahl einzelner Baukastenkomponenten erfolgt anwendungsspezifisch und muss die kombinatorische Verträglichkeit der Komponenten bei der Konfiguration der Baukastenprodukte innerhalb eines definierten Anwendungsbereichs sicherstellen (vgl. Kohlhase 1997, S.8). ERIXON (1998, S.128) zieht hier einen sehr treffenden Vergleich zum bekannten LEGO-Konzept: „It might be compared with a ‚lego system‘ that makes it possible to build many different cars with the help of a few building blocks“.

---

<sup>32</sup> Die Ausführungen zeigen, dass Modulstrategie und Modulare Baukastenstrategie keine gegenseitig substituierbaren Begrifflichkeiten darstellen. Dennoch ist eine klare Abgrenzung beider Begriffsinhalte gemäß RAPP (1999, S.53) schwierig, da sich die Begriffe inhaltlich sehr ähneln und fließend ineinander übergehen. Da der Modulare Baukasten primär dem Modularitätsstyp *Component-sharing modularity zugeordnet werden kann* (vgl. Kap.2.2.2.2), wird im Rahmen dieser Arbeit die Modulare Baukastenstrategie als eine Sonderform der Modulstrategie angesehen und somit der Modulstrategie hierarchisch untergeordnet.

Ziel des modularen Baukastens besteht also darin, aus einer relativ geringen Anzahl unterschiedlicher Komponenten ein breites variantenreiches Produktprogramm mit zahlreichen Kombinationsmöglichkeiten aufzubauen, um die Marktnachfrage mit einer optimalen Kosten-Nutzen-Relation befriedigen zu können (vgl. Kohlhasse 1997, S.9; ebenda, S.55).<sup>33</sup>

Durch die Kombination von Standardmodulen, die die Grundfunktion des Produkts definieren, und Variantenmodulen, die eine kundenspezifische Variation ermöglichen, kann trotz des hohen internen Standardisierungsgrades der Individualisierungscharakter der Produkte gewährleistet werden (vgl. Seliger et al. 1997, S.594). Dabei sollten vor allem solche Komponenten in den Baukasten integriert werden, die erstens einen kritischen Einfluss auf das endogene Komplexitätsniveau des Unternehmens haben und zweitens ein hohes Standardisierungspotential besitzen, da sie von den Kundenanforderungen entkoppelbar sind und kein kundenspezifisches Varianzmerkmal darstellen (vgl. Schuh et al. 2013, S.82).

Damit liefert der Modulare Baukasten einen hohen Beitrag zur Überwindung des beschriebenen Zielkonflikts zwischen externer Individualisierung und interner Standardisierung (vgl. Skirde 2015, S.177; siehe auch Kap. 2.2.1.5).

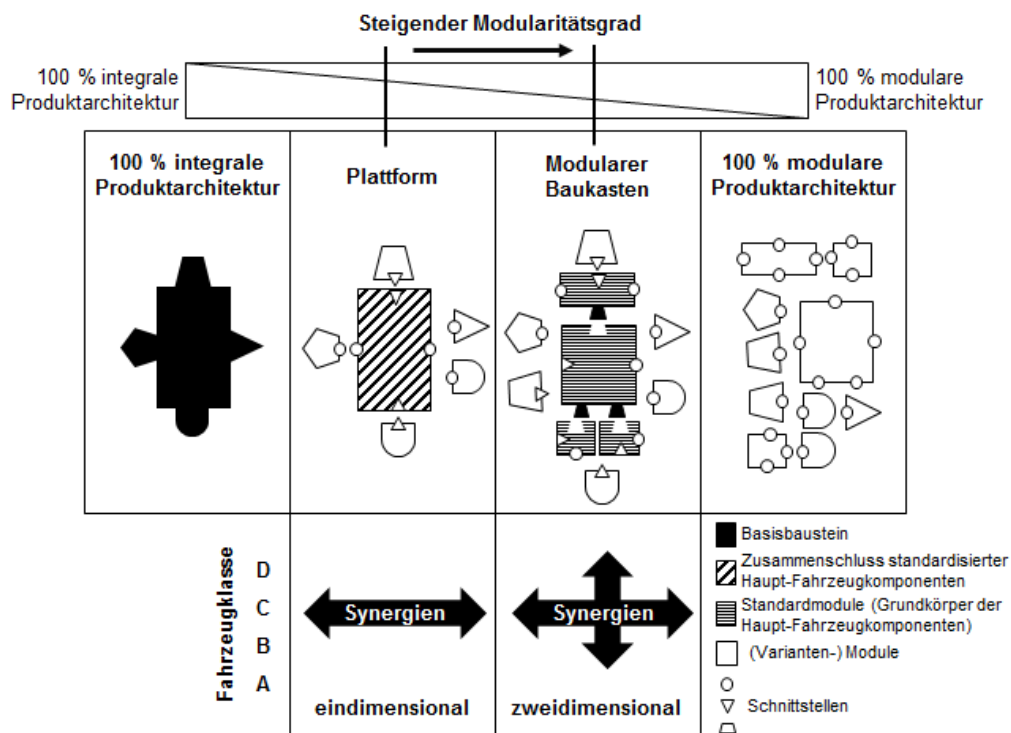


Abbildung 17: Modularitätsstufen in Abhängigkeit des Modularitätsgrades  
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Skirde 2015, S.130

<sup>33</sup> Varianten sind in diesem Zusammenhang als Baukastenprodukte mit ähnlichen Konfigurationen oder Funktionen zu verstehen (vgl. Kohlhasse 1997, S.25).

War die Plattform bisher größtenteils auf eine Fahrzeugklasse beschränkt (vgl. Abbildung 17), erfolgt durch das Baukastenkonzept durch Überwindung der Fahrzeugklassenrestriktion eine Dimensionserweiterung in vertikaler Richtung (vgl. Watanabe & Ane 2004, S.573). Ein modularer Baukasten besitzt damit aufgrund seiner zweidimensionalen Wirkung gegenüber einer Plattform einen höheren Freiheitsgrad, wodurch eine flexiblere Produktdifferenzierung möglich wird (vgl. Junge 2005, S.12). Der durch die fahrzeugklassenübergreifende Verwendung der Baukastenkomponenten erhöhte Flexibilitätsgrad trägt damit zur Überwindung plattformspezifischer Strukturrestriktionen bei (vgl. Arnoscht 2011, S.139; Schmieder & Thomas 2005, S.116).

Gleichzeitig können dadurch zusätzliche Synergien in vertikaler Richtung generiert werden, die einen Effizianzanstieg und die Realisierung größerer Skaleneffekte ermöglichen (vgl. Hüttenrauch & Baum 2008, S.134). Ein Ziel der OEMs liegt daher vor allem darin, zu den genannten Economies of Scale zusätzliche Economies of Scope zu realisieren (vgl. Piller & Waringer 1999, S.38).<sup>34</sup>

Durch die flexibilitätssteigernde Wirkung auf das Produktprogramm bietet der Modulare Baukasten optimierte Möglichkeiten, durch gezielte Produktdifferenzierung die angebotene kundengruppenorientierte Varietät zu erhöhen sowie das Produktangebot auf sich ändernde Kundenanforderungen abzustimmen. Weiterhin können Nachfrageunsicherheiten besser antizipiert werden, ohne dabei auf Skaleneffekte verzichten zu müssen (vgl. Arnoscht 2011, S.112; Gonsior 2008, S.13; Watanabe & Ane 2004, S.573; Werners & Pietschmann 2011, S.54).

Zusammenfassend handelt es sich bei einem modularen Baukasten mitnichten um ein revolutionäres neues Standardisierungskonzept, sondern vielmehr um eine evolutionäre Weiterentwicklung bis dato genutzter Plattformen. Den Ausführungen von WATANABE UND ANE (2004, S.573) entsprechend verfolgt eine modularer Baukastenstrategie „the implementation of modularity coupled with the application of platform strategy“. HÜTTENRAUCH UND BAUM (2008, S.136) verstehen daher die „Modulstrategie als Ergänzung einer flexiblen Plattformstrategie“ und sehen die Notwendigkeit einer sinnvollen Verknüpfung beider Strategien (vgl. Hüttenrauch & Baum 2008, S.136). Genau diese Verknüpfung versuchen OEMs mit der Implementierung modularer Baukästen umzusetzen.

---

<sup>34</sup> Hierbei handelt es sich um Kosteneinsparungen aus Verbund- bzw. Synergieeffekten (vgl. Piller & Waringer 1999, S.79), die bspw. durch die angesprochene marken- und baureihenübergreifende Verwendung modularer Fahrzeugkomponenten oder aber annähernd gleich aufgebaute globale Produktionsstandorte hervorgerufen werden (vgl. Morris & Donnelly 2006, S.266; Skirde 2015, S.67). Aus Beschaffungssicht können Verbundeffekte durch die Nutzung identischer Bezugsquellen bei der Beschaffung unterschiedlicher Komponenten in Form von Mengenrabatten realisiert werden (vgl. Piller 2000, S.239). Das Ziel eines Unternehmens sollte also stets in der Realisierung von Skalen- und Verbundeffekten gleicher Maßen liegen (vgl. Piller & Waringer 1999, S.79).

Die Baukastenstrategie ist somit als Evolutionsstufe der Plattformstrategie zu verstehen, die die produktfokussierten Einzelstrategien des Variantenmanagements (vgl. Blecker & Abdelkafi 2006, S. 76f.), nämlich Gleichteilestrategie, Modulstrategie und Plattformstrategie, integrativ vereint (vgl. Abbildung 18).

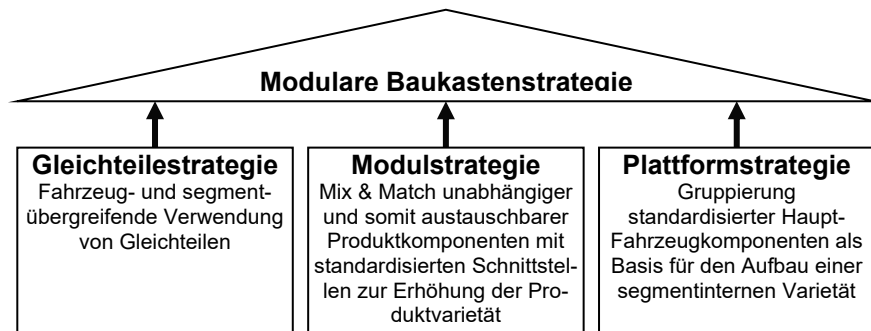


Abbildung 18: Integrativer Charakter der modularen Baukastenstrategie

### 2.2.2.7 Abriss der historischen Entwicklung

Trotz des vor allem in den letzten 20 Jahren zu verzeichnenden Bedeutungszuwachses von Modularisierungskonzepten handelt es sich, den Ausführungen von KOHLHASE (1997, S.7) folgend, beim modularen Baukasten nicht um ein neuartiges Konzept.

Erste Ansätze eines modularen Baukastens lassen sich bereits in der Antike mit Entstehung der ägyptischen Hieroglyphenschrift 3000 v. Chr. erkennen. In Kleinasien wurden ab 300 v. Chr. zum Errichten von Bauwerken standardisierte Ziegelsteine mit einem Kantenverhältnis von 1:1,5:3 eingesetzt, die variabel miteinander kombiniert werden konnten und somit die Errichtung verschiedenster Bauwerke ermöglichten (vgl. auch Arnoscht 2011, S.25). Im 15. Jahrhundert setzte das Arsenal von Venedig standardisierte Komponenten beim Bau von Kriegsschiffen ein (vgl. Arnheiter & Harren 2005, S.700). Zu Beginn des 20. Jahrhunderts fanden Baukastensysteme vermehrt Anwendung im Möbel-, Werkzeug- und Maschinenbau (vgl. Kopenhagen 2004, S.2f.).

In der Automobilindustrie lassen sich seit Beginn des letzten Jahrhunderts erste Grundzüge heutiger Modularisierungskonzepte bei der Vormontage einzelner Fahrzeugkomponenten finden (vgl. Fixson 2007, S.85). Ab 1970 sind verstärkt produktionsorientierte Modularisierungstendenzen feststellbar. Innerhalb des Produktionsprozesses wurden einzelne Komponenten separat auf spezialisierten Teilmontagelinien zusammengebaut, getestet und dann in den Gesamtmontageprozess integriert (vgl. Macduffie 2013, S.15ff.). In den 80er Jahren begannen vorrangig nordamerikanische OEMs damit, den Vormontageprozess von Komponenten, wie z.B. Sitzstrukturen, auszulagern, um das geringere Lohnniveau der Lieferanten zu nutzen und Kosteneinsparungen zu generieren. Seit Beginn der 90er erfolgt die vermehrte Auslagerung weiterer Komponenten wie z.B. Armaturentafel, Klimakondensatoren oder Front-end Modul. Parallel hierzu verfolgten OEMs wie

GM und Volkswagen den Aufbau modularer Fabriken und Lieferanten Parks, um die erforderliche Integration wichtiger Lieferanten in den eigenen Produktionsprozess zu gewährleisten. Ab Ende der 90er Jahre rückte Modularisierung vermehrt als Produktstrukturierungsansatz in den Fokus, um durch eine gesteigerte modulare Produktarchitektur die Integration modularer Komponenten von Lieferanten in das Fahrzeug zu erleichtern und gleichzeitig, zur Generierung weiterer Kosteneinsparungen, die eigene vertikale Wertschöpfung zu reduzieren. Der hieraus resultierende Übergang wichtiger Design- und Entwicklungsaufgaben vom OEM auf den Lieferanten mündete in der Entstehung großer global agierender Mega-Lieferanten, hervorgerufen durch den stetig wachsenden Konsolidierungszwang unter den Lieferanten. Diese von MACDUFFIE (2013, S.15ff.) beschriebenen Entwicklungen spiegeln sich auch in einem sich über die Jahre veränderten Modularisierungsverständnis wider.

#### 2.2.2.8 Wirkungsdimensionen und Erfolgsbeitrag des modularen Baukastens im Unternehmen

In ihrer empirischen Studie belegen EITELWEIN ET AL. (2012), dass die Nutzung von Modularisierungskonzepten den Unternehmenserfolg signifikant erhöht. Hierzu führten die Autoren eine branchenübergreifende, fragebogenbasierte Untersuchung mit 905 deutschen Führungskräften der produzierenden Industrie durch. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte durch einen multidimensionalen Betrachtungsansatz mittels Benchmark-Analysen, die die Modularisierungsmuster der 20% besten („High-Performer“) und 20% schlechtesten („Low-Performer“) Unternehmen in den vier untereinander korrelierten Erfolgskategorien operativer Erfolg, Markterfolg, strategische Flexibilität und Finanzerfolg gegenüberstellen (vgl. Eitelwein et al. 2012, S.82). Zusammenfassend stellen EITELWEIN ET AL. (2012, S.84) eindeutig fest, dass Modularisierung branchenübergreifend „zu einer deutlichen Erhöhung des Unternehmenserfolgs“ führt.

Zu einer ähnlichen Einschätzung kommen auch MARTIN UND ISHII (2002, S.213), die durch die Entwicklung einer robusten Plattformarchitektur für das Unternehmen die Möglichkeit sehen, Wettbewerbsvorteile durch die Reduzierung des Entwicklungsaufwands und die Verkürzung der Produkteinführungszeit (time-to-market) zu realisieren.

Da sich die Wirkung der Modularisierung in den den Unternehmenserfolg determinierenden Kriterien Kosten, Zeit, Qualität, Flexibilität und Risiko widerspiegelt, beeinflusst die Realisierung von Modularisierungseffekten folgerichtig die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens (vgl. Gershenson et al. 2003, S.303ff.; Kersten et al. 2011). Der attestierte Erfolgsbeitrag der Modularisierung basiert somit in hohem Maß auf der Realisierung inkludierter Effekte.

KOEPPEL UND KERSTEN (2008, S.304) weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass die Realisierung positiver Modularisierungseffekte von einem systematischen Prozess der modularen Produktstrukturierung abhängig ist, der sowohl von technischen als auch kommerziellen Einflussgrößen geprägt wird.

Die Aussage erscheint bei erster Betrachtung zwar primär auf das Produkt bezogen zu sein, liefert aber für die weitere Diskussion zur Ableitung relevanter Wirkungsdimensionen des modularen Baukastens drei wichtige Erkenntnisse (vgl. Abbildung 19):

- 1) Da der Modulare Baukasten ein Konzept der Produktstrukturierung darstellt, kann aus der Aussage und den Ausführungen der vorangestellten Kapitel in erster Linie die Produktdimension als die Hauptwirkungsrichtung des modularen Baukastens abgeleitet werden.
- 2) Die Aussage von KOEPPEN UND KERSTEN (2008, S.304) hinsichtlich der erforderlichen Existenz eines systematischen Prozesses lässt die Schlussfolgerung zu, dass die im Unternehmen bestehenden Prozesse eine weitere relevante Wirkungsdimension darstellen. Indikation hierfür ist die Feststellung PILLERs (2000, S.230), dass sich Modularität nicht allein auf das Produkt beschränkt, sondern auch auf Prozessebene in den Entwicklungs-, Produktions- und Vertriebsprozessen zu finden ist.<sup>35</sup>
- 3) Da am Produktentstehungsprozess annähernd alle Funktionsbereiche des Unternehmens beteiligt sind und diese entsprechend den systemtheoretischen Ausführungen (vgl. Kap. 2.1.1) über Relationen miteinander korrespondieren, determinieren sowohl das Produkt als auch die Prozesse eines Unternehmens deren strukturellen Organisationsaufbau. Damit stellt die Organisationsstruktur eine weitere als relevant erachtete Wirkungsdimension des modularen Baukastens dar. Hierzu stellt ERIXON (1998, S.114) fest, dass die Wirkung der Modularisierung verstärkt wird, wenn neben der modularen Produktstruktur auch die Organisation modular strukturiert wird. Auch ARNOSCHT (2011, S.155) betont, dass die Entwicklung modularer Baukästen mit Hinblick auf die Komplexitätswirkung eine Neugestaltung aufbauorganisatorischer Strukturen bedarf. Es existiert demnach ein Kausalzusammenhang zwischen Produktstrukturierung und Organisationsdesign (vgl. Campagnolo & Camuffo 2010, S.278; Stüttgen 1999, S.182f.). Spezifische Produktcharakteristika führen zu einer Anpassung der hierdurch beeinflussten Prozess- und Organisationsstrukturen und vice versa (vgl. MacDuffie 2013, S.12f.). Die Aussagen werden auch durch GLOCK UND HOCHREIN (2011, S.159) gestützt, die im Rahmen ihrer Literaturrecherche anhand von summierten Häufigkeiten der thematischen Abhandlung innerhalb der untersuchten Beiträge einen Zusammenhang zwischen strukturellem Aufbau der Beschaffungsorganisation und den zu beschaffenden Produkten eines Unternehmens aufzeigen (ebenda S.161).

---

<sup>35</sup> HORVÁTH (2009, S. 86) definiert einen Prozess als „[...] eine Folge von Aktivitäten, deren Ergebnis eine Leistung für einen (internen oder externen) Kunden darstellt.“

Die Ableitung der Wirkungsdimensionen wird auch durch die Aussage MACDUFFIEs (2013, S.8) gestützt: „Modularity is a design property of the architecture of products, organizations, and interfirm networks“. Da Netzwerke in hohem Maß durch die existierenden Prozesse determiniert werden, spielt somit auch in der Aussage von MACDUFFIE die Prozessdimension eine wichtige Rolle. Der beschriebene Wirkungszusammenhang ist in Abbildung 19 schematisch zusammengefasst.

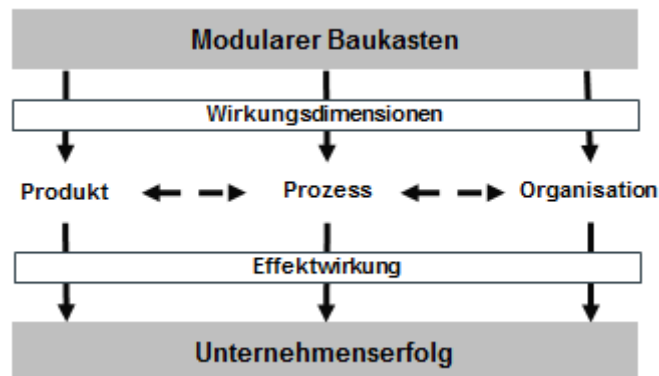


Abbildung 19: Wirkungsdimensionen des modularen Baukastens

Da diese Wechselwirkungen Einfluss auf die Performance des Gesamtunternehmens besitzen (vgl. Fixson 2007, S.90), müssen die Wirkungsdimensionen des modularen Baukastens stets simultan betrachtet werden, um konfliktäre Wechselbeziehungen einzelner Dimensionen bei etwaigen wirtschaftlichen Entscheidungen nicht zu vernachlässigen (vgl. MacDuffie 2013, S.11; Takeishi & Fujimoto 2001, S.384).

Es kann zusammenfassend festgehalten werden, dass der Modulare Baukasten durch die Realisierung von Modularisierungseffekten einen Beitrag zum Unternehmenserfolg leistet. Wie hoch dieser Erfolgsbeitrag ist bzw. wie dieser optimiert werden kann, soll im weiteren Verlauf dieser Arbeit beantwortet werden.

#### 2.2.2.9 Einordnung des modularen Baukastens als Instrument für die Beschaffung

Durch den Einsatz modularer Baukästen können, wie bereits beschrieben, die im Rahmen der Plattformstrategie existierenden Beschränkungen auf einzelne Fahrzeugklassen durchbrochen werden. Dabei sind die Auswirkungen der Implementierung eines modularen Baukastens nicht auf das Unternehmen beschränkt (vgl. Doran & Hill 2009, S. 69). Ein modularer Baukasten führt zu einer Änderung des Beziehungsgeflechts und der Risikoverteilung innerhalb der Wertschöpfungsnetzwerke und zwingt Unternehmen zu einer Neustrukturierung ihrer Geschäftstätigkeit (vgl. Salerno 2001, S.94).

Aufgrund der Schnittstellenfunktion zur Unternehmensumwelt und dem maßgeblichen Anteil an der Gestaltung der unternehmensspezifischen Input-Funktion nimmt die Beschaffung hierbei eine Schlüsselfunktion ein.

Einerseits führt der durch die Nutzung modularer Baukästen steigende Standardisierungsgrad dazu, dass Fahrzeugvolumen über Plattformgrenzen hinaus gebündelt werden können. Der hieraus resultierende Volumeneffekt ist für die Beschaffung im Rahmen der Vergabe ein bedeutsamer Hebel zur Generierung der für die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens wichtigen Kosteneinsparungen und Reduzierung von Risiken (vgl. Kersten et al. 2011; Röh 2011, S.8). Durch Volumenbündelung können Skaleneffekte generiert werden, die sich kostenminimierend im Teilepreis widerspiegeln, da Aufwendungen bezogen auf die einzelne Einheit weniger stark ins Gewicht fallen (vgl. Röh, 2011, S.10). Diese volumenabhängigen Skaleneffekte (Economies of Scale) sind produktbezogene Einsparungen durch die Erhöhung der Ausbringungsmenge (vgl. Piller 2000, S.235), die sich in einen reduzierten Stückpreis je Einheit widerspiegeln, da der Anteil fixer Kosten mit steigendem Volumen abnimmt (vgl. Morris & Donnelly 2006, S.265).

Andererseits steigen, durch den Volumeneffekt hervorgerufen, die Anforderungen an den jeweiligen Lieferanten hinsichtlich der Entwicklungsleistung und der finanziellen Aufwendungen, für z.B. strukturelle Investitionen, im Zuge der Projektinitialisierung. Die damit implizierte Anforderung an die Finanzkraft des Lieferanten zur Bewältigung volumenstarker Aufträge mit hohen zu leistenden Vorabaufwendungen führt zu einem gesteigerten Insolvenzrisiko des Lieferanten (vgl. Röh, 2011, S.10). Die aus einer Insolvenz entstehenden Brüche innerhalb der Wertschöpfungskette und damit verbundene Lieferabrisse können oft nur mit Einsatz erheblicher zeitlicher und finanzieller Aufwendungen durch die Beschaffung verhindert werden, um eigene Produktionsausfälle zu vermeiden.

Das führt aus Sicht der OEMs dazu, dass aufgrund unzureichender technischer und wirtschaftlicher Kompetenzen der potentielle Lieferantenkreis eingeschränkt wird und dadurch die Lieferantenabhängigkeit steigt. Der Effekt wird noch verstärkt, da OEMs zunehmend Kompetenzen vor allem bei der Entwicklung modularer Komponenten auf den Lieferanten übertragen, um das eigene Kostenniveau zu senken (vgl. Weissenberger-Eibl & Koch, 2011, S.32). Dieser Kompetenztransfer führt letztlich zu einer zunehmenden Marktmacht der Lieferanten (vgl. Doran & Hill 2009, S.71f.).

Die Ausführungen zeigen, dass die Implementierung eines modularen Baukastens sowohl positive als auch negative Effektwirkungen besitzen kann. Neben den potenziellen Kosteneinsparungen stellt dabei das komplexer werdende Wertschöpfungsnetzwerk, vor allem für die Beschaffung aufgrund der Schnittstellenfunktion zur Unternehmensumwelt, eine Herausforderung dar, der es mithilfe von geeigneten strategischen Maßnahmen zu begegnen gilt.

Damit die Beschaffung ihren attestierten Beitrag zum Unternehmenserfolg realisieren kann, ist es erforderlich, die wissenschaftliche Untersuchung der Komplexitätswirkung modularer Baukästen um eine beschaffungsfokussierte Betrachtungskomponente zu erweitern. Daher bildet die Beschaffung den dritten Themenschwerpunkt dieser Arbeit.

### 2.2.3 Themenschwerpunkt: Beschaffung

*„Die wirtschaftliche Beschaffung und Bereitstellung von Waren zur Bedarfsbefriedigung der Kunden ist ein konstituierendes Merkmal aller Handelsbetriebe“ (Crone 2010, S.1).*

Die Beschaffung eines Unternehmens kann abstrakt gesehen als das Koordinations- und Informationszentrum der Wertschöpfung charakterisiert werden, welches die inter- und intraorganisationalen Schnittstellen und die Kernkompetenzen des Unternehmens maßgebend gestaltet (vgl. Himpel 2013, S.88).

RÖH (2011, S.4) sieht die Aufgabe der Beschaffung u.a. in der Einbindung des Lieferanten in das von internen und externen Einflussgrößen dynamisierte Wertschöpfungsnetzwerk zur Erreichung der eigenen Beschaffungs- und Unternehmensziele. Aus diesen resultierenden Wertschöpfungspartnerschaften ergeben sich Chancen und Risiken, die vor allem bei der Beschaffung von modularen Kaufteilen zunehmende Bedeutung gewinnen.

In Kapitel 2.1.2.4 wurde der Beschaffungsbeitrag zum Unternehmenserfolg und die hieraus resultierende Fokussierung vieler Unternehmen auf die Optimierung ihrer Beschaffungsaktivitäten bereits dargelegt. Das Ziel der Unternehmen sollte darin bestehen, auf die wettbewerbsgetriebenen, gesteigerten Marktanforderungen mit einer stetig steigenden Beschaffungsperformance zu reagieren (vgl. van Weele & Rozemeijer 1996, S.157). Das Hauptaugenmerk liegt dabei in der Eruiierung beschaffungsstrategischer Maßnahmen sowie deren Ausstrahlungseffekte, die aus der zunehmenden bereichsübergreifenden Querschnittsfunktion der Beschaffung resultieren (vgl. Driedonks et al. 2014, S.288). Strategische Entscheidungen der Beschaffung sind dabei mitnichten allein auf die Kostenwirkung zu reduzieren, sondern besitzen darüber hinaus weitere Ausstrahlungseffekte auf andere Funktionsbereiche des Unternehmens. So beeinflusst bspw. die strategische Festlegung der Lieferantenzahl einerseits den Intensitätsgrad der Zusammenarbeit zwischen Lieferanten und den einzelnen Funktionsbereichen des Unternehmens und andererseits das lieferantenspezifische Vergabevolumen. Führt eine intensive Zusammenarbeit zu einer potentiellen Erhöhung der Produktqualität, ermöglicht die Volumenbündelung die Generierung von Skaleneffekten mit dem Ziel der Kostenreduzierung (vgl. Hofmann et al. 2012, S.2).

Gleichzeitig impliziert die wahrzunehmende Schnittstellenfunktion eine Beeinflussung sämtlicher Beschaffungsaktivitäten sowohl durch unternehmensinterne als auch externe Strukturen und Geschehnisse (vgl. Gießmann 2010, S.14; Krampf 2000, S.99ff.). Beschaffungsfokussierte Entscheidungen können daher nicht separat betrachtet werden, sondern müssen die Wechselwirkungen zu anderen Funktionsbereichen berücksichtigen.

Für die weitere thematische Bearbeitung des Forschungsprozesses ist es daher notwendig, die Beschaffung einerseits entsprechend ihrer wahrzunehmenden Funktionen in die

innerbetriebliche Wertschöpfungskette zu integrieren und andererseits die Wirkungszusammenhänge zwischen beschaffungsstrategischen Entscheidungen und der Gesamtunternehmensstrategie aufzuzeigen.

### 2.2.3.1 Einbettung der Beschaffung in die innerbetriebliche Wertschöpfungskette

Da die Beschaffung als Teil der automobilen Leistungserstellung anzusehen ist, erscheint als Grundlage für den weiteren Forschungsprozess die Anwendung des Modells der Wertschöpfungskette als besonders sinnvoll (vgl. Reichhuber 2010, S.27).

Folgt man den Ausführungen von GONSIOR (2008, S.81ff.) kann unter dem Begriff der Wertschöpfungskette die prozessorientierte Abfolge aller wertschöpfenden Tätigkeiten für die Leistungserstellung von Produkten oder Dienstleistungen verstanden werden (vgl. auch Reichhuber 2010, S.27). Die Prozessstruktur richtet sich dabei nach der Reihenfolge der Leistungserstellung und den an der Leistungserstellung beteiligten Funktionsbereichen (vgl. Reichhuber 2010, S.27).

Findet diese Verknüpfung zwischen verschiedenen Funktionsbereichen innerhalb eines Unternehmens statt, kann von einer **internen Wertschöpfungskette** gesprochen werden.

Im Gegensatz dazu ist eine **externe Wertschöpfungskette** durch die Beteiligung aller an der Leistungserstellung beteiligten Unternehmen, vom Rohstofflieferanten bis OEM als Endhersteller gekennzeichnet. Eine externe Wertschöpfungskette lässt sich somit durch die physische, informationelle und/ oder monetäre Verbundenheit rechtlich unabhängiger Unternehmen hierarchisch unterschiedlicher Wertschöpfungsstufen charakterisieren (vgl. Skirde 2015, S.84f.). Diese unternehmensübergreifende, vertikale Wertschöpfung ist eng mit dem Begriff der Supply Chain<sup>36</sup> verbunden (vgl. Skirde 2015, S.84). Durch die vermehrte Konzentration auf Kernkompetenzen gewinnt vor allem die vertikale Wertschöpfungskette zunehmend an Bedeutung (vgl. Gonsior 2008, S.84).

---

<sup>36</sup> Unter dem Begriff der Supply Chain ist die Verknüpfung sämtlicher Wertschöpfungsaktivitäten der logistischen Unternehmensfunktionen Beschaffung, Produktion, Distribution und Entsorgung zu verstehen, die von der Rohmaterialgewinnung für ein Produkt bis hin zu dessen Entsorgung für den Produkt-, Informations- und Kapitalfluss notwendig sind (vgl. Wildemann 2001, S.1f.).

In Analogie zum Strukturierungsspektrums eines Produktes (vgl. Kap. 2.2.2.4) kann auch eine Supply Chain in einem Spektrum zwischen rein modularer bzw. rein integraler Architektur eingeordnet werden (vgl. Fine et al. 2005, S.392). Eine integrale Supply Chain ist dabei von einem hohen Maß an unternehmerischer, regionaler und kultureller Verzahnung zwischen OEM und Lieferant gekennzeichnet und besitzt einen hohen Zentralisierungs- und Komplexitätsgrad, wohingegen eine modular gestaltete Supply Chain durch ein geringes Maß an Konnektivität zwischen OEM und Lieferant charakterisiert werden kann und somit eine flexiblere Austauschbarkeit der Lieferantenbeziehungen ermöglicht (vgl. Fine et al. 2005, S.392). FINE ET AL. (2005, S.393) sehen es als erforderlich an, Entscheidungen hinsichtlich des Produktdesigns und der Gestaltung der Supply Chain aufeinander abzustimmen, stellen aber gleichzeitig fest: „[...] the need to align product and supply chain architecture is not fully understood in industry“ (Fine et al. 2005, S.393).

Da im Rahmen dieser Arbeit die Diskussion der Auswirkungen modularer Baukästen primär mit Bezug auf das Unternehmen als abgrenzbares System erfolgt und der modulare Baukasten als ein unternehmensinterner Strukturierungsansatz verstanden wird (vgl. Gawer 2009, S.46ff.), liegt das Hauptaugenmerk nicht in der vertikalen sondern in der horizontalen Wertschöpfung. In Analogie hierzu erscheint die fokussierte Betrachtung der Beschaffung als Element der innerbetrieblichen also internen Wertschöpfungskette für die strukturierte Bearbeitung der aufgezeigten Forschungsziele als vorteilhaft. Die zugrundeliegende Wertschöpfungskette ist in Abbildung 20 schematisch dargestellt und wird nachfolgend erläutert.

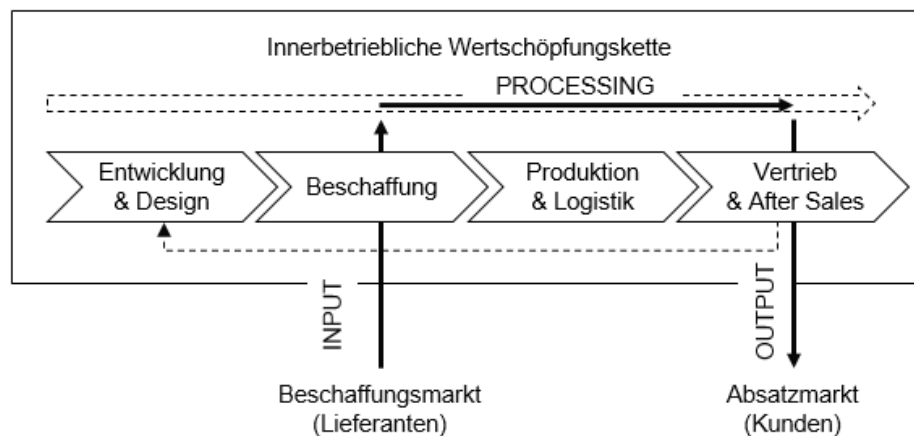


Abbildung 20: Innerbetriebliche Wertschöpfungskette

Die schematische Darstellung orientiert sich an dem von GONSIOR (2008, S.109ff.) detailliert dargestellten Konsolidierungsprozess der einzelnen Wertschöpfungsbereiche. Im Gegensatz zu der von MACHARZINA UND WOLF (2005, S.307) gewählten Darstellung nimmt die Beschaffung dabei keine unterstützende Aktivität ein, sondern wird als Basisfunktion der Wertschöpfungskette angesehen und somit die Relevanz der Beschaffung innerhalb des Unternehmens zusätzlich hervorgehoben.

Abweichend zu der von GONSIOR beschriebenen Wertschöpfungskette stellt der Bereich „Marketing“ keinen eigenständigen Bereich dar (vgl. Gonsior 2008, S.109). Sämtliche Marketingaufgaben werden vielmehr als Teilfunktion des Vertriebs angesehen und sind im Sinne einer Rückkopplungsschleife durch den Pfeil in der Abbildung dargestellt. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass globale OEMs, wie das Beispiel Volkswagen zeigt, selten eine eigenständige Marketingabteilung besitzen, sondern diese im Unternehmensbereich Vertrieb integriert ist. Somit ist die hier betrachtete innerbetriebliche Wertschöpfungskette durch die Bereiche Entwicklung & Design, Beschaffung, Produktion & Logistik und Vertrieb & After-Sales definiert.<sup>37</sup>

<sup>37</sup> Da für die weitere Ausarbeitung als nicht zielführend erachtet, wird auf eine detaillierte Darstellung der Prozesse innerhalb der einzelnen Wertschöpfungsstufen an dieser Stelle verzichtet und für weitergehende Ausführungen auf GONSIOR (2008, S.109ff.) verwiesen.

Der Funktionsbereich **Entwicklung & Design** stellt die erste Prozessstufe der innerbetrieblichen Wertschöpfungsstufe dar. Basierend auf der Marketingtätigkeit des Vertriebs oder aber geänderten Gesetzesanforderungen wird die Notwendigkeit abgeleitet, das Produktprogramm abzuändern bzw. zu erweitern, um den notwendigen Marktanforderungen zu entsprechen. Die technische Umsetzung dieser Änderungen ist Aufgabe der Entwicklung. Entsprechend dem betrachteten Praxisbeispiel Volkswagen werden auch sämtliche Designentscheidungen in den Hoheitsbereich der Entwicklung eingeordnet, so dass die von GONSIOR getrennt betrachteten Wertschöpfungsstufen Design und Entwicklung (vgl. GONSIOR S.112ff.) in der gewählten Darstellung zur Wertschöpfungsstufe Entwicklung & Design zusammengefasst werden.

Ausgehend von der finalen Designentscheidung und der definierten Produktspezifizierung durch die Entwicklung erfolgt durch die **Beschaffung** die Bereitstellung der für die Produktion benötigten Produktionsfaktoren (vgl. Reichhuber 2010, S.29), wie z.B. einzelne Fahrzeugkomponenten, Rohstoffe oder Produktions-equipment, sofern diese nicht durch das Unternehmen selbst hergestellt werden können bzw. die Eigenherstellung im Rahmen einer Make-or-Buy-Entscheidung als unwirtschaftlich erachtet wird. Bezogen auf die ganzheitliche Betrachtung der Wertschöpfungskette besitzt die Beschaffung eine Schlüsselrolle, da strategische Beschaffungsentscheidungen Auswirkungen auf die gesamte (innerbetriebliche) Wertschöpfungskette besitzen (vgl. Gonsior 2008, S.172; Krampf 2000, S.100ff.). Außerdem ist die Beschaffung durch ihre Schnittstellenfunktion zum Beschaffungsmarkt erster Ansprechpartner des Lieferanten und trägt dadurch direkt zur Gestaltung der Zusammenarbeit des Lieferanten mit den übrigen Bereichen bei (vgl. Gonsior 2008, S.179f.) Basierend auf dem systemtheoretischen Verständnis eines Unternehmens (siehe Kap. 2.1.1.2) ist die Beschaffung innerhalb der für ein Unternehmen charakteristischen Input-Processing-Output-Funktion vorrangig für die Mitgestaltung der Input-Faktoren der Unternehmensfunktion verantwortlich.

Die nächste Wertschöpfungsstufe wird durch den Bereich **Produktion & Logistik** dargestellt. Hierunter fallen sämtliche Prozessschritte, die mit der direkten Fertigung des Produktes in Verbindung gebracht werden können. Hierzu zählen auch alle Logistikprozesse. Das betrifft sowohl innerbetriebliche Logistikprozesse im Rahmen der Fahrzeugproduktion, als auch die in Verantwortung des OEMs durchgeführten Logistikketten zwischen einzelnen global verteilten Produktionsstätten des OEMs und/ oder des Lieferanten. Damit übernimmt die Produktion & Logistik innerhalb der Input-Processing-Output-Funktion vorrangig den Part der wertschöpfenden Verarbeitung (Processing).

Abschluss der Wertschöpfungskette bildet der Funktionsbereich **Vertrieb & After-Sales** als direktes Bindeglied zum Absatzmarkt und damit zum Kunden. Idealerweise wird damit über den Vertrieb der Output der angesprochenen Unternehmensfunktion bestimmt. Die Aufgabe des Vertriebs liegt im Absatz der hergestellten Produkte und deren kundenori-

enterte Betreuung innerhalb der Nutzungsphase. Wie anfänglich dargestellt ist die Eruerung existierender Kundenwünsche und die frühzeitige Identifizierung möglicher Veränderungstendenzen im Markt eine essenzielle Aufgabe, da durch die Informationsbereitstellung wichtige Anforderungen an den Wertschöpfungsbereich Entwicklung & Design und damit an den Anfang der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette zurückgespiegelt werden können. Die Wertschöpfungskette lässt sich somit als ein zyklischer Prozess charakterisieren (vgl. Kreuzpointner & Reißer 2006, S.12)

Abschließend seien bzgl. der gewählten Darstellung der Wertschöpfungskette folgende vier Anmerkungen erlaubt:

Erstens orientiert sich die Festlegung der Wertschöpfungsbereiche an dem im Rahmen dieser Arbeit gewählten Forschungsobjekt Volkswagen und dessen Unternehmensbereiche mit den jeweiligen Funktionen. Eine hierdurch hervorgerufene potentielle Einschränkung der Allgemeingültigkeit in der schematischen Darstellung der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette führt nach Einschätzung des Autors dabei nicht zu einer negativen Beeinträchtigung der Aussagekraft der im weiteren Verlauf des Forschungsprozesses erlangten Erkenntnisse.

Zweitens ist die gewählte sequentielle Darstellung der Wertschöpfungskette als idealisierter Prozessablauf anzusehen, da in der Realität vielmehr von einer überlappenden und damit simultanen Beteiligung der einzelnen Funktionsbereiche am Wertschöpfungsprozess ausgegangen werden kann.

Drittens erfolgt die Zuordnung der Funktionsbereiche Beschaffung, Produktion & Logistik und Vertrieb & After Sales zu den einzelnen Stufen der Input-Processing-Output-Funktion idealisiert, wohl wissend, dass diese strikte Separation nicht der Realität entspricht. Vielmehr sind sämtliche Funktionsbereiche des Unternehmens bspw. am Processing beteiligt. Diesem Sachverhalt wird durch die gewählte Darstellung der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette als eine prozessorientierte Abfolge entsprochen (siehe Abbildung 20).

Viertens lässt eine ausschließliche Konzentration auf die innerbetriebliche Wertschöpfungskette keine vollständige Betrachtungsperspektive zu, da hierdurch die Schnittstellenfunktion der Beschaffung zur unternehmensexternen Umwelt nur unzureichend berücksichtigt ist. Daher wird bei der weiteren thematischen Bearbeitung auch die externe Wertschöpfungskette situativ in die Diskussion eingebunden, um die Auswirkungen des modularen Baukastens auf die Wechselbeziehungen zwischen Beschaffung und Lieferanten eruieren zu können.

### 2.2.3.2 Strategie und Ziele der Beschaffung

*„Die Globalisierung der Absatzmärkte hat zu einer Internationalisierung der Beschaffungsstrategien (global sourcing<sup>38</sup>) geführt“ (Fiege 1998, S.128).*

Sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis gibt es keinen einheitlich verwendeten allgemeinen Strategiebegriff (vgl. Macharzina & Wolf 2005, S.257). Dennoch lassen sich nach MACHARZINA UND WOLF (2005, S.257f.) die verschiedenen begrifflichen Definitionen zwei grundlegenden Strategieverständnissen zuordnen:

Zum einen wird unter einer Strategie die Bereitstellung eines rational geplanten, aufeinander abgestimmten Maßnahmenbündels korrelierter Einzelentscheidungen zur Zielerreichung verstanden. Hierbei handelt es sich sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis um das dominierende Strategieverständnis.

Zum anderen gewinnt ein zweites Strategieverständnis zunehmend an Bedeutung, welches vor dem Hintergrund der ansteigenden Dynamisierung der Umwelt unter dem Strategiebegriff ein Grundmuster im Strom von Entscheidungen und Handlungen versteht. Hierdurch wird es dem Unternehmen ermöglicht, seine Strategie flexibel auf sich dynamisch ändernde Umweltentwicklungen anzupassen.

Mit der Festlegung einer **Beschaffungsstrategie** wird die „Grundrichtung für das Marktverhalten des Unternehmens“ (Wannenwetsch 2004, S.87) definiert. Die Festlegung der Beschaffungsstrategie ist Kernaufgabe des normativen Beschaffungsmanagement. Das normative Management leitet aus den bereitgestellten Informationen des strategischen Managements Entscheidungen hinsichtlich der Festlegung der Beschaffungsstrategie ab und legt die strategische Ausrichtung der Beschaffung fest. Das normative Management stellt damit die Weichen für die zukünftige Entwicklung der Beschaffung (vgl. Müller 2000, S.67f.). Normatives und strategisches Management stehen somit in einem direkten zirkulären Wirkungszusammenhang. Auf Basis der Beschaffungsstrategie lassen sich Handlungsfelder definieren, deren Bearbeitung Aufgabe des strategischen und operativen Beschaffungsmanagements ist (siehe Kap. 2.2.3.3.).

Voraussetzung der erfolgreichen Bearbeitung dieser Handlungsfelder ist dabei die Ableitung klar definierter **Beschaffungsziele**. Aus Sicht der Beschaffung zu realisierende Ziele sind z.B. (vgl. Gonsior 2008, S.39f.; Röh 2011, S.5):

---

<sup>38</sup> Unter dem Begriff Global Sourcing können sämtliche Aktivitäten des Beschaffungsmanagements zur Generierung von Wettbewerbsvorteilen durch den Aufbau eines globalen Lieferantennetzwerkes zusammengefasst werden (vgl. Arnold 2012, S.264). Da Global Sourcing kein Themenschwerpunkt dieser Arbeit darstellt, wird bei weiterführendem Interesse auf ARNOLD (2012) verwiesen, der in seiner Arbeit die strategischen Optionen, Risiken und organisatorischen Gestaltungsalternativen für die Beschaffung im Zusammenhang mit Global Sourcing darlegt.

- Beschaffungskosten senken durch die Minimierung von Material- und Werkzeugkosten
- Beschaffungsrisiko senken durch das Planen und Sicherstellen von Terminen bei gleichzeitiger kosten- und aufwandsminimaler Absicherung von Komplexität
- Beschaffungsflexibilität erhöhen durch die Wahl einer geeigneten Sourcing-Strategie
- Beschaffungsqualität erhöhen durch kostenminimale Abbildung der technisch erforderlichen Bauteilqualität

Wie bereits in den vorangestellten Ausführungen erläutert, existieren sowohl funktionsbereichsintern als auch bereichsübergreifend zwischen den einzelnen Zielen Wechselwirkungen. So darf bspw. die Zielgröße die Beschaffungskosten zu senken nicht beschaffungsfokussiert betrachtet werden, sondern muss auch die Kostenwirkung anderer Unternehmensbereiche integrativ berücksichtigen (vgl. Weissenberger-Eibl & Koch 2011, S.32). Ergänzend betont KRAMPF (2000, S.17), dass eine allein auf die Senkung der Materialkosten fokussierte Beschaffungsstrategie zur Erschließung weitreichender Erfolgspotentiale nicht ausreichend ist, sondern vielmehr die Minimierung der Gesamtkostenfunktion des Unternehmens durch strategische Beschaffungsentscheidungen unterstützt werden muss.

Aufgrund des hohen Erfolgsbeitrags der Beschaffung muss die Definition der Ziele besonders akribisch erfolgen, da Fehler in der strategischen Planung durch die erheblichen leistungs- und finanzwirtschaftlichen Auswirkungen mit hohen Kosten verbunden sind und nur langfristig korrigiert werden können (vgl. Wannewetsch 2004, S.87).

Beschaffungsziele müssen daher unter Berücksichtigung sämtlicher Funktionsbereiche in das Zielsystem des Unternehmens integriert werden, um dem Anspruch einer ganzheitlichen Beschaffungsstrategie zu entsprechen und Zielkonflikte zu vermeiden (vgl. Garcia Sanz 2007, S.6; Kaufmann 2002, S.14; Maucher et al. 2012, S.58f.).

Dies führt dazu, dass die Beschaffungsstrategie einen hohen Vernetzungsgrad mit der Unternehmensstrategie und den Strategien der Funktionsbereiche innerhalb der betrieblichen Wertschöpfungskette aufweist und von einer Vielzahl interner und externer Einflussfaktoren beeinflusst wird (siehe Abbildung 21). Die Abbildung erhebt dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern dient primär dem Aufzeigen des beschaffungsstrategischen Wirkungszusammenhangs.

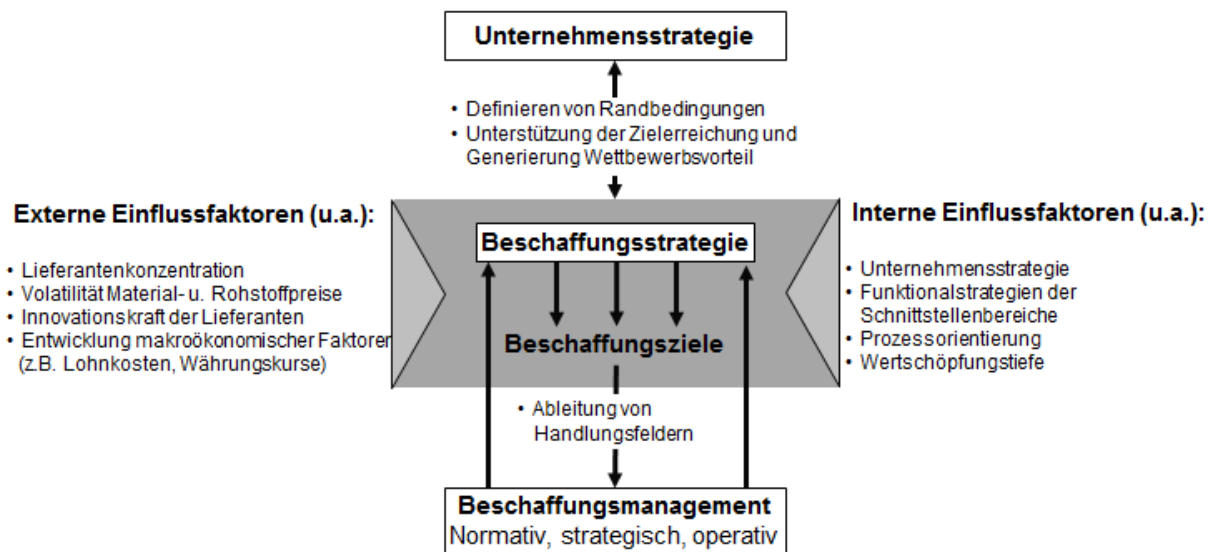


Abbildung 21: Einordnung der Beschaffungsstrategie in bestehende Wirkungszusammenhänge

Einerseits werden durch die Unternehmensstrategie der Beschaffungsstrategie Randbedingungen vorgegeben. Andererseits unterstützt letztere die Erreichung der durch die Unternehmensstrategie festgelegten Unternehmensziele (vgl. Garcia Sanz 2007, S.6).

Da weiterhin der Erfolgsbeitrag der Beschaffung sowohl von unternehmensinternen als auch -externen Faktoren abhängig ist, müssen diese Faktoren auch bei der Gestaltung der Beschaffungsstrategie hinreichende Berücksichtigung finden bzw. determinieren diese (vgl. Garcia Sanz 2007, S.8ff). Exemplarisch führen HOFMANN ET AL. (2012, S.9) hierfür die Wertschöpfungstiefe des Unternehmens sowie die Charakteristika des Beschaffungsmarktes an. Mit sinkender Wertschöpfungstiefe nehmen die Bedeutung der Beschaffung und damit deren Erfolgsbeitrag zu, da ein steigender Anteil an Komponenten extern beschafft werden muss. Dagegen sind in einem durch ein Monopol geprägten Beschaffungsmarkt tendenziell beispielsweise deutlich geringere Einsparungen zu generieren als bei einem wettbewerbsfördernden Lieferantenpolypol (vgl. Hofmann et al. 2012, S.10).

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass in der Festlegung einer auf die Gesamtstrategie des Unternehmens ausgerichteten Beschaffungsstrategie der Grundstein für den Erfolgsbeitrag der Beschaffung gelegt und somit der Unternehmenserfolg determiniert wird. Grundvoraussetzung hierfür ist die Ausrichtung der Beschaffungsstrategie an wertorientierten Prinzipien (vgl. Eßig 2007, S.233). Vor allem in Zeiten volatiler Märkte und einem hohen Komplexitätsniveau bedeutet eine optimierte Beschaffungsstrategie dabei die Realisierung signifikanter Wettbewerbsvorteile (vgl. Knapp et al. 2016, S.6).

### 2.2.3.3 Funktionen des Beschaffungsmanagements

Allgemein gesprochen kann unter dem Begriff Beschaffung eine Input-bestimmende Funktion innerhalb des innerbetrieblichen Wertschöpfungsprozess verstanden werden (Rodriguez 2007, S.16), die die Versorgung eines Unternehmens mit nicht durch das Unternehmen selbst erstellten Investitionsgütern, Dienstleistungen und Verbrauchs- bzw. Produktionsgütern in der erforderlichen Art, Menge, Zeit und Qualität durch die Erlangung eines Eigentumsrechts sicherstellt (vgl. Rodriguez 2007, S.17; Wannenwetsch 2004, S.87). Die durch die Beschaffung beigestellten Güter und Dienstleistungen werden auch als Beschaffungsobjekte<sup>39</sup> bezeichnet (vgl. Rodriguez 2007, S.16).

Folgt man den Ausführungen von RODRIGUEZ (2007, S.16ff.), kann das Beschaffungsmanagement in die zwei Funktionskomponenten des marktbezogenen Beschaffungsmarketings und der beliefungsbezogenen Beschaffungslogistik aufgeteilt werden (siehe Abbildung 22). Aufgrund der definierten Forschungsziele lässt sich diese Arbeit dabei eindeutig der Funktionskompetenz des Beschaffungsmarketings zuordnen.

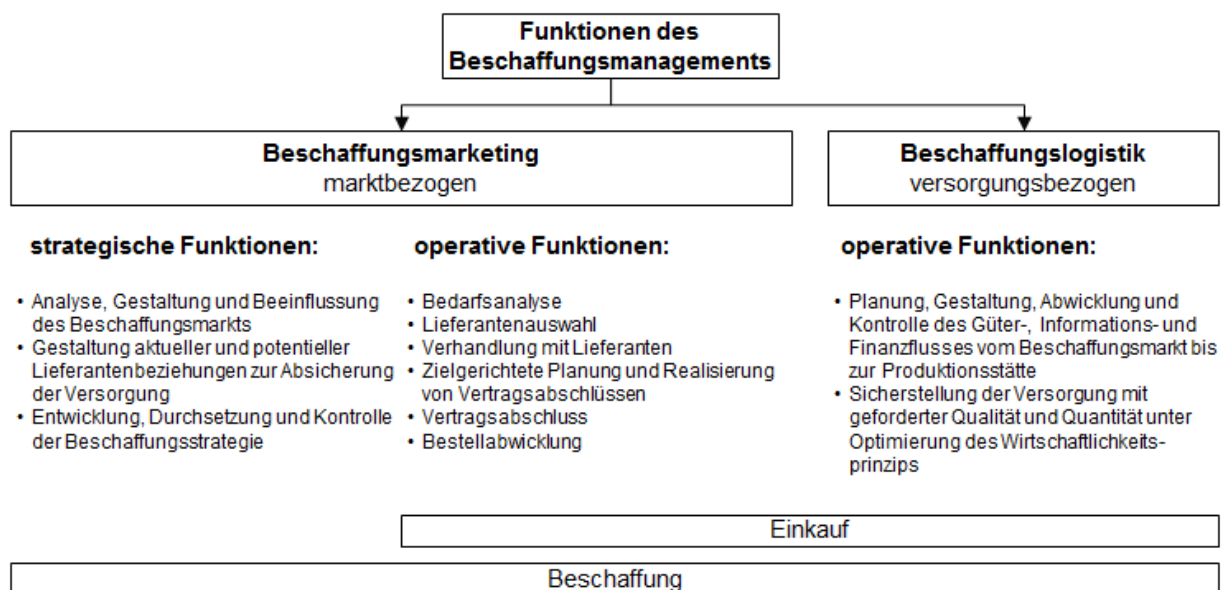


Abbildung 22: Funktionen des Beschaffungsmanagements  
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Rodriguez (2007, S.16ff.)

Unter dem Begriff des **Beschaffungsmarketings** werden dabei alle strategischen und operativen marktbezogenen Beschaffungsaktivitäten zusammengefasst, die „der Auswahl und dem Aufbau von Beschaffungsmärkten sowie der Gestaltung von Lieferbeziehungen seitens des Unternehmens mit aktuellen oder zukünftigen Lieferanten“ (Rodriguez 2007, S.20) dienen, um eine bedarfsorientierte, auf Verträgen basierende und an

<sup>39</sup> Der Terminus Beschaffungsobjekt umfasst sämtliche Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe, Dienstleistungen sowie die für den Herstellungsprozess erforderlichen Maschinen, Anlagen und Werkzeuge (vgl. Gießmann 2010, S.13; Rodriguez 2007, S.17f.).

den Unternehmenszielen orientierte Versorgung des Unternehmens mit notwendigen Beschaffungsobjekten sicherzustellen (vgl. Rodriguez 2007, S.20). Das Beschaffungsmanagement liefert somit einen direkten Beitrag zur Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens (vgl. Kreuzpointner & Reißer 2006, S.11).

Im Gegensatz zu den auf den Beschaffungsalltag fokussierten Aufgaben des operativen Beschaffungsmarketings, stehen die Aufgaben des strategischen Beschaffungsmarketings in engen Zusammenhang mit den zukünftigen Entwicklungen der Beschaffungsumwelt, um bestehende Erfolgspotentiale zu sichern bzw. neue Erfolgspotentiale zu erschließen (vgl. Müller 2000, S.67f.). Dies inkludiert sämtliche Prozesse der Planung, Implementierung, Evaluierung und Kontrolle sowohl der strategischen als auch der operativen Beschaffungsentscheidungen und deren Ausrichtung an übergeordneten Unternehmenszielen, um für die Beschaffung ein ganzheitliches Optimum sicherzustellen (vgl. Bogaschewsky 2004, S.180; Glock & Hochrein 2011, S.149; Müller 2000, S.65). Eine klare Abgrenzung zwischen Tätigkeiten der operativen und strategischen Beschaffung ist in der Praxis aufgrund existierender Interdependenzen oft nicht trennscharf möglich (vgl. Krampf 2000, S.17).

Die Logistikfunktion der Beschaffung (**Beschaffungslogistik**) besteht darin, die Versorgung der zur betrieblichen Leistungserstellung benötigten Produktionsgüter sowohl aufwands- als auch kostenminimal zum geforderten Zeitpunkt am richtigen Ort und in ausreichender Anzahl und Qualität statusgerecht sicherzustellen (vgl. Gießmann 2010, S.13; Krampf 2000, S.4f.; Rodriguez 2007, S.23; Röh 2011, S.5). Insofern ist unter der Beschaffungslogistik eine Managementfunktion zu verstehen, die die Güter-, Informations- und Finanzflüsse zwischen dem Beschaffungsmarkt und dem Unternehmen plant, gestaltet, abwickelt und kontrolliert (vgl. Rodriguez 2007, S.23).

An dieser Stelle soll kurz auf die begriffliche Abgrenzung zwischen Beschaffung und Einkauf eingegangen werden. Folgt man den Ausführungen von GIESSMANN (2010, S.13), kann Beschaffung als Oberbegriff für sämtliche strategischen und operativen Aufgaben der Unternehmensversorgung verstanden werden, wohingegen der Begriff Einkauf die primär operativen Aktivitäten des kaufmännischen Abwicklungsprozesses und der Vertragsverhandlung beschreibt (vgl. auch Rodriguez 2007, S.15). Hieraus folgt, dass eine simultane Verwendung beider Begrifflichkeiten nur begrenzt anwendbar ist (vgl. Gießmann 2010, S.13). Demgegenüber gibt es aber auch Autoren, die eine synonyme Verwendung beider Begrifflichkeiten aufgrund einer fehlenden einheitlichen Abgrenzbarkeit argumentieren (vgl. Hofmann & Staiger 2020, S.6; Kaufmann 2002, S.12; Kreuzpointner & Reißer 2006, S.11f.; Rodriguez 2007, S.15f.). Da im Rahmen dieser Arbeit von einer detaillierten Herausarbeitung systematischer Unterschiede zwischen Beschaffung und Einkauf aufgrund des thematischen Forschungsschwerpunkts Abstand genommen wird, werden beide Begrifflichkeiten simultan verwendet.

### 2.2.3.4 Einordnung strategischer Beschaffungsaktivitäten hinsichtlich der Komplexitätswirkung

Im Kapitel 2.2.3.2 wurden die existierenden Wechselwirkungen zwischen den Funktionalstrategien einzelner Bereiche bzw. deren Beitrag zur Zielerreichung der Unternehmensstrategie am Beispiel der Beschaffungsstrategie dargelegt.

Die bestehenden Ausstrahlungseffekte inkludieren automatisch auch, dass sämtliche beschaffungsstrategischen Entscheidungen, die eine Änderung des Komplexitätsniveaus bewirken, nicht zwingend ausschließlich eine auf die Beschaffung beschränkte Effektwirkung auslösen. Vielmehr können zusätzlich funktionsübergreifende Effekte hervorgerufen werden, die sich sowohl positiv als auch negativ auf das Komplexitätsniveau sämtlicher Funktionsbereiche auswirken.

Die wechselseitige Komplexitätswirkung beschaffungsstrategischer Entscheidungen soll beispielhaft anhand der Erfolgsfaktoren Kosten und Risiko in Abhängigkeit der Lieferantenzahl für einen beliebigen Kaufteilumfang qualitativ erläutert werden (Abbildung 23).

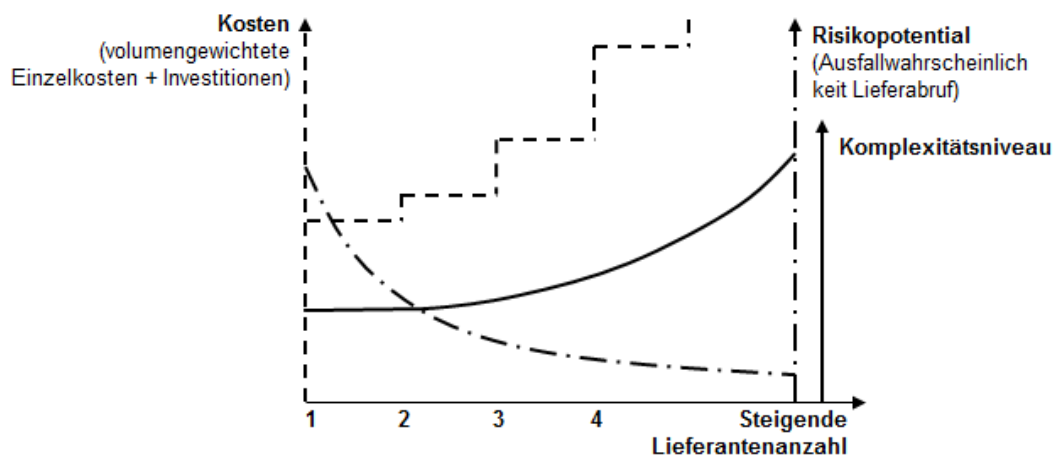


Abbildung 23: Komplexitätswirkung beschaffungsstrategischer Entscheidungen am Beispiel der Erfolgsfaktoren Kosten und Risiko

Es wurde ausgeführt, dass ein positiver Modularisierungseffekt darin besteht, durch die gesteigerte Möglichkeit der Volumenbündelung Kostenreduzierung zu generieren. Dies lässt den Rückschluss zu, dass mit sinkender Lieferantenzahl und der damit verbundenen Volumenbündelung die Einzelkosten sinken. Im Umkehrschluss ist davon auszugehen, dass mit steigender Volumenfragmentierung eines konstanten Volumens auf mehrere Lieferanten die Kosten tendenziell steigen, da die Gemeinkostenumlage je Bauteil zunimmt. Hinzu kommt ein erhöhter Gesamtinvestitionsbedarf aufgrund erhöhter Werkzeugsätze, da diese bei jedem Lieferanten benötigt werden.

Betrachtet man dagegen den Erfolgsfaktor Risiko, lassen sich gegensätzliche Tendenzen feststellen. Hier führt eine Beschränkung auf einen oder wenige Lieferanten qualitativ zu einem hohen Risikopotential, wohingegen sich mit steigender Lieferantenzahl das Risiko verringert, da potentielle Lieferabriss durch eine Vielzahl an Lieferanten besser abgedeckt werden kann.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das Risikopotential durch eine erhöhte Lieferantenabhängigkeit mit einer Mehrlieferantenstrategie zwar reduziert werden kann, aber mit entsprechend erhöhten Kosten durch reduzierte Skaleneffekte und erhöhte Investitionen einhergeht (vgl. Röh, 2011, S.11). Gleichzeitig steigt durch die Beauftragung mehrerer Lieferanten auch das Komplexitätsniveau an, da mit zunehmender Lieferantenzahl (Elementmenge) auch die Anzahl der zu pflegenden Beziehungen zu den Lieferanten (Verknüpfungsdichte) zunimmt. Im Umkehrschluss stellt die Reduzierung der Lieferantenzahl aus Beschaffungssicht eine Möglichkeit zur Reduzierung der strukturellen Komplexität dar (vgl. Gießmann 2010, S.42).

Bezogen auf die Komplexitätswirkung muss das Ziel der Beschaffungsstrategie somit in einer Optimierung sämtlicher Beschaffungsaktivitäten liegen, um negative Ausstrahlungseffekte der Beschaffungskomplexität auf die zu realisierenden Erfolgsfaktoren zu verhindern.<sup>40</sup>

### **2.3 Zusammenfassende Darstellung der themenrelevanten Wirkungszusammenhänge**

*„Die Konfrontation von Managern mit immer komplexeren unternehmerischen Problemstellungen ist ein typisches Charakteristikum moderner Unternehmensführung“ (Stuttgart 1999, S.1).*

Das Ziel des zweiten Kapitels lag in der Herausarbeitung der für die Beantwortung der Forschungsfragen relevanten Themenschwerpunkte Komplexität, modularer Baukasten und Beschaffung und deren logische Verknüpfung. Hierzu wurden wichtige Begrifflichkeiten erläutert und die Arbeit in einen Bezugsrahmen eingebettet.

Basierend auf den dargestellten Grundzügen der Systemtheorie wurde in Kapitel 2.1.1 das Grundverständnis für Unternehmen als komplexe Systeme erarbeitet. Komplexität ist eine Merkmalseigenschaft von Systemen, hervorgerufen durch die selektive Interaktion der Systeme und ihrer Systemelemente unter dem Einfluss ihrer Systemumwelt. Entsprechend des systemtheoretischen Grundverständnisses sind Unternehmen offene Systeme, die mit ihrer Umwelt Austauschbeziehungen aufbauen, um die eigene Überlebensfähigkeit zu sichern. Komplexität ist dabei Bestandteil aller Elemente und Subsysteme

---

<sup>40</sup> GIESSMANN (2010, S.280) zeigt in seiner Arbeit einen signifikanten negativen Einfluss einer steigenden Beschaffungskomplexität auf die unternehmerischen Erfolgsfaktoren Kosten, Zeit, Flexibilität und Qualität, wobei sich die negative Wirkung der Beschaffungskomplexität mit steigender Unternehmensgröße zunehmend verstärkt. Die fokussierte Betrachtung GIESSMANNs hinsichtlich des Logistikerfolgs wird dabei in einer allgemeingültigeren Sichtweise auf das Gesamtunternehmen übertragen. Dies erscheint aus Sicht des Autors legitim, da GIESSMANN die Logistik als einen Teilbereich der Beschaffung definiert und die vorgelagerten Ausführungen den hohen Wertbeitrag der Beschaffung zum Unternehmenserfolg verdeutlicht haben (vgl. Kap. 2.1.2).

eines Unternehmens sowie seiner Umwelt (vgl. Kirchhof 2003, S.244). Innerhalb des Unternehmens ist die Komplexitätswirkung nicht auf einzelne Funktionsbereiche beschränkt, sondern spiegelt sich in der gesamten innerbetrieblichen Wertschöpfungskette in Form eines zunehmenden Transparenzverlustes sowie erhöhtem Koordinations- und Ressourcenaufwand im Umfeld einer dynamisierten und schwer beeinflussbaren Umwelt wider (vgl. Eversheim et al. 1998, S.30; Stüttgen 1999, S.1).

In Kapitel 2.1.2 erfolgte dann im Anschluss die Einordnung der Arbeit in einen praktischen Bezugsrahmen und somit die Darlegung der Themenrelevanz. Hierzu wurden die aktuellen Tendenzen innerhalb der Automobilindustrie detailliert beschrieben. Diese Tendenzen sind nachfolgend nochmals zusammenfassend dargestellt:

- Segmentierung der Märkte durch steigende kundenorientierte Modellvielfalt
- Reduzierung der Entwicklungs- und Fertigungstiefe ausgelöst durch die Konzentration auf Kernkompetenzen
- steigender Kostendruck durch intensivierten Wettbewerb
- steigender technologiegetriebener Innovationsdruck

Die Ausführungen haben weiterhin verdeutlicht, dass nur eine konsequente Ausrichtung am Markt bzw. der Umwelt mit deren dynamisch veränderlichen Anforderungen die Wettbewerbsfähigkeit und damit das langfristige Überleben einer Unternehmung sichern können (vgl. Horváth 2009, S.86).

Aus dieser Erkenntnis heraus treiben seit einigen Jahren viele OEMs ihre Produktdifferenzierung voran, um durch eine feingliedrige Gestaltung ihrer Fahrzeugpalette annähernd jede als strategisch relevant erachtete Marktnische besetzen zu können (vgl. Röh, 2011, S.3). Um gleichzeitig dem existierenden Zwang zur Kostenreduzierung gerecht werden zu können, muss jede Differenzierungsentscheidung hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit einer Kosten-Nutzen Analyse unterzogen werden, bei der auch die Auswirkungen auf das Komplexitätsniveau und die damit korrelierten Komplexitätskosten berücksichtigt werden (vgl. Kersten et al. 2011, S.15; Röh, 2011, S.4). OEMs sehen sich mit einem Optimierungsproblem von interner Standardisierung zur Kostenreduzierung und externer Differenzierung zur Befriedigung des Individualisierungswunsches der Kunden konfrontiert (vgl. Piller & Waringer 1999, S.56).

Die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens ist daher in hohem Maße von der Anpassungsfähigkeit der zur Wirtschaftlichkeitsanalyse eingesetzten unternehmensinternen Steuerungs- und Analysemodelle abhängig. WANG ET AL. (2000, S.3811) gehen davon aus, dass sich dies in der Forderung nach einer steigenden Anzahl von Kostenmodellen mit zunehmendem Detaillierungsgrad und einem daraus resultierenden Komplexitätsanstieg widerspiegelt.

In Kapitel 2.2 erfolgte dann durch die Darstellung und Verknüpfung der Themenschwerpunkte Komplexität, modularer Baukasten und Beschaffung die Vermittlung des dem Forschungsprozess zugrundeliegenden Begriffsverständnisses.

Es wurde aufgezeigt, dass Komplexität aufgrund einer Interaktionsnotwendigkeit mit der Umwelt zur Sicherstellung der Überlebensfähigkeit eines Unternehmens niemals komplett vermieden werden kann (vgl. Gonsior 2008, S.241). Die bisherigen Ausführungen haben vielmehr ergeben, dass erst der Aufbau eines bestimmten Komplexitätsniveaus die flexible Anpassungsfähigkeit eines Unternehmens ermöglicht und damit dessen Wettbewerbsfähigkeit sichert. „Demnach müssen Unternehmen für die Bewältigung der Komplexität der Um- und Innenwelt für eine gewisse Zahl potenzieller und wahrscheinlicher künftiger Varietäten eine entsprechende strukturelle Komplexität aufweisen“ (Kirchhof 2003, S.245f.). Komplexität besitzt folglich einen positiven Aspekt, muss aber für das Unternehmen durch geeignete Maßnahmen stets beherrschbar bleiben. Durch die stetige Komplexitätszunahme rückt daher das Management von Komplexität verstärkt in den Fokus ganzheitlicher Unternehmensstrategien (vgl. Kohlhasse 2003, S.244).

Vor allem die Implementierung modularer Baukästen und die damit verbundene Realisierung positiver Modularisierungseffekte durch die Reduktion der internen Varietät können in hohem Maß dazu beitragen, die Herausforderungen im Umgang mit Komplexität und Kosten erfolgreich zu meistern (vgl. Kersten et al. 2009, S.1137). Durch einen modularen Produktaufbau können sowohl die Komplexität des Produktes als auch die Kosten reduziert werden (vgl. Klink & Gänzle 2010, S.80; Koeppen & Kersten, 2008, S.303). EITELWEIN ET AL. (2010, S.79) sehen in der Komplexitätsreduzierung für das Unternehmen den Vorteil einer Flexibilitätssteigerung und damit einer optimierten Anpassungsfähigkeit an die durch Volatilität geprägte Systemumwelt des Unternehmens. Modulare Strategien eignen sich vor allem dann, wenn Unternehmen einer hohen Kundenheterogenität und Marktdynamik mit einem breitgefächerten Produktportfolio hochkomplexer Produkte bei gleichzeitig hohem internen Standardisierungsgrad entgegentreten (vgl. Gonsior 2008, S.257ff.) Modulare Baukästen ermöglichen es einem Unternehmen somit das Produktprogramm an den Kundenbedürfnissen auszurichten, um langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben und das Überleben zu sichern.

Es wurde weiterhin gezeigt, dass Komplexität und Modularität als konträre strukturbeschreibende Produktmerkmale charakterisiert werden können (vgl. Kopenhagen 2004, S.18), es also eine Abhängigkeit zwischen den betrachteten Themenschwerpunkten Komplexität und modularem Baukasten gibt. PILLER (2000, S.264) führt hierzu aus: „Schließlich steht den Komplexitätssenkenden Potentialen der Modularisierung auch eine modularisierungsbedingte Komplexitätssteigerung gegenüber. Mit zunehmender Zahl spezifizierbarer Module und deren Variationsgrad steigen nicht nur die Individualisierungsmöglichkeiten sondern auch die Komplexitätskosten.“

Dabei darf sich der modulare Strukturierungsansatz für eine erfolgreiche Implementierung nicht nur auf das Fahrzeug als Produkt beschränken. Vielmehr müssen auch die

Prozesse und die Organisation des Unternehmens adäquat strukturiert werden. Dies beinhaltet auch die strategische Ausrichtung einzelner Geschäftsbereiche und deren funktionsübergreifende Zusammenarbeit untereinander (vgl. Klink & Gänzle, 2010, S.81). Vor allem der Funktionsbereich Beschaffung nimmt durch den hohen Wertbeitrag am Unternehmenserfolg eine strategische Schlüsselfunktion innerhalb der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette ein, da eine optimal gestaltete Beschaffungsstrategie Kosteneinsparungen generiert, die das Unternehmensergebnis direkt positiv beeinflussen. Die strategische Fokussierung ist dabei mitnichten allein auf die Reduzierung der Kosten zu beschränken. Durch den zunehmenden Übergang von Kompetenzen auf den Zulieferer muss die Beschaffung aufgrund ihrer Schnittstellenfunktion mit dem Markt die potenziellen Lieferanten verstärkt hinsichtlich deren Qualität und Innovationsfähigkeit beurteilen, um so die durch die Kompetenzverlagerung ausgelöste Innovationserosion im eigenen Unternehmen abzufedern (vgl. Röh 2011, S.7; Weissenberger-Eibl & Koch 2011, S.32). Die Beschaffung muss dafür Trends frühzeitig erkennen und innovative Technologien potentieller Lieferanten für das eigene Unternehmen zugänglich machen (vgl. Krampf 2000, S.17). Es wurde weiterhin aufgezeigt, dass sämtliche beschaffungsstrategische Maßnahmen das Komplexitätsniveau beeinflussen. Somit muss das Ziel der Beschaffung in einer komplexitätsoptimalen Ausgestaltung der Beschaffungsstrategie liegen, die die Erfolgsfaktoren Kosten, Qualität, Zeit, Flexibilität und Risiko zur Erhaltung und Verbesserung der eigenen Wettbewerbsfähigkeit ganzheitlich integriert.

Der erläuterte Wirkungszusammenhang der Themenschwerpunkte Komplexität, modularer Baukasten und Beschaffung ist abschließend in der folgenden Abbildung 24 schematisch dargestellt.

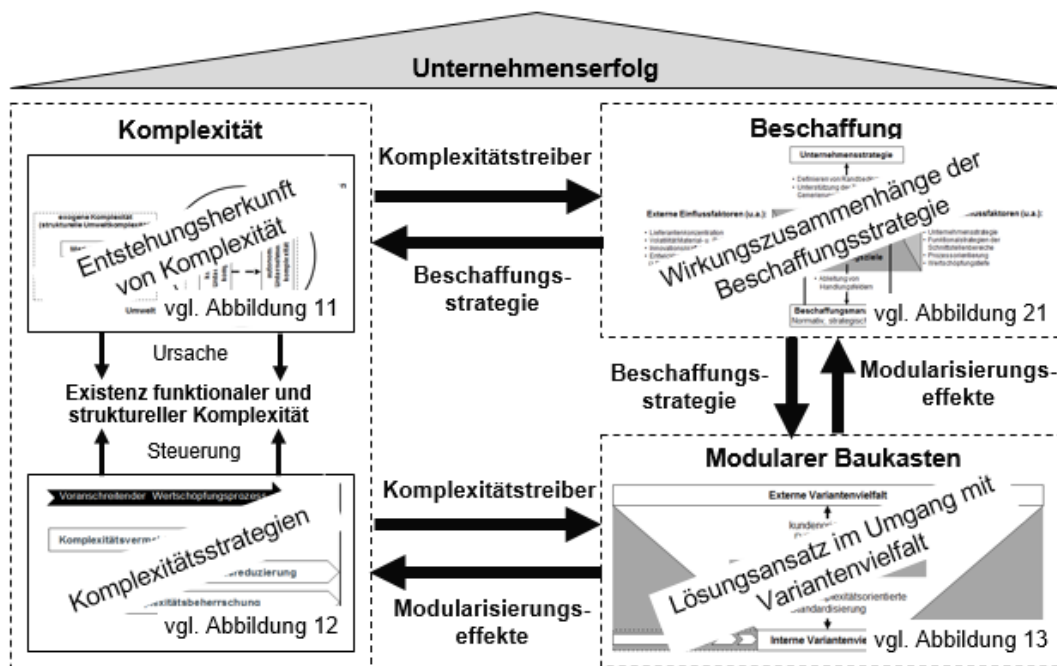


Abbildung 24: Zusammenfassende Darstellung des Wirkungszusammenhangs

### 3. Stand der Wissenschaft: Der beschaffungsfokussierte Beitrag modularer Baukästen zur Komplexitätsoptimierung

„*The literature on modularity is diverse, large, and difficult to absorb*“ (MacDuffie 2013, S.10).

Die Durchführung einer strukturierten Literaturrecherche ist daher die Grundvoraussetzung für eine intensive und zielgerichtete Auseinandersetzung mit der beschriebenen Problemstellung. Sie liefert darüber hinaus durch den transparenten Rechercheprozess einen positiven Beitrag hinsichtlich Reliabilität und Validität und trägt somit zu einem hohen Güte-Grad der Forschungsarbeit bei.

Basierend auf den Ausführungen von BROWN (2007) zur Strukturierung und Durchführung eines „Systematic Review of the Literature“, erfolgte die durchgeführte Literaturrecherche in drei Phasen: Planung, Durchführung und Reporting (vgl. Brown 2007, S.4). Die Recherchearbeit war dabei kein ausschließlich der Forschungsarbeit vorgelagerter Prozessschritt, sondern erfolgte kontinuierlich und parallel entlang des gesamten Forschungsprozesses (vgl. Saunders et al. 2009, S.60).

In der **Planungsphase** wurde gezielt nach Arbeiten gesucht, die durch die komprimierte Darstellung des aktuellen Stands der Wissenschaft eine fundamentale Basis für die detaillierte Auseinandersetzung mit dem Forschungsthema bilden (vgl. Bliss 2000; Bohne 1998; Campagnolo & Camuffo 2010; Fixson 2007; Kersten et al. 2011). Aus diesen Arbeiten wurden themenspezifischen Schlüsselwörter extrahiert und den Themenschwerpunkten dieser Arbeit zugeordnet. Dabei besaß die Übersicht relevanter Schlüsselwörter keinesfalls einen statischen Charakter, sondern wurde mit fortlaufendem Rechercheprozess stetig ergänzt. Zuordnungen wurden geändert oder aber irrelevante Einträge aufgegeben.

Die **Durchführung** der Recherche, also die schlüsselwortbasierte Detailsuche zur Erschließung des Forschungsthemas mit dem Ziel eines Erkenntnisgewinns, erfolgte durch die Nutzung gängiger wissenschaftlicher Datenbanken, wie z.B. Ebsco, Science Direct, Emerald oder Jstor.<sup>41</sup>

Die letzte Stufe umfasste die Analyse und kritische Auseinandersetzung hinsichtlich etwaiger Limitationen und Schlussfolgerungen, die aus den Arbeiten abgeleitet werden konnten. Hierzu werden in diesem Abschnitt die Beiträge herangezogen, die aus Sicht des Verfassers den höchsten themenrelevanten Nutzenbeitrag liefern. Das Hauptaugenmerk dieses Abschnitts liegt demnach in der letzten Stufe, dem **Reporting**.

---

<sup>41</sup> Der Zugriff auf die Datenbanken und die IT-gestützte Suche anhand identifizierter Schlüsselwörter erfolgte dabei überwiegend durch die Nutzung des Bibliotheksportals PRIMO der Freien Universität Berlin. Gleichzeitig war es dadurch auch möglich auf andere nicht-digitale Informationsquellen wie Bücher und Zeitschriften zuzugreifen.

Die Zielstellung dieses Abschnitts liegt in der Darstellung der durch die Literaturrecherche identifizierten Komplexitätstreiber und Modularisierungseffekte sowie deren wirkungslogische Verknüpfung als notwendige Voraussetzung für die Beantwortung der Hauptforschungsfrage nach dem beschaffungsfokussierten Beitrag modularer Baukästen zur Komplexitätsoptimierung. Der diesem Vorgehen zugrundeliegende Prozess kann idealisiert als dreidimensionaler Analyseansatz verstanden werden (Abbildung 25).

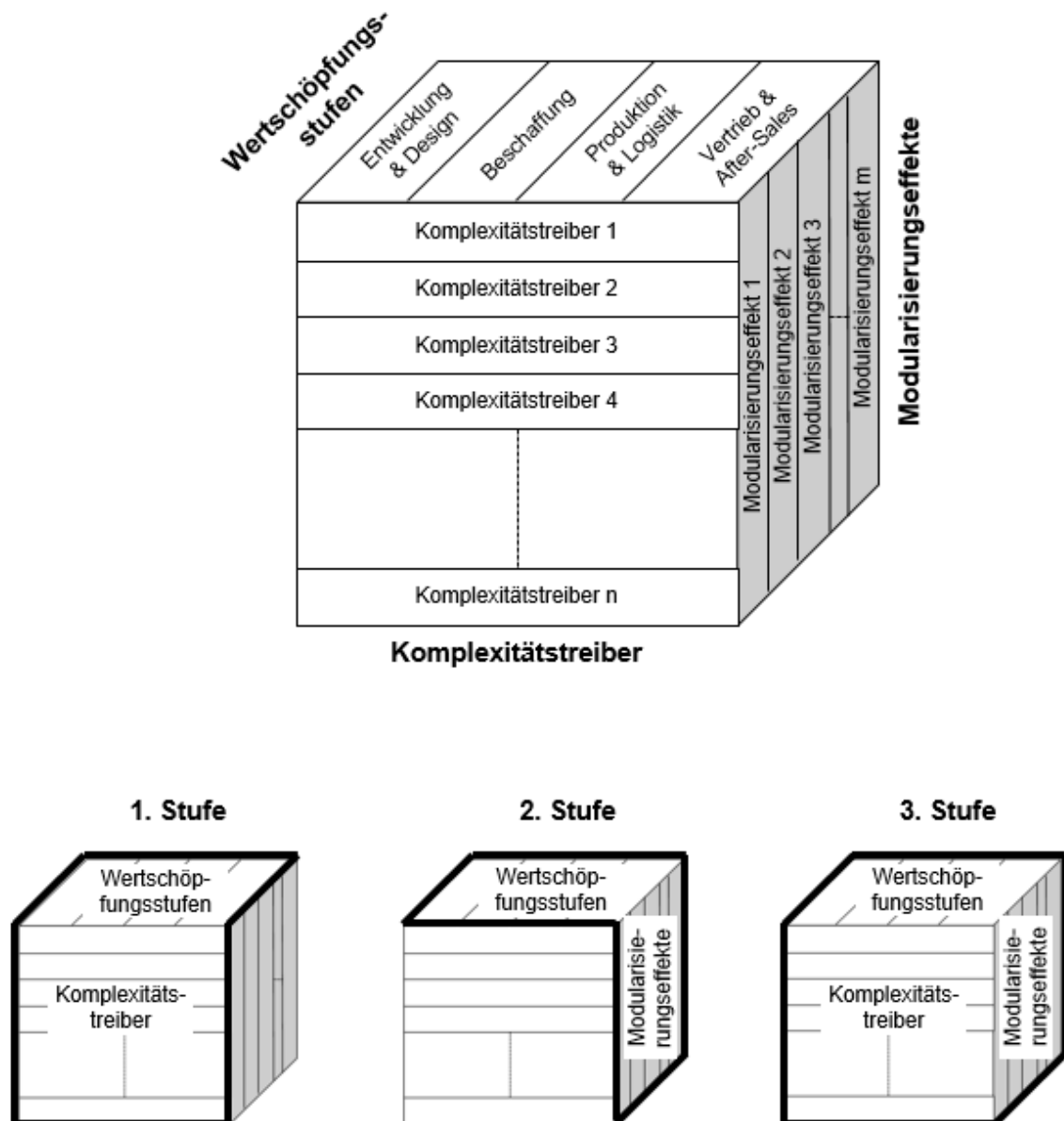


Abbildung 25: Analysewürfel und dreistufiger Analyseprozess  
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Gonsior (2008, S.103)

Die Analyse gliedert sich dabei in drei Stufen. Die erste Stufe umfasst die detaillierte Darstellung identifizierter Komplexitätstreiber und deren wirkungsspezifische Zuordnung zu den einzelnen Funktionsbereichen der innerbetrieblichen Wertschöpfung (Kap. 3.1). Dieselbe Vorgehensweise wird in analoger Form auch für den Themenschwerpunkt der

Modularisierungseffekte in der zweiten Analysestufe angewendet (Kap. 3.2). Die dritte Stufe umfasst dann die integrative Zusammenführung der vorgelagerten separat betrachteten Analysestufen (Kap. 3.3).

Die Betrachtung der gesamten innerbetrieblichen Wertschöpfungskette ist für die Identifizierung relevanter Modellkennzahlen unabdingbar. Eine bereits zu diesem Zeitpunkt des Forschungsprozesses fokussierte Betrachtung der Beschaffung würde die Gefahr inkludieren, dass mögliche relevante Komplexitätstreiber und Modularisierungseffekte unberücksichtigt blieben, da diese primär anderen Unternehmensbereichen zugeordnet werden. Da eine Wirkung aber entlang der gesamten Wertschöpfungskette besteht und damit Ausstrahlungseffekte auf mehrere Funktionsbereiche existieren, wäre der Anspruch einer ganzheitlichen Betrachtung deutlich eingeschränkt. Die beschaffungsrelevante Einordnung identifizierter Größen erfolgt daher zu einem späteren Zeitpunkt des Forschungsprozesses im Rahmen der Ableitung des modellspezifischen Kennzahlensystems (siehe Kapitel 5.3).

### **3.1 Identifizierung von Komplexitätstreibern und deren Wirkung auf das Unternehmen**

*„Analyzing and understanding complexity drivers help us to develop and implement right strategies when dealing with complexity“ (Serdarasan 2013, S.535).*

Für eine notwendige Operationalisierung der Komplexität als Basis für die optimale Anwendung möglicher Komplexitätsstrategien im Unternehmen ist die Identifizierung relevanter Einflussgrößen unabdingbar, um die Intransparenz der Ursache-Wirkungs-zusammenhänge im Umgang mit Komplexität aufzulösen und dadurch die Prognosefähigkeit hinsichtlich der Auswirkungen strategischer Optimierungsentscheidungen bezogen auf den Komplexitätsgrad des Unternehmens zu verbessern (vgl. Bohne 1998, S.65; Kersten et al. 2013, S.91; Schuh 2005, S.8).

Hierfür ist die Identifikation von Faktoren erforderlich, die einen Einfluss auf das Komplexitätsniveau des Unternehmens ausüben (vgl. Lammers 2012, S.31). Da diese Faktoren zu einer Veränderung der Komplexität führen, werden sie in der Literatur als Komplexitätstreiber bezeichnet (vgl. Lammers 2012, S.32; Piller & Waringer 1999, S.5; Serdarasan 2013, S.534).

Folgt man den Ausführungen von LAMMERS (2012, S.31) kann unter einem Treiber im Allgemeinen eine Gegebenheit oder Entscheidung verstanden werden, „die als Konsequenz ihres eigenen Vorkommens nachfolgende Gegebenheiten oder Entscheidungen verursacht.“ Folglich sind als Komplexitätstreiber sämtliche Faktoren zu verstehen, die einen Einfluss auf das Komplexitätsniveau des Unternehmens besitzen und somit zu einer Veränderung des selbigen führen, wodurch sich das Komplexitätsniveau dem optimalen Komplexitätsgrad des Unternehmens annähert bzw. sich von diesem entfernt (vgl.

Lammers 2012, S.31f.). Das Vorhandensein eines Komplexitätstreibers ist damit immer ein Indikator für Komplexität (vgl. Lammers 2012, S.32).

Ziel dieses Kapitels ist es, die in der relevanten Literatur diskutierten Komplexitätstreiber zu kategorisieren. Grundlage des Kategoriensystems bildet dabei das in Kapitel 2.2.1.3 aufgezeigte Klassifizierungsschema zur Herkunft von Komplexität. Die hierbei identifizierten Komplexitätstreiber werden dann den Funktionsbereichen der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette zugeordnet. Diese Zuordnung stellt die Basis für die spätere beschaffungsfokussierte Ableitung des Kennzahlensystems und die Modellkonzeptionierung dar.

### 3.1.1 Kategorisierung von Komplexitätstreibern

Das Komplexitätsniveau eines Unternehmens wird durch den Koordinationsaufwand des Unternehmens hinsichtlich der Produkte, Komponenten, Lieferanten, Kunden und Organisationseinheiten bestimmt (vgl. MAYER 2007, S.23). Folglich wird für PILLER UND WARINGER (1999, S.5) das Komplexitätsniveau eines Unternehmens determiniert durch eine Vielzahl endogener und exogener Faktoren. Komplexität ist nur dann optimal zu bewältigen, wenn Kenntnisse über relevante Treiber der Komplexität und deren Interdependenzen vorliegen (vgl. Lammers 2012, S.33). Hierfür ist eine strukturierte Identifizierung und Klassifizierung wesentlicher Komplexitätstreiber unabdingbar.

Eine Möglichkeit der Klassifizierung liefert LAMMERS (2012 S.33), der singuläre Ansätze zur Klassifizierung in einen dreidimensionalen Klassifizierungsschema zusammenführt. Demnach ist eine Klassifizierung nach exogenen und endogenen Treibern, direkten und indirekten Treibern und nach der systemexternen bzw. systeminternen Wirkung der Treiber möglich (vgl. Lammers S.33ff.).

Im Rahmen dieser Arbeit wird, entsprechend der Ausführungen zur Klassifizierung der Komplexitätsentstehung in Kapitel 2.2.1.2, ein vereinfachter Klassifizierungsansatz zur Identifizierung der Komplexitätstreiber gewählt. Anspruch dieser Vorgehensweise ist es dennoch, keine Einbußen in der Aussagegüte der Klassifizierung hinnehmen zu müssen. Es wurde ausgeführt, dass die strukturelle Komplexität eines Unternehmens das Ergebnis einer exogenen Komplexität (Umweltkomplexität) und einer endogenen Komplexität (Unternehmenskomplexität) ist. Greift man diese Argumentation auf, so können relevante Komplexitätstreiber in endogene und exogene Treiber unterschieden werden (vgl. Kirchhof 2003, S.39) und sind somit einer endogenen korrelierten bzw. autonomen Unternehmenskomplexität oder aber einer Markt- bzw. Gesellschaftskomplexität zuordenbar. Da endogene Komplexitätstreiber ihre Ursache im Unternehmen selbst haben und damit der direkten Beeinflussbarkeit durch das Unternehmen unterliegen, sind diese durch geeignete Maßnahmen deutlich besser zu beeinflussen als exogene Treiber, die sich der Kontrolle durch das Unternehmen entziehen und primär durch Umwelteinflüsse auf das Unternehmen einwirken. (vgl. Serdarasan 2013, S.534).

Nachfolgend ist eine Gesamtübersicht identifizierter struktureller Komplexitätstreiber basierend auf der durchgeführten Literaturrecherche tabellarisch dargestellt (Tabelle 3). Es sei explizit betont, dass bei der Auflistung kein Anspruch auf Vollständigkeit besteht. Die Rangfolge der im Klassifikationsschema aufgeführten Komplexitätstreiber richtet sich dabei nach der absoluten Nennungshäufigkeit innerhalb der als relevant identifizierten wissenschaftlichen Arbeiten.

Hierbei ist zu betonen, dass aufgrund existierender Wirkungszusammenhänge zwischen den einzelnen Komplexitätstreibern eine strikte Abgrenzung oft nicht möglich ist (vgl. Mayer 2007, S.28).

Aus den absoluten Häufigkeiten der Nennungen in der Literatur wird ersichtlich, dass die existierende Kundenvielfalt (9 Nennungen) und die hiermit eng verbundenen zu erfüllenden Kundenanforderungen (8) für ein Unternehmen die am häufigsten diskutierten Haupttreiber der strukturellen Umweltkomplexität darstellen. Die bereits diskutierte Korrelation zwischen Umwelt- und Unternehmenskomplexität führt dazu, dass sich diese exogene Vielfalt auch im Unternehmen widerspiegeln muss. Somit ist es nicht verwunderlich, dass die produktbezogene Variantenvielfalt (12) und die der autonomen Unternehmenskomplexität zuordenbare Teilevielfalt (9) die endogenen Komplexitätstreiber mit der größten Nennungshäufigkeit darstellen.

Zur Sicherstellung einer ganzheitlichen Betrachtung der Komplexität im Unternehmen werden nachfolgend sowohl exogene als auch endogene Komplexitätstreiber detailliert beschrieben. Die weiterführende Konkretisierung hinsichtlich der Modellrelevanz erfolgt dann im weiteren Verlauf des Forschungsprozesses.

			Stand der Wissenschaft																					
			Adam/Johannwille 1998	Bliss 2000	Bohne 1998	Dehnen 2004	Erixon 1998	Gießmann 2010	Gonsior 2008	Kersten et al. 2006	Kirchhof 2003	Mayer 2007	Meyer/Lehmerd 1997	Piller/Waringer 1999	Piller 2000	Rodriguez 2007	Schaffer/Schleich 2008	Schuh 2005	Wildemann 1998	Absolute Häufigkeit				
Exogene Komplexitätstreiber (Strukturelle Umweltkomplexität)	Markt- komplexität	Absatzmarkt	Kundenvielfalt, Marktsegmentierung	x	x	x															9			
			Kundenanforderung	x	x	x																8		
			Bedarfsschwankungen							x													2	
			Marktregulieren (Zoll- und Einfuhrbeschränkungen)											x									1	
		Wettbewerbsintensität	Produktprogramm der Wettbewerber		x	x							x										3	
			Anzahl Wettbewerber		x					x			x										3	
	Preisniveau der Wettbewerber											x	x									2		
	Technologiemarkt	Marktmacht der Wettbewerber						x			x											2		
		Technologischer Fortschritt		x							x			x		x	x					5		
	Beschaffungsmarkt	Technologiedynamik/ Innovationszyklen		x	x					x	x		x									5		
		Lieferantenvielfalt							x				x		x	x						7		
		Ressourcenverfügbarkeit								x			x									2		
		Beschaffungsmarktkonzentration								x												1		
		Transparenzdefizit und Unsicherheit																				1		
		Globalisierung der Lieferantenstandorte												x									1	
	Gesellschafts- komplexität	Rechtssystem Politisches System Wirtschaftssystem Ökologische Faktoren Kulturelle Faktoren	Detaillierung siehe Kirchhof 2003			x			x		x	x										4		
									x			x										2		
											x		x										2	
											x		x										2	
											x		x										2	
Endogene Komplexitätstreiber (strukturelle Unternehmenskomplexität)	korrelierte Unternehmenskomplexität	Kundenstruktur- komplexität	Kundenanzahl		x					x	x		x	x							x	7		
			Kundenvielfalt		x						x											x	4	
		(Produkt-) Programmkomplexität	Heterogenität und Änderungshäufigkeit des Produktprogramms/ Sortimentsbreite und Variantentiefe		x	x	x	x				x							x			x	8	
			Sortimentsgröße (Variantenvielfalt)											x		x	x	x					x	5
			produktbezogene Variantenvielfalt		x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x					12
		Produktkomplexität	Produktdesign/ Produktkonzept		x							x					x	x						4
			Produktinnovation/ Kurzlebigkeit der Produkte									x	x										x	4
		Technologiekomplexität	Dynamik des technologischen Fortschritts									x	x											2
			Verfügbarkeit von Technologien									x												2
			informationstechnische Produktausstattung																					1
	Beschaffungs- komplexität	Lieferantenanzahl/ Lieferantenstruktur												x			x	x					4	
		Beschaffungsvolumen																					2	
	Produktionsprogramm- komplexität	Teilevielfalt		x	x	x							x	x	x	x						x	9	
		Entwicklungstiefe			x																		1	
	Komplexität der Fertigungssysteme	Fertigungstechnologie (Fertigungsschritte, Rüstvorgänge)		x	x									x		x	x						5	
		Fertigungstiefe (Outsourcing)		x								x											5	
	Prozesskomplexität	Länge der Entscheidungsprozesse/ Prozessgestaltung/-planung		x								x											6	
		Prozessvielfalt/ Vielfalt eingesetzter IT-Systeme																					3	
		Prozessinnovation/ Häufigkeit der Prozessanpassung																					2	
	autonome Unternehmenskomplexität	Organisations- komplexität	Grad der Arbeitsteilung/ Verantwortungsteilung/ Konzentration auf Kernkompetenzen																				7	
			Funktionsorientierung, Zahl der Hierarchien																					6
		Schnittstellendichte (Interdependenzgrad und Koordinationsgrad)																					3	
		horizontale und vertikale Aufbaustrukturierung		x																			2	
		Diversifikation in den Geschäftsbereichen (Pluralismus)																						1
	Zielkomplexität	Unternehmensgröße ( Mitarbeiteranzahl, Standorte)	Unternehmensgröße ( Mitarbeiteranzahl, Standorte)																				1	
			Existenz von Zielkonflikten/ Heterogenität der Bereichsziele		x																			4
		Koordinations- und Abwicklungssysteme zur Steuerung der Ziele	Koordinations- und Abwicklungssysteme zur Steuerung der Ziele			x	x	x																4
			Dynamik von Zielvorgaben																					1
Medienbrüche																							4	
Komplexität der Informations-, Planungs-, Steuerungs- und Kontrollsysteme	Informationsasymmetrie																					3		
	Ausprägung Formularwesen																					2		
	Übermaß Kontrollinstanzen																					1		

Tabelle 3: Gesamtübersicht struktureller Komplexitätstreiber

### 3.1.1.1 Exogene Komplexitätstreiber

Die zunehmende Fragmentierung der Absatzmärkte durch den steigenden Individualisierungsanspruch der Kunden, die stetig voranschreitende Globalisierung bei gleichzeitiger Deregulierung der Märkte, der zunehmende kostenfokussierte Wettbewerb und der technologische Fortschritt führen zu einem stetigen Anstieg der **Marktkomplexität** (vgl. Mayer 2007, S.25; Piller & Waringer 1999, S.8f.).

Aus Unternehmenssicht nimmt diese aus der Markt- und Kundenvielfalt resultierende Komplexität eine zentrale Rolle ein, da hieraus verschiedenste Produkthanforderungen resultieren, die die vom Unternehmen anzubietende Varietät des angebotenen Produktprogramms und somit letztlich das Komplexitätsniveau des Unternehmens selbst beeinflussen (vgl. Bohne 1998, S.24). Für ADAM UND JOHANNWILLE (1998, S.7) stellt daher der Wandel von Verkäufer- zu Käufermärkten den Ausgangspunkt für das Komplexitätsproblem vieler Unternehmen dar.

Die zunehmende Kundenvielfalt und der damit einhergehende Differenzierungszwang hinsichtlich räumlicher, zeitlicher, monetärer und funktionaler Kundenpräferenzen führen zu einer voranschreitenden Fragmentierung der **Absatzmärkte** und beeinflussen aus Unternehmenssicht die Komplexität der Nachfrage (vgl. Kirchhof 2003, S.39). Durch die resultierende Aufspaltung der Märkte in immer kleinere, aber in sich homogene Kundengruppen wird es für ein Unternehmen zunehmend schwieriger das eigene Produktportfolio an die spezifischen Kundenanforderungen solcher Kleinstnischen kostenorientiert anzupassen (vgl. Piller & Waringer 1999, S.10).

Weiterhin ermöglicht die voranschreitende Globalisierung einem Unternehmen zwar die Erschließung neuer Absatzmärkte, führt aber gleichzeitig zu einem intensivierten **Wettbewerb**, in dem sich Unternehmen einer zunehmenden Anzahl an Wettbewerbern und deren aus einem Preisniveau und Produktprogramm resultierender Marktmacht konfrontiert sehen (vgl. Bliss 2000, S.5; Kirchhof 2003, S.39). Die im Markt vorherrschende Wettbewerbssituation beeinflusst die (Neu-)Gestaltung des Produktprogramms bzw. erfordert die Erweiterung des marktspezifischen Angebots (vgl. Bohne 1998, S.60). Die hieraus resultierende Diversifikation des Produktportfolios führt tendenziell zu einem Anstieg der Programmkomplexität (siehe auch Kap. 3.1.1.2).

Gleichzeitig ist eine Zunahme der technologischen Komplexität, hervorgerufen durch die Beschleunigung des **technologischen Fortschritts** in Verbindung mit verkürzten Produktlebenszyklen, festzustellen (vgl. Bliss 2000, S.5).

Diese Tendenzen sind dabei nicht allein auf den Absatzmarkt beschränkt, sondern lassen sich auch in hohem Maß auf dem **Beschaffungsmarkt** wiederfinden. So müssen bspw. Unternehmen bei der Erschließung neuer bzw. bei der Pflege bestehender Bezugsquellen und dem Aufbau von Lieferantenbeziehungen bzgl. der zeitlichen und technologischen Ressourcenverfügbarkeit der Lieferanten mit potentiellen Wettbewerbern konkurrieren (vgl. Kirchhof 2003, S.39).

Daneben stellen Treiber der **Gesellschaftskomplexität** die regional unterschiedlichen politischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Systeme sowie zu beachtende ökologische und kulturelle Faktoren und deren dynamische Veränderlichkeit dar (vgl. Kirchhof 2003, S.39). Eine Dynamik in der Veränderlichkeit dieser Faktoren und damit eine hohe Instabilität erhöht aus Unternehmenssicht die Gesellschaftskomplexität.

Auf eine weitere Detaillierung wird verzichtet, da diese keinen Mehrwert für die Beantwortung der Forschungsfrage liefert. Stattdessen wird bei weiterführendem Interesse auf KIRCHHOF (2003) verwiesen.

### 3.1.1.2 Endogene Komplexitätstreiber

Die bisherigen Ausführungen haben gezeigt, dass durch die Systemeinbindung des Unternehmens Einflussfaktoren der Umwelt auf das Unternehmen wirken und dadurch das Komplexitätsniveau des Unternehmens selbst aktiv beeinflussen. Auswirkungen dieser gekoppelten Komplexitätswirkung werden innerhalb des Unternehmens als endogene Treiber der **korrelierten Unternehmenskomplexität** betrachtet.

Hierzu zählt z.B. das Kundenverhalten, da der Individualisierungsanspruch der Kunden innerhalb des Unternehmens zu einer zunehmenden Anzahl heterogener Kundengruppen und somit zu einem Anstieg der **Kundenstrukturkomplexität** führt (vgl. Kirchhof 2003, S.40).

Um den Kundenbedürfnissen und Marktanforderungen zu entsprechen, müssen Unternehmen ihr Produkt- und Leistungsprogramm sowohl in der Breite als auch in der (Varianten-)Tiefe auffächern, wodurch die **Programmkomplexität** steigt (vgl. Kirchhof 2003, S.40; Dehnen 2004, S.5). Bezogen auf die Automobilindustrie bedeutet die Auffächerung der Programmbreite das Bereitstellen unterschiedlicher Baureihen und Marken, sofern es sich um einen Mehrmarkenkonzern handelt (vgl. Bohne 1998, S.25). Die Programmtiefe spiegelt sich in der Differenzierung einzelner Baureihen wider (vgl. Bohne 1998, S.26). Mit steigender Variantenzahl einer Baureihe nimmt die angebotene Programmtiefe zu. Die Varietät des Produktprogramms ist laut PILLER UND WARINGER (1999, S.9) folglich einer der relevantesten Komplexitätstreiber (vgl. auch Olbrich & Battenfeld 2005, S.161), da die hieraus resultierende Verdopplung der internen Teilevielfalt zu einem deutlichen Kostenanstieg von bis zu 30% führen kann.<sup>42</sup>

Hieraus resultierend spiegelt sich der Differenzierungsanstieg der Programmkomplexität gleichzeitig auch immer in einer erhöhten **Produktkomplexität** wider, da die Anzahl eingesetzter Komponenten und Materialien und damit die produktbezogene Variantentiefe

---

<sup>42</sup> Sofern eine interne Teilevielfalt daher nicht kundenorientiert eingesetzt werden kann, ist die vielfaltbezogene Erlöswirkung gegenüber der komplexitätsbasierten Kostenwirkung innerhalb der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette als deutlich geringer einzuschätzen (vgl. Rosenberg 2002, S.230).

steigen (vgl. Bliss 2000, S. 7; Bohne 1998, S.27f.; Dehnen 2004, S.34; Kirchhof 2003, S.40), um die notwendige kundenorientierte Variantenvielfalt der Produkte zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit bereitstellen zu können (vgl. Eversheim et al. 1998, S.30).

Die Variantenvielfalt stellt das bekannteste Phänomen der strukturellen Komplexität, hervorgerufen durch exogene und endogene Ursachen, dar (vgl. Kirchhof 2003, S.42). Die aus dem Diversifizierungszwang zur Entsprechung des Individualisierungswunsches der Kunden einerseits und zur Berücksichtigung regionaler Gesetze, Normen und Vorschriften andererseits resultierende Zunahme der Produktvarianten stellen dabei exogene Ursachen der Variantenvielfalt dar (vgl. ebenda, S.43). Endogene Ursachen der Variantenvielfalt sind in erster Linie in dem notwendigen Abgleich von angebotener und anzubietender Varietät sowie hieraus resultierenden Anpassungen des Produktprogramms zu finden (vgl. ebenda, S. 44).

Aus Unternehmenssicht muss daher zwischen externer und interner Varietät<sup>43</sup> unterschieden werden (vgl. Eversheim et al. 1988, S.30). Externe Varietät ist dabei die vom Kunden wahrnehmbare Variantenanzahl möglicher Merkmalsausprägungen, wohingegen interne Varietät durch die Anzahl vom Kunden nicht wahrnehmbarer unternehmensinterner Operationen determiniert wird (vgl. Piller & Waringer 1999, S.23f.). OLBRICH UND BATTENFELD (2005, S.163) bezeichnen in diesem Zusammenhang die externe Varietät als die Variantenkomplexität und die interne Varietät als die Teilekomplexität. UNTIEDT (2008, S.110) führt hierzu aus, dass interne Varietät benötigt wird, um einer externen kundenorientierten Varietät entsprechen zu können. Eine zunehmende interne Varietät führt jedoch gleichzeitig zu einem Anstieg der Verschiedenartigkeit der Unternehmensaufgaben und damit zu einem Anstieg der Unternehmenskomplexität (vgl. Piller & Waringer 1999, S.24). Da die aus der Variantenvielfalt resultierende Produktkomplexität teilweise vom Markt determiniert wird und für das Unternehmen somit nicht beeinflussbar ist, muss das Unternehmen bestrebt sein, die vom Markt geforderte externe Varietät durch eine möglichst geringere interne Varietät zu realisieren (vgl. Eversheim et al. 1998, S.30). Aufgrund einer existierenden Korrelation zwischen beiden Varietäten, kann durch den Einsatz geeigneter Strategien, wie bspw. der Plattform- oder Baukastenstrategie, das Verhältnis zwischen Varianten- und Teilekomplexität aktiv beeinflusst werden (vgl. Olbrich & Battenfeld 2005, S.163; siehe auch Kap. 2.2.1.5).

---

<sup>43</sup> In wissenschaftlichen Arbeiten wird Komplexität oft mit Produktvarietät gleichgesetzt (vgl. Blackenfelt 2001, S.37; Schaffer & Schleich 2008, S.161), da Varietät einen direkten Einfluss auf die Produktkomplexität besitzt und dadurch indirekt auch die Prozess- und Organisationskomplexität beeinflusst (vgl. Blackenfelt 2001, S.37).

Das spiegelt nach Aussage von SCHAFFER UND SCHLEICH (2008, S.161) in keiner Weise die Realität wider, da es Prozesse mit einem hohen Komplexitätsniveau gibt, die nicht durch die Existenz etwaiger Produktvarianten ausgelöst werden. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die Produktvarietät zwar einen starken Komplexitätstreiber darstellt, aber gleichzeitig auch variantenunabhängige Komplexität existiert. Die Ausführungen in Kapitel 2.2.1.1 haben auch verdeutlicht, dass Varietät nur eine der betrachteten Komplexitätsdimensionen darstellt.

Daneben führt aus Unternehmenssicht die Verfügbarkeit und der Einsatz verschiedenster Technologien sowie deren wechselseitige Beeinflussung zu einem Anstieg der **Technologiekomplexität** (vgl. Kirchhof 2003, S.40). Der technologische Fortschritt, ausgelöst durch steigende Kundenanforderungen und eine steigende Technologiedynamik in Verbindung mit verkürzten Innovationszyklen, stellt daher einen der wichtigsten Komplexitätstreiber dar (vgl. Gonsior 2008, S.231).

Aus Beschaffungssicht führt eine höhere Variantenanzahl tendenziell zu einer steigenden Teile- und Lieferantenzahl und damit zu einem höheren Koordinationsaufwand für die Beschaffung und die Logistik (vgl. Piller & Waringer 1999, S.10), wodurch letztlich die unternehmensspezifische **Beschaffungskomplexität** steigt. In der Literatur wird die Beschaffungskomplexität auch als die technische Komplexität des Produkts definiert (vgl. Glock & Hochrein 2011, S.160). Dieser Aussage kann jedoch nur teilweise zugestimmt werden, da die Produktkomplexität sicherlich einen großen Bestandteil der Beschaffungskomplexität determiniert, zusätzlich aber auch z.B. produktunabhängige beschaffungsstrategische Entscheidungen einen Einfluss auf die Beschaffungskomplexität besitzen.

Weiterhin haben die Ausführungen zur Systemtheorie gezeigt, dass sich ein Unternehmen durch den Aufbau unternehmenseigener Operationen von seiner Umwelt abgrenzt. Diese Abgrenzung trifft in selber Analogie auch auf die Funktionsbereiche des Unternehmens (Subsysteme) selbst zu. Jeder Funktionsbereich grenzt sich durch den Aufbau funktionsspezifischer Strukturen und Prozesse von anderen Bereichen des Unternehmens ab. Entscheidungen und hieraus resultierende Handlungen sind hierbei von einem hohen Maß funktionsorientierter Ziele geprägt. Diese beschriebene ausgeprägte Funktionsorientierung stellt nach Einschätzung WILDEMANNs (1998, S.50) einen Hauptkomplexitätstreiber innerhalb des Unternehmens dar. Die auf dieser Funktionsorientierung basierenden ursächlichen Treiber für den Aufbau **autonomer Unternehmenskomplexität** sollen im Folgenden erläutert werden.

Treiber der **Produktionsprogrammkomplexität** ist die Tiefe der Leistungserstellung. Hierzu zählen sämtliche Entscheidungen zur Festlegung der innerbetrieblichen Wertschöpfung (vgl. Kirchhof 2003, S.40). Folgt man den Ausführungen von GIESSMANN (2010, S.216), ist bei einer zunehmenden Wertschöpfungstiefe ein Komplexitätsanstieg innerhalb des Unternehmens zu erwarten. Die Ursache hierfür liegt u.a. darin, dass bei steigender Tiefe des Produktionsprogramms auch von einer zunehmenden intern zu handhabenden Teilevielfalt innerhalb der Wertschöpfungskette auszugehen ist.

Die Festlegung des horizontalen und vertikalen internen Wertschöpfungsflusses hat wiederum Einfluss auf die **Komplexität der Fertigungssysteme** (vgl. Bliss 2000, S.7), da sowohl die implementierte Fertigungstiefe als auch die eingesetzten Fertigungstechnologien von dem definierten Produktionsprogramm determiniert werden bzw. dieses mit beeinflussen.

Gleichzeitig setzt die Festlegung des Produktionsprogramms die Implementierung abgestimmter Wertschöpfungs- und Unterstützungsprozesse voraus. Die Fragmentierung der Prozesse, die Abstimmung existierender Prozessschnittstellen sowie die zeitliche, räumliche, quantitative und qualitative Synchronisation erhöhen die Prozessvielfalt und determinieren letztlich die **Prozesskomplexität** eines Unternehmens (vgl. Bohne 1998, S.29f.; Kirchhof 2003, S.40).

Existierende Strukturdefizite führen darüber hinaus zu einem Anstieg der **Organisationskomplexität** (vgl. Kersten et al. 2006, S.328). Übermäßige Kontrollinstanzen, eine Vielzahl von Hierarchieebenen mit langen Entscheidungswegen und ein hoher Grad der Arbeits- bzw. Verantwortungsteilung infolge einer zunehmenden Kompetenzseparation führen vor allem bei einer funktionsorientierten Organisation zu einem deutlichen Anstieg der Organisationskomplexität hervorgerufen durch einen erhöhten Planungs- und Abstimmungsaufwand (vgl. Kirchhof 2003, S.40; Mayer 2007, S.25 u. 27).

Treiber der unternehmensinternen Komplexität können auch die vom Unternehmen selbst definierten Ziele und deren heterogener Charakter sein (vgl. Gießmann 2010, S.216). Hierzu führt BOHNE (1998, S.61) exemplarisch die vor allem für die Automobilindustrie charakteristischen Zielstellungen bzgl. eines spezifischen Fahrverhaltens, Akustikkomforts und Fahrzeuggewichts an, die vielfach eine fahrzeugspezifische Auslegung erforderlich machen und zur Erhöhung der internen Vielfalt beitragen. Zusätzlich zu den angeführten eher technischen Zielstellungen führt GIESSMANN (2010, S.22) u.a. die Existenz von Bereichsegoismen sowie den hierdurch geförderten unternehmensinternen und abteilungsübergreifenden Konkurrenzkampf als Auslöser für die Entstehung von Zielkonflikten an.

Da die Einzelziele eines Zielsystems im seltensten Fall gleichgerichtet sind und sich somit in ihrer Zielerreichung negativ beeinflussen können, ist die Existenz von Zielkonflikten aus Unternehmenssicht kaum vermeidbar. Die Existenz von Zielkonflikten aufgrund einer fehlenden Komplementarität sieht DEHNEN (2004, S.5) daher als Hauptentstehungsgrund für **Zielkomplexität** (vgl. auch Adam & Johannwille 1998, S.7f.; Macharzina & Wolf 2005, S.210f.).

Die Zielkomplexität wird in hohem Maß von der Festlegung, Kontrolle und Koordination der strategischen und operativen Unternehmensziele hinsichtlich der Erfolgsgrößen Kosten, Zeit, Flexibilität und Qualität und die hierfür erforderliche Implementierung von Koordinations- und Abwicklungssystemen beeinflusst (vgl. Bliss 2000, S.7; Dehnen 2004, S.3f.; Piller & Waringer 1999, S.9). Daneben ist die Zielkomplexität abhängig von der Anzahl der Ziele, die in einem Zielsystem integriert werden (vgl. Dehnen 2004, S.34).

Das Zielsystem kann dabei auf das Gesamtunternehmen bezogen sein und Ziele aller Funktionsbereiche enthalten oder aber nur Ziele eines einzelnen Unternehmensbereichs, z.B. der Beschaffung, einbeziehen. Zur Erreichung eines bereichsübergreifenden Gesamtoptimums ist aus Unternehmenssicht jedoch die Integration sämtlicher Bereiche in das betrachtete Zielsystem unerlässlich (vgl. Gießmann 2010, S.23).

Aus Sicht der Beschaffung können bspw. folgende Ziele exemplarisch genannt werden (vgl. Rodriguez 2007, S.115ff.), ohne dabei jedoch Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben:

- Senkung von Kosten durch die Realisierung günstiger Einkaufspreise,
- Erhöhung der Flexibilität durch den Abbau von Abhängigkeiten von einem Beschaffungsmarkt bzw. durch die Förderung von Wettbewerb zwischen Lieferanten
- Erhöhung der Versorgungssicherheit durch die global orientierte Erschließung neuer Beschaffungsmärkte und Technologien
- Erreichung einer Leistungs- und Qualitätssteigerung durch ein aktives Lieferantenmanagement.

Eine weitere Ursache für die Entstehung autonomer Unternehmenskomplexität liegt in der Gestaltung und Nutzung implementierter **Informations-, Planungs-, Steuerungs- und Kontrollsysteme** des Unternehmens (vgl. Kirchhof 2003, S.40). Eine Komplexitätszunahme wird hierbei vorrangig durch die Existenz von Asymmetrien in der Informationsbereitstellung, systembedingten Medienbrüchen, einem ausgeprägten Formularwesen und übermäßigen Kontrollinstanzen verursacht.

### **3.1.2 Funktionsbereichsspezifische Einordnung von Komplexitätstreibern der innerbetrieblichen Wertschöpfung**

So wie das Unternehmen als System sich in einer ganzheitlichen Betrachtungsweise aus einer bestimmten Anzahl von Sub-Systemen in Form seiner unternehmensspezifischen Funktionsbereiche zusammensetzt, leitet sich in analoger Art und Weise die Gesamtkomplexität eines Unternehmens aus der Summation der Komplexität der einzelnen Funktionsbereiche ab. Da die komplexitätsverursachenden Treiber je Funktionsbereich durchaus spezifisch sind (vgl. Gießmann 2010, S.193; Gießmann & Lasch 2010, S.158), ist eine differenzierte Betrachtung potentieller Komplexitätstreiber je Funktionsbereich der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette erforderlich.

Entsprechend ihrer Entstehung entziehen sich Komplexitätstreiber zum Teil der unmittelbaren Beeinflussbarkeit durch das Unternehmen und dessen Management (vgl. Kap. 2.2.1.2). Da ein Ziel der Arbeit in der Konzeption eines strategischen Entscheidungsmodells liegt, kann nur die Betrachtung solcher Komplexitätstreiber als zielführend erachtet werden, die entweder aktiv durch das Unternehmen beeinflussbar sind bzw. den jeweiligen betrachteten Funktionsbereich direkt beeinflussen.

Die Zuordnung eines spezifischen Komplexitätstreibers zu einem Funktionsbereich gestaltet sich dabei schwierig, da deren Wirkung oft hochgradig interkorreliert ist und somit mehrere Funktionsbereiche simultan Komplexitätseffekten ausgesetzt sind.

So ist beispielsweise die aus einer hohen Variantenvielfalt resultierende Komplexitätswirkung in allen Bereichen der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette spürbar (vgl. Kirchof 2003, S. 44). MEYER UND LEHNERD (1997, S.52 und S.99) sehen den Anstieg der endogenen Komplexität daher vorrangig in einer Variantenerhöhung begründet: „Typically, the additional products create greater complexity in manufacturing, procurement and distribution“. Durch die mit der steigenden Variantenvielfalt verbundene Zunahme der Teileanzahl erhöht sich gleichzeitig auch die Anzahl möglicher Relationen, wodurch ein Anstieg des Komplexitätsniveaus hervorgerufen wird (vgl. Erixon 1998, S.10; Piller 2000, S.178). Nach Einschätzung von PILLER (2000, S.180f.) stellt folglich die Varietät des Produktprogramms einen der wichtigsten Treiber der Komplexität dar, da Varietät eine Zunahme der Teilevielfalt hervorruft und damit einen Anstieg der Teilekomplexität auslöst, die den Koordinationsaufwand und damit die Koordinationskomplexität in allen Bereichen der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette erhöht (vgl. Mayer 2000, S.26f.). Die Ausführung lässt den Rückschluss zu, dass der Modulare Baukasten selbst, durch die Bereitstellung einer gesteigerten Produktvielfalt, einen Treiber der Komplexität darstellt (vgl. Arnoscht 2011, S.135).

Eine steigende Produktvarietät kann darüber hinaus zu einer Reduzierung der Supply-Chain Performance des OEMs und damit zu sinkenden Skaleneffekte führen und sich somit negativ auf den Teilepreis, die Durchlaufzeit und die komponentenabhängigen Lagerbestände mit erhöhten Lagerhaltungskosten auswirken (Schaffer & Schleich 2008, S.157).

Die angeführten Beispiele verdeutlichen die Schwierigkeit einer eindeutigen Zuordenbarkeit der Treiber zu einem Funktionsbereich.

### 3.1.2.1 Komplexitätstreiber in der Entwicklung

KOHLHASE (1997, S.61f.) sieht die Beherrschung der Variantenvielfalt als zentrales Problem bei der Entwicklung von Baukästen, da mit steigender Variantenanzahl die Komplexität zunimmt.

Die am Wettbewerb und Kundennutzen orientierte Auffächerung des Produktprogramms führt zu einer Ausweitung der Entwicklungsaktivitäten und erfordert die Integration fortschrittlicher Technologien in immer kürzeren Innovationszyklen (vgl. Dehnen 2004, S.5). Gleichzeitig wird die Entwicklungstätigkeit von sich ändernden rechtlichen und ökologischen Randbedingungen determiniert. Hieraus resultiert für die Entwicklung ein stetiger Anpassungszwang der technischen Auslegung des Fahrzeuges, um den gültigen gesetzlichen Zulassungsvoraussetzungen zu entsprechen. Aufgrund der bereits angesprochenen Beschränkung auf wenige Kernkompetenzen ist bei der Entwicklung innovativer Komponenten zunehmend die Integration von externen Entwicklungslieferanten erforderlich. In Abhängigkeit der Lieferantenkonzentration steht die Entwicklung dabei in einem Wettbewerb mit anderen OEMs um die zur Verfügung stehenden zeitlichen und technologischen Ressourcen des Lieferanten.

Durch eine erhöhte Anzahl der Varianten steigt der interne Aufwand für Erstellung, Pflege und Anpassung technischer Unterlagen sowie die Notwendigkeit zusätzlicher Tests und ein aufwändigeres Simultaneous Engineering<sup>44</sup> (vgl. Kirchhof 2003, S. 44; Piller & Waringer 1999, S.14). Dieser Komplexitätsanstieg kann zusätzlich durch die beschaffungsstrategische Festlegung der Lieferantenanzahl verstärkt werden, da sämtliche Entwicklungsaktivitäten tendenziell für jeden spezifischen Lieferanten getätigt werden müssen.

Gleichzeitig erweist es sich durch den fahrzeugübergreifenden Komponenteneinsatz zunehmend schwieriger, Schnittstellen so zu gestalten, dass einerseits eine störungsfreie Produktfunktion gewährleistet ist (vgl. Dehnen 2004, S.5) und andererseits eine Verbaubarkeit in den Fertigungsstandorten sichergestellt werden kann.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die aufgezeigten entwicklungspezifischen Randbedingungen und die bestehenden Interdependenzen den Freiheitsgrad in der Entwicklung reduzieren und dadurch eine Erhöhung des Koordinations- und Abstimmungsaufwands und somit der Komplexität des Entwicklungsprozesses hervorrufen (vgl. Arnoscht 2011, S.96ff.; Dehnen 2004, S.5f.; Kohlhase 1997, S.62).

### 3.1.2.2 Komplexitätstreiber in der Beschaffung

Aufgrund der Schnittstellenfunktion zwischen Umwelt und Unternehmen ist die Beschaffungskomplexität sowohl von exogenen als auch von endogenen Einflussfaktoren abhängig (vgl. Gießmann 2010, S.194).

Zu den exogenen Treibern der Beschaffungskomplexität zählt in erster Linie der **Beschaffungsmarkt**. Auf den ersten Blick sind die Strukturen, Einflüsse und Gegebenheiten des Beschaffungsmarkts im Besonderen und der gesellschaftsspezifischen Faktoren im Allgemeinen durch das Unternehmen kaum steuerbar (vgl. Gießmann 2010, S.194f.). Dennoch beeinflussen die sich dynamisch ändernden Gegebenheiten der Lieferantenslandschaft, des Preisgefüges und der Komponentenverfügbarkeit sowohl die Verhandlungsmacht der Beschaffung als auch die strategischen Entscheidungen des Managements im Hinblick auf die Auswahl potentieller Lieferanten direkt (vgl. ebenda S. 209). In diesem Zusammenhang ist aus Beschaffungssicht nicht allein die vorherrschende Wettbewerbsintensität zwischen den Lieferanten von Bedeutung, sondern in zunehmendem Maß auch der Wettbewerb mit anderen OEMs, da deren Anzahl, Marktmacht und Preisniveau ebenfalls einen großen Einfluss auf die Erschließung potentieller Beschaffungsquellen ausüben. Gerade in Zeiten einer hohen Dynamisierung des technologischen Fortschritts ist die Wettbewerbsstärke der Beschaffung im Wettstreit um die Sicherung der Lieferantenressourcen von größter Wichtigkeit.

---

<sup>44</sup> Unter dem Begriff des Simultaneous Engineering wird eine Organisationsstrategie verstanden, bei der durch eine offene und konsequente Zusammenarbeit bei der Produktentwicklung Prozesse zeitlich parallelisiert ablaufen, um dadurch eine Zeitersparnis im Wertschöpfungsprozess und somit eine Kostenreduzierung zu realisieren (vgl. Wannewetsch 2004, S.377ff.).

Der aus Beschaffungssicht vorrangig zu nennende Treiber ist hierbei die **Lieferantenvielfalt** als Spiegelbild der am Markt existierenden Lieferantenstrukturen, die für die Beschaffung einer Fahrzeugkomponente zur Verfügung stehen (vgl. Gießmann 2010, S.207).

GIESSMANN (2010, S.207) wählt in diesem Zusammenhang mit der Unterscheidung von „Beschaffungsmarktkonzentration“ und „Unterschiedlichkeit der Lieferanten“ einen höheren Detaillierungsgrad und argumentiert bezogen auf deren Komplexitätswirkung einerseits, dass bei einer hohen Marktkonzentration aufgrund monopolistischer oder oligopolistischer Strukturen die Flexibilität, bezogen auf einen Lieferantenwechsel bei Engpässen oder Lieferausfällen, eingeschränkt ist und dadurch die Komplexität der operativen Beschaffungsaktivitäten wie Bedarfs- und Terminplanungen im Vergleich zu einer geringen Marktkonzentration deutlich erhöht ist. Andererseits inkludiert eine geringe Marktkonzentration ein hohes Maß an Intransparenz und Unsicherheit aufgrund komplexer Wirkungszusammenhänge bei der Auswahl der Beschaffungsquelle, wodurch entsprechend des systemtheoretischen Ansatzes die Beschaffungsmarktkomplexität im Vergleich zu einer hohen Marktkonzentration höher einzuschätzen ist (vgl. Gießmann 2010, S.207). Zusätzlich wird dieser Effekt durch die Unterschiedlichkeit der Lieferanten verstärkt, da eine unterschiedliche geografische Verteilung und hieraus resultierende Schwierigkeiten in der kulturellen und sprachlichen Kommunikation bzw. ein nicht einheitliches Leistungsvermögen der Lieferanten einen deutlich erhöhten Steuerungsaufwand hervorrufen und somit die Beschaffungskomplexität erhöhen (vgl. Gießmann 2010, S.208).

Durch die zunehmende Reduktion der Fertigungstiefe und den daraus resultierenden steigenden Anteil fremdbezogener Leistungen erhöht sich die **Lieferantenanzahl** und somit für die Beschaffung der Steuerungs- und Kontrollaufwand des Informations- und Warenflusses und damit die Koordinationskomplexität (vgl. Gießmann 2010, S.66; Piller & Waringer 1999, S. 97). Unter der Prämisse eines gleichbleibenden Beschaffungsvolumens führt eine steigende Lieferantenanzahl außerdem zu einem reduzierten lieferantenspezifischen Umsatzvolumen und damit zu schlechteren Einkaufskonditionen (vgl. Gießmann 2010, S.66). Andererseits erhöht eine steigende Lieferantenanzahl den Flexibilitätsgrad der Beschaffung (vgl. Gießmann 2010, S.206) und damit das Reaktionsvermögen, um bei Bedarfsschwankungen oder unvorhersehbaren Ereignissen wie bspw. Lieferabbrissen aufgrund von Naturkatastrophen, Insolvenzen und Qualitätsproblemen des Lieferanten einen Lieferantenwechsel durchführen zu können.

Anhand der Ergebnisse seiner durchgeführten Fallstudie führt MAYER (2007, S.98) aus, dass die Lieferantenanzahl einen wichtigen Komplexitätstreiber für die Beschaffung darstellt, „da eine große Anzahl internationaler Lieferanten einen hohen Koordinationsaufwand mit sich bringt. Bereits die Auswahl der Lieferanten stellt die Unternehmen vor komplexe Entscheidungsprobleme, die komplizierte Bewertungssysteme sowie die Berücksichtigung von Transport- und Qualitätsrisiken erfordern“ (Mayer 2007, S.98). Gleichzeitig

werden durch die zunehmende kostenfokussierte Globalisierung der Lieferantenstandorte die Transportwege zwischen Produktionsstandort des Lieferanten und Fertigungsstandort des OEMs tendenziell größer (vgl. ebenda, S.98).

So bezieht bspw. der Volkswagen Konzern für seine europäischen Fertigungsstätten einen steigenden Anteil seiner Fahrzeugkomponenten aus dem asiatischen Wirtschaftsraum. Die dadurch realisierte Kosteneinsparung steht aufgrund der Entfernung einem erhöhten Versorgungsrisiko entgegen. Um das Risiko zu minimieren, müssen geeignete Maßnahmen hinsichtlich einer langfristigen Bedarfsplanung getroffen werden, die einerseits eine steigende Vernetzung der Supply Chain erfordern und andererseits die Flexibilität des Produktionsprogramms beeinflussen. Beide Effekte führen aus Sicht der Beschaffung zu einem steigenden Koordinationsaufwand sowohl mit dem Lieferanten als auch den anderen Funktionsbereichen der Wertschöpfungskette und damit zu einer Steigerung der Beschaffungsmarktkomplexität (vgl. Mayer 2007, S.99).

Eine strategische Aussage über die optimale Lieferantenzahl ist daher verallgemeinernd nicht möglich und bedarf jeweils einer situativen Kosten-Nutzen-Betrachtung. Es ist aber davon auszugehen, dass die Anwendung modularer Baukästen die Beschaffungskomplexität verringert, da Modularisierung die Anzahl der Lieferanten als auch die interne Teilevielfalt tendenziell reduziert (vgl. Piller & Waringer 1999, S.152).

Häufig durchgeführte **Lieferantenwechsel** haben wiederum einen negativen Einfluss auf das Komplexitätsniveau, da ein Wechsel des Lieferanten stets mit der Notwendigkeit einer Schnittstellen- und Prozessanpassung einhergeht und gleichzeitig bestehende Erfahrungskurveneffekte vernichtet werden (vgl. Gießmann 2010, S.208). Die Komplexitätswirkung dieses Treibers ist dabei mit der Wichtigkeit des Lieferanten positiv korreliert, so dass die komplexitätstreibende Wirkung eines Lieferantenwechsels vor allem beim Austausch wichtiger Schlüssel- und Modullieferanten verstärkt auftritt (vgl. Gießmann 2010, S.208).

Da die Aufgabe der Beschaffung in der Versorgung des Unternehmens mit den zur betrieblichen Leistungserstellung benötigten Produktionsgütern liegt, stellen auch die vom **Produkt** selbst induzierte Komplexität und die Höhe des zur Versorgungssicherheit benötigten Beschaffungsvolumens Treiber der Beschaffungskomplexität dar. Die Produktkomplexität wird dabei maßgeblich durch das vom Kunden geforderte Produkt- und Leistungsangebot bestimmt und spiegelt sich vorrangig in der Verschiedenartigkeit und Anzahl der zu beschaffenden Komponenten wider (vgl. Gießmann 2010, S.196 und S.212f.; Rodriguez 2007, S.244; Schuh 2005, S.230).

RODRIGUEZ (2007, S.251) sieht daher grundsätzlich eine positive Korrelation zwischen **Varianzzahl** und Komplexität des Liefernetzwerkes, da sich mit einer steigenden Anzahl an Produktvarianten die Steuerungs- und Reaktionsfähigkeit des Liefernetzwerkes reduziert. Gleichzeitig führt eine gesteigerte Variantenanzahl einhergehend mit kleineren Stückzahlen für die Beschaffung zu einem gesteigerten Preisniveau der Einzelkosten und

einer Zunahme von Verhandlungsgesprächen mit potentiellen Lieferanten (vgl. Kirchhof 2003, S.44; Piller & Waringer 1999, S.14).

Weiterhin wird die Beschaffungskomplexität sowohl durch die existierenden beschaffungsspezifischen internen als auch durch auf die Aktivitäten am Beschaffungsmarkt abgestimmten **Prozessabläufe** bestimmt (vgl. Gießmann 2010, S.195). Die Prozesskomplexität wird in der Beschaffung vorrangig durch die Lieferantenvielfalt induziert (vgl. Bohne 1998, S.32), da mit steigender Lieferantenzahl auch die Konnektivität innerhalb des Unternehmens zunimmt. Die Reduzierung der Anzahl direkter Lieferanten ist daher aus Beschaffungssicht ein probates Mittel den Koordinationsaufwand zu minimieren (vgl. Piller & Waringer 1999, S.97). Da mit einer sinkenden Lieferantenzahl sowohl eine Reduktion der Varietät als auch der Konnektivität verbunden ist, kann die Koordinationskomplexität der Beschaffung gesenkt werden.

### 3.1.2.3 Komplexitätstreiber in der Produktion und Logistik

Das Komplexitätsniveau in der Produktion ist abhängig vom der Komplexität des herzustellenden Produkts und der zugrunde liegenden Varianz (vgl. Schaffer & Schleich 2008, S.155). Eine Erhöhung der Variantenkomplexität zieht somit immer einen Anstieg der Fertigungskomplexität nach sich (vgl. Adam & Johannwille 1998, S.8). Da die Varianz sowohl die Strukturen als auch die Prozesse innerhalb der Produktion beeinflusst und damit die Produktionsprogrammkomplexität determiniert, sprechen SCHAFFER UND SCHLEICH (2008, S.155) von einer variantengetriebenen Komplexität. Der exponentiellen Anstieg zu produzierender Produktvarianten erhöht in der Produktion gleichzeitig auch das Risiko steigender Kosten, einer geringeren Effizienz sowie einer eingeschränkten Flexibilität (vgl. Schaffer & Schleich 2008, S.156).

Die erhöhte Variantenanzahl führt im Fertigungsbereich tendenziell zu einer steigenden Anzahl variantenspezifischer Teile bei gleichzeitigem Rückgang standardisierter Teileumfänge (vgl. Piller 2000, S.181). Dies bedeutet für die Produktion einen Rückgang der Losgrößen bei simultaner Zunahme der Rüstvorgänge und somit zu einem sinkenden Auslastungsgrad der Fertigungsanlagen durch erhöhte Stillstandzeiten. Vor allem Bedarfsschwankungen wirken sich bei einer hohen Variantenanzahl negativ aus. Das führt sowohl zu steigenden Produktherstellkosten als auch zu einem erhöhten Investitionsbedarf durch die gesteigerte Flexibilitätsanforderung an die Produktionsanlagen inklusive einer aufwendigeren Fertigungssteuerung (vgl. Piller & Waringer 1999, S.10 und S.14; ebenda S.25). Durch die zunehmende Schwierigkeit der Austaktung der Anlagen sinken die Produktivität und somit auch die Lernkurveneffekte (vgl. Kirchhof 2003, S.44). Gleichzeitig nehmen der Dispositionsaufwand und der Koordinationsaufwand der innerbetrieblichen Logistikprozesse mit zunehmender Variantenanzahl stetig zu (vgl. Gießmann 2010, S.210f.; Piller & Waringer 1999, S.14).

Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Effekte tendenziell zu erhöhten Produktionskosten führen. Da die Produktionsprogrammkomplexität wie beschrieben vorrangig von der Variantenanzahl der Produkte abhängt (vgl. Mayer 2007, S.105), ist der Variantenbestimmungspunkt, d.h. der Zeitpunkt der kundenindividuellen Produktpassung, innerhalb des Fertigungsprozesses für die Realisierung positiver Effekte der Massenfertigung essentiell (vgl. Mayer 2007, S.27f.).<sup>45</sup>

Zusammenfassend kann MAYER (2007, S.106) zitiert werden, der treffend formuliert: „Eine hohe Komplexität des Fertigungssystems wird durch eine hohe Zahl an Fertigungsschritten, verbunden mit einer hohen Zahl an Transport- und Rüstvorgängen bewirkt.“

#### 3.1.2.4 Komplexitätstreiber im Vertrieb und After-Sales

Aus Sicht des Vertriebs führt die zunehmende Marktsegmentierung zu einer komplexer werdenden Kundenstruktur, die einen zusätzlichen Bedarf an Vermarktungs- und Koordinationskapazitäten erfordert und damit die Vertriebskomplexität erhöht (vgl. Piller 2000, S.181).

Eine Ursache hierfür liegt in der wettbewerbsgetriebenen Erschließung neuer, global verstreuter Absatzmärkte und die Implementierung innovativer Produkte in immer kürzeren Zyklen zur Erfüllung des kundenindividualisierungsanspruchs. Diese Marktsegmentierung führt dazu, dass einerseits eine zunehmende Anzahl länderspezifischer Regularien und Faktoren beachtet werden müssen (vgl. Mayer 2007, S.97f.) und andererseits Bedarfsschwankungen aufgrund einer steigenden Anzahl beeinflussender global vernetzter Faktoren schwieriger prognostizierbar sind (vgl. Gießmann 2010, S.212).

Im Bereich des After-Sales führt eine Erhöhung der Variantenzahl darüber hinaus zu einer steigenden Anzahl vorzuhaltender Ersatzteile und einem höheren Schulungsaufwand für Servicemitarbeiter (vgl. Kirchhof 2003, S.44; Piller & Waringer 1999, S.14).

Anzumerken ist, dass Variantenvielfalt zwar die Komplexität steigert, aber für den Vertrieb auch einen positiven Effekt besitzt, da Variantenvielfalt eine kundenorientierte Differenzierung ermöglicht, aus der Wettbewerbsvorteile und steigende Erlöse realisiert werden können (vgl. Piller & Waringer 1999, S.17).

---

<sup>45</sup> WILDEMANN (2001, S.6) definiert den Variantenbestimmungspunkt als den „Zeitpunkt innerhalb der Wertschöpfungskette, ab welchem der Auftrag einem bestimmten Kunden oder einer bestimmten Kundengruppe zugeordnet ist und vor welchem der Auftrag kundenanonym gefertigt wird“.

### 3.1.3 Zuordnung der Komplexitätstreiber zu den Funktionsbereichen der Wertschöpfungskette

Wie in der Einleitung dieses Abschnitts ausgeführt, liegt das Ziel der ersten Analysestufe in der Zuordnung der Komplexitätstreiber entsprechend ihrer Wirkung zu den einzelnen Funktionsbereichen der innerbetrieblichen Wertschöpfung. Basierend auf der durchgeführten Literaturrecherche konnte eine Kategorisierung relevanter Komplexitätstreiber vorgenommen werden (siehe Kap. 3.1.1). Im Anschluss wurden dann entsprechend des in den wissenschaftlichen Arbeiten präsentierten Detaillierungsgrads die identifizierten Komplexitätstreiber erläutert und den einzelnen Funktionsbereichen thematisch zugeordnet (siehe Kap. 3.1.2). Die hieraus abgeleitete Zuordnungsmatrix ist der Tabelle 4 zu entnehmen (siehe S.103).

Aufgrund der bereits erläuterten Schwierigkeit einer eindeutigen Zuordenbarkeit der Treiber zu einem Funktionsbereich, erfolgte die Zuordnung zum Teil funktionsbereichsübergreifend, auch wenn der Treiber thematisch vorrangig innerhalb eines spezifischen Funktionsbereichs diskutiert wurde.

Um im Rahmen des nachgelagerten Forschungsprozesses eine Auswertung relevanter Arbeiten bzgl. einer Funktionsbereichsfokussierung zu ermöglichen (siehe Kap. 3.3), wurde zusätzlich zur Zuordnung eine Bewertung der funktionsbereichsspezifischen Wirkungsintensität (+ bzw. ++) vorgenommen. Die Festlegung der Wirkungsintensität des betrachteten Komplexitätstreibers beruht einerseits auf den Erkenntnissen der Literaturrecherche und andererseits auf den praktischen Erfahrungen des Autors. Sofern die Wirkung des spezifischen Treibers nicht einem separaten Funktionsbereich zugeordnet werden konnte, erfolgte eine abgestufte Beurteilung der Wirkungsintensität. Der Bereich mit der höchsten Wirkungsintensität wurde durch die Bezeichnung ++ hervorgehoben, um eine Abstufung der Wirkungsintensität zu verdeutlichen. Erfolgt keine bzw. mehrere Hervorhebungen wird eine Gleichverteilung der Wirkung angenommen.

Explizit soll hierbei ausgeführt werden, dass auf eine detaillierte Betrachtung separater Komplexitätstreiber der Prozess-, Organisations-, Ziel- und der Komplexität der Informations-, Planungs-, Steuerungs- und Kontrollsysteme bei den vorangestellten Ausführungen bewusst verzichtet wurde. Grund hierfür liegt in der unternehmensweiten Wirkung dieser Treiber. Eine detaillierte Betrachtung einzelner Funktionsbereiche wurde daher als nicht zielführend erachtet. Folglich wurde bei der Einschätzung der funktionsbereichsspezifischen Wirkung der Komplexitätstreiber eine Gleichverteilung der Wirkung angenommen.

			Funktionsbereichs-spezifische Zuordnung auf Basis der Treiberwirkung				
			Entwicklung & Design	Beschaffung	Produktion & Logistik	Vertrieb & After-Sales	
Exogene Komplexitätstreiber (Strukturelle Umweltkomplexität)	Markt-komplexität	Absatzmarkt	Kundenvielfalt, Marktsegmentierung	++	+	+	++
			Kundenanforderung	+			+
			Bedarfsschwankungen				+
			Marktregularien (Zoll- und Einfuhrbeschränkungen)		+	+	+
		Wettbewerbsintensität	Produktprogramm der Wettbewerber	+			+
			Anzahl Wettbewerber		+		+
			Preisniveau der Wettbewerber		+		++
		Technologiemarkt	Technologischer Fortschritt	++	+		
			Technologiedynamik/ Innovationszyklen	++	+		
	Beschaffungsmarkt	Lieferantenvielfalt	+	++			
		Ressourcenverfügbarkeit	+	++			
		Beschaffungsmarktkonzentration	+	+			
		Transparenzdefizit und Unsicherheit		+			
		Globalisierung der Lieferantenstandorte		+			
	Gesellschafts-komplexität	Detailierung siehe Kirchhof 2003	Rechtssystem	++	+		+
Politisches System			++	+		+	
Wirtschaftssystem				+		+	
Ökologische Faktoren			++	+	++	++	
Kulturelle Faktoren			+	+		++	
Endogene Komplexitätstreiber (strukturelle Unternehmenskomplexität)	korrelierte Unternehmenskomplexität	Kundenstruktur-komplexität	Kundenanzahl		+	+	++
			Kundenvielfalt	+			++
		(Produkt-) Programmkomplexität	Heterogenität und Änderungshäufigkeit des Produktprogramms/ Sortimentsbreite und Variantentiefe	++	+	+	
			Sortimentsgröße (Variantenvielfalt)	++	++	++	+
			produktbezogene Variantenvielfalt	+	+	+	
		Produktkomplexität	Produktdesign/ Produktkonzept	+			
	Produktinnovation/ Kurzlebigkeit der Produkte		+	+	+	+	
	Dynamik des technologischen Fortschritts		++	+			
	Technologiekomplexität	Verfügbarkeit von Technologien	+	++			
		informationstechnische Produktausstattung	+				
	Beschaffungs-komplexität	Lieferantenanzahl/ Lieferantenstruktur	+	++			
		Beschaffungsvolumen		+			
	autonome Unternehmenskomplexität	Produktionsprogramm-komplexität	Teilevielfalt	+	+	++	
			Entwicklungstiefe	++	+		
		Komplexität der Fertigungssysteme	Fertigungstechnologie (Fertigungsschritte, Rüstvorgänge)	+		++	
			Fertigungstiefe (Outsourcing)		+	++	
		Prozesskomplexität	Länge der Entscheidungsprozesse/ Prozessgestaltung/-planung	+	+	+	+
			Prozessvielfalt/ Vielfalt eingesetzter IT-Systeme	+	+	+	+
			Prozessinnovation/ Häufigkeit der Prozessanpassung	+	+	+	+
		Organisations-komplexität	Grad der Arbeitsteilung/ Verantwortungsteilung/ Konzentration auf Kernkompetenzen	+	+	+	+
			Funktionsorientierung, Zahl der Hierarchien	+	+	+	+
			Schnittstellendichte (Interdependenzgrad und Koordinationsgrad)	+	+	+	+
			horizontale und vertikale Aufbaustrukturierung	+	+	+	+
			Diversifikation in den Geschäftsbereichen (Pluralismus)	+	+	+	+
		Zielkomplexität	Unternehmensgröße (Mitarbeiteranzahl, Standorte)	+	+	+	+
			Existenz von Zielkonflikten/ Heterogenität der Bereichsziele	+	+	+	+
		Komplexität der Informations-, Planungs-, Steuerungs- und Kontrollsysteme	Koordinations- und Abwicklungssysteme zur Steuerung der Ziele	Dynamik von Zielvorgaben	+	+	+
Medienbrüche	+			+	+	+	
Informationsasymmetrie	+		+	+	+		
Ausprägung Formularwesen	+		+	+	+		
Übermaß Kontrollintranzen	+		+	+	+		

Tabelle 4: Zuordnungsmatrix der Komplexitätstreiber auf die Funktionsbereiche der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette

### **3.2 Identifizierung von Modularisierungseffekten und deren Wirkung auf das Unternehmen**

Nachdem im vorangestellten Kapitel 3.1 die im Rahmen der Literaturrecherche identifizierten Treiber der Komplexität detailliert diskutiert worden sind, erfolgt in diesem Kapitel die Darlegung des aktuellen Stands der Wissenschaft bezogen auf die Effektwirkungen der Modularisierung bei der Anwendung modularer Baukästen. Damit stellt dieses Kapitel die zweite Stufe des Analyseprozesses dar.

An dieser Stelle seien nochmals die Ausführungen in Kapitel 2.2.2.7 zu den Wirkungsdimensionen eines modularen Baukastens in Erinnerung gerufen. Es wurde festgestellt, dass sich etwaige Auswirkungen durch die Implementierung modularer Baukästen den Dimensionen Produkt, Prozess und Organisation zuordnen lassen. In Anbetracht dieser Kenntnis liegt die Herausforderung darin, die hieraus resultierenden Ausprägungen zu identifizieren und entsprechend ihrer Effektwirkung zu kategorisieren. Die Kenntnis über die Existenz relevanter Modularisierungseffekte als genau diese Ausprägungen der Wirkungsdimensionen ist aus Unternehmenssicht zwingend erforderlich, da die Effekte sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf den Unternehmenserfolg auslösen können (vgl. Arnheiter & Harren 2005, S.709).

Diese Aussage besitzt für den weiteren Forschungsprozess eine hohe Relevanz, da die geforderte strukturelle Identifizierung den Analyseprozess und somit das Grundgerüst für die detaillierte Diskussion des aktuellen Stands der Wissenschaft determiniert. Mit Hinblick auf die definierten Forschungsziele dieser Arbeit richtet sich die Relevanz der ausgewählten Arbeiten daher vorrangig nach deren Aussagefähigkeit bzgl. des Klassifizierungspotenzials von Modularisierungseffekten und deren Wirkung auf die einzelnen Funktionsbereiche der innerbetrieblichen Wertschöpfung.

In Analogie zur ersten Stufe ist auch die zweite Stufe des Analyseprozesses daher in drei Abschnitte gegliedert. In Kapitel 3.2.1 erfolgt die detaillierte Erörterung existierender Modularisierungseffekte und deren Einordnung in ein Kategoriensystem.

Da weiterhin die aus der Festlegung der strukturellen Gestaltung von Produkt, Prozess und Organisation resultierenden Modularisierungseffekte bereichsübergreifend entlang der gesamten innerbetrieblichen Wertschöpfungskette existieren (vgl. Gonsior 2008, S.213; Kohlhase 1997, S.98; Piller & Waringer 1999, S.51), erscheint zur Verdeutlichung der Wirkungszusammenhänge die ganzheitliche Betrachtung der Wertschöpfungskette notwendig, um die gesetzten Forschungsziele zu erreichen. Entsprechend befasst sich Kapitel 3.2.2 anschließend mit der detaillierten wirkungsspezifischen Einordnung identifizierter Modularisierungseffekte zu den einzelnen Funktionsbereichen der innerbetrieblichen Wertschöpfung, um die vollumfängliche Abdeckung diskutierter Wirkungsdimensionen des modularen Baukastens sicherzustellen. Das Kapitel schließt mit der Darstellung der Zuordnungsmatrix von Modularisierungseffekten und Funktionsbereichen der innerbetrieblichen Wertschöpfung (siehe Kap. 3.2.3).

### 3.2.1 Kategorisierung von Modularisierungseffekten

Als strukturelles Rahmengerüst für die Identifizierung von Modularisierungseffekten erscheint die Anwendung des von KERSTEN ET AL. (2011) entwickelten *Klassifikationschemas zur strukturierten Allokation von Modularisierungseffekten* als besonders zielführend, da durch die detaillierte Betrachtung der modularen Effektwirkung bezogen auf die unternehmerischen Erfolgsfaktoren Kosten, Zeit, Qualität, Flexibilität und Risiko ein ganzheitlicher Betrachtungsansatz sichergestellt wird.

Bevor im Detail eine Kategorisierung einzelner Modularisierungseffekte entsprechend ihrer erfolgsfaktorspezifischen Effektwirkung vorgenommen wird, soll daher das der Strukturierung zugrunde liegende Konzept von KERSTEN ET AL. (2011) nachfolgend erläutert werden.

Mit Bezug zu JUNGE (2005) führen KERSTEN ET AL. (2011, S.15ff.) aus, dass das Hauptmotiv für die Implementierung modularer Strukturierungskonzepte primär in der kurzfristigen Realisierung von Kostensenkungen durch Komplexitätsreduktion und Minimierung der Teilevielfalt liegt. Die positive Wirkung der aus der Modularisierung resultierenden Effekte konnte sowohl in wissenschaftlichen Arbeiten als auch in der Praxis bereits nachgewiesen werden, wobei hierbei jedoch die mittel- und langfristigen Auswirkungen auf die Kosten der Modularisierungsentscheidung weitestgehend außer Acht gelassen wurden. Nach Einschätzung von KERSTEN ET AL. (2011) liegt ein Grund hierfür in der bislang unzureichenden Identifizierung und Spezifizierung resultierender Effekte zur Potenzialerschließung modularer Produktarchitekturen. Hierdurch ergibt sich für Unternehmen die Gefahr, durch eine Modularisierungsentscheidung die eigene Performance negativ zu beeinflussen, da Modularisierungseffekte neben den attestierten positiven Eigenschaften auch negative Ausstrahlungseffekte über den gesamten Produktlebenszyklus hervorrufen können. Eine Modularisierungsentscheidung sollte folglich nach Möglichkeit auf Basis einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unter Berücksichtigung der zu erwartenden Modularisierungseffekte erfolgen. KERSTEN ET AL. (2011) sehen hierfür die strukturierte Katalogisierung relevanter Modularisierungseffekte als Grundvoraussetzung für deren Operationalisierung im Rahmen der notwendigen Wirtschaftlichkeitsrechnung.

Als Grundlage für die geforderte differenzierte Bewertung entwickeln die Autoren ein Konzept zur Gliederung und Allokation relevanter Modularisierungseffekte innerhalb des Produktlebenszyklus, das es dem Anwender in hohem Maß ermöglicht, eine Gewichtung der Effekte vorzunehmen und den strategischen Erfolgsgrößen zuzuordnen. Das entwickelte Konzept kann, wie in Abbildung 26 visualisiert, als ein 2-stufiger Prozess verstanden werden.

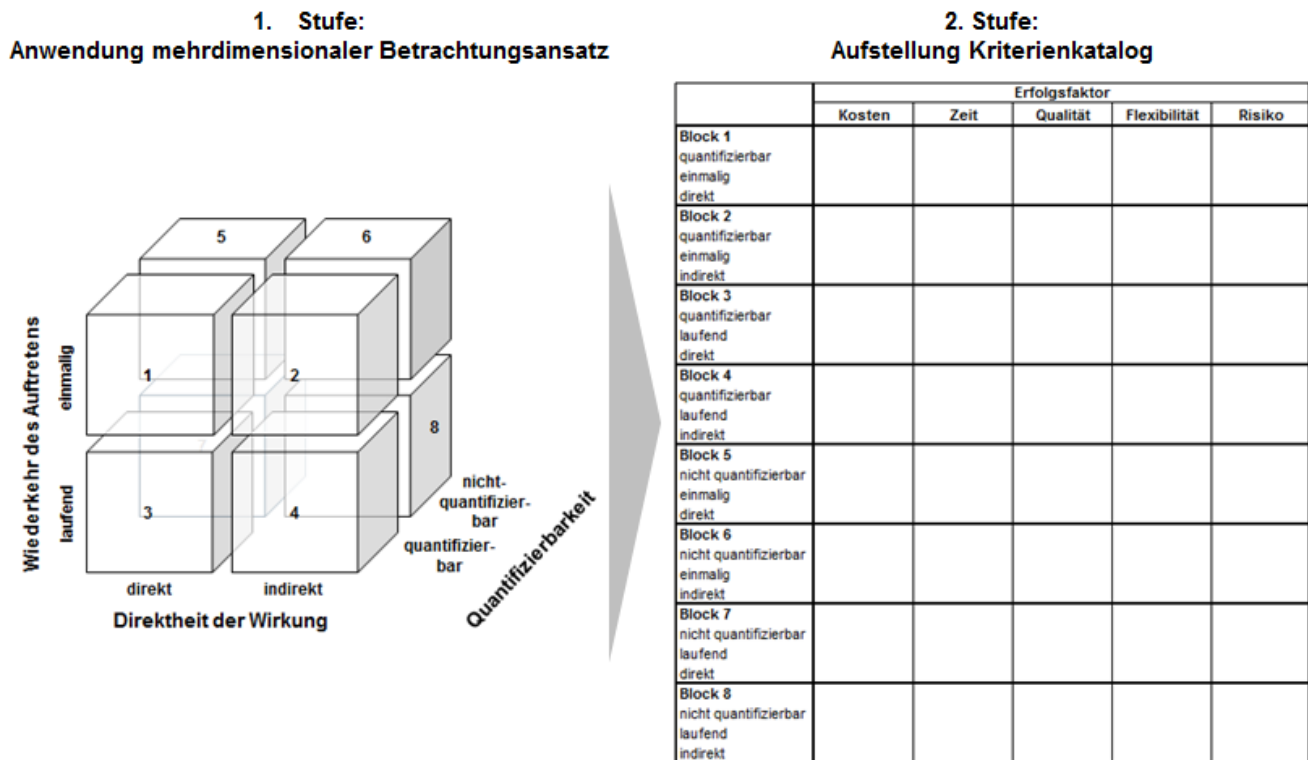


Abbildung 26: 2-stufiges Konzept zur Entwicklung eines Kriterienkataloges für die strukturierte Allokation von Modularisierungseffekten  
 Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Kersten et al. (2011, S.23 u. S.25)

Auf der ersten Stufe erfolgt die Herleitung eines mehrdimensionalen Betrachtungsansatzes zur Spezifikation existierender Modularisierungseffekte. Dabei erfolgt die Kategorisierung, also die Einordnung der Effekte, mit Hilfe der drei Dimensionen Wiederkehr des Auftretens, Direktheit der Wirkung und Quantifizierbarkeit. Durch die weitere Detaillierung innerhalb der angesprochenen Dimensionen ergibt sich letztlich ein dreidimensionaler Betrachtungsansatz mit acht Blöcken, der eine umfassende Kategorisierung existierender Modularisierungseffekte ermöglicht.

Die Aufstellung eines Kriterienkatalogs und die Einordnung identifizierter Modularisierungseffekte bildet die zweite Konzeptstufe. Da der Erfolg eines Unternehmens und dessen unternehmerische Wettbewerbsfähigkeit nach Einschätzung der Autoren von den unternehmerischen Erfolgsfaktoren Kosten, Zeit, Qualität, Flexibilität und Risiko abhängt, determinieren diese fünf Kriterien die elementare Grundstruktur des dargestellten Klassifikationsschemas. Die Kriterien sind dabei mitnichten in Bezug auf ihre Relevanz als gleichbedeutend anzusehen. Vielmehr bedarf es nach Einschätzung von KERSTEN ET AL. (2011, S. 24) einer unterschiedlich starken „Gewichtung der Kriterien [...] je nach Ausrichtung der Wettbewerbs- und Unternehmensstrategie.“

Der Nutzen der Forschungsarbeit von KERSTEN ET AL. (2011) liegt u.a. darin, dass dem Anwender eine übersichtliche Methodik zur Identifikation relevanter Modularisierungseffekte an die Hand gegeben wird, die eine fundierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bei der Ableitung strategischer Modularisierungsentscheidungen unterstützt. Dabei wird eine

ganzheitliche und bereichsübergreifende Betrachtung entlang des Produktlebenszyklus vollzogen.

Außerdem liefert die inhaltliche Auseinandersetzung mit den Ergebnissen des Kriterienkatalogs nach Einschätzung der Autoren drei wichtige Erkenntnisse.

Erstens wird durch die im Rahmen der Erstellung des Kriterienkatalogs durchgeführte Zuordnung der identifizierten Effekte zu den fünf Kriterien in hohem Maß der Einfluss der Produktmodularisierung auf das existierende Kostenniveau ersichtlich. Annähernd 40% aller im Rahmen ihrer Literaturrecherche identifizierten Modularisierungseffekte können dem Kriterium Kosten zugeordnet werden (vgl. Kersten et al. 2011, S. 25).

Zweitens existiert eine positive Korrelation zwischen den Kriterien Zeit und Kosten insofern, als dass sich „das Kriterium Zeit immer auf das Kriterium Kosten auswirkt“ und eine „Zeitersparnis [...] indirekt mit einer Kosteneinsparung verbunden [ist]“ (ebenda, S.26). Als Beispiel führen die Autoren die Montagezeit an, die je nach Veränderungsrichtung eine Erhöhung bzw. Reduzierung der Herstellkosten nach sich zieht.

Drittens kann festgehalten werden, dass den Kriterien Qualität, Flexibilität und Risiko überwiegend nicht-quantifizierbare Effekte zugeordnet werden konnten und folglich im Umkehrschluss die Möglichkeit der Quantifizierbarkeit existierender Modularisierungseffekte mit Bezug auf diese drei Kriterien als eher gering einzuschätzen ist.

Abschließend sehen KERSTEN ET AL. (2011, S.26) einen weiterführenden Forschungsbedarf in der Relevanzbetrachtung diskutierter Modularisierungseffekte und in der Untersuchung, inwieweit eine Modifizierung des Kriterienkatalogs zu einer effizienteren praxisorientierten Anwendbarkeit beitragen kann.

Mit der Durchführung einer auf die Effekte der Modularisierung fokussierten Literaturrecherche, der nachfolgenden erfolgsfaktorbezogenen Detaillierung der Modularisierungseffekte und deren funktionsbereichsspezifischer Einordnung in die innerbetriebliche Wertschöpfungskette liefert diese Forschungsarbeit einen wissenschaftlichen Nutzenbeitrag, um die von KERSTEN ET AL. (2011) aufgezeigte Forschungslücke zu minimieren.

Tabelle 5 liefert eine Gesamtübersicht der im Rahmen der Literaturrecherche identifizierten Modularisierungseffekte. Zugunsten der Übersichtlichkeit wurde dabei im Vergleich zum Klassifikationsschema von KERSTEN ET AL. (2011) eine abweichende Abstraktionshöhe gewählt und auf die weiterführende Detaillierung bzgl. der Quantifizierbarkeit, der Wiederkehr des Auftretens und der Direktheit der Wirkung zu diesem Zeitpunkt des Forschungsprozesses verzichtet. Eine Reduzierung der Abstraktionshöhe und damit die Erhöhung des Detaillierungsgrades entsprechend des von KERSTEN (2011) gewählten mehrdimensionalen Betrachtungsansatzes erfolgt im Rahmen des Aufbaus des modell-spezifischen Kennzahlensystems (siehe Kap. 5.3).

Die Rangfolge der aufgeführten Modularisierungseffekte im Klassifikationsschema richtet sich in Analogie zur Kategorisierung der Komplexitätstreiber nach der absoluten Nennungshäufigkeit innerhalb der als relevant identifizierten wissenschaftlichen Arbeiten (vgl. Kap. 3.1.1).

Weiterhin wurde bewusst die Nomenklatur und der Detaillierungsgrad aus den zitierten Arbeiten beibehalten, wohl wissend, dass aufgrund bestehender Wirkungszusammenhänge und der Wahl einer abweichenden Betrachtungsgranularität eine alternative Gruppierung oder Zuordnung zu den einzelnen Erfolgsfaktoren gewählt werden könnte. So sind bspw. innerhalb des Kostenblocks Skaleneffekte formal nicht nur als Ursache für die Generierung der aufgeführten Kosteneffekte zu verstehen, sondern beeinflussen auch die Erfolgsfaktoren Zeit, Qualität, Flexibilität und Risiko. Außerdem wäre auch die Gruppierung einzelner Kosten, wie z.B. Entwicklungs-, Montage-, Rüst- und innerbetriebliche Logistikkosten unter dem Oberbegriff der Herstellkosten möglich.

Anhand von Tabelle 5 ist festzustellen, dass die Effektwirkung modularer Baukästen bzgl. des Erfolgsfaktors Kosten in der Literatur das mit Abstand am häufigsten diskutierte Themenfeld darstellt. Basierend auf den hier präsentierten Ergebnissen der durchgeführten Literaturrecherche können dem Erfolgsfaktor Kosten in Summe 89 Nennungen zugeordnet werden. Dies entspricht bei einer Gesamtanzahl von 261 Nennungen einem relativen Anteil von 34%. Mit insgesamt 67 Nennungen und einer relativen Häufigkeit von 26% sind in den analysierten Arbeiten Aussagen über die Effektwirkung der Modularisierung dem Erfolgsfaktor Zeit zuordenbar. Annähernd zu gleichen Anteil werden die übrigen Erfolgsfaktoren Flexibilität (36/ 14%), Risiko (36/ 14%) und Qualität (33 Nennungen/ 12%) thematisiert.<sup>46</sup>

Um die bisherige Zielfokussierung bei der Beantwortung der Forschungsfrage nicht durch eine zu große Detaillierung zu mindern, wird sich in den nachfolgenden Ausführungen auf die in der Literatur primär diskutierten Modularisierungseffekte je Erfolgsfaktor beschränkt. Die Relevanz eines Effekts wird dabei über die absolute Nennungshäufigkeit definiert.

---

<sup>46</sup> Legt man den von KERSTEN ET AL. (2011, S.23) angewandten mehrdimensionalen Betrachtungsansatz zugrunde, kann als mögliche Ursache für die deutlich geringere Fokussierung der Faktoren Qualität, Flexibilität und Risiko die mangelnde Quantifizierbarkeit zuordenbarer Modularisierungseffekte (vgl. Kersten et al. 2011, S.25) angeführt werden. Eine monetäre Bewertung dieser Effekte und damit deren Berücksichtigung innerhalb einer Kosten-Nutzen-Analyse zur Ableitung wirtschaftlicher Entscheidungen ist für ein Unternehmen oft nur mit sehr großem Aufwand möglich.

		Stand der Wissenschaft																															
		Arnheiter/Harren 2005	Baldwin/Clark 2000	Doran/Hill 2009	Eitelwein 2012	Erixon 1998	Fisher et al. 1999	Gneiting/ Sommer-Dittrich 2008	Gonsior 2008	Göpfert/Steinbrecher 2000	Junge 2005	Kamrani/Nasr 2010	Kersten et al. 2009	Kersten et al. 2011	Kopenhagen 2004	LaLande 2013	Loch et al. 2001	MacDuffie 2013	Meyer/Lehnerd 1997	Morris/Donnelly 2006	Müller 2000	Pandremenos 2009	Persson 2004	Piller/Waringer 1999	Piller 2000	Takeishi/Fujimoto 2001	Ulrich/Tung 1991	Watanabe/Ane 2004	Zettl 2008	Absolute Häufigkeit			
Kosten	Skaleneffekte		x		x	x	x		x	x	x	x	x	x	x					x									x	16			
	Entwicklungskosten		x			x	x	x	x	x	x		x	x	x							x	x						x	x	14		
	Montagekosten		x	x						x	x											x								x	10		
	Herstellkosten	x	x												x					x			x					x	x	x	8		
	„Blindleistung“/ physische Redundanz												x	x	x								x							x	7		
	Investitionskosten					x					x			x	x													x			5		
	Servicekosten								x					x								x	x								4		
	Lagerhaltungskosten								x					x								x	x								4		
	Gleichteileverwendung		x												x														x		3		
	Rüstkosten									x				x									x								3		
	Koordinationskosten									x									x							x					3		
	Entwicklungskapazität					x									x																2		
	Erprobungskosten														x																2		
	Transportkosten																		x												x	2	
	Logistikkosten (i. betr.)														x																x	2	
	Bestandskosten														x							x										2	
	Prozesskosten														x																	1	
	Ausschusskosten														x																	1	
Zeit	Entwicklungszeit/ Simultaneous Engineering	x	x	x		x	x		x	x	x	x		x	x							x	x	x	x	x		x	x	x	19		
	Durchlaufzeit/ Time to Market	x	x			x		x	x		x	x	x	x	x	x							x			x	x		x	x	x	17	
	Montagezeit	x								x			x	x											x	x				x	7		
	Ersatzteilverfügbarkeit/ Maintenance and repair									x		x											x		x	x			x		7		
	Lernkurveneffekte									x	x				x											x	x				x	7	
	Koordinationsaufwand									x																	x				4		
	Beschaffungsaufwand/ Monitoring der Lieferanten									x					x																	3	
	Produktdokumentation																														x	2	
	Produktportfoliotransparenz																															1	
Qualität	Qualitätssteigerungen						x					x	x	x	x									x	x	x		x	x	x	12		
	Funktionstests					x						x	x	x	x	x								x					x	x	x	9	
	Produktivität	x													x	x									x						4		
	Fehlerlokalisierungen															x															x	4	
	Montage-/ Demontageaufwand beim Kunden								x		x																					3	
	Entwicklungsproduktivität																															1	
Flexibilität	Customization			x		x		x		x	x	x												x				x	x	x	10		
	Modular Sourcing (Outsourcing)				x	x								x	x									x				x	x		8		
	Carry-Over					x				x	x																				5		
	Postponement														x																x	3	
	Kapazitäten					x																										3	
	Recyclingsfähigkeit						x																									2	
	Lieferantenanzahl										x																					2	
	Fertigungsinselbildung																															2	
Synergien																																1	
Risiko	Produkt-Kannibalisierung							x	x	x	x					x															x	11	
	Lieferantenabhängigkeit	x	x																												x	7	
	Produktpiraterie	x				x																									x	7	
	Innovationserosion																															x	4
	Entwicklungsrisiko																															x	4
Ausstrahlungseffekte/ Rückrufe																																x	3

Tabelle 5: Gesamtübersicht Modularisierungseffekte gruppiert nach den Erfolgsfaktoren

### 3.2.1.1 Effektwirkung hinsichtlich Kosten

Skaleneffekte (16 Nennungen) stellen in der Literatur bezogen auf die Kostenwirkung die vorrangig diskutierten Modularisierungseffekte dar. Die Realisierung kostenoptimierender Skaleneffekte aus der Modularisierung erstreckt sich über sämtliche Funktionsbereiche des Unternehmens (vgl. Junge 2005, S.112) und liegt ursächlich primär in dem fahrzeugübergreifenden Einsatz standardisierter Komponenten innerhalb des modularen Baukastens begründet (vgl. Eitelwein et al. 2012, S.80).

Durch den hohen Standardisierungsgrad ist es gleichzeitig möglich sowohl fahrzeug- als auch generationsübergreifend Gleichteile (COP) zu verwenden und somit weitere Kostenpotentiale zu heben.<sup>47</sup> So führt bspw. ein steigender Anteil COP zu einer Reduzierung der Entwicklungskosten (vgl. Erixon 1998, S.89), da eine weiterführende Nutzung keine zusätzliche bzw. eine deutlich reduzierte Entwicklungstätigkeit erfordert und somit Entwicklungskapazitäten freisetzt. Ergänzend führen KAMRANI UND NASR (2010, S.82) aus, dass die durch die Reduzierung der Prozessanzahl und Prozesswiederholungen resultierenden Kosteneinsparungen entlang des gesamten Produktlebenszyklus auftreten und damit mitnichten allein auf die Entwicklung beschränkt sind.

Obwohl mit der Implementierung von Modularisierungskonzepten vorrangig Kostenreduzierungspotentiale in Verbindung gebracht werden, ist eine kostensteigernde Wirkung durch erhöhte Entwicklungs- oder Implementierungskosten nicht gänzlich zu vernachlässigen (vgl. Kersten et al. 2009, S.1136).

Ein potentieller Kostennachteil modularer Bauteile resultiert bspw. aus deren fahrzeug- bzw. segmentübergreifenden Verwendung. Die Auslegung einer Komponente muss sich dabei stets an dem Fahrzeug mit den höchsten Anforderungen orientieren. Wird eine modulare Komponente also in einem Fahrzeug mit geringeren Anforderungen verbaut, so führt das inkludierte aber nicht nutzbare Leistungsvermögen zu einer Erhöhung der variablen Kosten für das betroffene Fahrzeug (vgl. Kopenhagen 2004, S.26; Piller & Waringer 1999, S.83; Ulrich & Tung 1991, S.76).

Gleichzeitig sehen MORRIS UND DONNELLY (2006, S.265) im stetigen Streben nach der Generierung zusätzlicher Skaleneffekte die Gefahr des Aufbaus von Überkapazitäten. Überkapazitäten führen zu erhöhten Bestands- und Lagerhaltungskosten und können zusätzlich die eigene Wettbewerbsfähigkeit negativ beeinflussen, da ein Überangebot im Markt tendenziell zu einem Preisverfall der eigenen Produkte führt.

Möglichen Skalen- bzw. Verbundeffekten der Modularisierung sind daher stets die potentiell entstehenden Kosten gegenüberzustellen (vgl. Piller 2000, S.264).

KERSTEN ET AL. (2011, S.17) sehen trotz der existierenden „komplexen Mehrfachrelation zwischen Komponenten und Funktionen“ einen Kostenvorteil in der integralen Produktarchitektur, da eine integrale Bauweise eine kompaktere Konstruktion und optimalere

---

<sup>47</sup> Identische Teile, die zwischen unterschiedlichen Fahrzeuggenerationen Verwendung finden, werden als Carry-Over Parts (COP) bezeichnet (vgl. Erixon 1998, S.73; Proff & Proff 2008, S.111).

Abstimmung einzelner Komponenten aufeinander fördert. Die Reduzierung des Modularitätsgrades kann also zu einer Verbesserung der Performance und des Kostenniveaus eines Produktes führen, da eine integrale Produktarchitektur redundante physische Strukturen minimiert und Blindleistung verhindert (vgl. Müller 2000, S.45; Ulrich & Tung 1991, S.76f.).

Weiterhin führen PANDREMENOS ET AL. (2009, S.150) aus, dass sich die Vorteilhaftigkeit modularer Komponenten hinsichtlich ihrer Kostenwirkung im Laufe des Produktlebenszyklus ändern kann. Erscheint ein Modul im Rahmen der Entwicklung bezogen auf Gewichtsreduzierung und Leistungsverbesserung als vorteilhaft, können innerhalb der Nutzungsphase bei notwendigen Service- bzw. Instandhaltungsmaßnahmen erhöhte Kosten für die Reparatur anfallen, wenn aufgrund eines Defekts einer Teilkomponente durch den modularen Aufbau das gesamte Modul ausgetauscht werden muss.

### 3.2.1.2 Effektwirkung hinsichtlich Zeit

Die mit Abstand am häufigsten genannten Effektwirkungen modularer Baukästen hinsichtlich des Erfolgsfaktors Zeit beziehen sich einerseits auf die fokussiert betrachtete Entwicklungszeit (19) und andererseits, einem ganzheitlicheren Betrachtungsansatz folgend, auf die projektspezifische Gesamtdurchlaufzeit (17) beginnend mit der Produktentstehungsphase bis zu dessen Markteinführung.

Durch die funktionale und physische Unabhängigkeit einzelner Module ist bei einer modularen Produktarchitektur ein erhöhter Anteil paralleler Prozesse möglich (vgl. Fixson 2007, S.93). Hierdurch kann gegenüber einem integralen Produktaufbau und der damit einhergehenden überwiegend seriellen Entwicklungsarbeit, die Entwicklungszeit deutlich reduziert werden (vgl. Baldwin & Clark 2000, S.91; Eitelwein et al. 2012, S.80; Junge 2005, S.100). ULRICH UND TUNG (1991, S.75) sprechen in diesem Zusammenhang von „Decoupling of tasks“ und sehen den Vorteil für die Entwicklung in einem reduzierten Komplexitätsniveau durch die angesprochene Zerlegung in parallel zu bearbeitende Teilaufgaben (vgl. auch Kamrani & Nasr 2010, S.82). JUNGE (2005, S.100) führt erklärend an, dass durch die fest definierten Schnittstellen Module unabhängig voneinander geändert werden können, wodurch in der Entwicklungsphase positive Zeiteffekte durch ein effizient gestaltetes Änderungsmanagement realisiert werden können. Module können beispielsweise unabhängig voneinander entwickelt, aufgebaut und getestet werden (vgl. Arnheiter & Haren 2005, S.709), wodurch der Koordinations- und Kommunikationsaufwand bei der Entwicklung reduziert wird (vgl. Baldwin & Clark 2000, S.90; Kopenhagen 2004, S.25).

Darüber hinaus kann der OEM durch die resultierende Verkürzung des Produktentstehungsprozesses neue Fahrzeuge in kürzeren Zeitabständen im Markt platzieren (vgl. Do-

ran & Hill 2009, S.67). Dies ermöglicht dem OEM eine verkürzte Bindung von Entwicklungsressourcen und generiert somit eine Reduzierung der produktbezogenen Entwicklungskosten (vgl. Müller 2000, S.3).

Es gibt aber auch Autoren, die der Modularisierung eine negative Effektwirkung bzgl. des Erfolgsfaktors Zeit attestieren. EITELWEIN ET AL. (2012, S.81) führen hierzu an, dass durch den produktübergreifenden Einsatz von Modulen vor allem in der Produktion und Entwicklung ein erhöhter Design-, Koordinations- und Abstimmungsaufwand und damit ein erhöhter Zeitbedarf auftreten kann.

### 3.2.1.3 Effektwirkung hinsichtlich Qualität

Bezüglich des Erfolgsfaktors Qualität wird vor allem die Effektwirkung der Modularisierung hinsichtlich potentieller Qualitätssteigerungen des Produktes (12) diskutiert.

Qualitätssteigerungen des Produkts sind u.a. mit der Erhöhung der Betriebszuverlässigkeit einer Komponente zu begründen (vgl. Fisher et al. 1999, S.299; Ulrich & Tung 1991, S.75), da davon ausgegangen werden kann, dass bei einer fahrzeugübergreifenden Gleichteilverwendung und dem damit einhergehenden Volumenanstieg die Anforderungen an die Durchführung von Komponententests zur Minimierung negativer Ausstrahlungseffekte deutlich erhöht werden. Gleichzeitig erhöht sich durch die Gleichteilverwendung die Produktperformance über die gesamte Produktpalette, da die verwendeten Module am Fahrzeug mit den höchsten Performanceanforderungen ausgerichtet werden müssen (vgl. Fisher et al. 1999, S.299).

Im Umkehrschluss wirkt sich ein nicht ausreichender Qualitätsstandard einzelner Module negativ auf die Produktperformance aus (vgl. Eitelwein et al. 2012, S.81). Durch den marken- und segmentübergreifenden Verbau von Komponenten erhöht sich bei Qualitätsproblemen gleichzeitig das Risiko negativer Ausstrahlungseffekte und hieraus resultierender kostspieliger Rückrufe (vgl. Meyer & Lehnerd 1997, S.59). Diese Gefahr wird bei einem konzernweiten Ausrollen der Modulstrategie noch verstärkt, da die negativen Ausstrahlungseffekte nicht auf eine einzelne Marke beschränkt sind (vgl. Morris & Donnelly 2006, S.272).

### 3.2.1.4 Effektwirkung hinsichtlich Flexibilität

Ein Produkt flexibel auf neue Technologien und dynamische Marktgegebenheiten adaptieren zu können, ist eine wichtige Voraussetzung zur Sicherstellung der Wettbewerbsposition eines Unternehmens (vgl. Eitelwein et al. 2012, S.80; Kaluza & Blecker 2005, S.19). Modularisierungskonzepte steigern die Flexibilität eines Unternehmens und besitzen somit einen großen Wertbeitrag für den Unternehmenserfolg (vgl. Kersten & Kern 2005, S.240).

Customization (10), gemeint ist damit die Anpassungsfähigkeit des Produkts an spezifische Kundenanforderungen, stellt in den untersuchten Arbeiten den am häufigsten genannten Modularisierungseffekt bzgl. des Erfolgsfaktors Flexibilität dar.

Eine modulare Bauweise erleichtert den vom Lebenszyklus losgelösten und damit flexiblen, am Kundennutzen orientierten Einsatz einzelner Komponenten (vgl. Seliger et al. 1997, S. 595; Ulrich & Tung 1991, S.75) sowie die Integration neuer Technologien (vgl. Kopenhagen 2004, S.25), da ein Austausch einer Komponente keine Designänderungen anderer Bauteile hervorruft (vgl. Campagnolo & Camuffo 2010, S.266; Persson & Ahlström 2013, S.56). MÜLLER (2000, S.49) spricht in diesem Zusammenhang von der Entkopplung von unterschiedlichen Technologiegeschwindigkeiten durch die Anwendung modularer Produktarchitekturen.

Durch die beschriebene Austauschbarkeit von Modulen und deren relative Autonomie gegenüber Veränderungen sind sowohl die flexible Anpassungsfähigkeit als auch die Anpassungsgüte eines modular gestalteten Produktes im Vergleich zu einer integralen Bauweise als deutlich höher zu bewerten (vgl. Eitelwein et al. 2012, S.80). Somit kann aus einer relativ geringen Anzahl unterschiedlicher Komponenten mit spezifischen Funktionen eine hohe Produktvarietät erzielt werden (vgl. Ulrich & Tung 1991, S.75; Müller 2000, S.49). KERSTEN UND KERN (2005, S.240) sehen die hohe Flexibilitätswirkung der Modularisierung in der Nutzung dieses Kombinatorikeffektes begründet. Die aus einer bestimmten Anzahl bestehender Komponenten zu erzielende Variantenanzahl steigt dabei durch eine modulare Produktstruktur exponentiell an, wodurch der OEM deutlich flexibler potentielle Kundenanforderungen bedienen und somit Wettbewerbsvorteile durch die Nutzung von Synergien sowie die Erschließung von Marktnischen realisieren kann (vgl. Kersten & Kern 2005, S.240; Kersten et al. 2011, S.25; Schilling 2000, S.317; ebenda S.328).

Andererseits ist durch die angestrebte fahrzeugübergreifende Gleichteileverwendung die Entwicklung eines modularen Baukastens und die Festlegung des Fahrzeugdesigns durch eine Reduzierung der Freiheitsgrade charakterisiert (vgl. Gonsior 2008, S.150), da marktspezifische Restriktionen durch existierende regionale Kunden- oder Gesetzesanforderungen für alle Fahrzeuge des Baukastens erfüllt werden müssen. Hierdurch wird die Flexibilität eingeschränkt und gleichzeitig der erforderliche Abstimmungsaufwand durch die Existenz der beschriebenen Nebenbedingungen erhöht. Eine Änderung bestehender und Implementierung neuer Komponenten ist daher im modularen Baukasten oft nur mit einem kostenintensiven Entwicklungsaufwand möglich (vgl. Gonsior 2008, S.168). Eine modulare Produktarchitektur kann, ausgelöst von einer gesteigerten Inflexibilität, die Implementierung von Innovationen in die Produktarchitektur erschweren (vgl. Piller & Waringer 1999, S.82; Ulrich & Tung 1991, S.76).

Somit steht der komplexitätsreduzierenden Wirkung durch die Verwendung standardisierter Komponenten eine Zunahme der Inflexibilität durch den erhöhten Bestimmtheitsgrad der Produktentwicklung und die komplexitätssteigernde Wirkung des erhöhten Abstimmungsaufwands entgegen.

### 3.2.1.5 Effektwirkung hinsichtlich Risiko

Die Gefahr durch die Anwendung modularer Baukästen eine verstärkte Produkt-Kannibalisierung (11) auszulösen, stellt bezogen auf den Erfolgsfaktor Risiko den meistdiskutierten Effekt dar.

Ein hoher Standardisierungsgrad durch die Verwendung von modularen Komponenten verstärkt das Risiko einer fehlenden Anpassungsfähigkeit an spezifische Kundenwünsche und eine fehlende Differenzierbarkeit des Produktportfolios (vgl. Ulrich & Tung 1991, S.77). PILLER UND WARINGER (1999, S.83) sprechen in diesem Zusammenhang von einer mangelnden Differenzierungsqualität. In ähnlicher Weise beschreibt GONSIOR (2008, S.164) das Risiko durch eine „geringere Exklusivität“.

Dieses Risiko kann damit begründet werden, dass die zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit erforderliche externe Differenzierung aufgrund vom Kunden wahrgenommenen Fahrzeugeigenschaften durch die interne Standardisierung ausgelöst durch existierende Kosten- und Zeitrestriktionen negativ beeinflusst wird (vgl. Piller & Waringer 1999, S.72). Der durch die fehlende Abgrenzung der Produkte ausgelöste Markenidentitätsverlust, hervorgerufen durch die Vielzahl von Produkten mit ähnlichen Eigenschaften, erhöht für ein Unternehmen die Gefahr der Produkt-Kannibalisierung einhergehend mit potentiellen Gewinneinbußen für das Unternehmen durch eine zunehmende Substituierungsmöglichkeit einzelner Produkte für den Kunden (vgl. Gießmann 2010, S.307; Eitelwein et al. 2012, S.81; Junge 2005, S.114f.; MacDuffie 2013, S.21; Morris & Donnelly 2006, S.272).

MORRIS UND DONNELLY (2006, S.273f.) stellen fest, dass die Kundenakzeptanz hinsichtlich des Einsatzes von Modulen mit deren steigender Sichtbarkeit abnimmt. Diese Tendenz ist besonders stark im Luxussegment ausgeprägt. Die Autoren schlussfolgern daraus, dass Module nur dort eingesetzt werden sollten, wo sie der Kunde nicht wahrnimmt bzw. das Modul das Eigenständigkeitsmerkmal einer Marke nicht negativ beeinflusst (vgl. Morris & Donnelly 2006, S.273; vgl. auch Gneiting & Sommer-Dittrich 2008, S.106; Gonsior 2008, S.271; Ulrich & Tung 1991, S.77).

Ergänzend betont JUNGE (2005, S.125) aber auch, dass Kannibalisierung durchaus positive Effekte haben kann, solange selbige von Fahrzeugen mit niedrigem zu Fahrzeugen mit hohem Deckungsbeitrag stattfindet.<sup>48</sup> Die hieraus resultierende Gefahr der „Selbstkonkurrenzierung“ (SCHUH 2005, S.117) steigt dabei mit zunehmender Produktvielfalt durch die potentielle Überlappung einzelner Marktsegmente an.

---

<sup>48</sup> Kannibalisierungseffekte definiert SCHUH (2005, S.117) als „gegengerichtete Beeinflussung [..], d.h. die Steigerung der Absatzmenge der einen Variante führt unter Umständen zu einer Reduzierung der Absatzmenge der anderen Variante“.

### 3.2.2 Funktionsbereichsspezifische Einordnung von Modularisierungseffekten der innerbetrieblichen Wertschöpfung

Nachdem sich die vorangestellten Ausführungen primär mit der Frage nach der Existenz von Modularisierungseffekten und deren Wirkung auf die Erfolgsfaktoren des Unternehmens befasst haben, soll nachfolgend detailliert die funktionsbereichsspezifische Wirkung der kategorisierten Effekte aufgezeigt werden.

In ihrer Arbeit beziehen sich ULRICH UND TUNG (1991, S.73) primär auf die Modularität als Eigenschaft eines diskreten Produkts und diskutieren ausführlich die Vor- und Nachteile von Modularität sowie auf welche Art und Weise Modularität zur Standardisierung von Komponenten bei gleichzeitiger Erhöhung der Produktvarietät eingesetzt werden kann (vgl. ebenda, S.75ff.). Obwohl die Ausführungen primär auf das Produkt fokussiert sind, sehen ULRICH UND TUNG (1991, S.79) auch weiteren Forschungsbedarf hinsichtlich der Wechselwirkung zwischen der Wahl des Produktmodularitätstypes und der Wahl der Organisationsstruktur. Nach Einschätzung der Autoren müssen strategische Entscheidungen der Produktstruktur immer im Gesamtkontext des Wettbewerbsumfelds, der Leistungsfähigkeit von Entwicklung und Produktion sowie der aktuellen und zukünftigen Lieferantenstruktur erfolgen (vgl. Ulrich & Tung 1991, S.78).

PERSSON (2004) untersucht in seiner Arbeit den Einfluss einzelner Organisationseinheiten auf die modulare Produktstruktur. Resultierend aus den Ergebnissen durchgeführter Interviews in den Unternehmensbereichen Entwicklung, Produktion, Vertrieb und Service zur Identifizierung bereichsspezifischer Modularisierungskriterien kommt PERSSON (2004, S.32ff.) zu der Erkenntnis, dass es neben bereichsspezifischen Kriterien in einem Unternehmen auch bereichsübergreifende Modularisierungskriterien gibt, die sich aufgrund unterschiedlicher Bereichsziele teilweise negativ beeinflussen. Als Beispiel führt PERSSON (2004, S.32) die Zunahme der Variantenanzahl an, die aus Sicht des Vertriebs vorteilhaft erscheint, aber gleichzeitig die Produktion durch eine komplexer werdende Variantensteuerung negativ beeinflusst.

Daher empfiehlt PERSSON (2004, S.36) Unternehmen zur Vermeidung bereichsübergreifender negativer Ausstrahlungseffekte einen holistischen Ansatz, um durch Berücksichtigung existierender bereichsspezifischer Kriterien den optimalen trade-off bei der Festlegung der optimalen Produktmodularisierung zu identifizieren. Dies setzt jedoch gleichzeitig eine Priorisierung identifizierter Modularisierungskriterien der einzelnen Unternehmensbereiche voraus (vgl. Persson 2004, S.37). Wie ein solcher Priorisierungsprozess aussehen kann, lässt PERSSON in seiner Arbeit jedoch offen.

Entsprechend KERSTEN ET AL. (2009, S.1137) liegt die Grundvoraussetzung für die angesprochene Priorisierung in der Identifikation relevanter Modularisierungseffekte sowie deren Wirkungszusammenhänge im Unternehmen. Der von den Autoren präsentierte kennzahlenbasierte Ansatz (vgl. Kersten et al. 2009) ermöglicht detaillierte Aussagen

über die Wirkungszusammenhänge von Modularisierungseffekten auf die jeweiligen Bereiche der Wertschöpfungskette. Hierzu werden identifizierte Modularisierungseffekte in Abhängigkeit ihrer Kostenwirkung den betrachteten Bereichen Entwicklung & Design, Fertigung, Montage, Lagerbestand, Wartung, Reparatur und Entsorgung zugeordnet.

In einem zweiten Schritt werden Kennzahlen, die sowohl einen kostenrelevanten Informationscharakter besitzen als auch quantifizierbar sind, abgeleitet und ebenfalls den jeweiligen Bereichen der Kostenentstehung zugeordnet. Die Verknüpfung beider Schritte liefert einen systematischen Bewertungsansatz, mit dem kostenrelevante Modularisierungseffekte entsprechend ihrer Kostenwirkung den einzelnen Teilbereichen der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette zugeordnet und mittels geeigneter Kennzahlen quantifiziert werden können. In ihrer Zusammenfassung merken KERSTEN ET AL. (2009, S.1140) einschränkend an, „dass die einzelnen Konsequenzen der Modularisierung nicht hinreichend durch die korrespondierende Kennzahl beschrieben werden können. Vielmehr müssen auch indirekte Effekte auf andere Kennzahlen berücksichtigt werden, wodurch sich ein komplexes Geflecht an Wechselwirkungen ergibt“.

Folglich sehen die Autoren ihr Konzept eher als Grundlage für die nachgelagerte Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungssystems und nicht als ein in der Praxis einsetzbares Tool zur Ableitung strategischer Entscheidungen.

Eine Limitation dieses Konzepts liegt in der Nichtberücksichtigung der Beschaffung als zentrales Element der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette, wodurch die aufgezeigten Wechselbeziehungen nur unvollständig ableitbar sind und somit die Forderung nach einer ganzheitlichen Betrachtung der Modularisierungswirkung im Unternehmen nicht erfüllt ist.

Die Ausführungen von PERSSON (2004) und KERSTEN ET AL. (2009) verdeutlichen, dass eine alleinige Kenntnis über existierende Modularisierungseffekte nicht ausreicht. Vielmehr müssen auch die Wirkungszusammenhänge zwischen den Effekten und die aus den Effekten resultierenden wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen Funktionsbereichen des Unternehmens betrachtet werden, da die hieraus ableitbaren Erkenntnisse für die Entwicklung eines praxisorientierten Entscheidungsunterstützungssystems erforderlich sind.

Basierend auf den in der Literatur identifizierten und kategorisierten Modularisierungseffekten liegt das Ziel dieses Kapitels folglich in der weiterführenden Detaillierung der funktionsbereichsspezifischen Effektwirkung, um hieraus anschließend eine Zuordnung der Modularisierungseffekte zu den Funktionsbereichen der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette abzuleiten.

### 3.2.2.1 Modularisierungseffekte der Entwicklung

Durch die fahrzeugübergreifende Verwendung modular aufgebauter standardisierter Komponenten können Neukonstruktionen vermieden und somit sowohl Entwicklungskosten als auch Entwicklungszeit durch resultierende Skaleneffekte reduziert werden (vgl. Baldwin & Clark 2000, S.6; Gonsior 2008, S.153; Fisher et al. 1999, S.299; Piller & Waringer 1999, S.70).

Die Skaleneffekte werden überwiegend dadurch generiert, dass ein im Vergleich zur integralen Bauweise deutlich höheres Potenzial paralleler Entwicklungstätigkeit durch einen modularen Produktaufbau realisiert werden kann (vgl. Loch et al. 2001, S.674). Durch die aus dieser Parallelisierung der Entwicklungsarbeit, auch Simultaneous Engineering genannt, und die hieraus resultierende Verkürzung der Entwicklungszeit geht GONSIOR (2008, S.163f.) von der Realisierung von Kosteneinsparungen und einer gesteigerten Entwicklungsflexibilität aus. So ist durch die Entkopplung des Lebenszyklus von Fahrzeug und Modulkomponenten die Integration neuer Funktionen flexibler bei gleichzeitig geringerem Zeitaufwand möglich (vgl. Junge 2005, S.100f.).

Das setzt aber voraus, dass die Prozesse des Simultaneous Engineering so gewählt werden, dass unerwünschte Rückkopplungen durch erforderliche Änderungen in späten Phasen des Entwicklungsprozesses vermieden werden, um einen Anstieg der Prozesskomplexität zu verhindern und Synergieeffekte zu realisieren (vgl. Dehnen 2004, S.113f. und S. 166). Gerade durch den fahrzeugübergreifenden Verbau erhöht sich aber die Wahrscheinlichkeit technisch erforderlicher Änderungen an Komponenten zur Anpassung an Fahrzeuge mit einem späteren Markteinführungszeitpunkt, wodurch der Aufbau von Skaleneffekten negativ beeinträchtigt wird (vgl. Arnoscht 2011, S.63). Daher sieht PILLER (2000, S.264) die Entwicklung eines modularen Baukastensystems gegenüber einer integralen Bauweise pauschal mit deutlich höheren Aufwendungen verbunden, ohne jedoch seine Aussage weiter zu detaillieren.

Gleichzeitig erhöht sich durch die Mehrfachverwendung einzelner Komponenten deren Reifegrad, was potenziell zu einem Qualitätsanstieg des Gesamtprodukts führt (vgl. Piller & Waringer 1999, S.79). Dieser positive Qualitätseffekt wird durch eine erleichterte Durchführbarkeit von Funktionstests aufgrund deren Separationsfähigkeit in einem modularen Produktaufbau unterstützt, da die spezifische Funktion entsprechend der idealen 1-zu-1 Beziehung (vgl. Kap. 2.2.2.4) eindeutig einer Komponente zugeordnet werden kann. Da aber die Durchführung paralleler Tests die aus den Testergebnissen ableitbaren Lernmöglichkeiten für Folgetests minimiert, ist dieser Effekt nicht zwingend als positiv zu bewerten, sondern muss hinsichtlich des trade-offs zwischen Zeit- und Kostenersparnis einerseits und Lerneffekt andererseits bewertet werden (vgl. Loch et al. 2001, S.665). Außerdem können trotz einer positiven Durchführung komponentenspezifischer Einzel-

tests nach der Integration Fehler am Gesamtfahrzeug auftreten, wodurch die Notwendigkeit zur Durchführung technischer Versuche mit dem Gesamtfahrzeug weiterhin gegeben ist (vgl. Gonsior 2008, S.169; Göpfert & Steinbrecher 2000, S.22).

Durch den ganzheitlich betrachtet tendenziell geringeren Gesamtbedarf an Entwicklungsressourcen für eine modulare Produktarchitektur, können freie Managementressourcen zusätzlich bei der Entwicklung risikobehafteter Module eingesetzt werden, wodurch das Entwicklungsrisiko reduziert werden kann (vgl. Kopenhagen 2004, S.25). Außerdem sieht GONSIOR (2008, S.160) durch die Konzentration potentieller Risiken auf wenige Module qualitative Vorteile für das Risikomanagement des Unternehmens.

Gleichzeitig erhöht die durch die Kosten- und Zeitersparnis ausgelöste Konzentration auf die mögliche Verwendung standardisierter Module über mehrere Modellgenerationen hinweg die Gefahr einer Innovationserosion, da Innovationserfordernisse nicht erkannt werden (vgl. Piller 2000, S.264). GONSIOR (2008, S.163) begründet das erhöhte Risiko damit, dass es sich bei der Modularisierung primär um eine Produktstrukturierungsstrategie handelt und nicht die Entdeckung neuer Technologien im Fokus steht. Die fehlende Berücksichtigung notwendiger Innovationen kann sich negativ auf die Zielerreichung und somit auch auf die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens auswirken (vgl. Gonsior 2008, S.163).

### 3.2.2.2 Modularisierungseffekte der Beschaffung

FIXSON (2005, S.346f.) führt in seiner Arbeit aus, dass eine Vielzahl strategischer und operativer Entscheidungen, die im Rahmen des Produktlebenszyklus getroffen werden, abhängig von der gewählten Produktstrukturierung sind und der Modularitätsgrad somit eine koordinierende Funktion bzgl. des Produkts, der Prozesse und der Supply Chain besitzt. Der von FIXSON (2005) entwickelte methodische Ansatz der Product Architecture Map ermöglicht durch die Verknüpfung der drei Perspektiven Produkt, Prozess und Supply Chain deren umfassende Berücksichtigung bei relevanten Entscheidungen zur Produktarchitektur. Obwohl die Supply Chain eine Betrachtungsdimension darstellt, bleibt FIXSON in seinen Ausführungen eine Aussage hinsichtlich möglicher Implikationen für die Beschaffung bzw. der aus der Anwendung der Methodik resultierende Wertbeitrag für die Beschaffung schuldig.

Der aus der Anwendung modularer Baukästen und dem damit einhergehenden fahrzeugübergreifenden Einsatz standardisierter Komponenten resultierende Volumeneffekt ermöglicht es der Beschaffung Kosteneinsparungen bei der Kaufteilbeschaffung zu realisieren (vgl. Müller 2000, S.142; Piller & Waringer 1999, S.78), da bei einem höheren Volumen tendenziell niedrigere Einkaufspreise zu erwarten sind (vgl. Eitelwein et al. 2012, S.83). Anfallende Entwicklungs- und Produktionsausgaben können auf eine breitere Amortisationsbasis umgelegt werden, wodurch sich die Kostenumlage je Fahrzeuge reduziert (vgl. Kamrani & Nasr 2010, S.83; Ulrich & Tung 1991, S.75). Gleichzeitig erhöht

sich, ausgelöst durch den Volumeneffekt, die Verhandlungsmacht der Beschaffung, wodurch weitere positive Kosteneffekte generiert werden (vgl. Skirde 2015, S.146).

Ein Grund für die Volumenbündelung liegt darin, dass ein Modular Sourcing oft mit einer Fokussierung auf eine einzelne Bezugsquelle (Single Sourcing, u.a. zur Generierung von Kostenreduzierungen) oder zwei Bezugsquellen (Dual Sourcing, u.a. zur Reduzierung des Risikos und Erhöhung der Flexibilität) einhergeht (vgl. Krampf 2000, S.201f.).<sup>49</sup> Da im Rahmen eines Modular Sourcing große modular gestaltete Umfänge am Beschaffungsmarkt angefragt werden (vgl. Erixon 1998, S.128), kann durch Modularisierung die Anzahl der 1-tier Lieferanten reduziert werden (vgl. Takeishi & Fujimoto 2001, S.385). Gleichzeitig wird die Koordination sämtlicher Unterlieferanten innerhalb der Lieferkette dem 1-tier Lieferanten übertragen (vgl. Arnold 2000, S.27). Modularisierung trägt somit zur Entstehung der für die Automobilindustrie charakteristischen Lieferantenpyramiden bei (vgl. Dehnen 2004, S.100).

Durch die reduzierte Anzahl von 1-tier Lieferanten und die damit einhergehende Ausdünnung der Supply-Chain, zumindest auf der ersten Stufe, können aus Sicht der Beschaffung der zeit- und kostenintensive Koordinationsaufwand und damit die Komplexität des Beziehungsgeflechts zwischen OEM und Lieferant reduziert werden (vgl. Gonsior 2008, S.166). Eine Ursache hierfür liegt in den reduzierten Beschaffungsprozesskosten begründet (vgl. Gonsior 2008, S.181), da eine sinkende Lieferantenzahl sowohl die Anzahl an Verhandlungen im Vergabeprozess als auch den Aufwand für das Lieferanten-Monitoring reduziert.

Gleichzeitig führt eine Volumenbündelung aufgrund der Steigerung des Gleichteilanteils durch die zunehmende Standardisierung dazu, dass absolut gesehen weniger Beschaffungsvorgänge notwendig sind und dadurch sowohl der Beschaffungsaufwand als auch die Beschaffungskosten gesenkt werden können (vgl. Skirde 2015, S.146). Aus seiner durchgeführten Fallstudie bei Ford extrahiert MACDUFFIE (2013, S.24) bezogen auf die Beschaffung modularer Komponenten hierzu folgende Erkenntnis: „The perceived advantages included assigning full responsibility for costs, quality, and delivery to a single supplier, thus reducing coordination requirements, simplifying procurement, and improving accountability“.

Da Lieferanten durch die Konzentration auf Kernkompetenzen über ein komponentenspezifisches Know-how verfügen, geht PILLER (2000, S.361f.) davon aus, dass Lieferanten gegenüber der internen Leistungserstellung im Unternehmen eine höhere Ressourceneffizienz besitzen und durch die Spezialisierung mehr von Lernkurveneffekten

---

<sup>49</sup> Die Wahl der jeweilig anzuwendenden Sourcing-Strategie ist in hohem Maß abhängig von den jeweiligen Marktgegebenheiten und der Wettbewerbsposition des Unternehmens, da jede Beschaffungsstrategie hinsichtlich der Kosten-, Leistungs-, Risiko-, Flexibilitätswirkung ihre Vor- und Nachteile besitzt (vgl. Wannewetsch 2004, S.119ff.)

profitieren können. Dadurch ist es Lieferanten möglich, ihre Komponenten kostenoptimal in verkürzter Zeit und mit einer gesteigerten Qualität bereitzustellen. Durch den gesteigerten Flexibilitätsgrad werden die Differenzierungsoptionen des OEMs in Bezug auf eine kundenspezifische Leistungserstellung gefördert.

Dem gegenüber werden als negative Ausprägungen einer steigenden Lieferantenkonzentration eine zunehmende Schwierigkeit der Plausibilisierung von Lieferantenangeboten, gesteigerte Kosten durch Effizienzeinbußen beim Lieferanten, Verlust der Markendifferenzierung, Gefahr negativer Ausstrahlungseffekte durch Qualitätsprobleme und die Entstehung redundanter Prozesse im Zuge eines notwendigen Monitorings des Lieferanten genannt (vgl. MacDuffie 2013, S.24). Da durch Modulare Baukästen das Beziehungsgeflecht und damit die Abhängigkeiten durch die marken- und segmentübergreifende Verwendung von Komponenten an Komplexität gewinnt, gestaltet sich die Bedarfsanalyse für die Beschaffung zunehmend schwieriger und erfordert eine enge Abstimmung zwischen den einzelnen Funktionsbereichen der Wertschöpfungskette, wodurch der Handlungsspielraum durch aufkommende Restriktionen eingeschränkt wird (vgl. Gonsior 2008, S.173f). MACDUFFIE (2013, S.20) sieht daher einen erhöhten Koordinationsaufwand und daraus resultierende Koordinationskosten in der Modularisierung begründet. Aus Sicht des OEM birgt der mit der Konzentration auf Kernkompetenzen verbundene zunehmende Wissenstransfer zum Lieferanten außerdem die Gefahr, dass dieses verlorengegangene Know-how wieder in Form von hohen Einzelkosten vom Lieferanten zurückgekauft werden muss (vgl. Gneiting & Sommer-Dittrich 2008, S.106). Gleichzeitig führt Modularisierung tendenziell zu langfristigen Lieferantenbeziehungen, welches die Hürden für einen potenziellen Wettbewerber erhöht und damit den Wettbewerbsdruck auf dem Beschaffungsmarkt unter den Lieferanten verringert (vgl. Arnheiter & Harren 2005, S.701).

Folglich sieht sich die Beschaffung zunehmend einer steigenden Marktmacht der Lieferanten und starren Lieferantenstrukturen gegenüber, die die Verhandlungsposition der Beschaffung aus Sicht des OEM negativ beeinflusst (vgl. Takeishi & Fujimoto 2001, S.386; Piller & Waringer 1999, S.112). PILLER und WARINGER (1999, S.112) sehen einen Grund der steigenden Marktmacht in einem zunehmenden Konzentrationsprozess auf dem Zulieferermarkt ausgelöst durch die Forderung der OEMs nach verkürzten Innovationszyklen und einer Reduzierung des Kostenniveaus. Gleichzeitig stellt der Fremdbezug komplexer Fahrzeugkomponenten erhöhte Anforderungen an die Entwicklungs- und Finanzressourcen der Lieferanten, wodurch der Konsolidierungszwang unter den Lieferanten weiter erhöht wird. Als Ergebnis wird der Lieferantenmarkt zunehmend von Global Playern bestimmt mit den bereits formulierten nachteiligen Effekte für die Beschaffung. Sowohl die Reduzierung der 1-tier Lieferanten als auch die Konsolidierungstendenzen auf dem Beschaffungsmarkt führen dazu, dass bei modularen Baukästen die Flexibilität der Beschaffung bei auftretenden Qualitäts- und Versorgungsproblemen einen Lieferantenwechsel durchzuführen eingeschränkt und nur mit großem Aufwand zu bewerkstelligen ist (vgl. Gonsior 2008, S.172; ebenda S.185).

Im Gegensatz dazu kann bzgl. der Marktmacht aber auch positiv attestiert werden, dass mit steigender Marktmacht und Größe der Lieferanten auch deren Finanzkraft ansteigt. Dadurch ist es Lieferanten besser möglich Preis- und Nachfrageschwankungen durch die Volatilität der Märkte abzufedern, wodurch das Risiko für mögliche Lieferausfälle oder Insolvenzen für den OEM gesenkt werden kann (vgl. Gonsior 2008, S.191).

Ohne dass MACDUFFIE (2013) in seinen Ausführungen expliziert darauf hinweist, wird sehr gut ersichtlich, welchen Spagat die Beschaffung im Rahmen der Festlegung einer optimalen Beschaffungsstrategie lösen muss. Das Optimum, nämlich Minimierung von Kosten und gleichzeitige Minimierung der Gefahr einer Lieferantenabhängigkeit und deren Risiken hinsichtlich Qualität und termingerechter Versorgung, wird dabei auch vom Grad der Produktmodularität determiniert (vgl. auch Piller & Waringer 1999, S.110).

### 3.2.2.3 Modularisierungseffekte der Produktion und Logistik

Die Auswirkungen modularer Baukästen auf die Produktion fasst GONSIOR (2008, S.198) wie folgt zusammen: „Die geringere Komplexität der Auftragsbearbeitung gekoppelt mit standardisierten Bausteinen, kürzeren Durchlaufzeiten und geringeren Lieferrisiken, erlaubt in Summe eine effizientere Produktionsprogrammgestaltung.“ Die effizientere Produktionsprogrammgestaltung wiederum ermöglicht einen ausgewogeneren Einsatz bestehender Kapazitäten (vgl. Gneiting & Sommer-Dittrich 2008, S.103). Somit können durch die Anwendung modularer Baukästen und die damit einhergehende Standardisierung der Produktionsprozesse Synergieeffekte generiert werden, die das produktionspezifische Kosten-, Qualitäts- und Flexibilitätsniveau positiv beeinflussen (vgl. Gonsior 2008, S.199).

Modulare Baukästen ermöglichen durch die bereits erläuterten erhöhten Outsourcing-Tendenzen von modularen Baugruppen und die hiermit verbundene Reduzierung der vertikalen Fertigungstiefe eine schlankere Gestaltung der Produktion (vgl. Pandremenos et al. 2009, S.149). Ein modularer Produktaufbau vereinfacht somit den Montageaufwand und reduziert die Montagekosten, da durch die reduzierte Fertigungstiefe der Koordinationsaufwand der innerbetrieblichen Abläufe innerhalb des Montageprozesses minimiert wird (vgl. Piller & Waringer 1999, S.77).

Durch den fahrzeugübergreifenden Einsatz werden Bauteile häufiger eingesetzt. Dies spiegelt sich in größeren Losgrößen und damit verbunden geringeren Rüstvorgängen wider (vgl. Gonsior 2008, S.199f.). Die dadurch ermöglichte Beibehaltung bestehender Produktions- und Montageprozesse reduziert den Investitionsbedarf in neue Anlagen und erhöht gleichzeitig die Produktivität. Bezogen auf den Erfolgsfaktor Zeit kann durch die Nutzung von Beschleunigungseffekten aufgrund einer Vor- und Parallelfertigung modularer Teilkomponenten durch die Anwendung modularer Baukästen im Vergleich zur sequentiellen Fertigung eine Reduzierung der Durchlaufzeiten erzielt werden (vgl. Piller & Waringer 1999, S.78; Zettl 2009, S.48).

Der hieraus resultierende Anstieg des Produktionsvolumens trägt zur Realisierung von Skaleneffekten bei, da die existierenden Fixkosten auf ein größeres Produktionsvolumen umgelegt werden können (vgl. Fisher et al. 1999, S.299; Junge 2005, S.111; Müller 2000, S.142; Piller & Waringer 1999, S.70f.; ebenda, S.75).

Die Vereinfachung der Montageprozesse bei gleichzeitigem Anstieg der Losgrößen und die mit der Modularisierung einhergehende Konzentration auf Kernkompetenzen tragen außerdem in hohem Maß zu einer Qualitätssteigerung des Endprodukts bei, da Lernkurveneffekte schneller realisiert und die Gefahr möglicher Montagefehler reduziert werden (vgl. Gonsior 2008, S.203; Junge 2005, S.108f.; Piller 2000, S.263; Piller & Waringer 1999, S.78; Zettl 2009, S.48).

Bezogen auf den logistischen Teilaspekt der Produktion, ermöglicht eine modulare Produktstrukturierung eine optimierte Zerlegbarkeit des Gesamtprodukts in Teilkomponenten für den Transport. Die dadurch zu erzielende Optimierung der Ressourcenauslastung der Transportmittel führt zu einer Senkung der Logistikkosten (vgl. Zettl 2009, S.49).

WATANABE UND ANE (2004, S.583) zeigen in ihrer Arbeit den positiven Effekt modular gestalteter Produkte hinsichtlich der operativen, strategischen und strukturellen Flexibilität sowie Verkürzung der Durchlaufzeit des Produktionsprozesses und leiten hieraus eine gesteigerte Produktionsagilität bei der Anpassung an sich ändernde Bedingungen ab.

In ähnlicher Weise äußert sich auch JUNGE (2005, S.109), der in einer modularen Produktgestaltung eine positive Effektwirkung hinsichtlich der Flexibilisierung des Fertigungslayouts sieht, die es dem OEM aufgrund eines erhöhten Reaktionsvermögens ermöglicht, sich flexibler an schwankende Bedarfszahlen anzupassen.

Ergänzend begründen KAMRANI UND NASR (2010, S.82) diese flexibilitätssteigernde Wirkung zum Ausgleich von Nachfrageschwankungen innerhalb der Produktion damit, dass der ausschlaggebende Differenzierungspunkt für die Anpassung an spezifische Kundenwünsche durch die modulare Produktstrukturierung auf einen möglichst späten Zeitpunkt im Fertigungsprozess gelegt werden kann. Diese Verlagerung der kundenindividuellen Produktpassung wird als *Postponement-Strategie* bezeichnet (vgl. Kamrani & Nasr 2010, S.82). Durch die Verlagerung des Variantenbestimmungspunktes für die kundenindividuelle Produktpassung kann Einfluss auf die Produktprogrammkomplexität ausgeübt werden (vgl. Mayer 2007, S.38).

#### 3.2.2.4 Modularisierungseffekte des Vertriebs und After-Sales

Die Nutzung modularer Baukästen erhöht aus Sicht des Vertriebs die kundenindividuelle Anpassungsfähigkeit des eigenen Produktsortiments, da die Markteinführung neuer Varianten verkürzt werden kann (vgl. Piller & Waringer 1999, S.52; ebenda S.71).

Eine modulare Produktstruktur erleichtert durch die flexible Kombination standardisierter und teilweise vorgefertigter Komponenten die Anpassungsfähigkeit an Kundenwünsche.

Gleichzeitig wirkt sich die niedrigere Eindringtiefe des Kundenauftrags in die innerbetrieblichen Wertschöpfungsstufen positiv auf die Durchlaufzeiten aus. Hierdurch werden eine schnellere Auslieferung an den Kunden ermöglicht und vertriebsbedingte (Service)-Kosten reduziert (vgl. Müller 2000, S.142; Piller 2000, S.263; Ulrich & Tung 1991, S.75; Watanabe & Ane 2004, S.583; Zettl 2009, S.48).

Während der Nutzungsphase ermöglicht der erleichterte Montage- und Demontageaufwand modularer Produktkomponenten dem Kunden eine optimierte funktionale Produkthanpassung an seine jeweiligen Anforderungen (vgl. Gneiting & Sommer-Dittrich 2008, S.102f.; Göpfert & Steinbrecher 2000, S.22; Junge 2005, S.116).<sup>50</sup> Gleichzeitig unterstützt der Einsatz standardisierter Komponenten eine effiziente Instandhaltung und Modifikation, wodurch fehlerbedingte Stillstandzeiten reduziert und die Instandhaltungskosten aus Sicht des Kunden reduziert werden (vgl. Gonsior 2008, S.208; Junge 2005, S.116f.; Zettl 2009, S.49). Für den OEM ergeben sich gleichzeitig durch den hohen Standardisierungsgrad und die damit verbundene reduzierte Teilevielfalt verminderte Lagerhaltungskosten im After-Sales (vgl. Müller 2000, S.142).

Hieraus resultierend ermöglicht ein modularer Produktaufbau einerseits eine schnellere Wartung und Reparatur bzw. den Austausch defekter Module, da eine langwierige Suche nach dem defekten Einzelteil innerhalb des Moduls vermieden wird. (vgl. Gonsior 2008, S.208; Piller & Waringer 1999, S.53; Ulrich & Tung 1991, S.76). Andererseits wird die Anpassungsfähigkeit des Gesamtprodukts an die unterschiedlichen Produktlebenszyklen einzelner Komponenten erhöht (vgl. Arnheiter & Harren 2005, S.706; Koppenhagen 2004, S.25; Piller & Waringer 1999, S.76; Ulrich & Tung 1991, S.76). Eine modular gestaltete Fahrzeugkomponente, die dies sehr gut abbildet, ist das Rad, bestehend aus Felge und Reifen. Da der Reifen aufgrund einer erhöhten Abnutzung einen deutlich kürzeren Produktlebenszyklus durchläuft, ermöglicht der modulare Aufbau einen separaten Austausch des Reifens bei gleichzeitiger Weiternutzung der Felge. Wäre diese Trennung nicht gegeben, müsste das Rad stets komplett ausgetauscht werden, da sich die Lebensdauer immer an der Teilkomponente mit dem höchsten Verschleiß, in diesem Fall den Reifen, orientieren muss.

Die hieraus resultierende erleichterte Recyclingfähigkeit modularer Komponenten gewinnt vor allem im Hinblick auf das Recyceln umweltschädlicher Stoffe in Zeiten eines zunehmenden Umweltbewusstseins der Kunden und existierender Umweltregularien verstärkt an Bedeutung. Positive Effekte bzgl. der Recycelbarkeit eines modularer aufgebauten Produktes sind immer dann zu realisieren, wenn der Einsatz verschiedener Materialien innerhalb des Moduls bzw. der Einsatz umweltschädlicher Stoffe auf spezifische Module begrenzt wird (vgl. Erixon 1998, S.77).

---

<sup>50</sup> Hierbei handelt es sich um eine generelle Aussage modularer Produktgestaltung und ist nicht als eine allein auf die Automobilindustrie bezogene Aussage zu verstehen.

Die beschriebene positive Wirkung modularer Baukästen hinsichtlich des After-Sales besitzt für den OEM somit eine hohe Relevanz, da die produktbegleitenden Service-Leistungen aus Sicht der Kunden eine kaufentscheidenden Faktor darstellen (vgl. Gonsior 2008, S.207).

Wie bereits ausgeführt kann ein steigender Modularitätsgrad auch negative Effektwirkungen hervorrufen. Aus Vertriebsicht steigt mit zunehmender Produktmodularität die Gefahr negativer Ausstrahlungseffekte durch Produktpiraterie, da die Imitation eines Moduls durch dessen existierende funktionale und physische Abgrenzbarkeit für Wettbewerber erleichtert wird (vgl. Eitelwein et al. 2012, S.81; Piller & Waringer 1999, S.84; Ulrich & Tung 1991, S.76). Durch den Einsatz von Modulen ist es Wettbewerbern somit möglich trotz fehlenden Wissens und eingeschränkter Fähigkeiten Produktfunktionen eines Wettbewerbers leichter zu imitieren. Als Folge sinken mit steigendem Modularitätsgrad die Markteintrittsbarrieren für potentielle Wettbewerber (vgl. Arnheiter & Harren 2005, S.701).

### **3.2.3 Zuordnung der Modularisierungseffekte zu den Funktionsbereichen der Wertschöpfungskette**

In Analogie zu Kapitel 3.1 erfolgte, basierend auf der vorangestellten detaillierten Diskussion der aus der Literaturrecherche extrahierten Modularisierungseffekte und deren erfolgsfaktorenspezifischen Kategorisierung (siehe Kap. 3.2.1), die wirkungsspezifische Zuordnung exemplarisch gewählter Modularisierungseffekte zu den einzelnen Funktionsbereichen der innerbetrieblichen Wertschöpfung (siehe Kap. 3.2.2). Die dadurch im Rahmen der zweiten Stufe des Analyseprozesses gewonnenen Erkenntnissen sind in Tabelle 6 in Form einer Zuordnungsmatrix zusammenfassend dargestellt.

Auch hier erfolgt, basierend auf der bereits bei der Zuordnung der Komplexitätstreiber erläuterten Schwierigkeit einer eindeutigen Zuordenbarkeit (siehe 3.1.3), die Wirkungszuordnung und die Festlegung der Wirkungsintensität der Modularisierungseffekte funktionsbereichsübergreifend.

		Funktionsbereichs-spezifische Zuordnung auf Basis der Effektwirkung			
		Entwicklung & Design	Beschaffung	Produktion & Logistik	Vertrieb & After-Sales
Kosten	Skaleneffekte	+	+	+	+
	Entwicklungskosten	++	+		
	Montagekosten		+	++	
	Herstellkosten		+	+	
	„Blindleistung“/ physische Redundanz	+			
	Investitionskosten		+	+	
	Servicekosten				+
	Lagerhaltungskosten	+	+		
	Gleichteileverwendung			++	+
	Rüstkosten		+	++	
	Koordinationskosten	+	+	+	
	Entwicklungskapazität	++	+		
	Erprobungskosten	++	+		
	Transportkosten		+	++	
	Logistikkosten (i. betr.)		+	++	
Zeit	Bestandskosten			++	+
	Prozesskosten	+	+	+	+
	Ausschusskosten		+	++	
	Entwicklungszeit/ Simultaneous Engineering	++	+		
	Durchlaufzeit/ Time to Market			+	++
	Montagezeit			+	
	Ersatzteilverfügbarkeit/ Maintenance and repair				+
	Lernkurveneffekte	+	+	+	
	Koordinationsaufwand	+	+	+	
	Beschaffungsaufwand/ Monitoring der Lieferanten	+	++		
	Produktdokumentation	+			
	Produktportfoliotransparenz			+	++
Qualität	Qualitätssteigerungen	+	+	++	+
	Funktionstests	+			
	Produktivität		+	++	
	Fehlerlokalisierungen	++			+
	Montage-/ Demontageaufwand beim Kunden				+
Flexibilität	Entwicklungsproduktivität	+			
	Customization	+			++
	Modular Sourcing (Outsourcing)		++	+	
	Carry-Over	++	+	+	
	Postponement			++	+
	Kapazitäten	++	+	++	
	Recyclingsfähigkeit	+			++
	Lieferantenanzahl	+	++		
Risiko	Fertigungsinselbildung			+	
	Synergien	+	+	+	+
	Produkt-Kannibalisierung	+		+	++
	Lieferantenabhängigkeit	+	++	+	
	Produktpiraterie				+
	Innovationserosion	++	+		
	Entwicklungsrisiko	++	+		
	Ausstrahlungseffekte/ Rückriufe	+	+		+

Tabelle 6: Zuordnungsmatrix der Effektwirkung von Modularisierung auf die Funktionsbereiche der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette

### **3.3 Integrative Zusammenführung der Ergebnisse aus dem aktuellen Stand der Wissenschaft und Implikation für die Beschaffung**

Produktkomplexität spiegelt sich in der Regel in allen Unternehmensbereichen mit einer positiven Korrelation wider (vgl. Koeppen & Kersten, 2008, S.304). Damit spiegelt sich die Komplexität eines Produktes stets auch in der strukturellen Komplexität des Gesamtunternehmens wider und beeinflusst die unternehmerischen Erfolgsfaktoren (vgl. Gießmann 2010, S.40). Da aus Unternehmenssicht mit steigender Komplexität der Koordinationsaufwand innerhalb der Wertschöpfungskette steigt und die Flexibilität abnimmt (vgl. Gonsior 2008, S.233), ist die Implementierung von Konzepten zur Gestaltung eines optimierten Komplexitätsniveaus eine der zentralen Aufgaben des Komplexitätsmanagements zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens (vgl. Eversheim et al. 1998, S.43).

Mit der Implementierung modularer Baukästen verfolgen OEMs das Ziel mittels Verringerung der Teile- und Relationsvielfalt die Teilekomplexität und resultierend daraus die Produktkomplexität des Fahrzeugs zu senken (vgl. Dehnen 2004, S.69f.; Eversheim et al. 1998, S.32). Durch eine reduzierte Teilekomplexität sinkt bereichsübergreifend die Koordinationskomplexität, da durch die reduzierte Teilevielfalt die Verflechtungen innerhalb der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette und damit der Koordinationsaufwand abnehmen (vgl. Piller 2000, S.263). Modulare Baukästen ermöglichen einen flexiblen fahrzeug- und segmentübergreifenden Verbau einzelner Komponenten, wodurch eine hohe Produktvarietät realisiert und damit das Produktprogramm marktorientiert an den Kundennutzen angepasst werden kann. ARNHEITER UND HARREN (2005, S.707) konstatieren hierzu: „Module characteristics contribute to the success of the overall product“. Die durch die Implementierung modularer Baukästen realisierbaren Effekte ermöglichen es Unternehmen Vorteile hinsichtlich Kosten, Qualität, Zeit, Flexibilität und Risiko simultan und entlang des gesamten Produktlebenszyklus zu realisieren (vgl. Fixson & Clark 2002, S.136; Kersten et al. 2011, S.20). Damit tragen Modulare Baukästen zur Erhaltung und Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens bei.

Allerdings haben die bisherigen Ausführungen gezeigt, dass mit der Anwendung modularer Baukästen auch negative Effekte verbunden sein können. Es wurde bspw. angeführt, dass eine Erhöhung des Modularitätsgrades eine Verschlechterung der Produktperformance bewirken kann. DEHNEN (2004, S.70f.) führt hierzu an, dass durch den hohen Standardisierungsgrad modularer Baukästen sich erstens der Anteil redundanter physischer Strukturen erhöht und zweitens eine kostenverursachende Übererfüllung fahrzeugspezifischer Anforderungen entsteht. Ein stetig wachsender Standardisierungsgrad verstärkt somit die Gefahr von Overfitting und verursacht damit einen kostentreibenden Einsatz bestimmter Bauteile in Fahrzeugen volumenschwacher Segmente, da sich die technische Auslegung der Bauteile an den höchsten Anforderungen orientieren muss.

Baukastenentscheidungen müssen daher stets einer ganzheitlichen Wirtschaftlichkeitsanalyse über alle Baukastennutzer hinweg unterzogen werden.

Weiterhin ist durch den fahrzeug- und markenübergreifenden Einsatz die Wahrscheinlichkeit einer technisch notwendigen Bauteiländerung aufgrund der Vielzahl von Einflussfaktoren innerhalb des Baukastens gegenüber einer Einzelfahrzeugverwendung deutlich erhöht. Dadurch steigt die Gefahr, dass die im Rahmen der Vergabe erzielten Kosteneinsparungen hierdurch wieder reduziert bzw. schlimmstenfalls sogar in negativer Weise durch das erhöhte Kostenniveau überkompensiert werden (vgl. Röh 2011, S.10).

Es wurde weiterhin ausgeführt, dass zur Ableitung strategischer Entscheidungen bzgl. einer komplexitätsoptimierenden Gestaltung der Fahrzeugarchitektur und damit auch bzgl. der Strukturierung modularer Baukästen die ganzheitliche Betrachtung der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette und somit die Einbeziehung sämtlicher Funktionsbereiche in den Prozess der Entscheidungsfindung erforderlich ist (vgl. Ulrich & Tung 1991, S.78). TAKEISHI UND FUJIMOTO (2001, S.393) führen hierzu treffend aus: “[...] the key to successful modularisation for automakers probably lies in close cooperation and coordination between their development, production and purchasing functions, as well as with their suppliers”.

Dennoch ist ein solcher ganzheitlicher Betrachtungsansatz in den untersuchten Arbeiten nicht zu finden. Ordnet man die im Rahmen der Literaturrecherche als relevant identifizierten Arbeiten mit Bezug auf deren Themenschwerpunkt den einzelnen Funktionsbereichen des Unternehmens zu, ist festzustellen, dass sich viele Arbeiten bei der Untersuchung der modularen Effektivität primär mit dem Einsatz der Modulstrategie als einen entwicklungsorientierten Produktstrukturierungsansatz befassen (siehe Tabelle 7). Zu einer ähnlichen Feststellung gelangen auch FIXSON (2007, S.97) und DORAN UND HILL (2009, S.65) in ihren durchgeführten Literature Reviews.

In Summe können 114 Aussagen zur Effektivität dem Bereich Entwicklung & Design zugeordnet werden. Vergleicht man darüber hinaus die absolute Nennungshäufigkeit funktionsbereichsspezifischer Modularisierungseffekte, so werden in zwei Dritteln der Arbeiten die Bereiche Entwicklung & Design (14) und Produktion & Logistik (12) fokussiert betrachtet. Es muss festgestellt werden, dass gerade der Bereich der Beschaffung (4) trotz des hohen Erfolgsbeitrags nur rudimentäre Beachtung findet. Damit bekräftigt das Analyseergebnis der Literaturrecherche auch nach 14 Jahren noch immer die Aussage ESSIG's, dass „die Beschaffung bis heute zu den vernachlässigten Teildisziplinen der Betriebswirtschaftslehre“ gehört (Eßig 2007, S.234).

	Funktionsbereichsspezifische Fokussierung auf Modularisierungseffekte																													
	Arnheiter/Harren 2005	Baldwin/Clark 2000	Doran/Hill 2009	Eitelwein 2012	Erixon 1998	Fisher et al. 1999	Gneiting/ Sommer-Dittrich 2008	Gonsior 2008	Göpfert/Steinbrecher 2000	Junge 2005	Kamrani/Nasr 2010	Kersten et al. 2009	Kersten et al. 2011	Koppenhagen 2004	LaLande 2013	Loch et al. 2001	MacDuffie 2013	Meyer/Lehnerd 1997	Morris/Donnelly 2006	Müller 2000	Pandremenos 2009	Persson 2004	Piller/Wäringer 1999	Piller 2000	Takeishi/Fujimoto 2001	Ulrich/Tung 1991	Watanabe/Ane 2004	Zettl 2008	Absolute Häufigkeit	Fokussierung
Entwicklung & Design	1	4	1	3	6	3	3	9	7	4	3	3	17	5	1	3	3	1	1	2	3	5	7	4	0	6	0	9	114	14
Beschaffung	2	2	2	2	3	1	0	7	1	2	1	2	10	1	1	1	5	1	1	0	2	1	4	1	4	3	0	2	62	4
Produktion & Logistik	3	2	2	2	2	2	1	8	4	5	3	5	18	1	2	1	3	1	3	3	1	3	8	2	2	3	0	9	99	12
Vertrieb & After-Sales	2	2	1	4	4	1	5	5	4	5	3	3	8	4	1	0	2	1	2	3	1	3	5	2	0	6	2	5	84	8

Tabelle 7: Funktionsbereichsfokussierung relevanter Arbeiten mit Themenschwerpunkt Modularisierung<sup>51</sup>

Ein ähnliches Ergebnis liefert auch die Auswertung der Funktionsbereichsfokussierung bzgl. des Themenschwerpunkts Komplexität (siehe Tabelle 8). Auch wenn bei Betrachtung der Funktionsbereiche der Unterschied der absoluten Häufigkeit bereichsspezifischer Komplexitätstreiber im Vergleich zu den Modularisierungseffekten deutlich geringer ausfällt, liegt bei annähernd der Hälfte der relevanten Arbeiten die Fokussierung abermals auf dem innerbetrieblichen Funktionsbereich Entwicklung & Design.

	Funktionsbereichsspezifische Fokussierung auf Komplexitätstreiber																		
	Adam/Johannwille 1998	Bliss 2000	Bohne 1998	Dehnen 2004	Erixon 1998	Gießmann 2010	Gonsior 2008	Kersten et al. 2006	Kirchhof 2003	Mayer 2007	Meyer/Lehnerd 1997	Piller/Wäringer 1999	Piller 2000	Rodriguez 2007	Schaffer/Schleich 2008	Schuh 2005	Wildemann 1998	Absolute Häufigkeit	Fokussierung
Entwicklung & Design	6	11	9	5	1	18	4	9	10	9	1	12	11	3	1	5	10	125	12
Beschaffung	2	5	4	4	1	21	1	4	9	9	1	9	10	5	1	4	10	100	6
Produktion & Logistik	5	6	4	4	1	14	1	4	4	8	2	11	11	2	1	6	9	93	5
Vertrieb & After-Sales	4	9	5	3	0	19	2	6	13	8	0	8	8	2	0	4	10	101	2

Tabelle 8: Funktionsbereichsfokussierung relevanter Arbeiten mit Themenschwerpunkt Komplexität<sup>52</sup>

<sup>51</sup> Die Zahlen spiegeln die kumulierte Anzahl genannter Modularisierungseffekte wider, die basierend auf der in Tabelle 6 angewendeten Clusterlogik einem Funktionsbereich der innerbetriebliche Wertschöpfungskette zugeordnet werden können. Die Zuordnung eines Modularisierungseffektes zu mehreren Funktionsbereichen ist entsprechend der Wirkung des Effektes möglich. Die absolute Häufigkeit ist die aufsummierte Anzahl der Nennungen je Autor.

Die Fokussierung je Arbeit leitet sich aus der Rangfolge der Anzahl zugeordneter Modularisierungseffekte je Funktionsbereich ab. Haben mehrere Funktionsbereiche die gleiche Anzahl an Nennungen, wird von einer gleichgewichteten Fokussierung ausgegangen. Analog zur absoluten Häufigkeit wurde auch die Fokussierung kumuliert dargestellt, um eine ganzheitliche Häufigkeit der Funktionsbereichsfokussierung über alle untersuchten Arbeiten hinweg ableiten zu können.

<sup>52</sup> Die Zahlen folgen derselben Ableitungslogik wie in Tabelle 7. Abweichend liegt hier der Fokus auf dem Themenschwerpunkt Komplexität.

Das Ergebnis der Literaturrecherche unterstreicht daher die Feststellungen von GERSHENSON ET AL. (2003, S.307) und KERSTEN ET AL. (2011, S.26), dass weiterhin Forschungsbedarf in der Notwendigkeit zur Durchführung weiterer Fallstudien besteht, die existierende Modularisierungseffekte hinsichtlich ihrer [komplexitätsoptimierenden] Relevanz bzw. Wirkungsintensität näher untersuchen. Zu einer vergleichbaren Aussage kommen auch CAMPAGNOLO UND CAMUFFO (2010, S.277), die einen weiteren Forschungsbedarf in der Untersuchung des Wirkungszusammenhangs zwischen Produktmodularisierung und Unternehmensperformance sehen. FIXSON (2007, S.95) führt hierzu an, dass in aktuellen Konzepten vorrangig eine qualitative Auseinandersetzung mit Modularität vollzogen wird, ohne auf die Quantifizierung einzelner Modularisierungseffekte einzugehen. Auch MÜLLER (2000, S.150) sieht die weiterführende Erarbeitung quantitativer Methoden für eine ganzheitliche Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bei der Anwendung modularer Produktstrukturierungsansätze als unerlässlich an.

Eine universell einsetzbare Methode zur Optimierung des Komplexitätsgrads bei der Anwendung modularer Baukästen auf Basis eines integrativen Betrachtungsansatzes sämtlicher Funktionsbereiche der innerbetrieblichen Wertschöpfung ist jedoch bisher nicht existent (vgl. Castellanos 2012, S.18; Wynstra et al. 2000, S.129). Weiterhin hat die Literaturanalyse gezeigt, dass die thematische wissenschaftliche Diskussion bezogen auf die Komplexitätswirkung der Modularisierung primär aus der Entwicklungs- oder Produktionsperspektive beleuchtet wird. Die beschaffungsfokussierte Diskussion bzgl. der Komplexitätswirkung modularer Baukästen wird mit Ausnahme weniger Arbeiten (vgl. Gonsior 2008; Piller & Waringer 1999) vernachlässigt.

Führt man sich jedoch vor Augen, dass der exogene Komplexitätseinfluss der Unternehmensumwelt besonders stark in den Funktionsbereichen des Unternehmens mit direkter Schnittstellenfunktion zur Umwelt spürbar ist (vgl. Wildemann 1998, S.49), stellt nach Einschätzung GONSIORs (2008, S.299) die Beschaffung neben der Entwicklung denjenigen Funktionsbereich der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette dar, der sich mit der Komplexitätswirkung einer modularen Baukastenstrategie am intensivsten auseinandersetzen hat. Gemäß der Auswertung hinsichtlich der bereichsspezifischen Fokussierung wird die Beschaffung trotz des hohen Wertbeitrags zum Unternehmenserfolg jedoch nur unterdurchschnittlich im Zusammenhang mit der Untersuchung modularer Effektwirkungen betrachtet.

Somit besteht vor allem hinsichtlich der angesprochenen Wechselbeziehungen zwischen Beschaffungsstrategie, Nutzung des modularen Baukastens und Auswirkungen auf das Komplexitätsniveau Forschungsbedarf. Die in Kapitel 1.3 formulierten Forschungsfragen und abgeleiteten Ziele dieser Forschungsarbeit thematisieren die formulierte Problemstellung. Zusätzlich liefert die Arbeit aufgrund der Beschaffungsfokussierung einen wichtigen Erkenntnisbeitrag zur ganzheitlichen Betrachtung der Thematik.

Diese ganzheitliche Betrachtungsperspektive der komplexitätsoptimierenden Wirkung modularer Baukästen setzt die konzeptionelle Verknüpfung von Komplexitätstreibern und

Modularisierungseffekten voraus. Daher erfolgte innerhalb der dritten Analysestufe abschließend die integrative Zusammenführung der Ergebnisse der vorher separat betrachteten ersten beiden Analysestufen (siehe Kap. 3.1 und 3.2). Die Verknüpfung trägt dabei dem Sachverhalt einer existierenden Wechselwirkung zwischen Komplexitätstreibern und Modularisierungseffekten Rechnung. Der für Abschnitt 3 strukturgebende 3-stufige integrative Analyseprozess ist nachfolgend in Abbildung 27 zusammenfassend schematisch dargestellt.

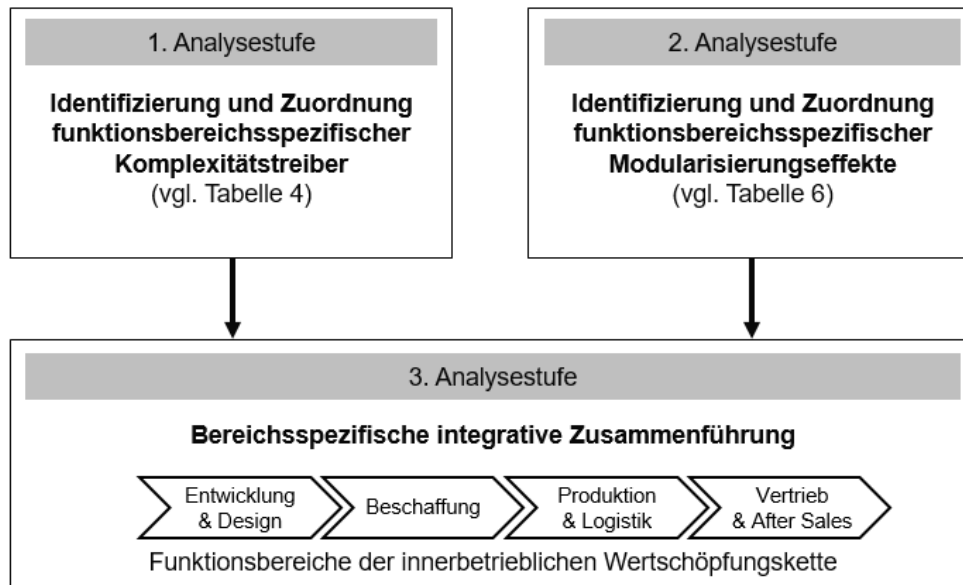


Abbildung 27: Darstellung des integrativen Analyseprozesses

Zusammenfassend konnte innerhalb des Analyseprozesses aufgezeigt werden, dass sowohl Modularisierungseffekte als auch Komplexitätstreiber unternehmensweit wirken, wobei die Intensität ihrer Wirkung bereichsspezifisch unterschiedlich ausfällt (vgl. Person 2004, S.36). Aufgrund des hohen Korrelationsgrades zwischen den einzelnen Einflussgrößen und deren bereichsübergreifender Wirkung ist eine separierte Betrachtung einzelner Einflussgrößen hinsichtlich einer optimierenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nicht zielführend. Vielmehr muss das Ziel des Unternehmens in der bereits hervorgehobenen ganzheitlichen Integration existierender Komplexitätstreiber und Modularisierungseffekte liegen.

Da ein solches Konzept den Rahmen dieser Arbeit bei weitem überschreiten würde, wird im weiteren Verlauf des Forschungsprozesses entsprechend der thematischen Zielstellung vorrangig die beschaffungsspezifische Eruierung dieses Wirkungszusammenhangs fokussiert. Basierend auf dem gewählten anwendungsorientierten Forschungsansatz erfolgt im nächsten Schritt des Forschungsprozesses die Überprüfung der aus der Literatur extrahierten beschaffungsspezifischen Einflussgrößen hinsichtlich ihrer Praxisrelevanz.

#### **4. Praxisanalyse: Modulare Baukästen und deren Einflüsse auf die Komplexität aus Sicht der Beschaffung am Beispiel des Volkswagen Konzerns**

*„Da wissenschaftliche Forschung nicht zum Selbstzweck betrieben wird, sondern vor allem betriebswirtschaftliche Forschungsarbeiten vordergründig das Ziel verfolgen sollten, Lösungsansätze für praxisrelevante Problemstellungen zu generieren, ist die wissenschaftliche Auseinandersetzung deshalb nicht auf einer theoretischen Metaebene zu belassen, sondern auf die Anwendbarkeit und Zielführung in der Praxis auszurichten“ (Gießmann 2010, S.46).*

Die Ausführungen in Abschnitt 3 haben aufgezeigt, dass die Beschaffung und die Wirkung modularer Baukästen auf die Beschaffung bisher nur unzureichend in der Theorie beleuchtet werden. Daher liegt im nächsten Forschungsschritt dieser Arbeit das Hauptaugenmerk in der detaillierten Eruierung beschaffungsrelevanter Komplexitätstreiber und Modularisierungseffekte aus Sicht der Praxis. Somit wird der Forderung nach ganzheitlicher Betrachtung Rechnung getragen, da die bisher fokussierte Produktbetrachtung um die Beschaffungskomponente erweitert wird.

Der inhaltliche Schwerpunkt dieses Abschnitts liegt weder in der Übertragung bereits existierender Theoriekonzepte auf die Wirklichkeit noch in der quantitativen Überprüfung vorformulierter Thesen. Entsprechend dem gewählten anwendungsorientierten Forschungsansatz soll mittels qualitativer Forschung die Frage beantwortet werden, in wie weit die existierenden theoretischen Ansätze die Praxis widerspiegeln bzw. durch neue explorativ erlangte sowie praxisfokussierte Erkenntnisse erweitert werden können.

Durch die Einbindung von Expertenwissen wird gleichzeitig die in Abschnitt 3 getätigte und von einem bestimmten Subjektivitätsgrad geprägte Zuordnung einer Überprüfung unterzogen. Die dadurch erzielte gesteigerte Objektivierung der Aussagen trägt dazu bei, die wissenschaftliche Güte der abgeleiteten Erkenntnisse sowohl hinsichtlich Reliabilität als auch Validität zu verbessern.

Die Notwendigkeit einer weiterführenden wissenschaftlichen Untersuchung bzgl. der Thematik dieser Arbeit wurde durch die aktuell bestehende Forschungslücke hinlänglich erörtert. STÜTTGEN (1999, S.10) sieht die für die Praxis resultierende Schwierigkeiten bei der Auseinandersetzung mit dem Thema vorrangig in den folgenden Punkten begründet:

- 1) Undifferenzierte Verwendung des Komplexitätsbegriffs mit fehlender Abgrenzung der Analyseeinheit und fehlendem einheitlichen Begriffsverständnis.
- 2) Unzureichend detailliertes Szenario für den Umgang mit Komplexität.
- 3) Fehlende Ansätze für den organisatorischen Umgang bzw. für die optimale organisatorische Strukturierung zur Bewältigung des existierenden Komplexitätsniveaus.

Um dem gesetzten Anspruch des Erkenntnisgewinns für Theorie und Praxis gerecht zu werden, liegt die Zielsetzung dieses Abschnitts in der praxisorientierten Ergänzung des aktuellen Stands der Wissenschaft zur Schaffung einer sowohl aus theoretischer als auch aus praktischer Sicht fundierten Basis für die spätere Konzeptionierung des Entscheidungsmodells. Dafür werden die aus den aktuellen wissenschaftlichen Arbeiten identifizierten potenziellen Gestaltungsvariablen für das Entscheidungsmodell hinsichtlich ihrer Praxisrelevanz untersucht und ggf. durch eine bisher in der Theorie nicht betrachtete Variable ergänzt.

#### 4.1 Forschungsmethodik und Forschungsprozess

Nach KUCKARTZ (2008, S.13) wird die Wahl der einzusetzenden Forschungsmethodik von der zu beantwortenden Forschungsfrage und den abgeleiteten Untersuchungszielen determiniert und muss sich im jeweiligen Kontext des Forschungsprozesses als gegenstandsangemessen legitimieren. Entsprechend weisen KAUFMANN UND DENK (2011, S.69) der Auswahl der Forschungsmethodik eine eigenständige Stufe innerhalb des Forschungsprozesses zu. Gleichzeitig besteht bei der Festlegung der richtigen Methodik die Herausforderung, dass die unterschiedlichen Ansätze zwar unabhängig voneinander durchgeführt werden können, es aber durchaus Sinn macht eine Kombination verschiedener Ansätze zu wählen, da sich die jeweils gewonnenen Erkenntnisse aufgrund unterschiedlicher Perspektiven gegenseitig ergänzen (vgl. Medina Rivilla et al., 2002, S.169ff.).

Da das primäre Ziel von Abschnitt 4 in der Beantwortung der Forschungsfrage  $F_1$  (vgl. Kap.1.3) liegt, steht somit nicht das Aufzeigen etwaiger Wirkungszusammenhänge im Vordergrund dieses Kapitels, sondern die thematische Durchdringung zur Identifizierung bisher nicht betrachteter Einflussgrößen. Folglich erscheint die Wahl der Exploration als qualitative Forschungsmethodik für diesen Abschnitt des Forschungsprozesses am Geeignetesten. BLUMBERG ET AL. (2008, S.201) führen hierzu an: „The exploratory study (exploration) is particularly useful when researchers lack a clear idea of the problems they will meet during the study“. „Become knowledgeable about real-world-problems“ (Fawcett & Waller 2011, S.3) ist dabei das primäre Ziel der Exploration.

Der Einsatz der explorativen Forschungsstrategie lässt sich nach KUBICEK (1977,S.13) vor allem damit begründen, „dass durch erfahrungsgestützte Konstruktion gewonnene Aussagen wegen ihrer relativ engen Kopplung an die Realität bei Praktikern [und Wissenschaftlern] eher auf Verständnis stoßen und dadurch größere Chancen zur Erreichung des pragmatischen Wissenschaftszieles bestehen“.

Nachdem festgestellt wurde, dass die Durchführung einer explorativen Studie zur Erreichung des Forschungsziels optimal erscheint, soll nun die Frage nach der adäquaten Erhebungsmethode zur Informationsgewinnung beantwortet werden. Dabei ist es bei der

qualitativen Forschung unabdingbar, zu Beginn des Forschungsprozesses etwaige Forschungsfragen klar zu formulieren und das Untersuchungsfeld abzugrenzen, da hiervon einerseits die Zusammensetzung des Samples, die Art der Datenerhebung und -auswertung abhängt sowie andererseits eine für den Forscher nicht mehr handhabbare Informationsflut vermieden wird (vgl. Krüger, 2000, S.332).

Um das für die Konzeptionierung des Entscheidungsmodells zugrundeliegende Kennzahlensystem ableiten zu können, sollen im Rahmen dieses Kapitels durch einen deduktiv-induktiven Ansatz die beschaffungsrelevanten Einflussgrößen abgeleitet werden (vgl. Saunders et al. 2009, S.61). Ziel ist es dabei, die aus den bisherigen theoriegeleiteten Überlegungen der Vorkapitel deduktiv abgeleiteten Komplexitätstreiber und Modularisierungseffekte mithilfe der Durchführung von Experteninterviews und anschließender praxisfokussierter Analyse des gewonnenen Datenmaterials induktiv weiterzuentwickeln. Entsprechend der gängigen Prozessschritte qualitativer Forschung lassen sich die in Abbildung 28 dargestellten Gliederungspunkte des 4. Kapitels den Teilprozessen Datenerhebung, Datentranskription und Datenanalyse zuordnen (vgl. Wray et al. 2007, S.1393).

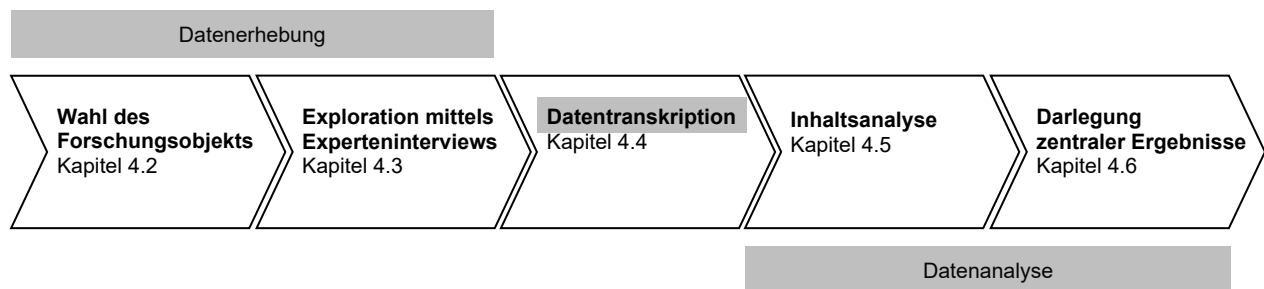


Abbildung 28: Schematische Darstellung des qualitativen Forschungsprozesses

Anschließend werden die aus der Praxisanalyse gewonnenen Erkenntnisse mit den aus Abschnitt 3 bekannten theoretischen Ergebnissen zusammengeführt und der aus der existenten Forschungslücke resultierende weiterführende Forschungsbedarf aufgezeigt (Kap. 4.7). Das Kapitel schließt mit der kritischen Würdigung der gewählten Forschungsmethodik und des durchgeführten Forschungsprozesses bezogen auf die Einhaltung wissenschaftlicher Gütekriterien (Kap. 4.8).

## 4.2 Forschungsobjekt Volkswagen Konzern

Nachdem bereits in Kapitel 2.1.2 dargelegt wurde, dass im Rahmen dieser Arbeit aufgrund der hohen thematischen Relevanz die praxisbezogene Fokussierung auf der Automobilindustrie liegt, wird mit der Festlegung des Volkswagen Konzerns, als das im weiteren Forschungsprozess gewählte Forschungsobjektes, die Granularität des praktischen Bezugsrahmens der Arbeit nochmals erhöht.

Die Wahl ist damit zu begründen, dass vor allem dem Volkswagen Konzern in Bezug auf die Implementierung modularer Baukästen aktuell in der Automobilindustrie der höchste Reifegrad in wissenschaftlichen Arbeiten attestiert wird (vgl. auch Kap. 2.1.2.3). So sehen WARBURTON ET AL. (2013) die Implementierung der Baukastenstrategie als „interesting and logical further step for VW’s already industry-leading platform strategy.“ Durch das breit gefächerte Produktportfolio werden fahrzeugsegmentübergreifend sowohl Volumenmärkte als auch Nischen bedient. SURENDER ET AL. (2013) attestieren dem Volkswagen Konzern folglich eine Führungsrolle in Sinne eines „technology and product leadership“. Die aktuelle Wettbewerbsposition hat der Volkswagen Konzern nicht zuletzt der Implementierung des Plattformkonzeptes vor mehr als 15 Jahren zu verdanken (vgl. Warburton et al, 2013, S.11). Durch die markenübergreifende Verwendung von Plattformen (vgl. Abbildung 29) konnten Synergiepotenziale bei der Entwicklung, Beschaffung und Produktion gehoben, Kosteneinsparungen generiert und die Modelldiversifikation in den einzelnen Marken vorangetrieben werden. Der resultierende Wettbewerbsvorteil ist der Garant dafür, dass der Konzern in den letzten Jahren seine Wachstumsstrategie erfolgreich umsetzen konnte. Auf dem Weg zum global führenden Volumenhersteller musste Volkswagen aber erkennen, dass Konzernplattformen mit steigender Größe und daraus resultierender zunehmender Intransparenz schwerer steuerbar wurden.

Gleichzeitig besaß die Plattform durch eine Vielzahl technischer Restriktionen starre Grenzen, die eine flexible Ausrichtung der Fahrzeugpalette an die sich ändernden Individualisierungswünsche der Kunden kaum bzw. nur mit einem hohen kostenintensiven Anpassungsaufwand ermöglichten. Die Plattformstrategie stieß folglich zunehmend an ihre Grenzen. Um das starre Korsett der Plattform aufzubrechen und den bereits erläuterten Spagat zwischen Kostenreduzierung und Ausrichtung der Modellpalette am Kundennutzen zu meistern, hat der Volkswagen Konzern mit der Markteinführung des Golf im Jahr 2012 einen modularen Baukasten implementiert, um trotz zunehmender Komplexität zusätzliche Skaleneffekte und Kostenvorteile zu generieren und die eigene Wettbewerbsfähigkeit zu stärken. Entsprechend einer Studie von SHANKAR ET AL. (2012) hat es sich die Marke Volkswagen weiterhin zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2020 90% seines gesamten Produktportfolios aus nur zwei modularen Baukästen herzustellen und hieraus Synergien von ca. 3 Mrd. € zu generieren.

Es ist daher davon auszugehen, dass sich der hohe Reife- und Markendurchdringungsgrad bei der Anwendung der modularen Baukastenstrategie (vgl. Abbildung 29) auch in der Ergebnisgüte der Exploration widerspiegelt. Somit erscheint der Volkswagen Konzern als gewähltes Forschungsobjekt für die Konzeption des Entscheidungsmodells ideal.



Abbildung 29: Mehrmarkencharakteristik der modularen Baukastenstrategie des Volkswagen Konzerns

### 4.3 Exploration durch Anwendung semi-strukturierter Experteninterviews

Entsprechend HUGL (1995, S.48) besteht das vorrangige Ziel eines qualitativen Interviews in der verbalen Erfassung von Informationen. Mit Hinblick auf ein allgemeingültiges Begriffsverständnis weisen GLÄSER UND LAUDEL (2009, S.40) jedoch darauf hin, dass es in der Literatur keine einheitliche Systematik für die Bezeichnung von Interviews gibt und führen aus: „Diese Vielzahl von Bezeichnungen entstammt teils unterschiedlichen Typisierungen, teils aber auch nur dem Bedürfnis von Autoren, dem eigenen Vorschlag einen möglichst treffenden Namen zu geben“ (Gläser & Laudel 2009, S.40).

Nach BLUMBERG ET AL. (2008, S.385ff.) lassen sich drei Ausprägungen qualitativer Interviews in Abhängigkeit des Standardisierungsgrades unterscheiden: Strukturierte Interviews, Semi-strukturierte Interviews und Unstrukturierte Interviews (vgl. auch Hugl 1995, S.48ff.; Saunders et al. 2009, S.320ff.).

Da mit steigendem Strukturierungsgrad die Vergleichbarkeit zunimmt, sind **Strukturierte Interviews** immer dann geeignet, wenn das Forschungsziel primär in der Beschreibung oder Erklärung eines Problems liegt. Da mit steigendem Strukturierungsgrad aber gleichzeitig auch der explorative Erkenntnisgewinn abnimmt, ist der Einsatz Strukturierter Interviews im Rahmen der Exploration nur eingeschränkt sinnvoll. BLUMBERG ET AL. (2008, S.386) gehen sogar noch einen Schritt weiter und betonen: „Exploring a topic needs at least a semi-structured approach that gives the respondent the possibility to turn

the interview in different directions and to come up with new sub-topics that the researcher often has not thought about beforehand". Somit schafft erst die Wahl des Semi-strukturierten Interviews das für die Exploration erforderliche Maß an Flexibilität. Auch SAUNDERS ET AL. (2009, S.323) widersprechen gemäß ihrer dargestellten Zuordnungsübersicht dem Einsatz eines Strukturierten Interviews als explorative Forschungsmethodik.

Im Gegensatz dazu ist das **Unstrukturierte Interview** von einem hohen Flexibilitätsgrad gekennzeichnet. „The central idea of unstructured interviews is that you as a researcher want to gain insight into what the respondents consider relevant and how they interpret the situation. Possible explanations [...] are not predefined and hence the course of the interview is left open.“ (Blumberg et al. 2008, S.386). Aufgrund des freien Charakters wird bei der Durchführung von Unstrukturierten Interviews kein vorab ausgefertigter Leitfaden zur Gliederung des Interviews eingesetzt. Vielmehr greift der Interviewer auf seine mentale Liste mit relevanten Schlagworten zurück (vgl. ebenda, S.386). Unstrukturierte Interviews werden daher der Gruppe der nichtstandardisierten Interviews zugeordnet (vgl. Gläser & Laudel, 2009, S.41).

In dieselbe Gruppe lassen sich auch **Semi-strukturierte Interviews** einordnen. Die Abgrenzung zwischen Semi-strukturiertem und Unstrukturiertem Interview erfolgt einerseits über den Grad der theoriegeleiteten Vorprägung und andererseits über die eingesetzten Hilfsmittel für die Gliederung des Interviewverlaufs. Ein solches Hilfsmittel stellt die Anwendung eines Leitfadens dar. Der Einsatz eines Leitfadens als abgrenzendes Charakteristikum Semi-strukturierter Interviews erfordert einen deutlich höheren Grad theoretischer themenrelevanter Vorkenntnisse. Dies ist mit der Notwendigkeit zu begründen, die Forschungsfragen in für den Gesprächspartner verständliche Teilfragen zu zerlegen, die dem Erkenntnisinteresse des Interviewers und dem kulturellen, sozialen oder fachlichem Kontext des Interviewten entsprechen (vgl. Gläser & Laudel 2009, S.112). GLÄSER UND LAUDEL (2009, S.112ff.) sprechen in diesem Zusammenhang von der Notwendigkeit der Operationalisierung der Forschungsfrage. Trotz des erhöhten Standardisierungsgrades hat ein Semi-strukturiertes Interview gegenüber einem Strukturierten Interview, wie z.B. einem Fragebogen, den großen Vorteil, dass durch die Variabilität von Fragereihenfolge und -wortlaut sowie der freien Antwortmöglichkeit ein annähernd natürlicher Gesprächsverlauf erzeugt wird (vgl. Gläser & Laudel 2009, S.41f.). Somit kann die Wahrscheinlichkeit neue, bisher nicht betrachtete Erkenntnisse zu erlangen im Vergleich zum Strukturierten Interview deutlich erhöht werden.

Da aufgrund der vorgelagerten Literaturrecherche (vgl. Abschnitt 3) bereits ein weitreichendes theoretisches Vorwissen existiert und die aus der Nutzung eines Leitfadens gewonnenen Vorteile (vgl. Kap.4.3.2) hinsichtlich einer effizienten Gestaltung des Forschungsprozesses als positiv erachtet werden, erscheint die Durchführung Semi-strukturierter Interviews als Erhebungsmethode für die Exploration am besten geeignet.

KUBICEK (1977, S.26) bezeichnet diese Art des Interviews als „Expertengespräch“. Daher wird im Folgenden vom Experteninterview gesprochen. Das Experteninterview kann

innerhalb der soziologischen Erhebungsmethoden den mündlichen Befragungsmethoden zugeordnet werden (Gläser & Laudel 2009, S.39f.). Die Informationserhebung erfolgt in einem direkten Gespräch zwischen zwei Personen (dem Interviewer und dem Experten, als zu interviewenden Gesprächsteilnehmer) oder einer Gruppe von Personen (vgl. Medina Rivilla et al. 2002, S.172). Erst durch die Durchführung von Interviews, „a profound and rigorous dialogue between two persons“ (Medina Rivilla et al. 2002, S.169), ist eine tiefgründige Analyse des Untersuchungsfeldes zu gewährleisten, da der Forscher selbst durch „die bewusste Wahrnehmung und Einbeziehung des Forschers und der Kommunikation mit dem Erforschten konstitutives Element des Erkenntnisprozesses“ wird (Krüger 2000, S.324). KUBICEK (1977, S.25) bezeichnet die Durchführung von Interviews daher als „Königsweg“, bei dem der persönliche Kontakt und die offene Fragestellung dem Wissenschaftler eine gezielte Gewinnung neuartiger und nicht konkret zu erwartender Informationen ermöglicht. Das Experteninterview, „one of the most powerful methods in the qualitative armory“ (McCracken 1988, S.9), wird unter Berücksichtigung der definierten Forschungsfrage und Zielstellungen daher als die ideal anwendbare qualitative Forschungsmethodik angesehen.

#### **4.3.1 Sampling-Strategie und Zusammensetzung des Samples**

Neben der Wahl des Interviewtyps ist auch die Wahl der Interviewpartner (Sampling) abhängig vom Untersuchungsziel (vgl. Gläser & Laudel 2009, S.40). Da die leitfadensbasierte Durchführung semi-strukturierter Experteninterviews primär dazu dient, die in Abschnitt 3 auf Basis der theoretischen Ansätze herausgearbeiteten Einflussgrößen zu validieren und ggf. durch weitere praxisrelevante Größen zu ergänzen, kommt der Auswahl geeigneter Experten als Interviewpartner eine wichtige Bedeutung für die Generierung zusätzlichen Wissens zu.

Im Gegensatz zur quantitativen Forschung, bei der eine vorab definierte Stichprobe für die Untersuchung herangezogen wird, orientieren sich bei der qualitativen Forschung die Auswahl und der Stichprobenumfang nach der theoretischen Relevanz und entwickeln sich mit Fortschritt der Untersuchung (vgl. Krüger 2000, S.333; Rosenthal 2014, S.83f.). Leitlinien für die praxisorientierte Abschätzung des Stichprobenumfangs zur Sicherstellung der Sättigung in Analogie zu wahrscheinlichkeitstheoretischen Untersuchungen sind in der qualitativen Forschung wenig etabliert (vgl. Guest et al. 2006, S.60). So beziehen sich GUEST ET AL. (2006, S.61) zwar auf diverse Arbeiten, bei denen die empfohlene Stichprobengröße in einem Intervall von 5, über mindestens 15 bis hin zu 36 Interviews liegt. Gleichzeitig betonen die Autoren: „None of these works present evidence for their recommendations“ (Guest et al. 2006, S.61).

Da der primäre Fokus der qualitativen Forschung in der Gewinnung neuer Erkenntnisse und nicht deren Generalisierbarkeit liegt, sollte gemäß McCracken (1988, S.17) auch

die Größe des Samples dem qualitativen Forschungsziel entsprechen. „It is more important to work longer, and with greater care, with a few people than more superficially with many of them“. Weiter führt McCracken (1988, S.17) aus: „For many research projects, eight respondents will be perfectly sufficient“.

Im Gegensatz dazu empfehlen Gläser und Laudel (2009, S.117) im Sinne einer Datentriangulation<sup>53</sup> das Sampling nicht auf das theoretisch notwendige Minimum an Interviewteilnehmern zu beschränken. Die Auswahl der idealen Größe des Samples ist nach Francis et al. (2010, S.1229) „[...] a function of the purpose of the study and the complexity, range and distribution of experiences or views of interest“. Gläser und Laudel (2009, S.117) führen hierzu aus, dass die Größe der optimalen Stichprobe „neben den genannten inhaltlichen und methodischen Überlegungen auch durch forschungspraktische Gesichtspunkte wie die Erreichbarkeit und die Bereitschaft potentieller Interviewpartner“ bestimmt wird und merken weiterhin an: „Interviewpartner für Experteninterviews kann jeder [...] sein, dessen spezifisches Wissen für die Untersuchung relevant ist“ (ebenda, S.43).

Für Kubicek (1977, S.26) besitzt die begriffliche Definition eines Experten keine eng ausgelegte Grenze. Vielmehr versteht Kubicek unter dem Begriff des Experten die Person, auf deren konkrete Erlebniswelt sich das Interview bezieht und die durch gezielte Fragestellungen dazu motiviert wird, ihre Erfahrungen und Empfindungen zu offenbaren. Gläser und Laudel (2009, S.11f.) definieren einen Experten als Person, die durch ihre Tätigkeit hinsichtlich der untersuchten Fragestellung über umfangreiches Spezialwissen verfügt bzw. aufgrund ihrer Position Zugang zu diesem Wissen besitzt.

Somit kommen für das Sampling alle Personen des Forschungsobjektes Volkswagen als Experte in Frage. Da dies verständlicherweise nicht in Einklang mit einem effizienten und vor allem zielorientierten Forschungsprozess zu bringen ist, bedarf es einer gezielten Selektion der Grundgesamtheit möglicher Interviewpartner.

Basierend auf diesen theoriegeleiteten Vorüberlegungen erfolgt nachfolgend die Bestimmung eines Grundsamples. Francis et al. (2010, S.1234) sprechen hierbei von der a-priori Festlegung eines „initial analysis sample“.

---

<sup>53</sup> Flick (2008, S.12) definiert Triangulation allgemein als die Betrachtung des Forschungsgegenstandes aus unterschiedlichen Perspektiven. Dabei kann sich Triangulation sowohl in der Nutzung verschiedener Methoden (Methoden-Triangulation), in der Anwendung unterschiedlicher Theorien zur Erklärungen des zu untersuchenden Phänomens (Theorien-Triangulation), im Einsatz mehrere Beobachter oder Interviewer zur Reduzierung der Gefahr einer Verzerrung der Ergebnisse durch mangelnde Objektivität (Investigator-Triangulation) und in der Einbeziehung unterschiedlicher Datensorten und verschiedenartiger Datenquellen (Daten-Triangulation) widerspiegeln (vgl. Flick 2008, S.13 ff.) Der aus der Triangulation zu ziehende Gewinn liegt „weniger in der wechselseitigen Überprüfung von Ergebnissen [...], sondern in Erweiterung der Erkenntnismöglichkeit durch die Erweiterung von Perspektiven auf den untersuchten Gegenstand“ (Flick 2008, S.112). Da jeder Interviewteilnehmer abstrakt gesehen eine eigenständige Datenquelle darstellt, sind die Anforderungen der Daten-Triangulation hinsichtlich des Umfangs und der Zusammensetzung des Samples im Rahmen dieser Arbeit als erfüllt anzusehen.

Die Auswahl der Experten ist dabei nicht durch eine Zufallsauswahl aus der Grundgesamtheit aller möglichen Interviewpartner im Unternehmen gekennzeichnet (vgl. Kuckartz et al. 2008, S.24), sondern wird zielgerichtet anhand vorher fest definierter Selektionskriterien vollzogen (vgl. Glaser & Strauss 1998, S.55; Guest et al. 2006, S.61; Rosenthal 2014, S.84; Saunders et al. 2009, S.213ff.). GLASER UND STRAUSS (1998, S.57) sprechen in diesem Zusammenhang von der theoretischen Relevanz als das Basiskriterium für die Zusammenstellung des Samples. Durch die Festlegung relevanter Selektionskriterien wird sichergestellt, dass vorrangig Experten ausgewählt werden, die dazu beitragen, die Thematik aus verschiedenen Perspektiven zu beleuchten, um die Gefahr eines möglichen Informationsbias zu vermeiden und dadurch gleichzeitig die Pluralität der Erfahrungsgewinnung zu unterstützen bzw. die Reliabilität der Ergebnisse zu gewährleisten (vgl. Eisenhardt & Graebner 2007, S.28; Kubicek 1977, S.26; Persson 2004, S.26).

Im Rahmen dieser Arbeit wurden als drei Selektionskriterien für die Expertenauswahl die Aufgabenkompetenz, Machtkompetenz und Erfahrungskompetenz der potentiellen Interviewpartner herangezogen. Anzumerken ist hierbei, dass der ‚optimale Experte‘ idealerweise alle dieser drei Kriterien in sich vereint.

#### 1) Experte aufgrund der Aufgabe (Aufgabenkompetenz)

Aufgrund der Stellenbeschreibung und den dadurch bedingten intensiven Berührungspunkten mit der Forschungsthematik während der beruflichen Tätigkeit ist davon auszugehen, dass der Gesprächspartner über ein spezifisches Expertenwissen verfügt. Die Auswahl von Interviewpartnern, die aufgrund ihrer Funktion ein hohes operatives Schnittstellenpotenzial mit der zu untersuchenden Thematik besitzen, erhöht somit die qualitative Antwortgüte und ermöglicht eine objektive und gute Einschätzung der zu untersuchenden Fragestellungen (vgl. Eitelwein et al. 2012, S.82).

#### 2) Experte aufgrund der Machtposition (Machtkompetenz)

Aufgrund der hierarchischen Machtposition und der damit verbundenen Erschließung elitärer Informationskanäle ist davon auszugehen, dass der Gesprächspartner über ein spezifisches Expertenwissen verfügt.

#### 3) Experte aufgrund der Erfahrung (Erfahrungskompetenz)

Aufgrund der beruflichen Erfahrung und der damit verbundenen Kenntnis über branchen- und unternehmensbezogene Entwicklungstendenzen ist davon auszugehen, dass der Gesprächspartner über ein spezifisches Expertenwissen verfügt.

Als Ergebnis dieses selektiven Auswahlprozesses wurden initial 16 Interviewpartner als Experten aus der Gesamtheit<sup>54</sup> aller möglichen Teilnehmer identifiziert.<sup>55</sup> Im Verlauf der Interviews wurden durch die Experten selbst weitere potentielle Interviewpartner genannt, wodurch sich die Größe des Samples letztlich auf 21 Interviews mit insgesamt 23 interviewten Experten erhöhte.

Damit unterscheidet sich das selektive Sampling in hohem Maß von einem statistischen Sampling, bei dem sowohl der Umfang der Grundgesamtheit als auch die Stichprobengröße in der Regel vorab bekannt und festgelegt sind (vgl. Rosenthal 2014, S.86). Eine detaillierte Übersicht der durchgeführten Experteninterviews ist Tabelle 9 zu entnehmen.

Interview-Nr.	Interviewcode	Konzernmarke	Vorstandsbereich	Selektionskriterium		
				Aufgabe	Macht	Erfahrung
1	A	M1	Beschaffung	X		X
2	B	M1	Beschaffung	X		X
3	C	M1	Beschaffung	X	X	X
4	D	M1	Beschaffung	X		X
5	E	M1	Produktmanagement	X	X	X
6	F	M1	Beschaffung	X	X	X
7	G1	M2	Beschaffung	X		X
	G2	M2	Beschaffung	X		
8	H	M1	Finanz/ Controlling	X	X	
9	J	M1	Finanz/ Controlling	X		X
10	K	M1	Finanz/ Controlling	X		X
11	L	M2	Beschaffung	X	X	X
12	M	M1	Finanz/ Controlling	X	X	X
13	N	M1	Produktmanagement	X	X	X
14	O	M1	Finanz/ Controlling		X	X
15	P1	M3	Beschaffung	X	X	X
	P2	M3	Beschaffung	X		X
16	Q	M1	Produktion	X		
17	R	M1	Produktmanagement	X		X
18	S	M2	Produktmanagement	X		
19	T	M2	Beschaffung	X	X	X
20	U	M1	Beschaffung		X	X
21	V	M1	Beschaffung	X	X	X

Tabelle 9: Detailübersicht durchgeführter Experteninterviews

Wie die Tabelle verdeutlicht, wurde die Auswahl der Experten nicht allein auf den Unternehmensbereich der Beschaffung oder eine einzelne Konzernmarke beschränkt, um die Erkenntnisgewinnung aufgrund existierender Bereichs- oder Markenrestriktionen nicht unbewusst zu limitieren.<sup>56</sup> Es ist vielmehr davon auszugehen, dass durch diese Maßnahme die Wahrscheinlichkeit erhöht wird, verschiedenartige Informationen zu erhalten (vgl. Glaser & Strauss 1998, S.63).

<sup>54</sup> Die Grundgesamtheit fasst alle Mitarbeiter des Volkswagen Konzerns zusammen.

<sup>55</sup> Die Selektion erfolgte auf Basis einer Gruppendiskussion (vier Teilnehmer, Funktionsbereich Beschaffung) im Anschluss einer thematischen Einführung und Darlegung der Zielstellung für die Durchführung der Experteninterviews.

<sup>56</sup> Bei der Auswahl der Konzernmarken erschien es vorteilhaft, sich primär auf die Konzernmarken zu konzentrieren, die sowohl die Entwicklungshoheit eines Teilbaukastens besitzen als auch Markennutzer

### 4.3.2 Entwicklung des Leitfadens

Die Vorteilhaftigkeit der Nutzung eines Interviewleitfadens für den Forscher begründet sich in der Sicherstellung, dass der Interviewer einerseits alle relevanten Themenbereiche anspricht und andererseits die Fragen in allen Interviews mit einer vergleichbaren, wenngleich nicht identischen Formulierung gestellt werden (vgl. Blumberg et al. 2008, S.386). Der Leitfaden hat dabei nicht die Aufgabe eine Standardisierung der Interviewsituation herbeizuführen, sondern dient primär dazu, die strukturierte und zielorientierte Erhebung relevanter Informationen sicherzustellen (vgl. Gläser & Laudel 2009, S.150; McCracken 1988, S.25; Medina Rivalla et al., 2002, S.172). Die Charakteristika eines Interviews, wie z.B. die Ungezwungenheit und Variabilität, dürfen jedoch durch die Anwendung des Leitfadens nicht negativ beeinflusst werden (vgl. McCracken 1988, S.25). Damit besitzt ein leitfadenbasiertes Interview gegenüber anderen nichtstandardisierten Interviewarten den großen Vorteil einer zielorientierten Themenfokussierung, wodurch der Zeitbedarf der Datengenerierung minimiert und die Rekonstruktion und Vergleichbarkeit der gewonnenen Daten sowie deren Kategorisierung erleichtert werden (vgl. Gläser & Laudel 2009, S.43).

Da es bei der Leitfadenerstellung im Sinne der bereits beschriebenen methodologischen Prinzipien wenig allgemein gültige Regeln gibt, ist die nachvollziehbare Konstruktion des Leitfadens umso wichtiger (vgl. Gläser & Laudel 2009, S.115).

Basierend auf der vorgelagerten Literaturrecherche und den theoriegeleiteten Überlegungen wurden zunächst aus den formulierten Forschungsfragen die im Rahmen der Interviews zu erzielenden Forschungserkenntnisse abgeleitet und in Themenblöcke gruppiert. Dieser deduktive Ansatz ist nach MAYRING (2002, S.141) immer dann empfehlenswert, „if there is sufficient theoretical pre-knowledge about the research topic and if the research question is sufficient precise to pre-formulate categories before the concrete text analysis“. Diese Themenblöcke stellen ein Hauptkategoriensystem dar (vgl. Mayring 2007, S.74), welches eine zielgerichtete Strukturierung des Interviews ermöglicht (vgl. Kuckartz 2008, S.21).

Bei der anschließenden Formulierung der Fragen und Erstellung des Leitfadens wurde der Forderung nach Allgemeingültigkeit und einer offenen, nicht richtungsgebenden Formulierung entsprochen, um die Gefahr von Restriktionen durch den Interviewten bei der Darlegung persönlicher Empfindungen zu vermeiden und weitere Erzählanreize zu schaffen (vgl. Dresing & Pehl 2015, S.9; McCracken 1988, S.34f.). Die Wahl der Fragen im Leitfaden muss dabei sicherstellen, dass einerseits thematisch relevante Einflussgrößen und deren Wirkungszusammenhänge identifiziert werden und andererseits das persönliche Erfahrungswissen der Interviewpartner erschlossen wird.

---

eines Baukastens sind, um eine dezidierte Betrachtungsperspektive zu gewährleisten (vgl. Abbildung 29, S.134).

Um den Zeitbedarf und die Verständlichkeit der Fragen des Interviewleitfadens zu prüfen, wurden zu Beginn fünf Pilotinterviews mit Interviewpartnern aus der Menge des Grundsamples durchgeführt und der Leitfaden in einem iterativen Prozess angepasst (vgl. Kuckartz et al. 2008, S.20). Da es sich hierbei nur um formale und keine inhaltlichen Änderungen gehandelt hat, wurden auch die Pilotinterviews für die inhaltliche Auswertung in das Gesamtsample integriert. Der finale Stand des Leitfadens kann dem Anhang entnommen werden (siehe S. 281ff.).

### 4.3.3 Durchführung der Experteninterviews

Nach ROSENTHAL (2014, S.141) gibt es im Zusammenhang mit der Durchführung von Interviews eine Korrelation zwischen der Entfaltung der persönlichen Perspektive und dem Standardisierungsgrad des Interviews: „Je niedriger der Grad der Standardisierung, [...] umso mehr werden die Befragten ihre Perspektive entfalten können und umso mehr werden die interaktiven Prozesse der Situationsdefinition bzw. Rahmung deutlich werden“ (Rosenthal 2014, S.141).

Aus diesem Grund wurden die Gespräche mit den Experten persönlich und als offene Interviews geführt, bei denen die Reihenfolge der Fragen von den Äußerungen des Interviewten determiniert wurde, um auf Basis einer stetigen Interaktion zwischen Interviewer und Interviewtem einen möglichst natürlichen Gesprächsverlauf zu gewährleisten und dadurch die persönliche Perspektive des Interviewten besser erschließen zu können (vgl. Rosenthal 2014, S.140f.).

Persönliche Interviews haben gegenüber anderen Ausprägungen, wie z.B. Telefoninterviews oder auch Email-Interviews, Vorteile hinsichtlich einer großen Kontrolle und Steuerbarkeit der Gesprächssituation sowie einer hohen Informationsausbeute (vgl. Blumberg et al. 2008, S.281; Gläser & Laudel 2009, S.153f.). Ihre Nachteile liegen demgegenüber vorwiegend in einem hohen Zeit- und Kostenaufwand (vgl. Blumberg et al. 2008, S.281; Gläser & Laudel 2009, S.153; McCracken 1988, S.27).<sup>57</sup>

Daneben hat die Wahl von Einzelinterviews nach dem 4-Augen-Prinzip den großen Vorteil der Schaffung einer vertrauensvollen Gesprächsumgebung, in der der Interviewte wahrscheinlicher dazu bereit ist, auch vertrauliche Informationen und persönliche Meinungen preiszugeben, ohne dabei einer Beeinflussung anderer Interviewteilnehmer ausgesetzt zu sein (vgl. Blumberg et al. 2008, S.389; Gläser & Laudel, 2009, S.155). Damit kann die Gefahr politischer Antworten minimiert werden.

Auf der anderen Seite erschwert der Verzicht auf einen zweiten Interviewer das Protokollieren von Daten. Es ist annähernd unmöglich sich einerseits auf das Interview und seinen

---

<sup>57</sup> Für eine detaillierte Aufstellung der Vor- und Nachteile persönlicher Interviews auch im Vergleich zu weiteren Interviewmethoden wird auf BLUMBERG ET AL. (2008, S.281ff.) verwiesen.

Gesprächspartner zu konzentrieren und andererseits alle wichtigen Informationen zu protokollieren. Eine handschriftliche Protokollierung ist zudem mit einer hohen Gefahr von Informationsverlusten verbunden (vgl. Gläser & Laudel 2009, S.157).

Der hieraus resultierende Einwand der geringeren methodischen Kontrollierbarkeit von Einzelinterviews kann durch den Einsatz digitaler Interviewmittschnitte minimiert werden, auch wenn durch den Mittschnitt wiederum die Gefahr der Befangenheit erhöht wird. JENSEN (2005, S.258) führt in diesem Zusammenhang an, dass es sich bei Interviews um „einmalige, nicht wiederholbare Situationen“ handelt, wodurch die Notwendigkeit eines Gesprächsmittschnitts zur Sicherstellung der Validität zwingend erforderlich ist. Nach GLÄSER UND LAUDEL (2009, S.158) ist der Einsatz digitaler Mittschnitte heutzutage daher unabdingbar und gerechtfertigt: „Bilanziert man die Argumente, dann wiegt die Wahrscheinlichkeit bedeutender Informationsverluste schwerer als das Risiko einer befangenen Gesprächssituation. In der Methodenliteratur zur Interviewführung besteht weitgehend Einigkeit [...], dass die Tonaufzeichnung unverzichtbar ist“ (Gläser & Lauder 2009, S.158).

Es wurden in Summe 21 persönliche Interviews mit 23 Experten geführt.<sup>58</sup> Davon wurden 19 Interviews als Einzelinterviews und 2 Interviews als Gruppeninterviews mit jeweils 2 Interviewpartnern geführt. Die Prämisse alle Interviews als Einzelinterviews nach dem 4-Augen-Prinzip zu führen, konnte aufgrund von terminlichen Restriktionen bei 2 Interviews somit nicht eingehalten werden.

Erste Kontaktaufnahme mit dem potenziellen Interviewpartner erfolgte über ein persönliches Anschreiben inklusive Kurzvorstellung des Forschungsvorhabens und gleichzeitige Übersendung des Interviewleitfadens, um dem Gesprächspartner vorab die Erkenntnisziele zu vermitteln und eine inhaltliche bzw. mentale Vorbereitung auf das Interview zu ermöglichen. Die Interviews selbst wurden dann jeweils im Arbeitsumfeld des Interviewten geführt und terminlich nach Möglichkeit ans Ende eines Arbeitstages gelegt, um eine entspannte und vertrauensvolle Gesprächsatmosphäre zu schaffen.

Die Sicherstellung dieser vertrauensvollen Gesprächsatmosphäre wurde weiterhin dadurch begünstigt, dass zu Beginn eines jeden Interviews durch den Interviewer das Forschungsprojekt transparent dargestellt und eine Vertraulichkeitserklärung abgegeben wurde (vgl. Dresing & Pehl 2015, S.12).

Die Durchführung des jeweils knapp einstündigen Interviews orientierte sich strukturell am Aufbau des Interviewleitfadens und lässt sich in die in Abbildung 30 dargestellten Abschnitte mit den dazugehörigen Themenschwerpunkten gliedern.

Mit einer Ausnahme (Anfertigung eines Gedächtnisprotokolls) wurde zu jedem Interview nach Zustimmung des Interviewten und unter Einhaltung bestehender Datenschutzbestimmungen ein Audiomittschnitt angefertigt. Dadurch konnte einerseits die Fokussierung

---

<sup>58</sup> Aufgrund des hohen inhaltlichen Erkenntnisgewinns wurden auch die fünf durchgeführten Pilotinterviews bei der Datenauswertung berücksichtigt und sind somit in der Summe von 21 Interviews inkludiert (vgl. 4.3.2).

auf den Gesprächsinhalt gefördert sowie andererseits die Gefahr eines Verlusts von Gesprächsinhalten vermieden und die nachgelagerten Auswertungsprozesse erleichtert werden (vgl. Kuckartz et al. 2008, S.25f.; Saunders et al. 2009, S.339ff.). Der durch eine Audio-Aufzeichnung oft genannte Nachteil einer negativen Beeinflussung des Antwortverhalten des Interviewten (vgl. Blumberg et al. 2008, S.389), konnte durch die Schaffung einer stets sehr angenehmen Gesprächsatmosphäre minimiert werden, wenngleich konstatiert werden muss, dass eine hierdurch ausgelöste negative Beeinflussung der Antwort- und damit auch der Ergebnisgüte nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann.

<b>I Einleitung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Begrüßung</li> <li>- Vorstellung Forschungsarbeit</li> <li>- Einordnung der beruflichen Erfahrung/Tätigkeitsbereich des Experten</li> <li>- Einordnung der themenrelevanten Erfahrung des Experten</li> </ul>
<b>II Modularisierungseffekte und deren Kennzahlen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Begriffsverständnis und subjektive Wahrnehmung</li> <li>- Identifizierung von Modularisierungseffekten</li> <li>- Stellhebel für die kostenoptimierte Gestaltung Modularer Baukästen</li> <li>- Kennzahlen für die Quantifizierbarkeit von Modularisierungseffekten</li> </ul>
<b>III Komplexität und Komplexitätstreiber</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Begriffsverständnis und subjektive Wahrnehmung</li> <li>- Identifizierung von Komplexitätstreibern</li> <li>- Stellhebel für die Optimierung des Komplexitätsniveaus</li> <li>- Kennzahlen für die Quantifizierbarkeit von Komplexitätstreibern</li> </ul>
<b>IV Schlussbetrachtung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einschätzung der zukünftigen Entwicklung</li> <li>- Identifizierung nicht betrachteter Aspekte</li> <li>- Anforderungen an das Entscheidungsmodell</li> <li>- Verabschiedung</li> </ul>

Abbildung 30: Grobstrukturierung der Experteninterviews

#### 4.3.4 Theoretische Sättigung

Im Rahmen der qualitativen Forschung sieht sich jeder Wissenschaftler mit der Frage konfrontiert, wann der Forschungsprozess der Datenerhebung abgebrochen werden kann. Eine Messgröße, die als Abbruchkriterium herangezogen werden kann, ist die theoretische Sättigung.

Die theoretische Sättigung und damit das Abbruchkriterium für die Durchführung weiterer Interviews ist dann erreicht, wenn aus den geführten Interviews keine neuen Erkenntnisbeiträge gewonnen bzw. Kategorien generiert werden können (vgl. Glaser & Strauss 1998, S.69; Krüger 2000, S.333; Rosenthal 2014, S.85; Wray et al. 2007, S.1400).

Ein ähnliches, wenngleich etwas allgemeingültigeres Begriffsverständnis haben GUEST ET AL. (2006, S.65) und definieren „data saturation [...] as the point in data collection and analysis when new information produces little or no change to the codebook“. Weiterhin führen GUEST ET AL. (2006, S.76) aus: „The more similar participants in a sample are [...] the sooner we would expect to reach saturation“. Wann der Punkt der Sättigung erreicht wird, hängt somit in hohem Maß auch von der Homogenität des Samples ab.

Auch wenn ein annähernd übereinstimmendes Verständnis zum Sättigungsbegriff existiert, bemängeln FRANCIS ET AL. (2010, S.1229) das Fehlen einer allgemeingültigen Methode zur praxisorientierten Herleitung, wann genau der Punkt der Datensättigung erreicht ist. So vermeiden bspw. GLASER UND STRAUSS (1998, S.69) präzise Aussagen über die Erreichung der Sättigungsgrenze und formulieren stattdessen: „Sobald [der Forscher]<sup>59</sup> sieht, dass die Beispiele sich wiederholen, wird er davon ausgehen können, dass eine Kategorie gesättigt ist“ (Glaser & Strauss 1998, S.69). Die Frage, wie oft sich ein Beispiel wiederholen muss, lassen die Autoren dabei unbeantwortet.

Zur Auflösung dieses Problems schlagen FRANCIS ET AL. (2010, S.1234) ein vor Durchführung der Interviews festzulegendes Abbruchkriterium vor, anhand dessen die Erreichung der Sättigung spezifiziert werden kann. Die Autoren sehen die Sättigungsgrenze als erreicht, wenn in drei aufeinanderfolgenden Interviews keine neue Codierung generiert werden kann. In Analogie zu den Ausführungen von FRANCIS ET AL. (2010) wird im Rahmen dieser Arbeit das beschriebene Abbruchkriterium ebenfalls angewendet.

Wie in Abbildung 31 dargestellt, wurde die Sättigungsgrenze nach 12 durchgeführten Interviews erreicht. Das spiegelt auch die Ergebnisse von GUEST ET AL. (2006, S.74) wider, die in ihrer Arbeit postulieren „that data saturation had for the most part occurred by the time we had analyzed twelve interviews“.

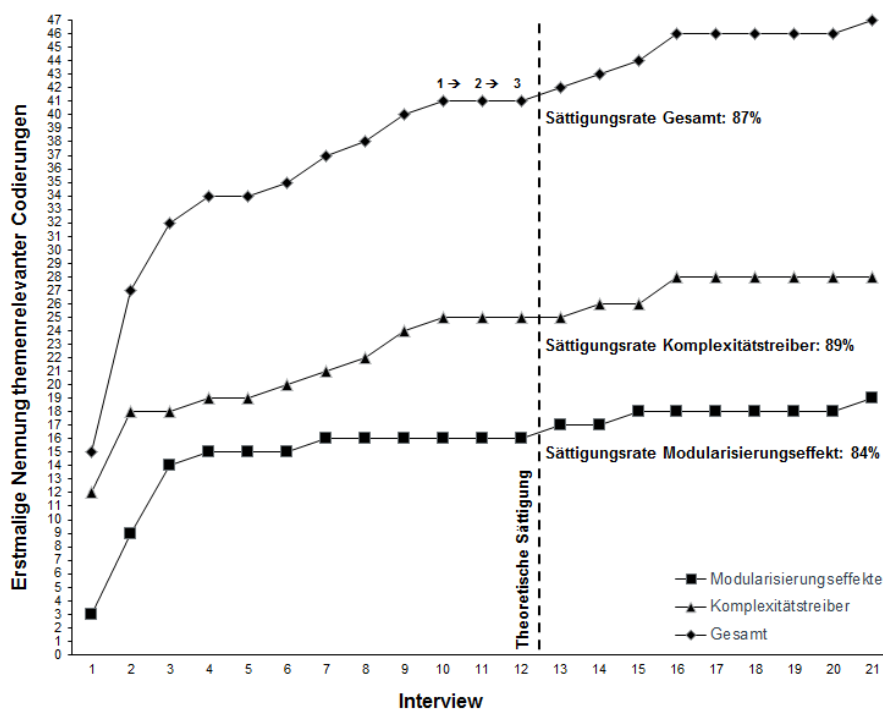


Abbildung 31: Darstellung der theoretischen Sättigung  
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Francis et al. (2010)

<sup>59</sup> Anmerkung des Autors

Nach der Analyse von 12 Interviews wurden bereits 41 von 47 Codierungen genannt, was einer Sättigungsrate, bezogen auf die Gesamtanzahl an Codes, von 87% entspricht. Die Sättigungsrate identifizierter Modularisierungseffekte liegt nach 12 Interviews bei 84% (16 von 19 Codierungen) und bei 89% (25 von 28 Codierungen) in Bezug auf identifizierte Komplexitätstreiber. Die Identifikation von 87% der Codierungen ist gleichzeitig Indikator für eine ausreichende Robustheit der Ergebnisse (vgl. Francis et al. 2010, S.1242) und legitimiert somit Wahl der eingesetzten Forschungsmethodik in Bezug auf die Qualität der Ergebnisse.

Das Erreichen der theoretischen Sättigung ist jedoch keinesfalls gleichzusetzen mit dem Anspruch der Identifizierung aller existierenden, relevanten Größen. WRAY ET AL. (2007, S.1400) führen hierzu aus: „[...] no data are ever truly saturated. There are always new things to explore“. Ähnlich äußern sich auch GUEST ET AL. (2006, S.75) und sprechen bei „data saturation“ in diesem Zusammenhang von einem „moving target“, welches von der Heterogenität des gewählten Samples abhängig ist (vgl. Guest et al. 2006, S.79). Vielmehr sei daher betont, dass einer Forderung zur Durchführung weiterer Interviews mit Hinblick auf die beschriebene Sättigungskurve widersprochen werden kann, da der mögliche zusätzliche marginale Erkenntnisbeitrag in einem Missverhältnis zum Zeitbedarf für die Durchführung weiterer Interviews steht und somit dem wissenschaftlichen Anspruch an eine effiziente Forschung entgegensteht.

#### 4.4 Transkription der Daten

Unter dem Begriff der Transkription wird der Übertragungsprozess Audio(visueller)-Daten in eine schriftliche Form verstanden, die den Gesprächsverlauf des Interviews wirklichkeitsgetreu widerspiegelt und die für weiterführende Auswertungsschritte im nachgelagerten Forschungsprozess herangezogen werden kann (vgl. Dittmar 2004, S.50f.; Höld 2009, S.657; Kuckartz 2010, S.38).

DRESING UND PEHL (2015, S.17) betonen hierzu, „dass eine Transkription nie die Gesprächssituation vollständig festhalten kann. Dafür spielen während der Kommunikation zu viele Faktoren eine Rolle“ und führen aus, dass eine Fokussierung auf bestimmte Aspekte in Abhängigkeit des Forschungsziels erfolgen muss (vgl. Dresing & Pehl 2015, S.18). Die Transkription bildet somit die fundamentale Basis der nachgelagerten Inhaltsanalyse.

Entsprechend ist nach HÖLD (2009, S.658) „die Wahl des Transkriptionssystems stark von der Art der geplanten Analyse abhängig“. DITTMAR (2004, S.52) sieht wiederum die Gestaltung des Transkriptionsprozesses in Abhängigkeit der zur Erreichung der Forschungsziele zu operationalisierenden Größen. Für die Wahl der als ideal erachteten Transkriptionsform spielen demnach Forschungsmethodik und Erkenntniserwartung eine entscheidende Rolle (vgl. Dresing & Pehl 2015, S.20).

Da das Ziel der Durchführung von Interviews darin besteht, ein bzgl. der untersuchten Thematik möglichst umfassendes Bild des aktuellen Stands in der Praxis zu erlangen und somit der Schwerpunkt auf dem Inhalt des Interviews liegt, erscheint aus Sicht des Autors die kommentierte Transkription optimal, da primär zwar die reine Verschriftlichung der akustischen Daten und weniger deren Interpretation im Vordergrund steht, ohne dabei die Möglichkeit einer späteren analytischen Betrachtung der auffälligen nonverbalen Kommunikation zu diesem frühen Zeitpunkt im Forschungsprozess gänzlich auszuschließen (vgl. Höld 2009, S.659f.).

Da bei dieser Umwandlung durch den Transkribierenden gleichzeitig eine Reduktion und Interpretation der Daten erfolgt, muss sich der Transkriptionsprozess, um wissenschaftlichen Anforderungen zu genügen, an einem vorher festgelegten und durch die zu erzielenden Forschungserkenntnisse determinierten Regelwerk (Transkriptionssystem) orientieren (vgl. Kuckartz 2010, S.41; Kuckartz et al. 2008, S.27). Durch das Transkriptionssystem wird in Abhängigkeit des Analyseziels festgelegt, nach welchen Regeln das gesprochene Wort in die fixierte Schriftform transferiert wird (vgl. Kuckartz 2010, S.41).

Das im Rahmen des Transkriptionsprozess angewandte Regelsystem mit der dazugehörigen Notationszeichenübersicht ist der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen und orientiert sich an den Ausführungen von KUCKARTZ ET AL. (2008, S.27) und HUGL (1995, S.87ff.).

Die Transkription der Datensätze erfolgte durch den Interviewer selbst. Dies beeinflusst in keiner Weise negativ die Ergebnisqualität. SKIRDE (2015, S.107) führt im Gegenteil aus, dass es in der Literatur als vorteilhaft angesehen wird, wenn der Interviewer selbst die Transkription des Materials anfertigt. Da aufgrund datenschutzrechtlicher Auflagen ein Vier-Augen-Prinzip bei der Korrektur der Transkriptionsprotokolle nicht möglich war, wurden diese zusätzlich durch den Transkribierenden mit einem zeitlichen Abstand nochmals Korrektur gelesen (vgl. Dresing & Pehl 2015, S.31). Dies hatte zum Ziel etwaige Unsauberkeiten im Transkriptionsprozess zu korrigieren und gleichzeitig subjektivitätsbegründete Limitationen hinsichtlich der Ergebnismenge zu vermeiden. Die Transkription der Audiodaten erfolgte softwaregestützt mit den Programmen Express Scribe und Microsoft Word. Die im DOCX-Format gespeicherten Transkriptionsdateien wurden dann im Rahmen der nachfolgenden Inhaltsanalyse an das Programm MAXQDA Version 12 überspielt.

**Transkriptionsregeln:**

- es erfolgt eine wörtliche Transkription
- es erfolgt die Übertragung in ein dialektbereinigtes, standardisiertes Schriftdeutsch
- Wort und Satzbrüche werden geglättet, wobei die Verbesserung von Grammatikfehlern nur mit Hinblick auf die Verbesserung des inhaltlichen Verständnisses erfolgt
- Namen sowie Hinweise, die Rückschlüsse auf eine Person erlauben, werden entsprechend bestehender Datenschutzbestimmungen anonymisiert, sofern diese Information nicht freizugänglich ist
- der Interviewer wird mit einem „I:“ gekennzeichnet, die befragten Personen werden chronologisch nach dem Zeitpunkt des Interviews gekennzeichnet (1. Interviewte „A:“, 2. Interviewte „B:“, usw.)

**Notationszeichenübersicht:**

(.)	kurze Pause
(...)	lange Pause
...	Gedankensprung
(Text?)	schwer zu verstehende Textpassage
[XXX]	unverständliche Textpassage
[I: Text]	Einwurf des Interviewers bzw. des Interviewten (Sprechüberlappung)
[Text]	grammatikalische Korrektur (Ergänzung durch den Transkribierenden)
<u>Text</u>	auffällige Betonung, Erhöhung der Lautstärke
[TEXT]	Nicht-sprachliche Handlung bzw. Gefühlsausdruck (z.B. Lachen)

Abbildung 32: Angewandtes Regelsystem für den Transkriptionsprozess

**4.5 Inhaltsanalyse**

In der Literatur lässt sich keine einheitliche Definition der Qualitativen Inhaltsanalyse finden (Mayring 2007, S.11f.). Versucht man die von MAYRING (2007, S.12f.) angeführten Spezifika der Inhaltsanalyse in eine Begriffsdefinition zu übertragen, so ist unter dem Begriff der Qualitativen Inhaltsanalyse die systematische, regel- und theoriegeleitete Analyse fixierter Kommunikation zur zielorientierten Extraktion wissenschaftsrelevanter Aspekte der Kommunikation zu verstehen (vgl. auch Gläser & Laudel 2009, S.204). Eine Qualitative Inhaltsanalyse lässt dich dabei in die drei Prozessschritte Entdecken, Strukturieren und Zusammenfassen unterteilen (vgl. Dresing & Pehl 2015, S.38ff.).

Die Qualitative Inhaltsanalyse hat den großen Vorteil, dass die extrahierten Ergebnisse losgelöst vom transkribierten Text weiterverarbeitet werden können, da sie nur noch forschungsrelevante Informationen enthalten (vgl. Gläser & Laudel 2009, S.44ff.; ebenda, S.200).

Die Anwendung dieser Methode setzt aber voraus, dass nicht der Text bzw. darin enthaltene Konstrukte im Fokus der Betrachtung stehen sondern primär die systematische Durchforstung des Textes zur Gewinnung von Ausprägungen und deren deduktive Einordnung in ein ex ante entwickeltes Kategoriensystem bzw. dessen induktive Anpassung (vgl. Gläser & Laudel 2009, S.47).

Das für die Entwicklung des Kategorisierungssystems angewandte Forschungsdesign kann somit als zweigeteilter Prozess verstanden werden: „The main procedures of qualitative content analysis are inductive category formation and deductive category application“ (Mayring 2002, S.140; vgl. auch Kuckartz 2010, S.60f.). Dabei sind die einzelnen Prozessstufen nicht als serielle Abfolge zu verstehen, sondern werden zum Teil auch parallel durchlaufen.

Innerhalb des ersten Teilprozesses erfolgt die theoriegeleitete Entwicklung von Kategorien und deren Herantragung an das transkribierte Textmaterial. Nach MAYRING (2005, S.11) kann hierbei von einer „deduktiven Analyserichtung“ gesprochen werden, nämlich „von der Theorie zum konkreten Material“. „The deductive procedure has formulated the categories prior to the analysis, following the research question and tries to assign those categories to textual material“ (Mayring 2002, S. 140). Ziel ist es, durch die deduktive Anwendung des Kategoriensystems sowie auf Basis vorab festgelegter Codierregeln aus den gewonnenen Rohdaten themenrelevante Informationen zu extrahieren und dadurch die bei qualitativen Erhebungsmethoden inkludierte Unschärfe zu eliminieren (vgl. Gläser & Laudel 2009, S.43; Mayring 2001, S.6; Mayring 2007, S.42f).

Das Kategoriensystem ist aber mitnichten ein abgeschlossenes System, sondern wird im Zuge der Informationsextraktion induktiv aus dem Material heraus weiterentwickelt (vgl. Gläser & Laudel 2009, S.201; Mayring 2001, S.5; Mayring 2007, S.75). Diese induktive Weiterentwicklung charakterisiert den zweiten Teil des Entwicklungsprozesses. Hier bildet das Textmaterial den Ausgangspunkt und es erfolgt eine nah am Text orientierte Formulierung von Kategorien (vgl. Mayring 2005, S.11). Somit ist die im zweiten Teilprozess durchgeführte induktive Analyserichtung der deduktiven Analyserichtung genau entgegengerichtet. Die induktive Kategorienbildung ist dabei ebenfalls kein freier Prozess, sondern basiert ebenso wie der deduktive Ansatz auf theoriegeleiteten Überlegungen und Interpretationen (vgl. Mayring 2002, S.143).

Das Kategoriensystem stellt somit das zentrale Instrument der Analyse dar (vgl. Mayring 2007, S.43), da sich erst durch Anwendung eines solchen Systems die extrahierten Informationen sinnvoll strukturieren lassen (vgl. Gläser & Laudel 2009, S.200). Dadurch erleichtert die Anwendung bzw. Entwicklung eines Kategoriensystems die Vergleichbarkeit der Ergebnisse und erhöht die Reliabilität der Forschungsarbeit (vgl. Mayring 2007, S.44). Bei der inhaltlichen Strukturierung geht es primär darum, aus dem vorliegenden Material themenrelevante Inhalte und Aspekte herauszufiltern und durch eine regelgeleitete Interpretation und Setzung entsprechender Codierungen den Kategorien zuzuordnen

(vgl. Dresing & Pehl 2015, S.39; Mayring 2005, S.11; Mayring 2007, S.89). Dieser selektive Zuordnungsprozess relevanter Textpassagen wird als Codieren bezeichnet (vgl. Kuckartz et al. 2008, S.36; Kuckartz 2010, S.57; Mayring 2001, S.5).

Aus der Vielzahl existierender Formen des Codierens (vgl. Kuckartz 2010, S.72ff.) erscheint aufgrund der aufgezeigten wissenschaftlichen Zielstellung die Anwendung des Thematischen Codierens<sup>60</sup> für die inhaltliche Datenanalyse am besten geeignet. Auch KUCKARTZ (2010, S.91) betont die positive Eignung dieser Codiermethode bei der inhaltlichen Analyse von Datenmaterial, welches basierend auf theoretischen Vorüberlegungen und durch Anwendung eines Leitfadens erhoben wurde.

Das dem Analyseprozess zugrunde liegende Regelsystem für die Codierung ist in Abbildung 33 dargestellt und orientiert sich an den Ausführungen von KUCKARTZ ET AL. (2008, S.39f.) und JENSEN (2005, S.261ff.).

**Codierregeln:**

- es wird selektiv codiert
- sich inhaltlich wiederholende Textpassagen innerhalb desselben Interviews werden nur einmalig codiert (vgl. Kuckartz et al. 2008, S.39f.)<sup>61</sup>
- es erfolgt die Anwendung des Prinzips der sequenziellen Interpretation, d.h. Interviews werden unabhängig von inhaltlichen Erkenntnissen vor- bzw. nachgelagerter Interviews interpretiert (vgl. Jensen 2005, S.261)
- es werden Sinneinheiten codiert, die für sich allein genommen ausreichend verständlich sind und mindestens aus einem (Teil-)Satz bestehen (vgl. Kuckartz et al. 2008, S.39)

Abbildung 33: Angewandtes Regelsystem für den Analyseprozess

Der durchgeführte Codierungsprozess erfolgte direkt und ausschließlich digital durch Anwendung der QDA-Software MAXQDA in der Version 12. Auf den zum Teil in der Wissenschaft zur Anwendung kommenden vorgelagerten Prozessschritt des Codierens mittels Papierausdruck (Two-step-Codieren) (vgl. Kuckartz 2010, S.64) wurde mit Hinblick auf einen schlank gestalteten Forschungsprozess verzichtet. Durch Einsatz der Textanalysesoftware konnte eine effiziente Exploration und Codierung der erhobenen Datenmenge in hohem Maß gewährleistet werden (vgl. Kuckartz et al. 2008, S.30).

Abbildung 34 stellt abschließend das Ergebnis des Codierprozesses anhand eines gewählten Textauszuges exemplarisch dar.

<sup>60</sup> Für eine detaillierte Erläuterung zum Thematischen Codieren wird auf KUCKARTZ (2010, S.84ff.) verwiesen.

<sup>61</sup> Da es um die Entdeckung neuer Einflussgrößen geht, ist für die Feststellung der thematischen Relevanz einer zu kategorisierenden Einflussgröße nicht die absolute Häufigkeit der Nennung ausschlaggebend, sondern die Anzahl der Experten, die diese Einflussgröße thematisiert haben (vgl. Guest et al. 2006, S.72).

Codierung	Transkribierter Textauszug
<p>..Anzahl Elemente ..dynamische Wechselwirkung</p> <p>..Anzahl Derivate (Produktprogramm) ..Zwang zur Derivatisierung (Wettbewerb)</p> <p>..Anzahl der Bauteile/Teilenummern (Variantenanzahl)</p> <p>..Optimale Gestaltung des Baukastens</p>	<p>67 I: Das ist glaube ich eine gute Überleitung zum Thema Komplexität, weil sie ja gesagt haben, es wird alles immer intransparenter. Was verbirgt sich für sie hinter dem Begriff Komplexität?</p> <p>68 J: Wenn man da im Lexikon nachschlägt, gibt es einen Satz. Und im Endeffekt ist es ja auch so. Es ist das Gegenteil von einer Vereinfachung. Es sind im Endeffekt viele Elemente, die wir irgendwo nebeneinander legen müssen bzw. Elemente, die irgendwo einen direkten oder indirekten Einfluss haben. Und die Komplexität ist dann wirklich, dass es immer mehr wird. Das ist ein großes Puzzle wie Atome, die da so rumschwirren. Unsere Aufgabe ist es letztendlich, dass man daraus ein Geflecht macht, dass man irgendwo überschauen kann. Und die Komplexität, wenn wir das jetzt spiegeln für uns jetzt hier in unsere Fahrzeugwelt bzw. Automobilindustrie, dann ist es ja ganz klar die Varianz in den Fahrzeugen. Man versucht viele Kunden zu binden und viele Stückzahlen zu verkaufen. Das können wir nur, wenn man dem Kunden im Endeffekt auch viel bietet, weil es die Konkurrenz genauso macht. Das bedeutet, dass wir unsere Komplexität steigern, das heißt, mehrere Varianten aufbauen. Wenn man dem Kunden halt mehr anbietet, ist das klar. Da sollte man versuchen, gerade wenn wir jetzt wieder bei der Plattform oder dem Baukasten sind, bei den Bauteilen, die der Kunde nicht unbedingt wahrnimmt, [die Varianz] so gering wie möglich zu gestalten. Wobei ich dann auch noch eine Stufe weiter gehen will: Selbst die Bauteile, die der Kunde wahrnimmt, sollte man [gleich gestalten]. Das man aber aufpasst, dass es nicht zu extrem wird.</p>

Abbildung 34: Codierter Textauszug aus Interview J

## 4.6 Darlegung zentraler Ergebnisse

Nachdem die ersten beiden Prozessschritte der Datenanalyse (Entdecken und Strukturieren) bereits erläutert worden sind (vgl. Kap.4.5), befasst sich dieses Kapitel mit dem dritten Prozessschritt des Zusammenfassens. Der Fokus liegt damit in der Präsentation gewonnener Erkenntnisse aus der durchgeführten Praxisanalyse.

Die Strukturierung dieses Kapitels folgt der in Abschnitt 3 genutzten Aufteilung in die zwei Themenschwerpunkte Komplexität und modularer Baukasten respektive Modularisierung. Da ein weiterer Themenschwerpunkt in der fokussierten Betrachtung der Beschaffung liegt, werden außerdem die durch die Experten beschriebenen Implikationen für die Beschaffung innerhalb der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette dargelegt.

Um dabei den Gütekriterien nach Transparenz und intersubjektiver Nachvollziehbarkeit zu entsprechen (vgl. Kap. 4.8), erfolgt im Rahmen der Ergebnisdarstellung die exemplarische Zitation von Textpassagen aus den Interviews (vgl. Mayring & Brunner 2009, S.676). Dabei wird auf die Dopplung inhaltlich vergleichbarer Textpassagen verschiedener Experten zur Verbesserung der Übersichtlichkeit verzichtet.

### 4.6.1 Existenz eines einheitlichen Begriffsverständnis in Theorie und Praxis

Nachdem bereits in Abschnitt 2 basierend auf der theoriegeleiteten Rechercharbeit relevante Begrifflichkeiten im Zusammenhang mit den Themenschwerpunkten Komplexität und modularer Baukasten definitorisch abgeleitet wurden, soll nachfolgend die Frage geklärt werden, inwieweit sich dieses Begriffsverständnis in der Praxis widerspiegelt.

Hierzu wurden Aussagen der Experten, die einen Begriff erklären bzw. das eigene Verständnis des Experten für diesen Begriff darlegen und somit einen Beitrag für die Begriffsdefinition liefern, extrahiert und zu Kernaussagen verdichtet.

Einleitend ist anzumerken, dass es den Experten äußerst schwer gefallen ist, ihr jeweiliges Verständnis bzgl. des Komplexitätsbegriffs zu formulieren. Primär verantwortlich für die fehlende Eindeutigkeit ist das hohe Abstraktionsniveau mit dem der Begriff der **Komplexität** in der Praxis behaftet ist (vgl. Tabelle 10).

	Begriffsverständnis	Textauszug Interview
Abstraktionsniveau	Fehlende Eindeutigkeit	A: "Für mich schon. (...), es ist wie eine Wolke, die so über dir schwebt. Man redet immer darüber und sagt: Mensch, das ist aber alles ganz komplex." C: "Da gibt es unterschiedliche Definitionen." D: "Das ist ein schönes Wort." G1: "Es ist ein Gefühl mehr." H: "Es kommt darauf an, was man damit erklären will." N: "weil es bei Komplexität schon arg auf die Sichtweise drauf ankommt. (...)" S: "Eine eindeutige und immer gültige Definition von Komplexität im Konzern zu finden, gelingt erst mal nicht." U: "Darum sage ich ja, Komplexität ist Definitionssache. (...) wenn man die Definition nicht gelesen hat, kann man damit nichts anfangen."
	Anzahl der Elemente	J: "Es sind im Endeffekt viele Elemente, die wir irgendwo nebeneinander legen müssen bzw. Elemente, die irgendwo einen direkten oder indirekten Einfluss haben. Und die Komplexität ist dann wirklich, dass es immer mehr wird. Das ist ein großes Puzzle wie Atome, die da so rumschwirren." K: "Je mehr Einzelkomponenten ich habe, desto mehr Auswirkungen auf meine ganzen Bereiche außen herum und auf den Gesamtprozess habe ich und desto (höher?) ist die Komplexität." L: "Die Anzahl der Elemente." O: "Umso mehr verschiedene Varianten ich tauschen kann, umso komplexer wird es." Q: "Dann ist Komplexität in erster Linie Anzahl dieser Komponenten." E: "Komplexität heißt: Ich habe verschieden Varianten eines Bauteils. Mal simpel gesprochen." F: "Komplexität ist eigentlich (...) die Vielfalt, die ich in ein Projekt bringe, obwohl ich es mir einfach machen könnte."
Varietät (Elementenvielfalt)	Vielfalt des Systems	G1: "Viele verschiedene Anforderungen (...) für die gleichen Teile." O: "Also ich würde sagen die Variantenvielfalt bewirkt die Komplexität." R: "Komplexität ist mal ganz platt gesagt die Kompliziertheit eines Systems. Und die Komplexität eines Systems lässt sich messen in der Zahl der theoretisch möglichen Variantenausprägungen." U: "Grundsätzlich ist Komplexität hier in der Automobilindustrie ein Synonym für Variantenvielfalt."
	Verknüpfung der Elemente	J: "Ein großen Geflecht an Elementen." K: "Komplexität würde ich so bezeichnen: Die Wechselwirkung oder die Auswirkung, die sich aus dem Zusammenspiel vieler einzelner Komponenten haben." L: "(...) Anzahl der Querverbindungen untereinander. Wenn ich ein System habe, was ständig über 1:1-Beziehungen verfügt, dann ist es wahrscheinlich überschaubar. (...) Wenn die Möglichkeiten schier unermesslich sind, ergeben sich auch extrem viele Kombinationsmöglichkeiten und Verwendungen, (...)" Q: "(...) die Anzahl macht nicht so viel aus, wie die Interdependenz. Damit steigt die Komplexität frapierend an."
Konnektivität (Relations-vielfalt)	Dynamische Wechselwirkung	A: "Komplexität ist für mich irgendwas (...) viele Sachen die zusammen wirken, aus verschiedenen Richtungen und irgendwas sehr speziell und schwierig gestalten. (...) Dass du dann siehst: Ok, ist ja schön, dass ich diese Scheibe abgearbeitet habe. Aber es passt jetzt nicht mehr mit dem Rest zusammen." D: "Das heißt, es gibt sehr viele Einflussfaktoren, die irgendwie zum Teil auch interagieren und von denen man nicht weiß, wie sie miteinander interagieren. Sehr viel Unsicherheit. Man arbeitet in der Praxis dann mit sehr vielen Setzungen und wundert sich hinterher dann oft, was in der Realität rauskommt." J: "Elemente, die irgendwo einen direkten oder indirekten Einfluss haben." K: "Die Wechselwirkung oder die Auswirkung, die sich aus dem Zusammenspiel vieler einzelner Komponenten haben." Q: "Die Interdependenzen nehmen zu und dadurch auch die Komplexität." R: "Ab einer bestimmten Menge brauchen sie einen Regenschirm. Welcher Tropfen das jetzt gewesen ist und welcher der wichtige Tropfen gewesen ist, der jetzt wirklich dazu geführt hat, dass sie jetzt einen Regenschirm brauchen, das können sie an dem Ding nicht festmachen." S: "Das kann ich nicht, weil die Reaktion eines komplexen Systems nicht mehr analytisch deterministisch erfassbar ist. Das ist das Wesen der Komplexität, (...) entziehen durch Unkenntnis, Unerkennbarkeit der Gesamtzusammenhangssystematik." U: "Eine hohe Komplexität erschwert das Verständnis der Zusammenhänge. Von daher bergen komplexe Themen Risiken, weil man es nicht erkennt. Das einfache Gesetz von Ursache und Wirkung wird schwieriger zu verstehen wenn ich sehr viel Einflussgrößen habe, die Wechselwirkungen unterliegen, so dass die Ergebnisse sehr unterschiedlich ausfallen."
	Steuerbarkeit des Systems	A: "Kann man das steuern? Wie willst du das steuern? Wenn man ein komplexes Problem hast, kann man sich hinsetzen und sagen: Ok, das ist mein Problem und was für Größen spielen mit herein. Und dann kannst du das zerlegen. Den Elefant in Scheiben schneiden. (...) Ok, ist ja schön, dass ich diese Scheibe abgearbeitet habe. Aber es passt jetzt nicht mehr mit dem Rest zusammen." B: "Was ich unter Komplexität in Zusammenhang mit dem MQB verstehe, ist die Tatsache, wie steuerbar für mich insbesondere das Thema Beschaffung noch ist, während des Arbeitens mit dem Baukasten.(...) Aber man muss auch überlegen, dass ich in der Lage bin, die Komplexität der lokalen Marktanforderungen auch noch zu steuern."

Tabelle 10: Komplexitätsverständnis (Praxisanalyse)

Trotz des hohen Abstraktionsniveaus spiegeln die Aussagen der Experten überraschend eindeutig die in Kapitel 2.2.1.1 dargelegten Dimensionen und Merkmalsausprägungen der Komplexität wider. Es kann weiterhin festgestellt werden, dass auch ohne einheitliche Begriffsdefinition das in der Praxis vorherrschende Komplexitätsverständnis trotz eines ausgeprägten Subjektivitätsgrads in hohem Maß dem in der Wissenschaft allgemeingültigen und theoriegeleiteten Begriffsverständnis von Komplexität entspricht.

Im Gegensatz zum Komplexitätsbegriff haben sich die Experten mit der Darlegung ihres jeweiligen Begriffsverständnisses zum Themenschwerpunkt modularer Baukasten deutlich leichter getan.

Die Frage nach einer im Konzern allgemeingültigen Definition für den **modularen Baukasten** lieferte dabei eine Vielzahl von Aussagen mit inhaltlich starken Überschneidungen. Beispielhaft beschreibt EXPERTE A einen modularen Baukasten als

*„(...) verschiedene Bauteile, die von verschiedenen Fahrzeugen konzernübergreifend genutzt werden können. Vielleicht mit kleinen Änderungen, breiter, größer, länger, was weiß ich, wie auch immer, die quasi gleich sind und ich diese überall verbauen kann und (...) Also wirklich eine Art Lego-Baukasten-Hochregallager (...)“ (Experte A).*

Ergänzend kann EXPERTE V zitiert werden, der unter einem modularen Baukasten einen Ansatz versteht

*„(...) über verschiedene Fahrzeugtypen relativ einheitliche Grundgerüste zu schaffen, die ich adaptieren kann, (...) 75% - 80% des Teileumfangs identisch ist für alle Produktgruppen, die es nutzen sollen“ (Experte V).*

Werden die verschiedenen Expertenaussagen bezogen auf das begriffliche Verständnis des Modularen Baukastens verdichtet, wird in der Praxis unter einem modularen Baukasten ein technisches Konzept verstanden, welches durch die Festlegung von Rahmenbedingungen die baureihen-, marken- und regionenübergreifende Nutzung standardisierter aber dennoch adaptierfähiger Fahrzeugkomponenten ermöglicht (vgl. Experte A, B,C,D,E,F,G,H,J,K,L,O,P,Q,R,S,T,V).

Trotz der inhaltlich starken Überschneidungen in den Aussagen wird aufgrund einer fehlenden begrifflichen Eindeutigkeit auf ein zum Teil unterschiedliches Begriffsverständnis hingewiesen (vgl. Experte D,H).

*„Ich glaube, das ist nicht durchgehend definiert in diesem Unternehmen. Jeder macht da sein eigenes Ding auf“ (Experte D).*

Beschreibt der Modulare Baukasten primär das technische Strukturierungskonzept des Fahrzeugs, wird in der Praxis in Analogie zur Theorie unter dem Begriff der **Modularisierung** der Prozess verstanden, der dieser modularen Produktstrukturierung zugrunde liegt.

*„(...) die geschickte Unterteilung eines Systems in möglichst autarke Einheiten, durch die Definition von Schnittstellen – möglichst standardisierten Schnittstellen zwischen diesen Einheiten. Und dass ich dann in der Lage bin, diese Einheiten miteinander auszutauschen. (...) Dinge so zuzuschneiden, dass ich Interdependenzen in einem Modul zusammenfasse und sich die Module weitestgehend unabhängig voneinander verhalten“ (Experte Q).*

Die Experten verstehen unter dem Begriff der Modularisierung folglich die Zerlegung eines Gesamtsystems in autarke, vom Kunden nicht wahrnehmbare Funktionseinheiten, die aufgrund standardisierter Schnittstellen austauschbar sind (vgl. Experte B,H,Q).

Hieraus wird auch durch die Experten abermals die enge Verknüpfung der Begriffe Modularisierung und **Modul** verdeutlicht. Erst durch den Prozess der Modularisierung erfolgt die Zerlegung des Gesamtfahrzeugs in einzelne Funktionseinheiten, die als Module bezeichnet werden.

*„(...) Funktionseinheiten in jeglicher Form. (...) ein abgeschlossenes Teilchen, was ich so wie es ist unverändert rein und rausnehmen kann und durch ein gleiches Modul ersetzen kann. (...) Die Voraussetzung, dass es austauschbar ist, ist eben, dass es wirklich Vereinheitlichungen zwischen den einzelnen Schnittstellen gibt (...)“ (Experte K).*

Ein Modul wird von den Experten als eine geschlossene Funktionseinheit definiert, bestehend aus einem standardisierten Grundmodul mit einem applikationsfähigen Variierungsumfang, die baureihenübergreifend verwendet werden kann und durch die wechselseitige Austauschbarkeit eine Kundendifferenzierung ermöglicht (vgl. Experte A,C,F,H,J,K,L,P,Q,S).

Zusammenfassend kann attestiert werden, dass sowohl hinsichtlich der Komplexität als auch des modularen Baukastens in der Theorie und Praxis ein annähernd identisches, begriffliches Verständnis vorherrscht. Legt man zugrunde, dass ein einheitliches Begriffsverständnis den Wissenstransfer positiv beeinflusst, ist davon auszugehen, dass hierdurch die Transferierung praxisrelevanter Ergebnisse in die Theorie und vice versa erleichtert und der wissenschaftliche Nutzenbeitrag dieser Arbeit erhöht werden.

#### **4.6.2 Wahrnehmung von Komplexität im Unternehmen und Komplexitätswirkung des modularen Baukastens**

An dieser Stelle seien nochmals die Ausführungen zum Nutzeneffekt von Komplexität in Erinnerung gerufen (vgl. Kap. 2.2.1). Es wurde festgestellt, dass Komplexität neben den häufig negativen Begriffsassoziationen auch positive Eigenschaften für ein Unternehmen besitzt. Diese positiven Wirkungsaspekte können auch durch die Erkenntnisse der Praxisanalyse bestätigt werden (vgl. Experte B,C,D,P).

*„Aber (...) wenn man Unternehmens- oder alle Produkte überspannende Aktivitäten macht – das ist ja letztlich ein Baukasten –, dann bleibt es nicht aus, dass bis zu einem gewissen Grad Komplexität erforderlich ist, um das überhaupt abzubilden in einer ausreichenden Varianz. Das geht ja gar nicht anders. Da sehe ich Komplexität grundsätzlich erst mal positiv“ (Experte D).*

Die Experten sehen zum einen im Aufbau von Komplexität durch die Auffächerung des Produktportfolios die Notwendigkeit zur Entsprechung von Markt- bzw. Kundenanforderungen (vgl. Experte B,G,H,K,M,O,R). Daneben kann eine Komplexitätssteigerung zur Generierung von Wettbewerbsvorteilen durch den Aufbau von Alleinstellungsmerkmalen genutzt werden (vgl. Experte A,M). Aus Sicht der Experten ist Komplexität somit für das Unternehmen immer dann als positiv zu bewerten, wenn hiermit Geld verdient werden kann (vgl. Experte D,G,H,M), also der aus dem Komplexitätsdelta resultierende Ertrag den Aufwand überkompensiert.

*„Man ist mit dem Baukasten ganz bewusst ein Stück an Mehrkomplexität eingegangen, um aber die positiven Effekte der Komplexität – Kundenbedürfnisse befriedigen, Geld damit verdienen, Kundenwerte schaffen, die sich in Verkaufspreisen und Einbauraaten niederschlagen – mitzunehmen“ (Experte M).*

Unabhängig von der positiven Wirkung von Komplexität wird das aktuelle Komplexitätsniveau im Unternehmen in der Praxis derzeit als hoch eingeschätzt (vgl. Experte A,B,D,P), wobei die Entwicklung des Komplexitätsniveaus in Abhängigkeit des betrachteten Produkts bzw. Bauteils sehr unterschiedlich ausfällt (vgl. Experte C,F,P).

*„Wir haben ein relativ hohes Niveau erreicht“ (Experte B).*

*„Es hat teilweise schon eine Grenze des Machbaren erreicht“ (Experte P1).*

*„Das hängt vom Produkt ab. Im Karosseriebau habe ich die Komplexität sicherlich reduziert, indem ich die modulare Querbaukasten-Plattform fahre (...). In Fahrwerksteilen ist es explodiert“ (Experte P2).*

Aus der zum Teil unterschiedlichen Komplexitätswirkung resultierend, äußern sich die Experten bzgl. der Einschätzung der Entwicklung des Komplexitätsniveaus in den letzten Jahren nicht einheitlich. Gehen einige Experten von einem Komplexitätsanstieg aus (vgl. Experte B,C,H,J,Q,T,V), ist die Komplexität für andere Experten auf einem konstanten Niveau geblieben (vgl. Experte D,S).

*„Ich denke, dass wir auf jeden Fall mehr Komplexität haben“ (Experte H).*

*„Wir haben zwar das Gefühl, dass die Komplexität steigt. Die Ansprüche der Welt werden immer komplizierter. Aber die Tools, die wir jetzt schaffen, und die Komplexitätsbeherrschung werden auch immer besser, so dass im Endeffekt das gefühlte Maß der Komplexität in etwa gleichbleibt“ (Experte S).*

Auslöser für den beschriebenen Anstieg des Komplexitätsniveaus sehen die Experten dabei in den folgenden drei Entwicklungen begründet:

- 1) Die Ursache für den Komplexitätsanstieg liegt in der zunehmenden Derivatisierung des Produktprogramms aufgrund einer steigenden Kundenorientierung (vgl. Experte B,H,L,P,S).  
*„Ich glaube, durch die Derivatisierung gibt es generell eine Tendenz, dass die Komplexität kontinuierlich ansteigt“ (Experte L).*
- 2) Die Ursache für den Komplexitätsanstieg liegt in einem erhöhten Steuerungsaufwand im Konzern ausgelöst durch die Implementierung des modularen Baukastens begründet (vgl. Experte C,G,H,K,N,P).  
*„In der Steuerung und in der Koordination ist es viel komplexer, eben mit der Konzernthematik dazu“ (Experte G1).*  
*„Aber so etwas, dass man einen Baukasten im Wesentlichen über eine Organisation steuert, das hatten wir früher in der Form nicht. Deswegen ist das, was ich momentan sehe, was für mich zu händeln ist, komplexer als das, was ich vorher kannte“ (Experte N).*
- 3) Die Ursache für den Komplexitätsanstieg ist auf eine zunehmende Dynamisierung der Beschaffungsprozesse zurückzuführen (vgl. Experte B,D).  
*„Die Beschaffungsarbeit ist komplexer geworden. (...) Eine Verdichtung von SOPs auf einen sehr kurzen Zeitraum wie jetzt, gab es ja [vorher] gar nicht. Wir erneuern unsere gesamte Fahrzeugpalette oder Flotte innerhalb von 4, 5 Jahren und das gab es in der Vergangenheit noch nie. Das hängt natürlich auch mit der Baukastenstrategie zusammen, weil wir die dann überall ausrollen wollen“ (Experte B).*

Aus den zitierten Äußerungen der Experten wird deutlich, dass die Anwendung der Baukastenstrategie das Komplexitätsniveau des Konzerns im Allgemeinen und der Beschaffung im Besonderen beeinflusst. Somit wird der dieser Arbeit zugrunde liegende Bezugsrahmen (vgl. Kap. 2.1) durch die wirkungsbezogenen Erkenntnisse der Praxisanalyse gestützt.

Dabei muss betont werden, dass die Komplexitätswirkung des modularen Baukastens durch die Experten sehr unterschiedlich und zum Teil konträr eingeschätzt wird. So sehen einige Experten in der Implementierung des modularen Baukastens den Auslöser für den Anstieg des Komplexitätsniveaus (vgl. Experte M,Q,V), wohingegen andere Experten der Baukastenstrategie positive Effekte hinsichtlich der Komplexitätsreduzierung attestieren (vgl. Experte D,P).

*„Das ist sicherlich durch die Baukästen sehr stark nach oben gegangen“ (Experte M).*

*„Der MQB an sich erzeugt wie gesagt eigentlich im einzelnen Arbeitsvorgang mehr Komplexität, aber die Wirkung für das Unternehmen ist aus meiner Sicht positiv“ (Experte D).*

An diesen Äußerungen lässt sich erkennen, dass die Wahrnehmung von Komplexität durch ein hohes Maß an Subjektivität gekennzeichnet ist, wodurch allgemeingültige Aussagen kaum realisierbar sind (vgl. Mayer 2007, S.21). Hieraus resultierend tun sich auch die Experten mit einer eindeutigen Aussage zur Komplexitätswirkung des modularen Baukastens schwer (vgl. Experte A,E,Q).

*„Gefühlt ist es komplexer, obwohl wir MQB machen. Aber das ist bestimmt nicht die richtige Antwort. (...) Also ich weiß es nicht. Theoretisch muss es geringer sein, (...)“ (Experte E).*

Trotz dieser Schwierigkeit schätzt ein Großteil der Experten das existierende Komplexitätsniveau im Konzern durch die Implementierung des modularen Baukastens im Vergleich zum potentiellen Komplexitätsniveau einer vom Leistungsumfang vergleichbaren Plattform als geringer ein (vgl. Experte B,D,E,F,K,N,O,R).

*„Wenn wir diese Modelloffensive so mit einer Plattformstrategie gefahren hätten, wäre das vom Aufwand her noch größer geworden oder die Komplexität wäre noch weiter gestiegen (...)“ (Experte K).*

Somit kann dem modularen Baukasten auf Basis der erlangten Erkenntnisse aus der Praxisanalyse zusammenfassend eine positive Komplexitätswirkung bescheinigt werden.

#### **4.6.3 Herausforderungen im Umgang mit Komplexität**

Die Ausführungen zur Klassifizierung der Komplexitätsherkunft haben verdeutlicht, dass eine systemeigene, endogene Komplexität existiert, die ein System zur Interaktion mit seiner Umwelt bereitstellen muss, um auf Umwelteinflüssen reagieren zu können (vgl. Kap. 2.2.1.3). Die Existenz der korrelierten Unternehmenskomplexität wird auch in der Praxis als Herausforderung im Umgang mit Komplexität angesehen. Der Aufbau einer endogenen Komplexität ist erforderlich, um der existierenden exogenen Komplexität entsprechen zu können (vgl. Experte B,L,Q,R).

*„Auch das sind ja Treiber von Komplexität, die dann aber nicht vielleicht durch mich erzeugt sind sondern von außen erzeugt sind und die ich dann abbilden muss, ob ich will oder nicht“ (Experte L).*

Dabei entsteht Komplexität im Unternehmen nicht ausschließlich nur aus der Interaktion mit der Umwelt heraus, sondern wird größtenteils durch das Unternehmen selbst (autonome Unternehmenskomplexität) generiert (vgl. Experte E, Kap. 2.2.1.3).

*„Ich würde mal sagen zu 80% im Unternehmen selber generiert und 20% Einflüsse von außen“ (Experte E).*

Hieraus resultierend ist die Auseinandersetzung mit Komplexität nicht allein auf die Unternehmensbereiche beschränkt, die mit der Umwelt interagieren, sondern für das gesamte Unternehmen essentiell (vgl. Experte F,H).

*„Ich glaube, das betrifft uns alle gleich“ (Experte H).*

Da sich aus Expertensicht eine einmal etablierte Komplexität im Unternehmen schwer wieder reduzieren lässt (vgl. Experte N), ist im Rahmen des Komplexitätsmanagements die Einhaltung eines stringenten Umgangs mit Komplexität sicherzustellen (vgl. Experte B,D,F,P).

*„Ich glaube eine Komplexität, die ich erst mal in so einem Baukasten etabliert habe, bietet einerseits die Chance, dass sie nicht mehr dramatisch wächst. Andererseits wird es einem auch kaum gelingen sie deutlich zu reduzieren“ (Experte N).*

*„Und ich sage mal, die Komplexität wird auch dadurch nochmal etwas gesteigert, dass es zwar Spielregeln gibt, dass aber diese Spielregeln immer fallspezifisch ausgelegt werden. Es gibt keine 100% klare Stringenz an der Stelle“ (Experte P1).*

Aus Unternehmenssicht liegt die Herausforderung im Rahmen des Komplexitätsmanagements bei der Anwendung der Baukastenstrategie vorrangig in der Festlegung des Verhältnisses zwischen externer Kundenorientierung und interner Standardisierung zur Optimierung des Komplexitätsniveaus im Unternehmen (vgl. Experte B,D,K,M,O,S,V).

*„Wir wollen ja die Individualisierung. Das ist ja so eine Gradwanderung. Sie wollen dem Kunden möglichst viel anbieten, jeden Kundenwunsch erfüllen, um die Kundenorientierung zu halten. Auf der anderen Seite auch einen möglichst niedrigen Grad an Komplexität haben, weil das Kosten, Aufwand, Steuerung bedeutet. Das bedeutet einfach einen Wettbewerbsnachteil“ (Experte K).*

*„Also die Optimierung der inneren Varianz, (...) Oder mit anderen Worten – mein Spagat besteht darin, die größtmögliche Varianz vor Kunde [externe Varianz] und damit ein attraktives Angebot mit geringstmöglicher innerer Varianz zu bedienen“ (Experte S).*

Die unzureichende Quantifizierbarkeit von Komplexität stellt für die Vielzahl der Experten bei der Bestimmung dieses Optimums jedoch eine große Schwierigkeit dar (vgl. Experte A,D,E,G,H,L,M,N,O,Q,T), da hierdurch der Kosteneffekt der Komplexität aktuell bei der Gesamtwirtschaftlichkeitsbetrachtung strategischer Entscheidungen nur unzureichend berücksichtigt werden kann (vgl. Experte C,H,N,S,T).

*„(...) wir haben ja nicht die Werkzeuge entlang der gesamten Wertschöpfungskette, die Kosten der Komplexität abzubilden. Die existieren nicht. (...) Ich glaube der Wunsch der Quantifizierung, was die Komplexität angeht, ist zwar sinnvoll aber wird sehr schwierig“ (Experte H).*

*„Das ist ein Punkt, den wir immer wieder diskutieren, weil solange wir sie nicht quantifizierbar machen, kann man sie auch nicht entscheidungsrelevant machen“ (Experte N).*

*„Die Wirtschaftlichkeit eines Baukastens ist abhängig von Komplexitätskosten, die aber nicht messbar sind“ (Experte T).*

Aktuell gibt es daher im Unternehmen kein Tool, welches den Komplexitätseffekt in ausreichendem Maß bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berücksichtigt (vgl. Experte D,G,O).

*„Es gibt da keine Regelung, wie man Komplexität hier in diesem Unternehmen bewertet – also finanziell. Es gibt Tools in der Entwicklung, die eben die Anzahl der Varianten und dergleichen bewerten, aber es gibt nach meinem Erkenntnisstand keine Möglichkeit der finanziellen Bewertung“ (Experte O).*

#### **4.6.4 Gründe für die Implementierung modularer Baukästen**

Die Implementierung des modularen Baukastens ist keine neue Erfindung (vgl. Experte B,G,J,K,M,P,S,T) sondern „die Konsequenz aus der Weiterentwicklung der Plattform“ (Experte J), um eine verstärkte Nutzung konzernweiter Synergien und Skaleneffekte zu realisieren (vgl. Experte B,E,G,J,K,M,O,R) und dadurch eine wirtschaftlichere Derivatisierung zu ermöglichen (vgl. Experte B,D,E,H,M,R,T).

*„Durch die Baukastenstrategie bin ich ja noch mehr in der Lage Synergieeffekte zu generieren und dann maximale Differenzierung in Richtung Kunde darzustellen“ (Experte B).*

*“(...) ursprünglich ist das geboren aus dem Wunsch, Derivatisierung günstiger hinzubekommen als man das mit starren Plattformen hinbekommen hat“ (Experte H).*

Die verstärkte Ausrichtung am Kundennutzen resultiert dabei aus dem Aufbrechen starrer Plattformrestriktionen und einer mit der Anwendung der modularen Baukastenstrategie einhergehenden Flexibilisierung des eigenen Produktprogramms (vgl. Experte C,D,H,J,M,N,R).

*„(...) man kam von einer Plattformstrategie, wo man im Prinzip dann alles ziemlich fest und starr eingebaut hat, (...) man sich dann schwer getan hat mit der zunehmenden Derivatisierung (...)“ (Experte H).*

*„Er ist nicht so starr wie eine Plattform. (...) Weil die Technik mehr Gestaltungsfreiraum haben wollte. Fahrzeuge, die auf einer Plattform sind, gehorchen engeren Parametern als der Baukasten vorgibt. Ein Baukasten gibt einfach mehr Möglichkeiten.“ (Experte D).*

Zusammenfassend konnten aus der Gesamtheit der durchgeführten Interviews die folgenden vier Primärziele für die Implementierung der modularen Baukastenstrategie extrahiert werden:

- 1) Durch die Implementierung des modularen Baukastens können Kosten und Aufwand reduziert werden (vgl. Experte A,J,K,N).  
*„Und diesen Gedanken hat man einfach weitergeführt, um Kosten zu reduzieren, entwicklungsseitig hauptsächlich oder eben auch die Produktion zu optimieren, die Produktivität zu steigern, weil je mehr unterschiedliche Fahrzeugderivate die gleichen Teile nutzen, desto geringer ist eben auch der Aufwand, den sie in der Fertigung betreiben müssen“ (Experte K).*
- 2) Die Implementierung des modularen Baukastens ermöglicht eine Variantenreduzierung und Erhöhung des Standardisierungsgrades (vgl. Experte A,C,N).  
*„Seitdem wir die MQB-Welt eingeführt haben, ist der Fokus so groß darauf, (...) Um genau diese Variantenexplosion nicht zu erzeugen“ (Experte C).*  
*„(...) Zielsetzung den Baukasten zu machen, (...) um die stärkere Vereinheitlichung bestimmter Maße festzuhalten (...)“ (Experte N).*
- 3) Durch die Implementierung des modularen Baukastens kann die Komplexität reduziert werden (vgl. Experte A,B,L,O,Q).  
*„(...) im Sinne einer Komplexitätsreduzierung haben wir mit der Baukastenstrategie schon eine Menge erreicht. (...)“ (Experte B).*
- 4) Durch die Implementierung des modularen Baukastens kann ein Wettbewerbsvorteil gesichert werden (vgl. Experte A,C,U).  
*„(...), dass es darum geht sich Wettbewerbsvorteile zu sichern und das man natürlich am Markt bestehen kann“ (Experte A).*

#### 4.6.5 Herausforderungen im Umgang mit modularen Baukästen

Bei der Anwendung modularer Baukästen sind nach Expertenmeinung in der Praxis vielschichtige Herausforderungen zu meistern, die entsprechend der bereits bei der Klassifizierung der Komplexitätstreiber gewählten Einteilung in exogene bzw. endogene Herausforderungen unterteilt werden können (vgl. Kap. 3.1.1).

Eine aus Sicht der Experten relevante exogene Herausforderung für das Unternehmen stellt dabei die Integration neuer Gesetze und Technologien dar. Der Implementierungszwang regionenspezifischer Gesetzesanforderungen und neuer Technologien determiniert die Gestaltung des modularen Baukastens (vgl. Experte D,E,F,H,N,R,U).

*„Oder wir werden von draußen dazu getrieben – siehe CO2-Gesetzgebung, die Sachen, die wir eigentlich festgelegt hatten, jetzt wieder infrage stellt“ (Experte R).*

*„Jetzt müssen wir hier zentral unsere Gesetzesanforderungen erfüllen und dezentral sicherstellen, dass die die Fahrzeuge verkaufen können“ (Experte F).*

Die Auslegung des modularen Baukastens muss daher sowohl eine flexible Anpassung an marktspezifische ökonomische Rahmenbedingungen ermöglichen (vgl. Experte F,M)

als auch eine kundenorientierte Derivatisierung des Produktprogramms unterstützen (vgl. Experte B,O,P). Die hierfür notwendige technische Spreizung wird somit in hohem Maß von der Inhomogenität der Kundenanforderungen bestimmt (vgl. Experte E,M,P,U).

*„(...) die Derivatisierung und die maximale Spreizung erkennen sie am Markt“ (Experte P2).*

Vor allem die von den Experten geforderte Entsprechung der Kundenanforderungen erscheint in der Praxis eine große Herausforderung darzustellen.

*„Ich habe manchmal den subjektiven Eindruck, dass hier Fahrzeuge und Fahrzeugkonzepte auf den Markt gebracht werden, weil man eben diesen Baukasten hat und nicht unbedingt weil der Kundennutzen da auch erkannt wird“ (Experte P1).*

Damit sich die Modulare Baukastenstrategie nicht contra-produktiv auswirkt, stellt aus Sicht der Experten, vor allem innerhalb eines Mehrmarkenkonzerns wie Volkswagen, die Bestimmung eines Optimums zwischen kundenorientierter Markenindividualisierung und modularer Standardisierung eine essentielle endogene Herausforderungen dar (vgl. Experte A,B,C,E,F,H,O,R,T,U,V).

*„Wo sehe ich Synergien, dass ich das gleichmachen kann? Wo ist die Grenze zu den individuellen Fahrzeugen, um die Individualität eines Audi gegenüber eines VW nicht zu verlieren? Das ist ja eine Gradwanderung“ (Experte O).*

*„Die Marken, Regionen sind nah am Kunden und müssen auch geänderte Bedürfnisse dort adressieren können, aber unterliegen halt durch die Modularisierung einem gewissen Zwang“ (Experte U).*

Für die Gestaltung des modularen Baukastens resultiert hieraus, dass das Optimum nur dann erreicht werden kann, wenn der Spagat zwischen interner Standardisierung zur Generierung von Skaleneffekten und gleichzeitiger Bereitstellung von Variabilität zur Entsprechung kunden- bzw. markenorientierter Anforderungen realisiert werden kann (vgl. Experte C,D,J,M,Q,R,T).

*„Ich muss also praktisch auf der einen Seite die Synergien und die Scales mitnehmen und auf der anderen Seite so viel Variabilität zur Verfügung haben, dass ich also auch unterschiedliche Kunden- und Regionsanforderungen dann auch erfülle und das auch zu einem relativ übersichtlichen finanziellen Aufwand. Es ist praktisch schon ein hochkomplexe Anforderung an einen Baukasten“ (Experte M).*

Die aufgrund des Standardisierungsanspruchs hervorgerufene Reduzierung der Flexibilität durch die Setzung konzernweiter Rahmenbedingung (vgl. Experte J,L,Q,S,U,V) und die am Baukastennutzer auszurichtende erforderliche technische Spreizung des Baukastens (vgl. Experte B,C,G,M,S,V) sind somit konfliktäre Ziele, die es zu optimieren gilt.

*„Wenn ich hohe Volumen kreierte, brauche ich einen hohen Automatisierungsgrad. Damit bin ich relativ unflexibel, wenn ich das auf die Welt ausrollen will. Es gelingt*

*mir dann von zentralisierten Stellen aus mit dem hohen Volumenhebel bestimmte Themen zu bedienen. Schwierig oder gegenläufig wird es dann bei Kleinstvolumen“ (Experte L).*

*„Heute verhaftet uns der Modulbaukasten an bestimmten Punkten und lässt uns nicht mehr frei in die Zukunft denken. Das ist die große Gefahr, also mangelnde Flexibilität“ (Experte S).*

Der hieraus ableitbare Interessenkonflikt zwischen baukastenverantwortlicher Marke und Baukastennutzer bzgl. des Wunsches nach Standardisierung bzw. Individualisierung (vgl. Experte G,P,T) führt zu einem erhöhten markenübergreifenden Abstimmungsaufwand (vgl. Experte A,C,H,M,O,P,Q,R,U,V).

*„(...) was sich noch geändert hat, ist die markenübergreifende Abstimmung.(...) aber das sind ja wahnsinnige Abstimmungen, mehrfache Workshops über Wochen und Monate bis dann ein Konsens zwischen den Marken gefunden worden ist. (...) Es muss vielmehr übergreifend gearbeitet und kommuniziert werden“ (Experte M).*

*„(...) dann könnte das natürlich wieder auch zu Koordinationsproblemen führen, weil ich mich ja wieder mit den anderen abstimmen muss (...) Das bedeutet natürlich ein komplexes Geflecht in der Zusammenarbeit“ (Experte O).*

Um den Abstimmungsaufwand zu erleichtern sind die Etablierung eines einheitlichen Begriffsverständnisses und einer einheitlichen Baukastendenkweise (vgl. Experte A,C,G,H,O,S,T,V) sowie der Aufbau und Transfer von Wissen (vgl. Experte B,C,F,O) notwendig.

*„Deshalb weiß ich auch, dass sehr viel davon abhängt, was man unter den verschiedenen Begriffen versteht. Es herrscht auf keinen Fall eine sehr klare Einigkeit darüber, was der MQB ist und was er erreichen soll“ (Experte H).*

*„Da müssen wir eine Anpassung vornehmen. Das ist noch ein laufender Prozess auf Basis der Erfahrungen, die jetzt auch gerade im MQB getroffen worden sind“ (Experte O).*

*„Man stellt Organisationen, Prozesse und Menschen auf ein gemeinsames Ziel, nämlich synergetische Verwendung von Teilen, ein“ (Experte S).*

Hierzu betonen die Experten, dass die erforderliche Modifizierung bestehender Prozess- und Organisationsstrukturen mit dem Ziel einer Angleichung an bestehende Produktstrukturen weiter vorangetrieben werden muss (vgl. Experte A,C,D,G,L,N,O,Q,R,T).

*„Die Umwelt ist komplex. Ich spiegele das in meinem Produkt wider. Wie spiegele ich das Produkt in meinen Organisationsstrukturen wider? Meine Organisation oder ein Unternehmen muss immer vom Produkt kommen. Wenn sich das Produkt maßgeblich verändert – wenn wir im MQB meinen, wir haben das jetzt gemacht, dann muss sich eigentlich auch das Unternehmen maßgeblich verändern. Das hat es aber noch nicht getan“ (Experte Q).*

Durch die Implementierung des modularen Baukastens konnten nach Einschätzung der Experten vor allem bezogen auf den im Vergleich zur Plattformstrategie existierenden Koordinationsbedarf positive Effekte realisiert werden, da durch den Aufbau konzernweiter Rahmenbedingungen der Koordinationsaufwand reduziert werden konnte (vgl. Experte C,F,P,R).

*„(...) positiver Effekt für Baukastennutzer, da diese zur Einhaltung von Baukastendisziplin gezwungen werden und durch den Baukasten klare Rahmenbedingungen und Grenzen für Nutzer definiert bzw. vorgegeben werden und dadurch Reduzierung der eigenen „negativen Kreativität“ erfolgt“ (Experte P2).*

Durch die gleichzeitige Zunahme des Zentralisierungsgrads wurden darüber hinaus Effizienzsteigerungen ermöglicht (vgl. Experte B,C,F,R). Ein effizienterer Ressourceneinsatz (vgl. Experte C,D,G,H,R) führt letztlich dazu, dass durch die Implementierung des modularen Baukastens Synergieeffekte in allen Funktionsbereichen der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette realisiert werden können (vgl. Experte B,E,F).

*„Aus der Modularisierung realisiere ich die Generierung von Synergieeffekten, sowohl natürlich in der Entwicklung, Beschaffung, Qualitätssicherung und allen angrenzenden Bereichen“ (Experte B).*

*„Wir sind schneller, wir sind besser mit der Modularität in allen Fakultäten“ (Experte F).*

Die Generierung positiver Modularisierungseffekte erfordert jedoch die Einhaltung einer Baukastendisziplin und eine Stringenz in den Entscheidungen (vgl. Experte B,E,F,J,K,M,P,R,V).

*„Baukastendisziplin heißt halt: Der Baukasten ist so gefüllt, ist so definiert und er bietet Variabilität, er bietet Möglichkeiten. Die sollten genutzt werden und nicht darüber hinaus noch weitere Forderungen nach weiteren Varianten und weiterer Komplexität gestellt werden, die dann die Vorteile des Baukastens ins Negative bringen würden“ (Experte M).*

*„(...) zu einer stringenteren Einhaltung der Vorgaben zu bewegen. [XXX] weil einige Synergien, die man sich erhofft, werden nach meiner Erfahrung oft aufgeweicht, weil im Zuge des Modularisierungsprozesses wieder X-Variierungen hinzukommen, die den eigentlichen Stückzahleneffekt wieder infrage stellen oder aufheben“ (Experte P1).*

Die zentrale Herausforderung liegt nach Expertenmeinung aber weiterhin in der erforderlichen Durchführung einer Gesamtwirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Identifizierung des Erfolgsbeitrags des modularen Baukastens (Experte B,D,F,H,O,P,S,T), wodurch auch aus Sicht der Praxis erneut der Nutzenbeitrag dieser Arbeit verdeutlicht wird.

*„Der Erfolg vom Baukasten steht und fällt mit der Gesamtbetrachtung“ (Experte F).*

#### **4.6.6 Ableitung praxisrelevanter Komplexitätstreiber und Modularisierungseffekte**

Grundlage für die Ableitung praxisrelevanter Komplexitätstreiber stellt die Zuordnung von Textpassagen innerhalb der transkribierten Interviews dar, die die Entstehung und Veränderung des Komplexitätsniveaus durch das existieren bestimmter Treiber beschreiben. Als Treiber wird dabei ein Effekt verstanden, der Komplexität hervorruft bzw. zu einer Veränderung des Komplexitätsniveaus führt (vgl. Kap. 3.1). In analoger Art und Weise erfolgt die Identifizierung praxisrelevanter Modularisierungseffekte durch die Zuordnung von Textpassagen, die Effekte der Modularisierung widerspiegeln und auf die Implementierung des modularen Baukastens zurückzuführen sind.

Bei der Auswertung wird dabei auf eine detaillierte Aufschlüsselung je Experte verzichtet, da das vorrangige Ziel dieses Kapitels in der Überprüfung der aus dem Stand der Wissenschaft abgeleiteten Komplexitätstreiber und Modularisierungseffekte hinsichtlich ihrer Praxisrelevanz liegt.

Zur Darstellung wird die in Kapitel 3.1.3 und 3.2.3 erarbeitete Zuordnungsmatrix als Klassifikationsschema herangezogen und um die aus der Praxisanalyse extrahierten Effektwirkungen ergänzt, um eine Aussage über die Schnittmenge der sowohl in der Theorie als auch in der Praxis als beschaffungsrelevant erachteten Einflussgrößen ableiten zu können (vgl. Tabelle 11 und Tabelle 12).

Da die Praxisanalyse vorrangig mit dem Fokus auf den Funktionsbereich der Beschaffung durchgeführt wurde, sind im Vergleich zur theoriebasierten Analyse (vgl. Kap. 3.2), bei der die ganzheitliche Identifizierung relevanter Effekte innerhalb der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette im Vordergrund stand, deutlich weniger Effekte durch die Experten genannt worden. Dies ist nicht gleichzusetzen damit, dass nicht genannte Effekte keine Praxisrelevanz besitzen. Vielmehr ist dies ein Indiz dafür, dass die subjektiv durchgeführte funktionsbereichsspezifische Zuordnung der Effektwirkung valide ist und die durch die Experten nicht genannten Effekte primär einem anderen Funktionsbereich zugeordnet werden können.

Weiterhin ist anzumerken, dass vor allem bezogen auf den Aspekt der Kostenwirkung modularer Baukästen durch die Experten eine deutlich allgemeingültigere Diskussionsbasis bevorzugt worden ist, bei der auf einen hohen Detaillierungsgrad der Effektwirkung auf spezifische Kostenarten verzichtet wurde.

Zusammenfassend kann attestiert werden, dass die Ergebnisse der Praxisanalyse den Stand der Wissenschaft in hohem Maß widerspiegeln.

			Funktionsbereichs-spezifische Zuordnung auf Basis der Treiberwirkung				Relevanz Praxis	
			Entwicklung & Design	Beschaffung	Produktion & Logistik	Vertrieb & After-Sales		
Exogene Komplexitätsstreiber (Strukturelle Umweltkomplexität)	Markt-komplexität	Absatzmarkt	Kundenvielfalt, Marktsegmentierung	++	+	+	++	P
			Kundenanforderung	+			+	P
			Bedarfsschwankungen				+	P
			Marktregularien (Zoll- und Einfuhrbeschränkungen)		+	+	+	
		Wettbewerbsintensität	Produktprogramm der Wettbewerber	+			+	P
			Anzahl Wettbewerber		+		+	
			Preisniveau der Wettbewerber		+		++	
			Marktmacht der Wettbewerber		+		+	
		Technologiemarkt	Technologischer Fortschritt	++	+			P
			Technologiedynamik/ Innovationszyklen	++	+			
	Lieferantenvielfalt		+	++			P	
	Ressourcenverfügbarkeit		+	++				
	Beschaffungsmarkt	Beschaffungsmarktkonzentration	+	+			P	
		Transparenzdefizit und Unsicherheit		+				
		Globalisierung der Lieferantenstandorte		+			P	
Gesellschafts-komplexität	Rechtssystem Politisches System Wirtschaftssystem Ökologische Faktoren Kulturelle Faktoren	Detaillierung siehe Kirchhof 2003	++	+		+	P	
			++	+		+	P	
				+		+	P	
			++	+	++	++	P	
			+	+		++		
Endogene Komplexitätsstreiber (strukturelle Unternehmenskomplexität)	korrelierte Unternehmenskomplexität	Kundenstruktur-komplexität	Kundenanzahl		+	+	++	P
			Kundenvielfalt	+			++	P
		(Produkt-) Programmkomplexität	Heterogenität und Änderungshäufigkeit des Produktprogramms/ Sortimentsbreite und Variantentiefe	++	+	+		P
			Sortimentsgröße (Variantenvielfalt)	++	++	++	+	P
			produktbezogene Variantenvielfalt	+	+	+		P
		Produktkomplexität	Produktdesign/ Produktkonzept	+				
			Produktinnovation/ Kurzlebigkeit der Produkte	+	+	+	+	P
			Dynamik des technologischen Fortschritts	++	+			
		Technologiekomplexität	Verfügbarkeit von Technologien	+	++			
			informationstechnische Produktausstattung	+				
	Lieferantenanzahl/ Lieferantenstruktur		+	++			P	
	Beschaffungs-komplexität	Beschaffungsvolumen		+			P	
	autonome Unternehmenskomplexität	Produktionsprogramm-komplexität	Teilevielfalt	+	+	++		P
			Entwicklungstiefe	++	+			
		Komplexität der Fertigungssysteme	Fertigungstechnologie (Fertigungsschritte, Rüstvorgänge)	+		++		P
			Fertigungstiefe (Outsourcing)		+	++		
		Prozesskomplexität	Länge der Entscheidungsprozesse/ Prozessgestaltung/-planung	+	+	+	+	P
			Prozessvielfalt/ Vielfalt eingesetzter IT-Systeme	+	+	+	+	
			Prozessinnovation/ Häufigkeit der Prozessanpassung	+	+	+	+	
		Organisations-komplexität	Grad der Arbeitsteilung/ Verantwortungsteilung/ Konzentration auf Kernkompetenzen	+	+	+	+	P
			Funktionsorientierung, Zahl der Hierarchien	+	+	+	+	P
			Schnittstellendichte (Interdependenzgrad und Koordinationsgrad)	+	+	+	+	P
			horizontale und vertikale Aufbaustrukturierung	+	+	+	+	
Diversifikation in den Geschäftsbereichen (Pluralismus)			+	+	+	+		
Zielkomplexität		Unternehmensgröße (Mitarbeiteranzahl, Standorte)	+	+	+	+	P	
		Existenz von Zielkonflikten/ Heterogenität der Bereichsziele	+	+	+	+	P	
	Koordinations- und Abwicklungssysteme zur Steuerung der Ziele	+	+	+	+			
	Dynamik von Zielvorgaben	+	+	+	+			
Komplexität der Informations-, Planungs-, Steuerungs- und Kontrollsysteme	Medienbrüche	+	+	+	+			
	Informationsasymmetrie	+	+	+	+			
	Ausprägung Formularwesen	+	+	+	+			
	Übermaß Kontrollintranzen	+	+	+	+			

Tabelle 11: Zuordnungsmatrix Effektwirkung der Komplexität mit Praxisbezug

		Funktionsbereichs- spezifische Zuordnung auf Basis der Effektwirkung				Relevanz Praxis
		Entwicklung & Design	Beschaffung	Produktion & Logistik	Vertrieb & After-Sales	
Kosten	Skaleneffekte	+	+	+	+	P
	Entwicklungskosten	++	+			P
	Montagekosten		+	++		
	Herstellkosten		+	+		P
	„Blindleistung“/ physische Redundanz	+				
	Investitionskosten		+	+		P
	Servicekosten				+	
	Lagerhaltungskosten	+	+			P
	Gleichteileverwendung			++	+	
	Rüstkosten		+	++		
	Koordinationskosten	+	+	+		
	Entwicklungskapazität	++	+			
	Erprobungskosten	++	+			
	Transportkosten		+	++		
	Logistikkosten (i. betr.)		+	++		
	Bestandskosten			++	+	
Prozesskosten	+	+	+	+		
Ausschusskosten		+	++			
Zeit	Entwicklungszeit/ Simultaneous Engineering	++	+			P
	Durchlaufzeit/ Time to Market			+	++	P
	Montagezeit			+		
	Ersatzteilverfügbarkeit/ Maintenace and repair				+	
	Lernkurveneffekte	+	+	+		P
	Koordinationsaufwand	+	+	+		P
	Beschaffungsaufwand/ Monitoring der Lieferanten	+	++			P
	Produktdokumentation	+				
Produktportfoliotransparenz			+	++		
Qualität	Qualitätssteigerungen	+	+	++	+	
	Funktionstests	+				
	Produktivität		+	++		P
	Fehlerlokalisierungen	++			+	
	Montage-/ Demontageaufwand beim Kunden				+	
	Entwicklungsproduktivität	+				
Flexibilität	Customization	+			++	P
	Modular Sourcing (Outsourcing)		++	+		
	Carry-Over	++	+	+		P
	Postponement			++	+	
	Kapazitäten	++	+	++		
	Recyclingsfähigkeit	+			++	
	Lieferantenanzahl	+	++			P
	Fertigungsinselbildung			+		
Synergien	+	+	+	+	P	
Risiko	Produkt-Kannibalisierung	+		+	++	
	Lieferantenabhängigkeit	+	++	+		P
	Produktpiraterie				+	
	Innovationserosion	++	+			
	Entwicklungsrisiko	++	+			
Ausstrahlungseffekte/ Rückrufe	+	+		+	P	

Tabelle 12: Zuordnungsmatrix Effektwirkung der Modularisierung mit Praxisbezug

#### 4.6.7 Implikationen für die Beschaffung

##### 4.6.7.1. Rollenwahrnehmung der Beschaffung

Folgt man den Aussagen der interviewten Experten, dann kann der Volkswagen Konzern als ein hochgradig technikgesteuertes Unternehmen verstanden werden (vgl. Experte B,D,J,K). EXPERTE K sieht die hohe Technikorientierung vorrangig in der Notwendigkeit begründet, durch die stetige Implementierung technischer Innovationen die eigene Wettbewerbsposition zu verbessern. Als Folge dieser Ausrichtung wird die strukturelle Gestaltung des modularen Baukastens primär vom Funktionsbereich Entwicklung & Design determiniert (vgl. Experte A,F,G,M,N).

*„Der Baukasten wird definiert über die Technik (...) Aber das können wir nicht beeinflussen. Das gibt in der Regel der Techniker vor, was für ein Material er hat“ (Experte F).*

*„Das ist von der Technik quasi vorgegeben. Und wir kümmern uns dann im Nachhinein darum, dass es in der Beschaffung seinen Gang läuft“ (Experte A).*

Der Beschaffung wird durch die Experten somit nur eine geringe Gestaltungsfunktion bei der Strukturierung des modularen Baukastens zugebilligt. Vielmehr sehen die Experten die Rolle der Beschaffung in einer aktiven Steuerungs- bzw. Kontrollfunktion hinsichtlich des Kostenniveaus (vgl. Experte (vgl. Experte B,C,E,F,G,H,K,L,P,R).

*„(...) die Beschaffung hat da eine große Verantwortung, weil es keinen anderen Wächter gibt – vielleicht noch das Controlling. (...) der, der an den Einzelkosten schraubt, kann da ganz gut eine Wächterfunktion wahrnehmen“ (Experte L).*

*„Also die Prozesse, die wir im Baukasten haben, lassen der Beschaffung eigentlich an jeder Stelle im Prozess ausreichend Möglichkeiten um Einfluss zu nehmen“ (Experte R).*

Um die beschriebene Rolle der Kostenoptimierung wahrnehmen zu können, ist eine funktionsbereichsübergreifende Zusammenarbeit innerhalb des Konzern unabdingbar (vgl. Experte A,B,E,H,K,M,R) und eine klare Abgrenzung der Verantwortlichkeiten zu gewährleisten (vgl. Experte K,L). Im Rahmen dieser Zusammenarbeit wird der Beschaffung ein hoher Akzeptanzgrad in allen Unternehmensbereichen bescheinigt (vgl. Experte A).

*„Das ist eine Teamleistung. Das gehört ja zu den Aufgaben eines Baukastens, halt nicht einen Geschäftsbereich alleine zu bevorzugen, sondern genau alle Geschäftsbereiche zu koordinieren“ (Experte R).*

*„(...) es passiert schon vieles, aber nicht systematisch genug. Das heißt, die Verantwortung muss eigentlich deutlich nachgeschärft werden“ (Experte L).*

*„Also ich denke schon, dass die Beschaffung bei allem was Module angeht schon ein akzeptierter Fachbereich ist, auch in der Technik“ (Experte A).*

Es kann vermutet werden, dass sich in dem hohen Grad an Akzeptanz der bereits beschriebene steigende Wertbeitrag der Beschaffung am Unternehmenserfolg widerspiegelt (vgl. 2.1.2.4).

Gleichzeitig resultiert aus diesem hohen Wertbeitrag auch eine Erwartungshaltung der Experten an die Beschaffung einerseits zusätzliche Skaleneffekte zu generieren und andererseits eine stärkere Steuerungs- und Kontrollfunktion im Unternehmen wahrzunehmen (vgl. Experte B,K,M,P).

*„Zum anderen ist natürlich die Erwartungshaltung durch das unglaubliche Volumen, was unsere Baukästen abdecken (...) in Richtung Beschaffung entsprechende Economies of Scale zu realisieren, sicherlich noch ein Stückchen höher, als es schon in der Plattformstrategie war“ (Experte M).*

*„Ich denke, ein proaktiveres Einschalten der Beschaffung in den gesamten Prozess der Moduldefinition oder auch Baukastendefinition sollte erfolgen – und zwar markenübergreifend, um den Benefit noch zu erhöhen und auch letztendlich die Entwicklung zu einer stringenteren Einhaltung der Vorgaben zu bewegen“ (Experte P1).*

#### 4.6.7.2. Wirkungsweise des modularen Baukastens auf die Beschaffung

Der Modulare Baukasten stellt für die Beschaffung ein wichtiges Instrument zur Erfüllung dieser aufgezeigten Erwartungshaltung dar (vgl. Experte P,R), da die durch die Modularisierung hervorgerufene verstärkte Möglichkeit der Volumenbündelung die Verhandlungsmacht auf dem Beschaffungsmarkt erhöht (vgl. Experte G,K,P,R,S).

*„Für die Beschaffung ist es in erster Linie eine große Chance. (...) Ich kann als Beschaffer eine größere Menge auf den Markt drücken. Kann dadurch (natürlich?) ganz anders auf Lieferanten zugehen (...)“ (Experte P2).*

Hieraus ableitend bewerten die Experten die aus der Volumenbündelung resultierenden Skaleneffekte für die Beschaffung bezogen auf deren Kostenwirkung sehr positiv (vgl. Experte A,B,D,E,F,G,H,J,K,Q,T,U).

*„Die Kosten zu sparen ist sehr einfach. Im Prinzip brauche ich große Volumen (...)“ (Experte H).*

*„Sie können durch großes Volumen andere Preise und Savings erzielen“ (Experte K).*

Gleichzeitig determiniert genau diese voranschreitende Volumenbündelung auch die Lieferantenstruktur (vgl. Experte B,D,F,G,J,L,U,V).

*„Ich habe einen etablierten Lieferantenmarkt, die ein sehr hohes Volumen als Beauftragung sicher haben. Es ist wahnsinnig schwer neue Lieferanten ins Geschäft zu bringen“ (Experte U).*

Vor dem Hintergrund, dass durch die erhöhten Kompetenzanforderungen an die potentiellen Lieferanten eine Beschränkung des Wettbewerbs existiert (vgl. Experte K,P,V), wird aus Sicht der Beschaffung sowohl der Aufbau als auch die Entwicklung geeigneter Lieferantenstrukturen erschwert (vgl. Experte B,C,D,F,K,Q).

*„Ein Modul erfordert auch ein gewisses Know-how auf der Lieferantenseite. Wir müssen entsprechend schauen, dass wir von der Beschaffungsseite her Lieferanten identifizieren, die auch so ein Modul entwickeln können. Das ist eine gewisse Verlagerung der Entwicklungstiefe nach extern. (...) Und ich schränke jetzt natürlich auch aus Beschaffungssicht über diese hohe Anzahl der Varianten irgendwo auch den Beschaffungsmarkt ein. Nicht jeder Lieferant ist in der Lage so ein intelligentes Fertigungskonzept zu hinterlegen und damit fallen da sicherlich schon einige Lieferanten aus dem Portfolio raus“ (Experte P1).*

Zusätzlich wird durch den zunehmenden Abstimmungsaufwand zwischen den Baukastennutzern der Zeitaufwand des Vergabeprozesses erhöht (vgl. Experte P).

*„Zeitersparnis sicherlich nicht. Das Gegenteil ist der Fall. Wir haben schon im Vorfeld einer Anfrage, eines Sourcings, zusätzlichen Abstimmungsbedarf mit den potenziellen Nutzern (...) die Störgrößen nehmen zu“ (Experte P1).*

Der beschriebenen Wettbewerbsrestriktion halten einige Experten aber auch entgegen, dass durch die erhöhten Anforderungen an die Finanzkraft der Lieferanten aufgrund der Volumenbündelung einerseits der Aufbau langfristiger strategischer Lieferantenbeziehungen gefördert wird (vgl. Experte C) und andererseits bei finanzstarken global agierenden Lieferanten ein deutlich geringeres Insolvenzrisiko besteht (vgl. Experte V).

*„Weil die Situation mit den Lieferanten immer mehr eine Win-Win-Situation wird und weil man immer mehr sagt: OK. Wir müssen doch etwas länger miteinander zusammen arbeiten“ (Experte C).*

*„Andererseits haben wir auch ein etwas geringeres Risiko (...) weil die Lieferanten immer finanzstärker sein müssen, die solche großen Projekte stemmen“ (Experte V).*

#### 4.6.7.3. Stellhebel für einen komplexitätsoptimierenden Umgang mit modularen Baukästen

Die Steuerung des Komplexitätsniveaus erfolgt vorrangig durch die Anwendung verschiedener Komplexitätsstrategien des Komplexitätsmanagements (vgl. Kap. 2.2.1.4). Daher stellt die Durchführung eines aktiven Komplexitätsmanagements den grundlegenden Stellhebel zur Beeinflussung des Komplexitätsniveaus dar.<sup>62</sup>

---

<sup>62</sup> Unter einem Stellhebel ist eine Maßnahme zu verstehen, durch die ein bestehender Komplexitätstreiber oder Modularisierungseffekt aktiv beeinflusst wird und sich somit das bestehende Komplexitätsniveau bzw. der aus der Modularisierung resultierende Erfolgsfaktor betragsmäßig verändert.

Im Fall des gewählten Forschungsobjektes haben die Experten dem Unternehmen zwar die Existenz eines Komplexitätsmanagements attestiert, nicht aber dessen aktive Steuerung (vgl. Experte A,B,D,F,J,N,P,V) und den stringenten Umgang mit komplexitätsstrategischen Entscheidungen (vgl. Experte K,L,V).

*„Ich würde nicht sagen kein. Zu schwach. (...) Ja, es gibt Komplexitätsmanagement. (...) Es wird eine Eingangskontrolle gemacht mit welchem Ziel ich in den Prozess hineingehe, es wird aber währenddessen nicht aktiv getrackt und es wird meines Erachtens auch nicht mit genügend Disziplin durchgehalten“ (Experte B).*

*„Das andere ist dadurch, dass die Rolle des wirklichen Moderators fehlt und derjenige, der darauf achtet wie groß die Variantenbäume inzwischen sind. Da könnte es mit Sicherheit besser laufen“ (Experte V).*

Es müssen also Prozesse und Steuerungsmechanismen aufgebaut werden, die sowohl die Beherrschung eines bestehenden Komplexitätsniveaus ermöglichen (vgl. Experte S), als auch zu einer Komplexitätsvermeidung (vgl. Experte D,L,R) und -reduzierung beitragen (vgl. Experte P).

*„Je weniger Komplexität (...) ich zulasse, desto weniger Bälle muss ich in der Luft halten, wenn ich eine Entscheidung treffe“ (Experte R).*

*„(...) die Komplexität zu reduzieren ist der richtige Anspruch. Es ist aber kein Wert für sich, der dann für sich steht“ (Experte P1).*

Im Rahmen des Komplexitätsmanagements stellt der Modulare Baukasten wiederum selbst einen Stellhebel dar, da durch dessen Anwendung das Komplexitätsniveau im Unternehmen aktiv gesteuert werden kann (vgl. Experte J), wobei der Einsatz des modularen Baukastens aus Expertensicht nicht ausschließlich positive Effekte hervorruft (vgl. Experte L).

*„Jetzt haben wir als ein Stellelement im Endeffekt diesen Baukasten“ (Experte J).*

*„Ich sage mal, der Baukasten ist Fluch und Segen zugleich. Je nachdem wie konsequent man das mit dem Grundmodul macht, gelingt es einem, eine hohe Komplexität zu erzeugen, die einen Kundenwert hat, und gleichzeitig kann ich auf festgeschriebene Unterkomponenten zugreifen, bei denen es mir trotzdem gelingt hohe Skaleneffekte zu erreichen. Auf der anderen Seite verführt das natürlich auch dazu, wenn ich weiß, dass mir das gelingt, die Komplexität immer noch weiter wachsen zu lassen. Das ist ein zweischneidiges Schwert“ (Experte L).*

Die Hebelwirkung wird dabei vorrangig durch die Integration eines Variantenmanagements auf Basis von Variantenbäumen zur Nutzenbetrachtung zusätzlicher Varianten im Verhältnis zur Komplexitätserhöhung hervorgerufen (vgl. Experte E,P,R).

*„Und Variantenmanagement ist dafür zu sorgen, dass aus der maximal möglichen Anzahl an Kombinationsmöglichkeiten nur die hinterher tatsächlich auch realisiert*

*werden und eingekauft etc., die man tatsächlich auch braucht. (...) Das Variantenmanagement ist in den Baukästen etabliert“ (Experte R).*

*„Also die Komplexität ist festgeschrieben. Da gibt es einen Variantenbaum. Der steht fest und der ist Bestandteil des Baukastens“ (Experte E).*

Zieht man die Häufigkeit der durch die Experten genannten Strategie als Gradmesser hinzu, dann finden im Vergleich mit den genannten Komplexitätsstrategien auch innerhalb des Variantenmanagements die Strategien der Variantenreduzierung (vgl. Experte A,D,J,K,O) und Variantenvermeidung (vgl. Experte D,F,N,O,V) in der Praxis am häufigsten Anwendung.

*„Und die sparen zum Beispiel Kosten, in dem sie deutlich die Varianten reduzieren. Und das geht. Also nehmen die aus ihrem Geschäft Komplexität heraus, weil sie sonst viel mehr Teile steuern müssten“ (Experte D).*

*„Also das ist eigentlich der Ansatz, der hier immer gewählt wird, die Varianten zu reduzieren“ (Experte O).*

*„Aber wenn wir es früh genug wissen und möglichst früh genug das Ding abstellen können, dass die Änderungsschleifen vermieden werden, haben wir nachher die Komplexität massiv reduziert (...)“ (Experte F).*

Nach Meinung der Experten hat die Beschaffung über die Beschaffungsstrategie (vgl. Experte A,D) und eine aktive Gremienarbeit (vgl. Experte B,D,K,M) wichtige Stellhebel bei der Mitgestaltung einer kostenoptimalen Variantenvielfalt.

*„Die Beschaffung hat aus meiner Sicht über das Sourcing einen erheblichen Hebel, um gerade das Thema Variantenvielfalt im Griff zu halten. (...) Der andere Hebel wäre der, dass man zum Beispiel aus der Kostenanalytik. (...) und versucht in der Frühphase schon im Set mitzuwirken und die Entwicklung zu beeinflussen, die dahin geht, dass eben diese Kostentreiber auch entsprechend berücksichtigt werden“ (Experte D).*

*„Im Grund genommen muss die Beschaffung auch immer gleich aufzeigen, welches Kostenpotenzial in einer Vereinheitlichung steckt“ (Experte K).*

Die bisherigen Ausführungen haben dabei gezeigt, dass die Volumenbündelung den durch die Beschaffung primär zu nutzenden Stellhebel zur Erzielung von Kosteneinsparung darstellt (vgl. Experte A,F,G,J,L,N).

*„Stückzahlen sind immer ein großer Stellhebel. Wenn wir große Losgrößen haben, dann haben wir einen guten Ansatz einen Lieferanten zu finden und den Preis auch so zu gestalten, dass es kostengünstig ist“ (Experte J).*

Das hohe Volumen ermöglicht gleichzeitig eine strategische Flexibilisierung der Sourcingstrategie. Einerseits kann das hohe Volumen eingesetzt werden, um den Globalisierungsgrad eines Lieferanten zu erhöhen (vgl. Experte A,B,C,F). Andererseits kann durch die Aufteilung eines großen Volumens auf mehrere Lieferanten die Wettbewerbsintensität

erhöht und gleichzeitig das Risiko eines Versorgungsengpasses reduziert werden. Insofern stellt die Beschaffungsstrategie selbst einen durch die Beschaffung nutzbaren Stellhebel dar (vgl. Experte B,C,D,N).

*„Der Volumeneffekt, der dahinter prognostiziert wird, oder auch über die Marken hinweg, haben wir einen erheblichen Hebel.(...) Globalisierungsthemen voranzutreiben“ (Experte F).*

*„Die Beschaffung hat aus meiner Sicht über das Sourcing einen erheblichen Hebel, um gerade das Thema Variantenvielfalt im Griff zu halten“ (Experte D).*

Die Wahl der Sourcingstrategie beeinflusst wiederum die Variantenanzahl, da mit steigender Anzahl an Lieferanten die Anzahl zu steuernder Varianten im Beschaffungs- und Produktionsprozess steigt. Da mit der Anwendung des modularen Baukastens das Ziel eines hohen Standardisierungsgrads verfolgt wird, stellen die Variantenanzahl (vgl. Experte A,B,F,K,N,O,P,R) und der Grad der Gleichteilverwendung (vgl. Experte J,L,S,V) wichtige Stellhebel zur Beeinflussung des Komplexitätsniveaus dar.

*„In dem Zusammenhang hat sich dann relativ schnell gezeigt, dass das Thema Variantenvielfalt in den Baukästen eine Stellgröße ist (...)“ (Experte R).*

*„(...) der Modulbaukasten als solches ist ein richtiges Instrument. Nämlich die Wiederverwendung von Teilen“ (Experte S).*

#### 4.6.8 Zukünftige Entwicklungstendenzen

Bei der Fragestellung nach der zukünftigen Entwicklung des Komplexitätsniveaus wird erneut der hohe Subjektivitätsgrad bezogen auf die Wahrnehmung von Komplexität deutlich. Die fehlende Eindeutigkeit der gegebenen Antworten durch die Experten lässt daher keine abschließende Aussage über die zukünftige Entwicklung des Komplexitätsniveaus zu.

Zwar geht die Mehrheit der Experten von einem fallenden Komplexitätsniveau aus (vgl. Experte B,C,F,H,J,K,L,M,O,R,T), aber es gibt auch einen nicht zu vernachlässigbaren Expertenanteil, nach denen das in der Automobilindustrie bereits existierende hohe Komplexitätsniveau zukünftig weiter steigen wird (vgl. Experte E,G,P,Q,V) oder zumindest auf einem konstant bleibendem Komplexitätsniveau gehalten werden kann (vgl. Experte A,N,U).

Die zukünftige Entwicklung des Komplexitätsniveaus ist dabei nach Einschätzung der Experten von folgenden Faktoren abhängig:

- 1) Wie effizient erfolgt die Anpassung des modularen Baukastens aufgrund einer notwendigen Implementierung neuer Technologien und der damit verbundenen Funktionsintegration (vgl. Experte A,B,N,P,Q,V).

*„Wie entwickeln sich künftige Antriebskonzepte weiter? Bisher haben unsere Elektrifizierungskonzepte, wie Elektrofahrzeug und Plug-In-Hybrid, deutliche Veränderungen auch in der Fügefolge ausgelöst. Wie werden die sich auf dem Markt durchsetzen? Inwieweit muss ich solche Konzepte zukünftig noch stärker berücksichtigen“ (Experte N).*

- 2) Wie wird der Derivatisierungszwang bei der Ausrichtung und Gestaltung des Produktprogramms berücksichtigt (vgl. Experte F,H,J,L,M,S).

*„Komplexität wird sich soweit entwickeln, insoweit wir verstanden haben, welche Märkte, welche Regionen brauchen welche Komplexität an Bauteilen. Brauche ich diese Komplexität in der Region Indien? Fragezeichen. Kann ich die verkaufen?“ (Experte F).*

*„Es gab in den letzten Jahren einen Anstieg der Komplexität. Das wir aber jetzt diesen Anstieg begrenzen und immer mit wachem Auge gucken, wo ist Komplexität sinnvoll? Wo verdienen wir Geld damit? Wo müssen wir auch aus Wettbewerbsgründen oder aus gesetzlichen Gründen noch eine Variante mehr liefern? Da habe ich die Hoffnung, dass wir da nicht aus dem Ruder laufen“ (Experte M).*

- 3) Erfolgt eine Optimierung der Prozess- und Systemlandschaft des Unternehmens, um die Händel- und Steuerbarkeit von Komplexität zu erleichtern (vgl. Experte G,Q,U).

*„Ich meine, dass die Komplexität an sich nicht weniger wird. Aber das wir das Handling dafür besser gestalten können. Dass ich das Unternehmen dazu ausrichten muss und jeden Geschäftsbereich. Dass man diese Komplexität, ob mit Abstimmung oder sonst was, wieder besser händeln kann“ (Experte G1).*

- 4) Inwieweit können aus den aktuellen Erfahrungen im Umgang mit Komplexität Lernkurveneffekte generiert werden (vgl. Experte A,T,V).

*„Durch Lernkurveneffekte kann zukünftig die Komplexität im Rahmen der Baukästen reduziert werden“ (Experte T).*

- 5) Mit welcher Anzahl modularer Baukästen kann das Produktprogramm im Konzern markenübergreifend abgedeckt werden und wie erfolgt die Abgrenzung der Baukästen untereinander (vgl. Experte O,Q).

*„Ich denke schon, dass umso mehr Fahrzeuge auf Basis der Baukästen da sind und umso weniger Baukästen wir in diesem Konzern brauchen, umso weniger Komplexität habe ich“ (Experte O).*

Da der Modulare Baukasten verstärkt zu Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit beiträgt (vgl. Experte A,C,D,P), muss nach Expertenmeinung das konzernweite Ausrollen weiter vorangetrieben werden (vgl. Experte A,F,G,H,J,M,N,P,R). Dabei sollte die Baukastenstrategie nicht auf das Fahrzeug beschränkt bleiben, sondern entsprechend der Forde-

rung nach einer Harmonisierung von Produkt- und Organisationsstruktur auch auf Funktionsbereiche wie Produktion (vgl. Experte J) oder Qualitätssicherung (vgl. Experte R) übertragen werden.

*„Die Intensivierung des Baukastens ist für mich zwingend notwendig, um zukunftsfähig zu bleiben“ (Experte P1).*

Aktuell ist aus Expertensicht das Optimum der Baukastenstrategie jedoch noch nicht erreicht (vgl. Experte D,K,L,Q,V).

*„(...) solche Konzepte brauchen extrem viel Zeit und extrem kritisches Hingucken und ganz viel Arbeit auf einer sehr tiefen fachlichen Ebene, damit man eben Querverbindungen, die halt da sind, nicht übersieht und sich damit dann mehr Probleme ins Haus holt“ (Experte Q).*

Zur Erreichung des Optimums sind dabei folgende Schritte notwendig:

- 1) Die Kundenorientierung muss stärker in den Fokus rücken (vgl. Experte D).  
*„Sich auch mal trauen rein kundenorientiert vorzugehen und nicht technikorientiert“ (Experte D).*
- 2) Es muss eine Prozessharmonisierung stattfinden, die den Baukastenanforderungen entspricht (vgl. Experte N,R,U).  
*„Die Abläufe sind halt andere und unsere Systeme passen dann vielleicht auch nicht so optimal auf diese Prozesse“ (Experte U).*
- 3) Der Modulare Baukasten übernimmt innerhalb des Konzerns eine stärkere Position (vgl. Experte G).  
*„Also die Stärkung von dem Baukasten, eine Entscheidungsgewalt, meine ich, wird kommen in dem Unternehmen“ (Experte G).*
- 4) Die Erhöhung des Grads der Gleichteilverwendung muss bei gleichzeitiger Variantenreduzierung vorangetrieben werden (vgl. Experte J,K,R).  
*„Ich hoffe, dass man es wirklich schafft, diese Vereinheitlichung oder die Nutzung von gleichen Bauteilen doch stärker durchzuhalten. Und dadurch auch nochmal die Varianten reduzieren kann“ (Experte K).*

Abschließend hängt der Erfolgsbeitrag des modularen Baukastens maßgeblich auch von dessen Anpassungsfähigkeit an zukünftige Anforderungen ab (vgl. Experte H,L,S,U). Ob der Anpassungsprozess dabei einer Evolutions- oder einer Revolutionsstufe folgen sollte, ist aktuell aufgrund der differenten Expertenmeinungen nicht eindeutig festzulegen (vgl. Experte B,C,E,G,J,N,S,U).

*„Was glaube ich für die Zukunft des Baukastens, des MQBs, am aller Wichtigsten ist, dass eine Strategie festgelegt wird, wie mit dem Baukasten vorangegangen wird. Wähle ich ähnlich wie bei der Plattformstrategie eine kontinuierliche Weiterentwicklung*

*(...), einen Generationswechsel, sprich Evolution. Oder plane ich da eine Revolutionsstrategie. Und ich glaube der Erfolg des Baukastens steht und fällt mit der Folgegeneration“ (Experte B).*

#### **4.7 Zusammenfassende Darstellung der Forschungslücke aus Wissenschaft und Praxis und Implikationen für den weiteren Forschungsprozess**

Mithilfe der Erläuterungen in Kapitel 2.2 wurde die Existenz eines Wirkungszusammenhangs zwischen den betrachteten Themenschwerpunkten Komplexität, modularer Baukasten und Beschaffung aufgezeigt. Zusätzlich konnte der steigende Beitrag der Beschaffung am Unternehmenserfolg herausgearbeitet werden. Hierbei nimmt die Ausgestaltung der Beschaffungsstrategie eine wichtige Rolle ein, da über die strategische Ausrichtung in hohem Maß die Mitgestaltung der unternehmerischen Erfolgsfaktoren Kosten, Qualität, Zeit, Flexibilität und Risiko erfolgt. Um dieser Rolle gerecht zu werden und einen möglichst hohen Wertbeitrag zu realisieren, können Unternehmen entsprechend den Ausführungen von ESSIG (2007, S.240ff.) auf eine Vielzahl von Instrumenten zur strategischen Kostenoptimierung und Leistungssteigerung der Beschaffungsorganisation, wie z.B. ABC- oder Portfolioanalyse, Balanced Scorecard, zurückgreifen.

Durch den interdisziplinären Charakter der Beschaffung aufgrund ihrer zunehmenden Schnittstellenfunktion im Unternehmen müssen strategische Entscheidungen des Beschaffungsbereichs neben rein betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten auch Überlegungen hinsichtlich existierender Interdependenzen zu anderen Funktionsbereichen der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette berücksichtigen (vgl. Krampf 2000, S.1).

Bezogen auf den beschriebenen Wirkungszusammenhang und den thematischen Fokus dieser Arbeit bedeutet dies, dass die Beschaffung über die Beschaffungsstrategie funktionsbereichsübergreifend sowohl Einfluss auf das Komplexitätsniveau des Unternehmens als auch auf Modularisierungsentscheidungen ausübt. Gleichzeitig wird davon ausgegangen, dass im Umkehrschluss die Beschaffung Komplexitäts- und Modularisierungseinflüssen ausgesetzt ist, die im Rahmen der zielorientierten Gestaltung der Beschaffungsstrategie Berücksichtigung finden müssen. Es wurde geschlussfolgert, dass es sowohl Komplexitätstreiber als auch Modularisierungseffekte gibt, die den Erfolgsbeitrag der Beschaffung beeinflussen (vgl. auch Abbildung 24, Kap. 2.3).

Hieraus resultierend müssen aus Beschaffungssicht bei Anwendung einer modularen Baukastenstrategie sowohl die einhergehenden Modularisierungseffekte als auch die dadurch implizierten Auswirkungen auf das Komplexitätsniveau durch die Betrachtung relevanter Komplexitätstreiber einem integrativen Betrachtungsansatz unterzogen werden, um eine komplexitätsoptimale Ausgestaltung der Beschaffungsstrategie sicherzustellen. Die Wahl des optimalen Komplexitätsgrades stellt somit ein mehrdimensionales Entscheidungsproblem dar (vgl. Adam & Johannwille 1998, S.7).

Obwohl die Potentiale modularer Produktstrukturierungsansätze unstrittig sind, fällt es aufgrund der Mehrdimensionalität vielen OEMs schwer, entsprechende Skalen- und Verbundeffekte in zufriedenstellender Höhe zu realisieren (vgl. LaLande 2013, S.1). Als Gründe führt LALANDE (2013, S.1ff.) die Schwierigkeit vieler Unternehmen an, die existierenden Abhängigkeiten durch konzernweite, bereichsübergreifende Prozesse mit klar abgrenzbaren Verantwortungen abzubilden. Hinzu kommt die Tatsache, dass es oft keine detaillierten Methoden gibt, die Effekte der Modularisierung in ausreichendem Maß für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung strategischer Entscheidungen zu quantifizieren.

Ähnlich verhält es sich bezüglich der detaillierten Analyse von Komplexität und den hieraus resultierenden Komplexitätskosten. Die von SCHAFFER UND SCHLEICH (2008, S.163f.) durchgeführte Praxisanalyse zeigt, dass es Managern aufgrund fehlender Ressourcen oder Expertise häufig an notwendigen Informationen fehlt, im Sinne eines komplexitätsoptimierenden Variantenmanagements die Auswirkungen der Varietät des Produktprogramms bezogen auf die Kosten der Komplexität realitätsgetreu zu erfassen. Als Ergebnis gaben 87% der Befragten an, nur für eine bzw. einige Varianten die Kosten-Nutzen-Kalkulation zu kennen. Eine vollumfängliche Kenntnis der Kosten-Nutzen-Wirkung sämtlicher Varianten konnte kein befragtes Unternehmen bejahen (vgl. Schaffer & Schleich 2008, S.163f.).

Vergleichbare Ergebnisse leitet auch SKIRDE (2015, S.131) auf Basis durchgeführter Experteninterviews ab, wonach die Bewertung umfassender quantitativer Indikatoren aufgrund fehlender Daten durch die Unternehmen kaum zu realisieren ist.

FIXSON UND CLARK (2002, S.136) betonen hierzu, dass es seitens des Unternehmensvorstands somit nicht ausreicht Modulare Baukästen als die optimale Strategie zu postulieren. Vielmehr erscheint es den Autoren vorteilhafter, die strukturellen Beziehungen zwischen strategischen Entscheidungen zur Produktarchitektur und daraus resultierende ökonomische Konsequenzen detaillierter zu betrachten.

Hierzu haben die bisherigen Ausführungen jedoch gezeigt, dass es aktuell sowohl der Wissenschaft als auch der Praxis schwer fällt, eine fundierte Aussage über die Höhe der Kosteneinsparungspotenziale durch die Generierung zusätzlicher Skaleneffekte auf Basis eines steigenden Standardisierungsgrades zu treffen.

Weiterhin wurde aufgezeigt, dass der Erfolg eines Unternehmens von einer zunehmenden Anzahl von Faktoren abhängt, wodurch die Komplexität von Entscheidungsproblemen weiter ansteigen wird (vgl. Junge 2005, S.214). Gleichzeitig stellt aber gerade die simultane Betrachtung dieser Faktoren die Grundvoraussetzung für die komplexitätsoptimierende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung modularer Baukästen dar (vgl. Fixson 2007, S.98). Jedoch verursacht die bei Komplexitätsphänomenen inkludierte Intransparenz aus Unternehmenssicht aufgrund eines existierenden Methodendefizits eine unzureichende Bewertbarkeit potentieller Handlungsalternativen für die Optimierung des Komplexitätsniveaus (vgl. Bohne 1998, S.66ff). Nach Einschätzung von KOHLHASE (1997, S.2) sind konventionelle Kostenrechnungssysteme hier nur bedingt geeignet, da sie die tatsächlich anfallenden [Komplexitäts-]Kosten der Variantenvielfalt teilweise verschleiern.

Als eine Folge hieraus fällt es vielen Unternehmen trotz Einsatzes eines intensiven Berichtwesens sowie ressourcenintensiver Controlling-Instrumente schwer, den Erfolgsbeitrag der Beschaffung monetär messbar zu machen. Mit Bezug zur modularen Baukastenstrategie bewerten GERSHENSON ET AL. (2004, S.46) in einer allgemeingültigeren Betrachtungsperspektive die aktuellen Methodenansätze für die optimale Produktmodularisierung dahingehend als problematisch, als dass diese einen hohen und so in der Realität kaum realisierbaren Informationsbedarf benötigen, um aussagefähige Ergebnisse liefern zu können.

JUNGE (2005, S.214) sieht daher einen steigenden Bedarf nach Methoden mit ganzheitlichem Fokus und einem hohen Transparenzgrad zur Unterstützung der Entscheidungsfindung. Ähnlich äußern sich auch BLECKER UND ABDELKAFI (2006, S.82): „Therefore, simulation techniques coupled with the use of complexity measures are appropriate instruments to determine the optimal product variety“.

Hierzu führt SKIRDE (2015, S.123) jedoch aus, dass existierende theoretische Ansätze „den praxisseitigen Anforderungen nach einer Berücksichtigung der Kostenwirkung der Modularisierung“ nicht gerecht werden und sieht daher „das Fehlen eines praxisorientierten Ansatzes zur kostenorientierten Bewertung modularer Produktarchitekturen“ als existierende Forschungslücke an.

Eine Verdichtung der Aussagen lässt darauf schließen, dass die zukünftige Entwicklung des Komplexitätsniveaus im Unternehmen davon abhängt, inwieweit es dem Unternehmen gelingt, durch den Einsatz geeigneter Werkzeuge die bereichsübergreifende Komplexitätsfokussierung voranzutreiben. Die Praxisanalyse hat jedoch gezeigt, dass die aktuellen Methoden und Prozesse dieser Anforderung nur bedingt entsprechen. Vor dem Hintergrund der ganzheitlichen Betrachtung ist somit die Konzeption neuer Modelle erforderlich, die vor allem die Komplexitätsthematik in einem ganzheitlicheren Ansatz berücksichtigen.

Zwar werden in der Literatur ausführlich die Auswirkungen eines nicht optimalen Komplexitätsniveaus und die existierenden Treiber der Komplexität einerseits und die Effektivität der Modularisierung andererseits differenziert betrachtet. Eine detaillierte und vor allem aus Praxissicht erforderliche quantifizierbare Aussage über etwaige Kausalitätszusammenhänge von Komplexitätstreibern und Modularisierungseffekten ist jedoch nicht existent (vgl. Gießmann 2010, S.192).

Zur Untersuchung dieser Kausalzusammenhänge wurde unter Zuhilfenahme der innerbetrieblichen Wertschöpfung ein Konstrukt aufgebaut, welches die Zusammenführung der Themenschwerpunkte Komplexität und Modularisierung in einem integrativen Modellansatz ermöglicht (vgl. Abbildung 35).

Hierzu wurden unter Zuhilfenahme bestehender Kategorisierungssysteme in einem ersten Schritt in wissenschaftlichen Beiträgen diskutierte Komplexitätstreiber und Modularisierungseffekte identifiziert und entsprechend der spezifischen Wirkung den einzelnen

Funktionsbereichen der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette zugeordnet (vgl. Kap. 3).

Die nachgelagerte Praxisanalyse hat dann gezeigt, dass die in der Wissenschaft diskutierten Problemstellungen in hohem Maß auch von den Experten als aktuelle Handlungsbedarfe im Umgang mit Komplexität und modularen Baukästen in der Praxis verstanden werden. Gleichzeitig konnte durch die Beschaffungsfokussierung die in der Literaturrecherche aufgezeigte vorrangige Produktbetrachtung um die Beschaffungskomponente erweitert werden.

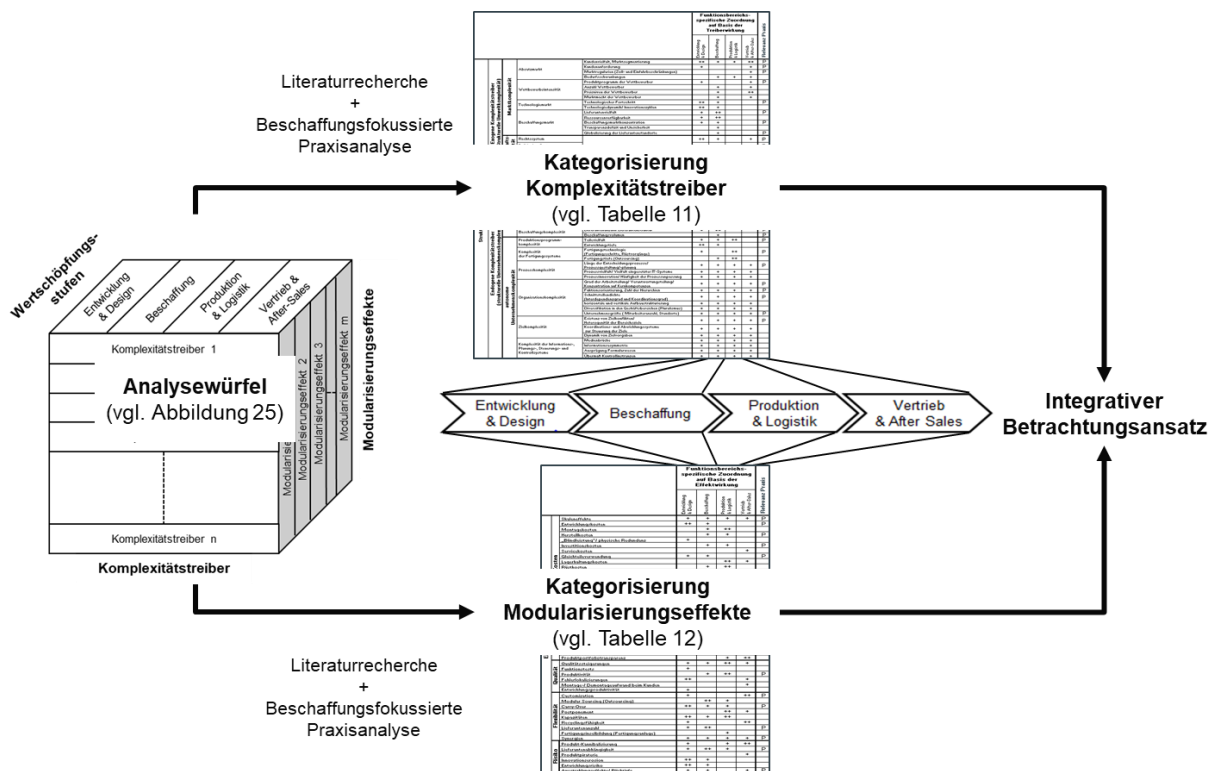


Abbildung 35: Integrativer Betrachtungsansatz

Die bisherigen Erkenntnisse zeigen zusammenfassend auf, dass es aufgrund der fehlenden fokussierten Betrachtung der Beschaffung sowohl aus theoretischer als auch aus praktischer Sicht kaum möglich ist, eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit modularer Baukästen und deren Komplexitätswirkung auf die Beschaffung zu treffen.

In dieser beschriebenen Forschungslücke liegt die Motivationsgrundlage für die Konzeptionierung des Entscheidungsmodells im folgenden Abschnitt 5 begründet. Dafür stellen die durchgeführte integrative Zusammenführung theoretischer und praxisfokussierter Ergebnisse und die gleichzeitige Entwicklung eines Konstruktes zur simultanen Berücksichtigung von Komplexitätstreibern und Modularisierungseffekten die Basis für die Entwicklung einer praxisorientierten Methodik dar.

#### 4.8 Kritische Würdigung zur Entsprechung anzuwendender Gütekriterien

Zum Abschluss des qualitativen Methodenbausteins soll der gewählte Forschungsprozess mit Blick auf die Entsprechung wissenschaftlicher Gütekriterien einer kritischen Würdigung unterzogen werden.

„Die Anwendung von Gütekriterien stellt einen wichtigen Bestandteil qualitativ-inhaltsanalytischen Arbeitens dar“ (Mayring & Brunner 2009, S.677). Erst durch die Beurteilung der eingesetzten Methoden anhand von Gütekriterien kann die Validität der Ergebnisse und Integrität des Forschungsprozesses gewährleistet werden (vgl. Skirde 2015, S.120). Hierzu merkt FLICK (2008, S.110) jedoch kritisch an: „(...) innerhalb der qualitativen Forschung gibt es bislang wenig Einigkeit darüber, welche Kriterien der (eigenen) qualitativen Forschung angemessen sind“.

Aus Sicht von MAYRING UND BRUNNER (2009, S.678) stellen Objektivität, Reliabilität (Zuverlässigkeit) und Validität (Gültigkeit) die klassischen Gütekriterien dar, an denen sich das qualitative Forschungsdesign zu messen hat (vgl. auch Hugl 1995, S.146).

HUGL (1995, S.146) definiert Reliabilität als die „Reproduzierbarkeit von Ergebnissen unter den gleichen intersubjektiven Bedingungen“, wohingegen Validität den Grad der „Übereinstimmung der Ergebnisse mit dem, was mit der zugrundeliegenden Forschungsfrage tatsächlich gemessen werden sollte“ widerspiegelt. Aufgrund ihrer logischen Verknüpfung ist es erforderlich, Reliabilität und Validität immer im Zusammenhang zu betrachten. BLUMBERG ET AL. (2008, S.455) formulieren hierzu: „Reliability is a necessary contributor to validity but is not a sufficient condition for validity“. Ein hohes Maß an Reliabilität ist somit Grundvoraussetzung für Validität (vgl. Hugl 1995, S.148).

Ergänzend führt HUGL (1995, S.149f.) mit der Verfahrensdokumentation, der argumentativen Interpretationsabsicherung, der Regelgeleitetheit und der Nähe zum Gegenstand zusätzliche anwendbare Gütekriterien an.

Bezogen auf die Entsprechung wissenschaftlicher Gütekriterien dieser Arbeit sei nochmals darauf hingewiesen, dass sich aufgrund der Brisanz der erlangten unternehmensspezifischen internen Daten sowie zur Einhaltung geltender Datenschutzbestimmungen des Volkswagen Konzerns gezielt für eine ausschließlich durch den Autor selbst durchgeführte Datenerhebung, -transkription und -analyse entschieden wurde.

Damit wurden als Folge der fehlenden Intercoder-Reliabilität hinsichtlich des Kriteriums Objektivität bewusst mögliche Abstriche bei der Transkription und in der Codiergüte in Kauf genommen, die dieses Verfahren gegenüber teambasierten Verfahren besitzt (vgl. Kuckartz et al. 2008, S.40f.). Hier kann unterstützend MAYRING (2007, S.45) angeführt werden, wonach bei einer qualitativen Inhaltsanalyse inhaltliche Argumente stets vorrangig gegenüber methodischen Argumenten zu betrachten sind: „[...] Validität geht vor Reliabilität“ (Mayring 2007, S.45).

Um dennoch die angesprochenen Einschränkungen hinsichtlich der Objektivität zu minimieren, wurde ein Hauptaugenmerk auf das Thema der Intracoder-Reliabilität gelegt.

Hierzu wurde das vorliegende Textmaterial nach Abschluss des erstmaligen Codiervorgangs mit einem Abstand von 6 und 14 Monaten einer erneuten Plausibilitätsprüfung hinsichtlich der ursprünglichen Codierung unterzogen. Durch diesen mehrstufigen Iterationsprozess mit zwei Wiederholungsschleifen konnte eine subjektive Prägung der Ergebnisse minimiert und damit gleichzeitig die Objektivität erhöht werden.

Die im Rahmen der Verfahrensdokumentation stets begründende und transparente Darlegung der einzelnen Prozessschritte unterstützt darüber hinaus sowohl die Validität als auch die Reliabilität der gewählten qualitativen Forschungsmethodik. Hierzu zählt die theoriegeleitete Entwicklung des Kategoriensystems (vgl. Mayring & Brunner 2009, S.678) und die am Forschungsziel ausgerichtete Sampling-Strategie bei der Expertenauswahl. Um dabei der Forderung MAYRINGS (2007, S.44) nach intersubjektiver Nachprüfbarkeit der Ergebnisse zu entsprechen, wurde der strukturierten und regelgeleiteten Datenanalyse durch die Anwendung definierter Transkriptions- und Codierregeln in dieser Arbeit eine besondere Bedeutung entgegengebracht. Die aus dem objektivierten Analyseprozess resultierende inhaltsanalytische Vergleichbarkeit der Interviews unterstützt gleichzeitig die Forderung der Datentriangulation bei der Exploration relevanter Zusammenhänge (vgl. Kaufmann & Denk 2011, S.67).

Zwar kann zusammenfassend einer möglichen Kritik hinsichtlich der Robustheit der Ergebnisse bezogen auf die Einschränkungen der Objektivität nicht gänzlich widersprochen werden. Es bleibt aber festzuhalten, dass sowohl das theorie- und regelgeleitete Vorgehen als auch die daraus resultierende intersubjektive Nachprüfbarkeit zu einem hohen Entsprechungsgrad qualitativer Gütekriterien beitragen (vgl. Mayring 2001, S.11). Somit erfüllt die gewählte qualitative Forschungsmethodik die an die Methodik gestellten formalen, inhaltlichen und bezogen auf die wirtschaftliche Gestaltung des Forschungsprozesses pragmatischen Gütekriterien.

## 5. Konzeption eines strategischen Entscheidungsmodells auf Basis eines Künstlichen Neuronalen Netzes (KNN)

„[...] to understand complexity, one needs an objective standard for measuring it“ (Meyer & Lehnerd 1997, S.97).

„[...] AI might be a game changer for the purchasing function“ (Schulze-Horn et al. 2020, S.634).

Resultierend aus der aufgezeigten Forschungslücke aus Wissenschaft und Praxis sowie der hieraus abgeleiteten Implikation für den erforderlichen Forschungsbedarf besteht das Ziel dieses Abschnitts in der Konzeption eines Entscheidungsmodells, welches auf strategischer Ebene für die Beschaffung einen Mehrwert bei der Ausrichtung der Beschaffungsstrategie im Rahmen eines komplexitätsoptimierenden Umgangs mit modularen Baukästen generiert.

Ziel des Entscheidungsmodells ist eine parametergestützte Analyse, bei der sich die Parameter direkt und effizient aus beschaffungsstrategischen Überlegungen in das Modell transferieren lassen.

Aus Sicht der interviewten Experten muss ein anwendungsorientiertes Modell dabei die folgenden Anforderungen erfüllen, um eine hohe Praktikabilität für die Unternehmenspraxis zu gewährleisten (vgl. Tabelle 13).

Modellanforderung	Textauszug Interview
Einhaltung der Realitätstreue	B: "Wie bekomme ich da alle Aspekte unter ein Dach und wie bestimme ich sozusagen die Gewichtung dieser Faktoren. Die Anforderung ist dann, dass man das so realitätsgetreu [wie möglich] darstellt."
Berücksichtigung der Wechselwirkung	K: "(...) gerade bei der Wechselwirkung zwischen Komplexität und Modularisierung die Beschaffung mit einzubeziehen... Weil das ist doch ein großer Faktor."
Verifizierung der Ergebnisse	N: "In welchem Quadranten lande ich unter den Randbedingungen? Jetzt müsste man ja eigentlich mal gucken, was wir an Referenzprojekten haben. (...) Wo sind wir da eigentlich hingekommen was wirtschaftlichen Erfolg und Komplexität angeht? (...) Wenn ich die Randbedingungen in das Modell eingabe, führt das dann in den selben Quadranten oder führt das ganz woanders [hin]. Das wäre für mich eine Verifizierung."

Tabelle 13: Expertenforderungen an ein anwendungsorientiertes Entscheidungsmodell

Obwohl ein Modell als eine zweckorientierte Abstraktion der Realität zu verstehen ist (vgl. Kreimeyer & Lindemann 2011, S.36), sollte trotz des Abstraktionscharakters die Zielsetzung in der Darstellung eines realitätsanalogen Verhaltens liegen (vgl. Bandte 2007, S.199).

Zur Sicherstellung der bereits aufgezeigten Gütekriterien wissenschaftlicher Arbeiten (vgl. Kap. 4.8) sollen daher sowohl der Konzeptionierungsprozess als auch das Entscheidungsmodell selbst den folgenden festgelegten Anforderungen entsprechen (vgl. Kopenhagen 2004, S.29ff.):

- 1) logisch und verständlich aufgebauter Konzeptionierungsprozess zur Sicherstellung der Nachvollziehbarkeit
- 2) Algorithmus-basierter Konzeptaufbau, um eine rechnergestützte Modellimplementierung zu ermöglichen
- 3) Ganzheitliche Betrachtung zur Sicherung eines ausreichenden Informationsgehalts
- 4) flexible Anpassungsfähigkeit an sich ändernde Modellanforderungen und Rahmenbedingungen

Wie bereits erläutert, muss ein sinnvoll einsetzbares strategisches Entscheidungsmodell die Volatilität der Unternehmensumwelt berücksichtigen. Bestehende Supply Chains sind durch sich dynamisch ändernde technologische, organisationale, topologische, informelle und finanzielle Strukturen sowie hieraus notwendige Adaptionen der Geschäftsprozesse charakterisiert (vgl. Ivanov et al. 2010, S.409). Die Beschaffung, als einer der aus Unternehmenssicht wichtigsten Gestalter der Supply Chains, muss folglich zur Ableitung strategischer Entscheidungen anpassungsfähige Modelle einsetzen, die den hohen Grad der Dynamik abbilden können bzw. die durch ein hohes Maß an Flexibilität stetig an die sich ändernden Rahmenbedingungen angepasst werden können.

Folgerichtig muss das zu konzipierende Modell einen dynamischen Aspekt aufweisen, da ein rein statisches Entscheidungsmodell eine ressourceneffiziente Nutzung durch unzureichende Anpassungsfähigkeit sowohl an die jeweiligen Anforderungen der Anwender als auch an sich ändernde Rahmenbedingungen erschwert (vgl. Michalos et al. 2010, S.88; Wang et al. 2000, S.3811). Auf Basis der Ergebnisse einer durchgeführten Befragung innerhalb der Automobilindustrie sehen SCHULZE-HORN ET AL. (2020, S.632) in der Anwendung von Modellen nach dem Funktionsprinzip künstlicher Intelligenz einen Mehrwert für die Beschaffung.

### **5.1 Funktionale Grundidee des Entscheidungsmodells**

Um den genannten Anspruch an das Modell zu erfüllen sowie unter Beachtung der gesetzten Forschungsziele, erscheint der Ansatz der Modellkonzeptionierung auf Basis eines Künstlichen Neuronalen Netzes (KNN) gegenüber der Durchführung einer Regressionsanalyse vorteilhafter. Vor allem bei den Kriterien der Ganzheitlichkeit und der Flexibilität ist die Vorteilhaftigkeit erkennbar (vgl. Tabelle 14).

Kriterium	Anforderung	Künstliches Neuronales Netz	Regressionsanalyse
Nachvollziehbarkeit	Der Konzeptionierungsprozess ist sachlogisch aufgebaut.	erfüllt	erfüllt
Algorithmusfähigkeit	Die Modellimplementierung erfolgt rechnergestützt.	erfüllt	erfüllt
Ganzheitlichkeit	Das Modellkonzept ermöglicht eine ganzheitliche Betrachtung.	erfüllt	eingeschränkt erfüllt
Flexibilität	Das Modellkonzept besitzt auch bei sich ändernden Rahmenbedingungen seine Funktionalität.	erfüllt	nicht erfüllt

Tabelle 14: Bewertung der Vorteilhaftigkeit eines KNN

Die Vorteilhaftigkeit des KNN gegenüber der Regressionsanalyse als grundlegender methodischer Ansatz für die Modellkonzeption lässt sich wie folgt begründen:

Erstens erweist sich die Erfassung komplexer, nichtlinearer Wirkungszusammenhänge mittels Regressionsanalyse häufig als schwierig, da die parametrischen Abhängigkeiten zwischen den Variablen nur mit hohem mathematischen Aufwand funktional abbildbar sind. Hieraus kann geschlussfolgert werden, dass Regressionsanalysen vor allem dann vorteilhaft anwendbar sind, wenn die Zusammenhänge zwischen den abhängigen und unabhängigen Variablen linear sind und die Anzahl der untersuchten Variablen dabei gering ist.

Im Gegensatz dazu ist die Intention des heuristischen Konzeptes eines KNN die nicht-parametrische, statistische Schätzung einer INPUT-OUTPUT-Relation, ohne Kenntnis über die mathematische Funktion zur Transformation der Eingabe- in die Ausgabewerte zu besitzen (vgl. Bode 2000, S.1233; Wang et al. 2000, S.3812). Strukturell erfolgt dieser Approximationsprozess durch sachlogische Verknüpfungen, die an neuronale Verknüpfungsmuster des menschlichen Gehirns angelehnt sind (vgl. Stüttgen 1999, S.93). KNN lassen sich dabei auch bei nicht-linearen Zusammenhängen mit überschaubarem Aufwand zur Problemlösung einsetzen.

Zweitens fördert ein Modellkonzept auf Basis eines KNN durch die flexible Einbindung neuer Variablen in den Lernprozess stets einen auf den Anwendungsfall ausgerichteten Informationsgehalt und damit eine ganzheitliche Betrachtung. Gleichzeitig inkludiert die Flexibilität eine permanente, dynamische sowie anwendungsorientierte Anpassungsfähigkeit des Modells. Hier weist eine Regressionsanalyse nur eine eingeschränkte Anwendungstauglichkeit auf.

Basierend auf der zu entwickelnde Verknüpfungslogik der Modellgrößen liegt die funktionale Grundidee des Entscheidungsmodells darin, dem Anwender zu ermöglichen, das Optimierungspotenzial beschaffungsstrategischer Entscheidungen zu identifizieren und hieraus Handlungsempfehlungen für einen komplexitätsoptimierenden Umgang mit modularen Baukästen abzuleiten.

Die Funktionsweise des Modellierungsansatzes basiert auf einem Soll-Ist-Abgleich zwischen bekanntem Variablen-Set eines real abgeschlossenen Vergabeprozesses und einem modellierten Variablen-Set, bestehend aus modifizierten Gestaltungsvariablen als

Eingabegrößen sowie prognostizierten Erfolgsvariablen als Ausgabegrößen des Verarbeitungsprozesses innerhalb des KNN.

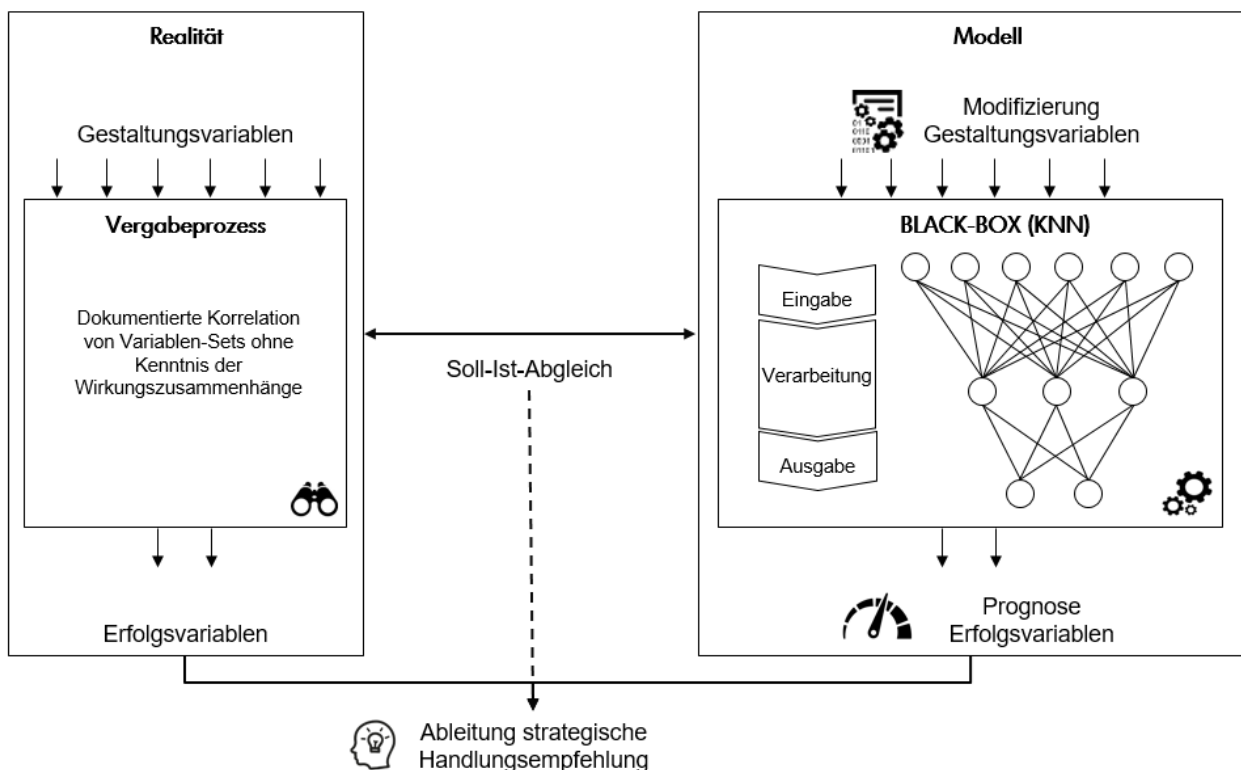


Abbildung 36: Funktionale Grundidee des Entscheidungsmodells

Der gewählte heuristische Ansatz der Modellkonzeptionierung mittels KNN garantiert als Näherungsverfahren zwar nicht eine optimale Lösung, ermöglicht es aber, trotz des begrenzten Wissens über die zugrundeliegenden Wirkungszusammenhänge, bei einem gegenüber mathematischen Optimierungsansätzen geringeren Implementierungsaufwand zufriedenstellende Ergebnisse zu liefern (vgl. Gonsior 2008, S.252; Erixon 1998, S.151; Ivanov et al. 2010, S.410).

Die Darlegung der funktionalen Grundidee schließt mit der konzeptionellen Herleitung eines Ansatzes zur Klärung, bei welchen spezifischen Aufgaben des Beschaffungsprozesses das Entscheidungsmodell, entsprechend dem gewählten anwendungsorientierten Forschungsansatz, den Anwender bei der Entscheidungsfindung unterstützen kann.

Hierzu werden basierend auf der Arbeit von HOFMANN & STAIGER (2020, S.5f. und S.33ff.) im ersten Schritt ein idealisiertes lineares Beschaffungsprozessmodell definiert und den einzelnen Prozessebenen die von den Autoren aufgeführten Beschaffungsaufgaben zugeordnet (vgl. Abbildung 37). Zur Sicherstellung der Zuordenbarkeit wird im Vergleich zu HOFMANN & STAIGER (2020, S.5. und S.34) für die Teilstufen des Beschaffungsprozesses sowie die Gruppierung der Aufgaben eine modifizierte Darstellung gewählt.

Im zweiten Schritt folgen dann, anhand der Ergebnisse des Konzeptionierungsprozesses (Kap.5.4) und der Pilotanwendung (Kap. 6.3), die Bewertung der Anwendungsmöglichkeit innerhalb des Beschaffungsprozesses sowie die hieraus resultierende Ableitung des Nutzenbeitrags des Entscheidungsmodells (vgl. Kap. 6.5).

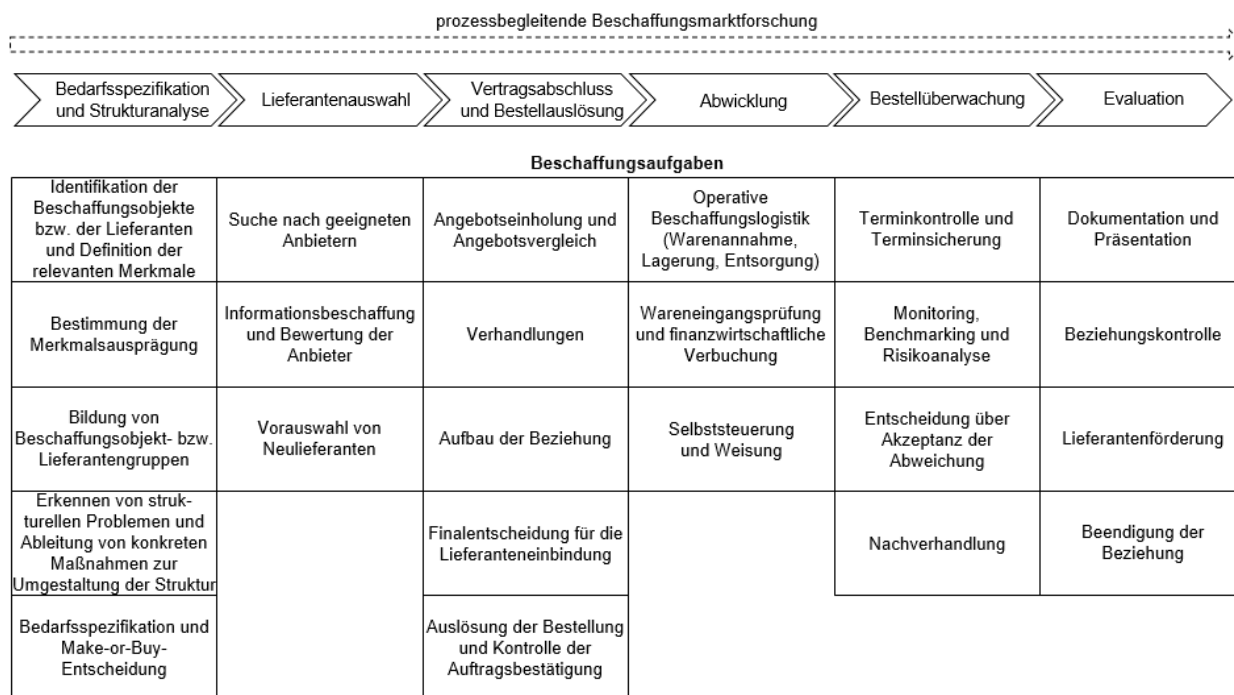


Abbildung 37: Einordnung spezifischer Beschaffungsaufgaben in das Beschaffungsprozessmodell  
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Hofmann & Staiger (2020, S.5 und S.34)

Die Anwendung eines Beschaffungsprozessmodells hilft Unternehmen dabei, die Beschaffungsaktivitäten zu standardisieren und zu kontrollieren, um zielgerichtet erforderliche Maßnahmen zur Problemlösung und Entscheidungsfindung den einzelnen Prozessstufen zuordnen zu können (vgl. Bäckstrand et al. 2019, S.1). In der Literatur existierende Prozessmodelle können entsprechend BÄCKSTRAND ET AL. (2019) in fünf Kategorien eingeordnet werden: Modelle zur Entscheidungsfindung, lineare, strategische, zyklische sowie hybride Prozessmodelle. Die am häufigsten vertretene Kategorie stellen die linearen Prozessmodelle dar (vgl. Bäckstrand et al. 2019, S.4).

In Analogie zur Argumentation in Bezug auf die gewählte sequentielle Darstellungsform der Wertschöpfungskette (vgl. Kap. 2.2.3.1) kann auch hier konstatiert werden, dass ein lineares Prozessmodell zur vereinfachten idealisierten Darstellung herangezogen wird, auch wenn wesentlich zyklische bzw. hybride Darstellungsformen die realen Prozesse gegebenenfalls besser widerspiegeln.

## 5.2 Forschungsmethodik und Forschungsprozess

Im Gegensatz zu Kapitel 4, welches sich mit der Exploration praxisrelevanter Einflussgrößen befasst hat, liegt das Forschungsziel von Abschnitt 5 neben der Modellkonzeptionierung zusätzlich im Aufzeigen der Wirkungszusammenhänge zwischen den aus den Einflussgrößen ableitbaren Modellvariablen.<sup>63</sup> Somit liegt der Fokus in der Beantwortung von Forschungsfrage F<sub>2</sub> (vgl. Kap. 1.2).

F<sub>2</sub>: In welchen Wirkungszusammenhängen stehen die identifizierten Modellvariablen zueinander?

Es geht also primär um das Aufzeigen und die Erklärung von Ursache-Wirkungsbeziehungen. Die Analyse dieser Kausalzusammenhänge erfolgt durch Anwendung eines explanativen Forschungsansatzes.

Da weiterhin für die Ableitung der Wirkungszusammenhänge eine große Anzahl numerischer Sekundärdaten (vgl. Kap. 5.4.2.2) herangezogen werden, erscheint der Einsatz einer quantitativen Forschungsmethodik zur Analyse am besten geeignet (vgl. Saunders et al. 2009, S.151). Durch die Nutzung der quantitativen Forschungsmethodik und das Hinzuziehen einer Vielzahl von Sekundärdaten werden gleichzeitig die in Abschnitt 4 gewonnen qualitativen Ergebnisse hinsichtlich ihrer Plausibilität und Generalisierbarkeit überprüft (vgl. Flick 2008, S.91).

Der Konzeptionierungsprozess orientiert sich grundlegend an den von HEUER (1997, S.31ff.) vorgeschlagenen acht Entwicklungsphasen für die Anwendung eines KNN, die da lauten: Problemanalyse, Modellformulierung, Topologieentscheidung, Festlegung des Lerngesetzes, Implementierung, Trainieren, Testen und evtl. Falsifizieren, Einsatz und Wartung. Es erschien jedoch vorteilhaft, den von einem hohen Grad der Allgemeingültigkeit geprägten Vorschlag HEUERs zu modifizieren und auf die spezifischen Problemstellungen innerhalb des Konzeptionierungsprozesses dieser Arbeit anzupassen.

Der im Rahmen der Modellkonzeptionierung gewählte Konzeptionierungsprozess gliedert sich in fünf Stufen (vgl. Abbildung 38), die zur Verständniserklärung nachfolgend kurz erläutert werden.

Basis und damit **erste Prozessstufe** innerhalb der Modellkonzeptionierung stellt die Definition der mit dem Modell zu realisierenden Zielstellung dar. Basierend auf der identifizierten Forschungslücke liegt die Zielstellung in der integrativen Betrachtung beschaffungsrelevanter Komplexitätstreiber und Modularisierungseffekte zur Identifikation inkludierter Kausalzusammenhänge. Die hieraus ableitbaren Ergebnisse sollen der Beschaffung eine Entscheidungshilfe bei der komplexitätsoptimierenden Kosten-Nutzen-Wirkung

---

<sup>63</sup> Für detaillierte Ausführungen zum Identifikationsprozess der Modellvariablen wird auf Kapitel 5.3 verwiesen.

beschaffungsstrategischer Entscheidungen im Umgang mit modularen Baukästen liefern. Da die Zielstellung weiterhin in einem hohen Entsprechungsgrad der Anwendungsorientierung liegt, stellt auch die Berücksichtigung der im Rahmen der Praxisanalyse durch die Experten genannten Modellanforderungen einen wichtigen Baustein der ersten Prozessstufe dar.

Fokus der **zweiten Prozessstufe** liegt in der Transformation der erlangten Erkenntnisse aus Theorie und Praxis in ein für die Erstellung des Entscheidungsmodells notwendiges Kennzahlensystem. Abstrakt gesehen erfolgt auf dieser Stufe somit die Verdichtung der in der Literaturrecherche und Praxisanalyse identifizierten Einflussfaktoren zu Modellkennzahlen. Die zweite Stufe hat einen hohen Stellenwert innerhalb des Konzeptionierungsprozesses, da die Ableitung des Kennzahlensystems sowohl die Topologie als auch die Ergebnisgüte des Entscheidungsmodells mitbestimmt.

Auf Basis der so identifizierten Kennzahlen als Modellvariablen wird die eigentliche Modellkonzeptionierung mittels Verwendung eines KNN durchgeführt. Da ein Kausalmodell dabei grundsätzlich aus zwei Bestandteilen besteht, einem Strukturmodell und einem Messmodell (vgl. Nitzl 2010, S.3ff.), erfolgt auf der **dritten Prozessstufe** basierend auf dem Kennzahlensystem der Aufbau der Netztopologie des KNN in Form eines Pfaddiagramms. Die gewählte Netztopologie spiegelt dabei die inkludierte sachlogische Verknüpfung der Modellvariablen wider. Fokus der dritten Stufe liegt somit in der Erarbeitung des für die Modellkonzeptionierung relevanten Strukturmodells.

Innerhalb der **vierten Prozessstufe** schließt sich die Software-gestützte Simulation unter Anwendung unternehmensbezogener datenbankbasierter Sekundärdaten an. Hier werden die Wirkungszusammenhänge der einzelnen Modellvariablen untereinander quantitativ ermittelt und in ein formatives Messmodell mit gewichteten Knoten übertragen.<sup>64</sup>

Nach Abschluss der Modellkonzeptionierung und Verifizierung (vgl. Kap. 5.5) erfolgen auf der **fünften Prozessstufe** die Validierung in Form einer praxisorientierte Pilotanwendung mittels eines Demonstrators sowie die Ableitung von Handlungsempfehlungen. Hierzu wird am Beispiel eines existierenden modularen Baukastens das konzipierte Entscheidungsmodell angewendet und die hieraus resultierenden praxisrelevanten Implikationen abgeleitet.

---

<sup>64</sup> Für definitorische Ausführungen zum Begriff des formativen Messmodells und dessen Abgrenzung zum reflektiven Messmodell wird auf die detaillierten Ausführungen von NITZL (2010, S.5ff.) verwiesen.

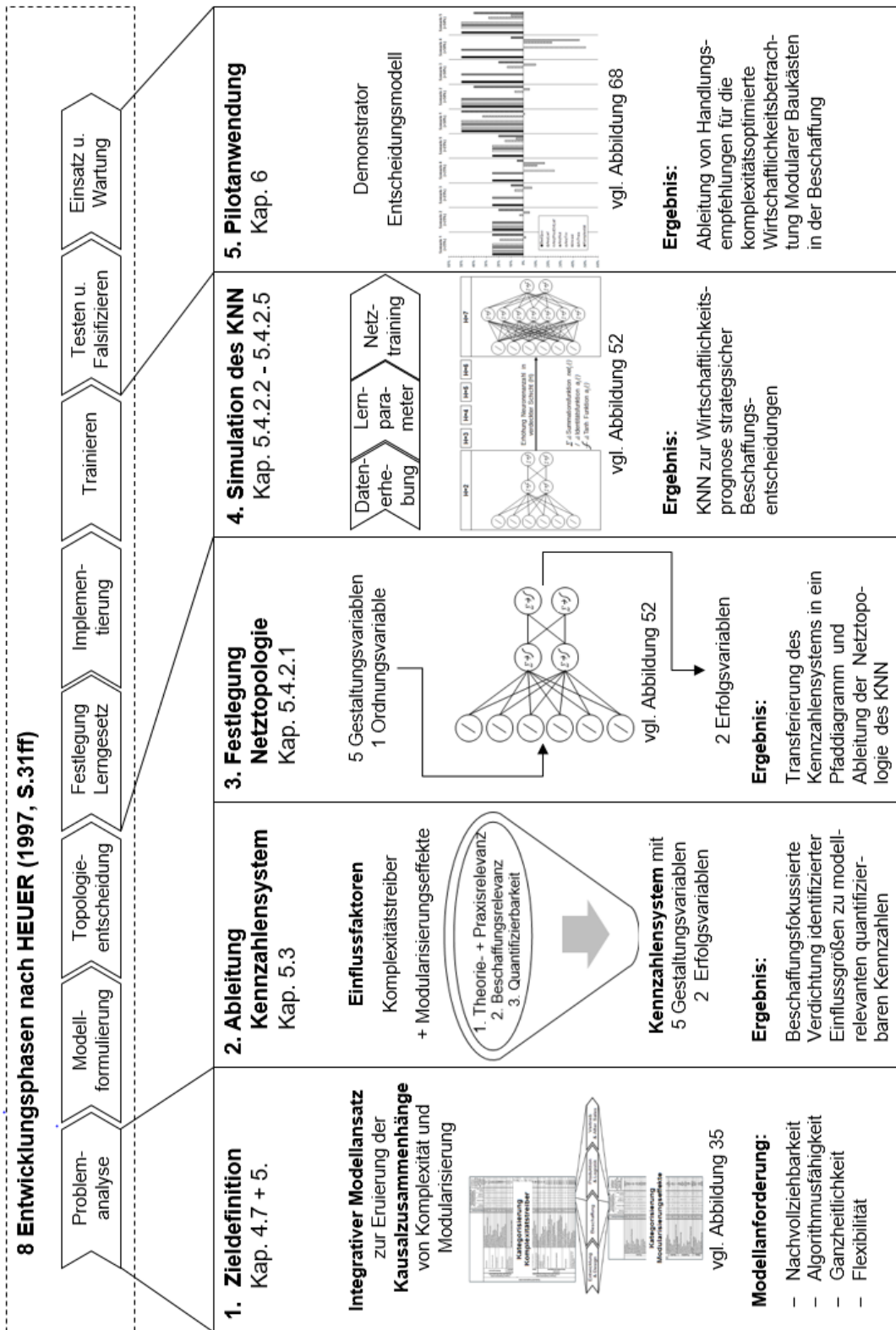


Abbildung 38: Prozessdetaillierung der fünf Konzeptionierungsstufen des Entscheidungsmodells

### 5.3 Identifikation relevanter Modellvariablen und Aufbau eines Kennzahlensystems

Inhaltlich befasst sich dieses Kapitel mit der Transformation der in Abschnitt 3 und 4 identifizierten Einflussfaktoren zu aggregierten Kennzahlen und deren Integration in ein Kennzahlensystem. Das entwickelte Kennzahlensystem bildet die Basis für die im Forschungsprozess nachgelagerte Entwicklung des Entscheidungsmodells.<sup>65</sup> Erst durch den Aufbau solch eines Kennzahlensystems ist es möglich, die bisher erlangten Erkenntnisse in verdichteter Form so zu strukturieren (vgl. Kreimeyer & Lindemann 2011, S.77), dass durch das Modell eine Beantwortung der Forschungsfrage sichergestellt werden kann. Die Vielzahl existierender Einflussfaktoren und deren Interdependenz stellen die Beschaffung vor Herausforderungen bei der Messung des Erfolgsbeitrags (vgl. Maucher et al. 2012, S.56). Daher liegt im Prozess der Überführung identifizierter Einflussfaktoren in ein Kennzahlensystem die Basis für den zielorientierten Forschungsprozess der Modellkonzeptionierung.

Die nachfolgende Abbildung stellt den zugrunde liegenden Verdichtungs- und Transformationsprozess für die Ableitung eines Kennzahlensystems aus der Ganzheitlichkeit der identifizierten Einflussfaktoren dar (vgl. Abbildung 39).

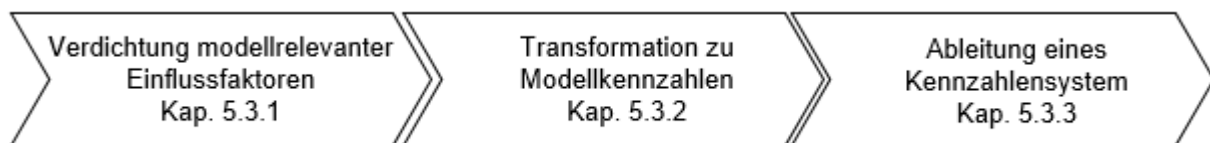


Abbildung 39: Übersicht des Verdichtungs- und Transformationsprozesses zur Ableitung des Kennzahlensystems

#### 5.3.1 Verdichtung modellrelevanter Einflussfaktoren aus Theorie und Praxis

Der erste Prozessschritt für den Aufbau eines Kennzahlensystems folgt dem Prinzip der Verdichtung. Das mit der Verdichtung verfolgte Ziel liegt in der Extrahierung modellrelevanter Einflussfaktoren aus der Gesamtheit aller im Rahmen der Literaturrecherche und Praxisanalyse identifizierten Einflussfaktoren. Die Extrahierung erfolgt in drei Stufen und ist schematisch in Abbildung 40 dargestellt.

<sup>65</sup> Die Vorteilhaftigkeit der Aggregation liegt in der verbesserten Übersichtlichkeit der Darstellung und damit in der erleichterten Anwendbarkeit des Entscheidungsmodells durch die Reduzierung der als relevant erachteten Kennzahlen. Gleichwohl muss angemerkt werden, dass durch die Aggregation auch der Detaillierungsgrad des untersuchten Sachverhalts abnimmt (vgl. Junge 2005, S.126f.).

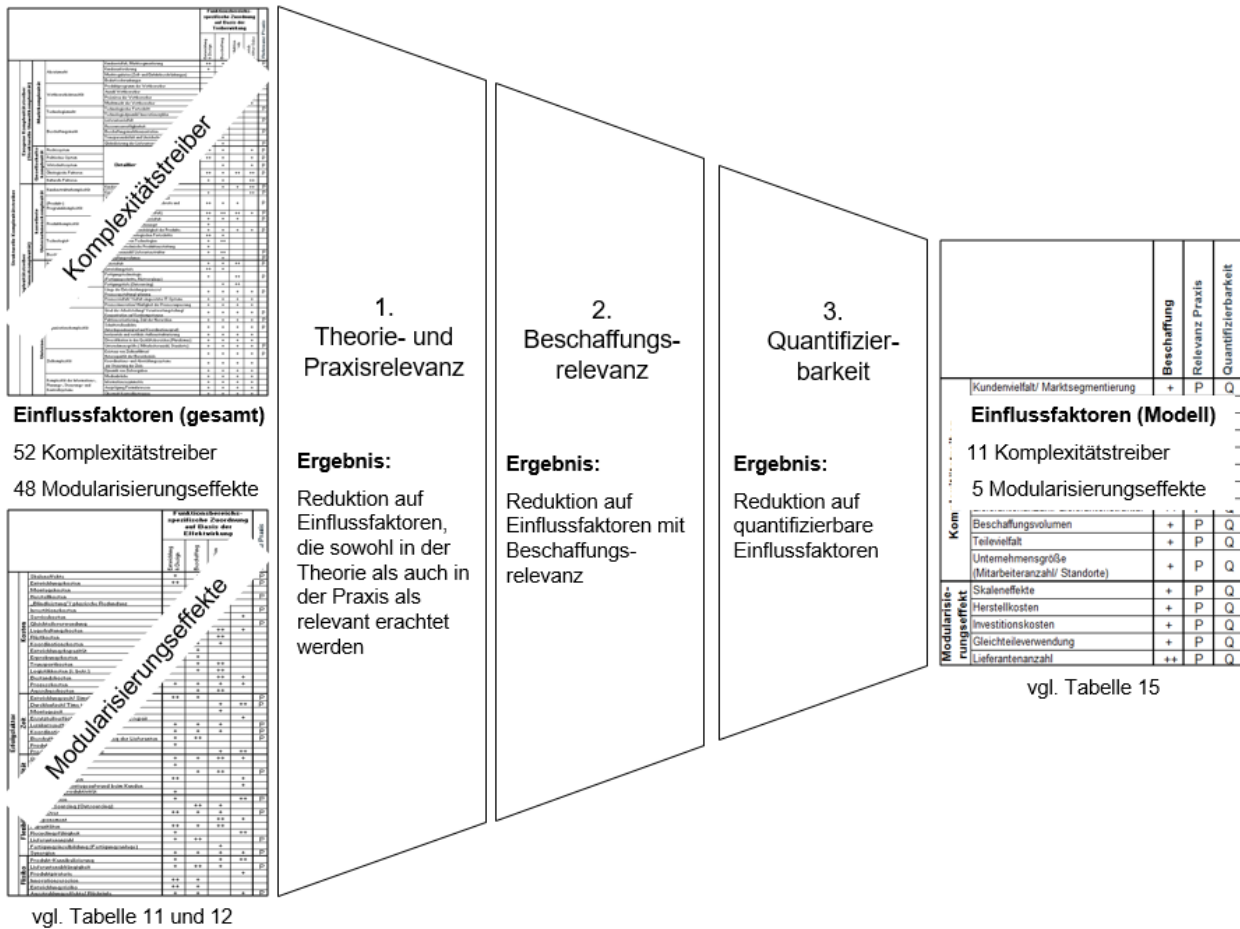


Abbildung 40: Verdichtungsprozess modellrelevanter Einflussfaktoren

Basierend auf der integrativen Zusammenführung potentieller Komplexitätstreiber und Modularisierungseffekte aus Theorie und Praxis (vgl. Tabelle 11 und Tabelle 12, S.165f.) erfolgt auf der **ersten Stufe** eine Reduktion bzgl. der simultan existierenden Theorie- und Praxisrelevanz der Einflussfaktoren. Da es sich bei dieser Arbeit um einen anwendungsorientierten Forschungsansatz handelt, umfasst die erste Verdichtung daher die Eliminierung aller Einflussfaktoren, die nicht gleichzeitig in Theorie und Praxis als relevant erachtet werden.

Der nächste Verdichtungsschritt wird durch die fokussierte Betrachtung der Beschaffung determiniert. Da vorrangig der Funktionsbereich der Beschaffung bei der Konzeption des Entscheidungsmodells betrachtet wird, erfolgt auf der **zweiten Stufe** die Eliminierung sämtlicher Einflussfaktoren, die hinsichtlich ihrer Wirkung innerhalb der betrieblichen Wertschöpfungskette nicht primär dem Funktionsbereich der Beschaffung zuordenbar sind. Die Selektion beschaffungsrelevanter Einflussfaktoren erfolgt auf Basis der in Abschnitt 3 dargelegten funktionsbereichsspezifischen Zuordnung. Einflussfaktoren werden dann auf Basis ihrer Beschaffungsrelevanz selektiert, wenn der Einflussfaktor bzgl. seiner Wirkung primär dem Funktionsbereich der Beschaffung zugeordnet werden kann oder wenn der Einflussfaktor aufgrund einer fehlenden eindeutigen Zuordenbarkeit mehreren Funktionsbereichen inkl. der Beschaffung zuordenbar ist.

Die **dritte Stufe** des Verdichtungsprozesses stellt die notwendige Quantifizierbarkeit modellrelevanter Einflussfaktoren dar. Die Quantifizierbarkeit ist dabei Voraussetzung für die Integrationsfähigkeit der im nachgelagerten Transformationsprozess abgeleiteten Kennzahlen in eine Software-gestützte Simulation des Entscheidungsmodells.

Vor allem im Umgang mit Komplexität besteht häufig ein Quantifizierungsproblem. Durch die gegebene Verflechtung der innerbetrieblichen Wertschöpfungsprozesse hängt das Komplexitätsniveau des Unternehmens in hohem Maß von den Wirkungszusammenhängen der einzelnen Komplexitätstreiber ab. Aufgrund des fehlenden linearen Wirkungszusammenhangs unter den Komplexitätstreibern lassen sich nach Einschätzung von PILLER UND WARINGER (1999, S.6f.) die Auswirkungen auf das Komplexitätsniveau innerhalb des Unternehmens bei der Veränderung einzelner Komplexitätstreiber daher nur sehr schwer quantifizieren (vgl. auch Piller 2000, S.180). Resultierend aus diesem Sachverhalt ist die Kostenwirkung von Komplexität in vielen Unternehmen von einer hohen Intransparenz geprägt (vgl. Piller & Waringer 1999, S.13f.). Hierzu merken PILLER UND WARINGER (1999, S.17) ergänzend an: „Eine mangelnde Transparenz der Ursachen und Wirkungen führt dazu, dass nur die Symptome der Komplexität angegangen werden, nicht aber ihre Ursachen selbst im Mittelpunkt geeigneter Maßnahmen stehen.“ Folglich ist eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Bestimmung des optimalen Komplexitätsgrads auf Basis einer Kosten- und Erlösfunktion in Abhängigkeit der Komplexität kaum realisierbar.

Da die ökonomische Wirkung von Komplexität jedoch unstrittig ist und damit innerhalb einer ganzheitlichen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zwingend berücksichtigt werden muss, ist die Festlegung geeigneter quantifizierbarer Kennzahlen notwendig, mit denen die Wirkung existierender Komplexitätstreiber bei der Ableitung ökonomischer Entscheidungen berücksichtigt werden können. Aufgrund eines fehlenden eindeutig quantifizierbaren Maßes für Komplexität ist die Kostenwirkung von Komplexität nur indirekt über Ersatzgrößen möglich (vgl. Adam & Johannwille 1998, S.11). Durch eine unzureichende theoriegestützte Herleitung über die Quantifizierbarkeit von Komplexität erfolgt die Selektion quantifizierbarer Komplexitätstreiber daher auf Basis von subjektivierten Überlegungen, die einerseits auf eigenen praktischen Erfahrungen des Autors und andererseits auf Erkenntnissen aus den durchgeführten Experteninterviews basieren.

Deutlich einfacher gestaltet sich die Festlegung der Quantifizierbarkeit bezogen auf die Modularisierungseffekte, da hier in der Literatur bereits Kategorisierungen vorhanden sind, die eine detaillierte Aussage über die Quantifizierbarkeit von Modularisierungseffekten liefern.

In seiner Arbeit führt KOHLHASE (1997, S.45f.) aus, dass sich Modularisierungseffekte hinsichtlich ihrer Wirkung in direkt-monetäre und damit quantifizierbare und indirekte Effekte unterscheiden lassen. Direkt-monetäre Effekte besitzen dabei einen hohen Kostenbezug, wohingegen indirekte Effekte überwiegend durch ihre Wirkung auf Zeit, Qualität und Flexibilität gekennzeichnet sind und es daher einer aufwändigen Analyse bedarf, um eine Rückführung der Effekte auf deren Kostenwirkung zu ermöglichen (vgl. auch Kersten

et al. 2011, S. 24ff.). Dadurch ist die Kostenwirkung dieser Effekte oft nur mit großem Aufwand zu quantifizieren. Da die Unmöglichkeit der Quantifizierung aus Unternehmenssicht meist auch mit einer fehlenden Messbarkeit des Effekts einhergeht, ist für den praxisorientierten Einsatz des Modells die Quantifizierungsfähigkeit der identifizierten Modularisierungseffekte unabdingbar, um eine Aussage über deren Kostenwirkung ableiten zu können (vgl. Skirde 2015, S.60).

Zur Festlegung der Quantifizierbarkeit relevanter Modularisierungseffekte wurde im Rahmen dieser Arbeit das von KERSTEN ET AL. (2011, S.25). entwickelte Klassifikationschema zur strukturierten Allokation von Modularisierungseffekten angewendet.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der beschriebene 3-stufige Verdichtungsprozess zu einer deutlichen Reduzierung der ursprünglich identifizierten Grundgesamtheit potentieller Einflussfaktoren führt. Die angewendeten Reduktionsstufen von simultaner Theorie- und Praxisrelevanz, Beschaffungsrelevanz und Quantifizierbarkeit führen dazu, dass von den in Abchnitt 3 und 4 ganzheitlich diskutierten 52 Komplexitätstreibern und 48 Modularisierungseffekten durch den Verdichtungsprozess letztlich 11 Komplexitätstreiber und 5 Modularisierungseffekte als modellrelevante Einflussfaktoren identifiziert werden konnten. Eine Übersicht der modellrelevanten Einflussfaktoren ist abschließend in Tabelle 15 dargestellt.<sup>66</sup>

		Beschaffung	Relevanz Praxis	Quantifizierbarkeit
Komplexitätstreiber	Kundenvielfalt/ Marktsegmentierung	+	P	Q
	Lieferantenvielfalt	++	P	Q
	Beschaffungsmarktkonzentration	+	P	Q
	Globalisierung Lieferantenstandorte	+	P	Q
	Kundenanzahl	+	P	Q
	Sortimentgröße	++	P	Q
	Produktbezogene Variantenvielfalt	+	P	Q
	Lieferantenanzahl/ Lieferantenstruktur	++	P	Q
	Beschaffungsvolumen	+	P	Q
	Teilevielfalt	+	P	Q
	Unternehmensgröße (Mitarbeiteranzahl/ Standorte)	+	P	Q
Modularisierungseffekt	Skaleneffekte	+	P	Q
	Herstellkosten	+	P	Q
	Investitionskosten	+	P	Q
	Gleichteileverwendung	+	P	Q
	Lieferantenanzahl	++	P	Q

Tabelle 15: Übersicht modellrelevanter Einflussfaktoren

<sup>66</sup> Entsprechend der Zuordnung in Tabelle 12, S.164 wurden auch die Entwicklungskosten als beschaffungsrelevante Einflussgröße mit Praxisrelevanz identifiziert. Weiterhin sind Entwicklungskosten quantifizierbar. Dennoch werden Entwicklungskosten im weiteren Forschungsprozess nicht mehr separat berücksichtigt. Vielmehr liegt das Verständnis vor, dass diese über die Teilepreismulage in den Herstellkosten inkludiert sind.

### 5.3.2 Transformation modellrelevanter Einflussfaktoren zu Modellkennzahlen

In diesem Abschnitt werden die bisher identifizierten modellrelevanten Einflussfaktoren zu quantifizierbaren und damit monetär messbaren Modellkennzahlen transformiert.<sup>67</sup>

Kennzahlen geben relevante Zusammenhänge in verdichteter, quantifizierbarer Form wieder und stellen mit ihrem Informationscharakter ein wichtiges Hilfsmittel für die Planung und Kontrolle in Form von Soll- bzw. Ist-Größen dar (vgl. Horváth 2009, S.504ff; Kersten et al. 2011, S.20; Reichmann 2006, S.19ff). Durch die hieraus resultierende Offenlegung relevanter Tatbestände, können Kennzahlen als Kontroll-, Steuerungs- und Entscheidungskriterien genutzt werden (vgl. Schneider 1993, S.16).

Der Transformationsprozess erfolgt unter Zuhilfenahme der in Kapitel 4.6.7.3 erläuterten Stellhebel, da durch die aktive Steuerung über die Stellhebel Einfluss auf relevante Komplexitätstreiber und Modularisierungseffekte genommen werden kann.

Die bisherigen Ausführungen haben verdeutlicht, dass die genannten Stellhebel aufgrund ihres Vernetzungsgrads simultan betrachtet werden müssen. Die Notwendigkeit der simultanen Berücksichtigung aller Stellhebel muss sich auch in der Auswahl geeigneter Kennzahlen hinsichtlich deren Integrationsfähigkeit in das Entscheidungsmodell widerspiegeln.

Da der Anspruch an das Entscheidungsmodell weiterhin in der praxisorientierten Anwendbarkeit liegt, sollen die zugrundeliegenden Kennzahlen den von JUNGE (2005, S.75) vorgeschlagenen Eignungskriterien Aufwand, Transparenz und Aussagekraft entsprechen. Im Detail bedeutet dies:

- 1) Die Ermittlung des Dateninputs einer Kennzahl ist mit geringem Aufwand realisierbar.
- 2) Die Kennzahl kann verständlich und nachvollziehbar ermittelt werden, um ein hohes Maß an Transparenz und damit Akzeptanz der Ergebnisse zu gewährleisten.
- 3) Die Kennzahl besitzt eine hohe inhaltliche Aussagekraft, um dem Modellanwender schnell und prägnant Informationen zur Verfügung zu stellen.

Ausgehend von diesen Eignungskriterien und unter Hinzuziehen der im Verlauf der Praxisanalyse geäußerten Expertenmeinung bzgl. potenziell verwendbarer Modellkennzahlen konnten durch den beschriebenen Transformationsprozess aus den modellrelevanten Einflussfaktoren in Summe 7 Modellkennzahlen definiert werden (vgl. Abbildung 41).

---

<sup>67</sup> Die notwendige Berücksichtigung quantifizierbarer Einflussfaktoren wird durch die Konzeption auf Basis eines KNN verursacht, da dieses den Einsatz mathematisch operationalisierbarer und somit quantifizierbarer Modellvariablen erfordert.

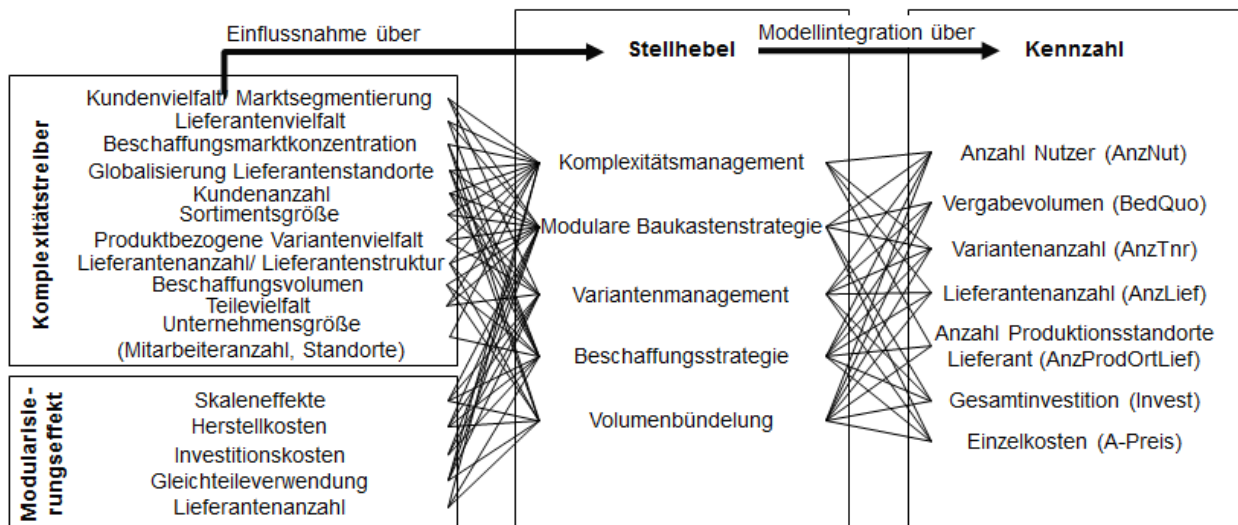


Abbildung 41: Transformationsprozess modellrelevanter Einflussfaktoren in Modellkennzahlen

Neben der notwendigen Quantifizierbarkeit der Kennzahlen werden nachfolgend weiterführende Überlegungen für die Festlegung der jeweiligen Kennzahl begründend dargestellt.

Die Kennzahl **Anzahl Nutzer (AnzNut)** beschreibt die jeweils im Rahmen der Vergabe berücksichtigten Fahrzeugprojekte und besitzt hinsichtlich der Integrationsfähigkeit relevanter Komplexitätstreiber ein hohes Potential, da sowohl Treiber der strukturellen Umweltkomplexität als auch der Unternehmenskomplexität über diese Kennzahl im Entscheidungsmodell abgebildet werden können. Gleichzeitig ermöglicht die Kennzahl die Berücksichtigung modellrelevanter Modularisierungseffekte. So lässt eine hohe Anzahl Nutzer bspw. auf eine gesteigerte Realisierung von Skaleneffekten durch Gleichteileverwendung schließen.

Die Kennzahl **Vergabevolumen (BedQuo)** beschreibt das Gesamtvolumen der summierten, lieferantenspezifisch quotierten maximalen Jahresbedarfe. Damit wird mit Festlegung des Vergabevolumens vorrangig die Integration des Komplexitätstreibers Beschaffungsvolumen sichergestellt. Da durch das Beschaffungsvolumen auch die komplexitätstreibenden Einflussfaktoren Lieferantenzahl und Lieferantenstruktur determiniert werden, erfolgt durch die Kennzahl Vergabevolumen eine hohe kennzahlenbasierte Verdichtung modellrelevanter Komplexitätstreiber. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass vor allem die Volumenbündelung den im Rahmen der modularen Baukastenstrategie primär genutzten Stellhebel der Beschaffung zur Generierung von Kosteneinsparungen darstellt.

Die vorangestellten Ausführungen haben verdeutlicht, dass die unternehmensinterne Variantenvielfalt als ein wichtiger wenn nicht sogar der wichtigste Komplexitätstreiber angesehen werden kann. Durch die Standardisierungswirkung des modularen Baukastens kann die interne Varietät durch die baureihenübergreifende Wiederverwendbarkeit der

Komponenten reduziert und damit die interne komplexitätstreibende Varietät vermindert werden (vgl. Wildemann 1998, S.58). Die **Varietätenzahl (AnzTnr)** stellt damit eine weitere wichtige Messgröße für das Komplexitätsniveau und eine Steuerungsgröße für den Gesamtaufwand im Unternehmen dar.

Die Festlegung der **Lieferantenanzahl (AnzLief)** ist in erster Linie von der gewählten Sourcing-Strategie<sup>68</sup> und dem zu beschaffenden Umfang abhängig (vgl. Krampf 2000, S.186f.). Die Optimierung der Lieferantenanzahl ermöglicht ein hohes Kostenreduktionspotential (vgl. Wildemann 1998, S.56) und beeinflusst darüber hinaus das Komplexitätsniveau. Eine Konzentration auf wenige Lieferanten und die hieraus leichter zu realisierende partnerschaftliche Zusammenarbeit reduziert bspw. die operativen Tätigkeiten der Beschaffung hinsichtlich der Lieferantenpflege bzw. des Lieferantenwechsels (vgl. Wildemann 1998, S.56), erhöht gleichzeitig aber auch die Lieferantenabhängigkeit. Die Bestimmung des Optimums sollte daher stets einen Abgleich zwischen der Generierung von Kosteneinsparungen und der potentiellen Risikoerhöhung beinhalten (vgl. Krampf 2000, S.188). Ein allgemeingültiges Patentrezept zur Ableitung der optimalen Lieferantenanzahl ist jedoch bisher nicht existent (vgl. Krampf 2000, S.188ff.).

Mit Betrachtung der Kennzahl **Anzahl Produktionsstandorte Lieferant (AnzProdOrt-Lief)** werden voranging die aus den Globalisierungstendenzen modellrelevanten Einflussfaktoren auf das Komplexitäts- und Kostenniveau des Lieferanten berücksichtigt, die aus der Anzahl existierender Produktionsstandorte und deren globaler Verteilung resultieren.

Da Änderungen bei den **Gesamtinvestition (Invest)** und **Einzelkosten (A-Preis)** einen direkten Einfluss auf das Kostenniveau des Unternehmens besitzen und folglich Einfluss auf den Unternehmenserfolg haben, erscheint die Betrachtung etwaiger Kostenänderungen aus Sicht der Praxis ideal dafür geeignet, die Leistungsfähigkeit strategischer Beschaffungsentscheidungen in einer quantifizierbaren Form transparent darzustellen (vgl. Hofmann & Städter 2007, S.327). Somit liefern beide Kennzahlen eine direkte Aussage über die Performance der Beschaffung und deren Erfolgsbeitrag zum Gesamterfolg des Unternehmens.

Tabelle 16 stellt abschließend das Ergebnis des Transformationsprozesses in Form einer Zuordnungsmatrix dar. Die Zuordnungsmatrix gibt Aufschluss darüber, über welche definierten Kennzahlen die als modellrelevant identifizierten Einflussfaktoren im Entscheidungsmodell Berücksichtigung finden. Es ist anzumerken, dass der Zuordnungsprozess durch den Verfasser selbst durchgeführt wurde und auf den bisherigen im Forschungsprozess erlangten Erkenntnissen in Kombination mit praktischen Erfahrungen beruht. Der hohe Subjektivitätsgrad schränkt die Aussagekraft der Zuordnungsmatrix nicht ein, da primär die durch den Transformationsprozess erfolgte sachlogische Verknüpfung von

---

<sup>68</sup> Vgl. Kapitel 3.2.2.2.

Einflussfaktoren und Modellkennzahlen schematisch dargestellt werden soll. Ein Anspruch auf Allgemeingültigkeit der getroffenen Zuordnung wird dabei ausdrücklich nicht erhoben.

		Modellkennzahlen						
		Anzahl Nutzer (AnzNutz)	Vergabevolumen (BedQuo)	Variantenanzahl (AnzTnr)	Lieferantenanzahl (AnzLief)	Anzahl Produktionsstandorte Lieferant (AnzProdOrtLief)	Gesamtinvestition (Invest)	Einzelkosten (A-Preis)
Modellrelevante Einflussfaktoren	Komplexitätstreiber	Kundenvielfalt/ Marktsegmentierung	x		x			
		Lieferantenvielfalt		x		x		x
		Beschaffungsmarktkonzentration		x		x	x	
		Globalisierung Lieferantenstandorte	x			x	x	x
		Kundenanzahl	x	x	x			
		Sortimentgröße	x	x	x			x
		Produktbezogene Variantenvielfalt	x		x			x
		Lieferantenanzahl/ Lieferantenstruktur		x	x	x	x	x
		Beschaffungsvolumen	x	x		x	x	x
		Teilevielfalt	x		x	x		x
		Unternehmensgröße (Mitarbeiteranzahl/ Standorte)	x	x	x			x
	Modularisierungseffekt	Skaleneffekte	x	x	x	x		x
		Herstellkosten		x	x	x	x	x
		Investitionskosten	x		x	x	x	x
		Gleichteileverwendung	x		x			x
		Lieferantenanzahl	x	x	x	x	x	x

Tabelle 16: Zuordnungsmatrix der Integrationsfähigkeit modellrelevanter Einflussfaktoren über Modellkennzahlen

### 5.3.3 Ableitung des Kennzahlensystems

Da der Aussagewert einer Einzelkennzahl in hohem Maß von der Genauigkeit des zugrunde liegenden Informationssystems abhängt, ist die Aussagefähigkeit von fokussiert betrachteten Einzelkennzahlen aufgrund möglicher Fehlinterpretationen durch einseitig genutzte Informationsquellen bzw. Vieldeutigkeit des Ergebnisses begrenzt (vgl. Reichmann 2006, S.22).

Um die beschriebene Limitation aufzuheben und gleichzeitig die Wechselwirkungen zwischen den Systemelementen aufzuzeigen, ist eine integrative Kennzahlenerfassung in Form eines Kennzahlensystems unabdingbar (vgl. Reichmann 2006, S.22).

Nach HORVÁTH (2009, S.507) ist ein Kennzahlensystem „[...] eine geordnete Gesamtheit von Kennzahlen, die in einer Beziehung zueinander stehen und so als Gesamtheit über einen Sachverhalt vollständig informieren.“ Diese Definition lässt sich gemäß REICHMANN (2006, S.22) noch um die Bausteine Sachlichkeit und Zielorientierung ergänzen. Demnach wird unter einem Kennzahlensystem „[...] eine Zusammenstellung von quantitativen Variablen verstanden, wobei die einzelnen Kennzahlen in einer sachlich

sinnvollen Beziehung zueinander stehen, einander ergänzen oder erklären und insgesamt auf ein gemeinsames übergeordnetes Ziel ausgerichtet sind“ (Reichmann 2006, S.22). Ein Kennzahlensystem trägt somit zu einer Verdichtung vorhandener Einzelinformationen bei (vgl. Maucher et al. 2012, S.63).

Durch die übersichtliche Informationsbereitstellung betrachteter Sachverhalte in verdichteter Form stellt das Kennzahlensystem eine wichtige Entscheidungsgrundlage innerhalb der Unternehmung dar und reduziert gleichzeitig die Unsicherheit der Entscheidungsträger (vgl. Reichmann 2006, S.23).

Um dauerhaft bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt zu werden, muss ein Kennzahlensystem ein bestimmtes Maß an Flexibilität beinhalten, um auf dynamisch auftretende Änderungszwänge, ausgelöst durch die Interaktion des Unternehmens mit seiner Umwelt, reagieren zu können. Erst durch diese flexible Gestaltung ist die Berücksichtigung neuer Tatbestände bei der Entscheidungsfindung möglich (vgl. Reichmann 2006, S.27).

Basierend auf den Ergebnissen der Expertenbefragung sind bei der Festlegung des Kennzahlensystems die folgenden vier Herausforderungen aus Sicht der Praxis zu bewältigen:

- 1) Das gewählte Kennzahlensystem muss die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Szenarien sicherstellen, um den Nutzenbeitrag einer strategischen Entscheidung eruieren zu können (vgl. Experte B,C,D,E,G,H,M,O,Q,R,V).  
*„Im Vorfeld ist eher die Schwierigkeit, wie viele Zahlen man hinzunimmt oder was unterstelle ich denn an Synergien, was hier noch zusätzlich zum Vorgänger kommt. (...) Was ist denn [XXX] dem Baukasten geschuldet oder was war Marktsituation oder sonst was?“ (Experte G).*  
*„(...) erfordert einen analytischen Aufwand und Datenlage, die wir a) entweder nicht haben oder b) den wir nicht betreiben wollen“ (Experte R).*
- 2) Das Kennzahlensystem muss die Messbarkeit des Erfolgsbeitrags des modularen Baukastens sicherstellen (vgl. Experte A,B,C,F,M,P,R,T).  
*„Häufig ist es so, dass sich da verschiedene Themen überlagern und sie den reinen Volumeneffekt nicht so messen können“ (Experte M).*  
*„Wie immer ist es dann so, dass da ganz viele Dinge, ganz viele Einflussmöglichkeiten auf den Erfolg oder Misserfolg eines Baukastens wirken“ (Experte R).*
- 3) Das Kennzahlensystem muss die direkte Zuordnung eines Stellhebels zum modularen Baukasten ermöglichen (vgl. Experte A,E,H,M,N,Q,R).  
*„Sie haben Überlagerungseffekte und da genau zu sagen, von den 10 Euro Einsparung sind 8 Euro Volumen, ist relativ schwer“ (Experte M).*

- 4) Das Kennzahlensystem muss so gewählt werden, dass die Schwierigkeiten der unzureichenden Quantifizierbarkeit von Komplexitätstreibern Berücksichtigung finden (vgl. Experte A,D,J,M,R,T).

„Das Problem ist Varianteneinsparungen zu quantifizieren. Das ist nie gelungen“ (Experte M).

„Die Wirtschaftlichkeit eines Baukastens ist abhängig von Komplexitätskosten, die aber nicht messbar sind“ (Experte T).

In der Praxis angewendete Kennzahlensysteme können nach HORVÁTH (2009, S.507) den zwei Erscheinungsformen Ordnungssystem oder Rechensystem zugeordnet werden. Ordnungssysteme lassen sich dadurch charakterisieren, dass Kennzahlen entsprechend bestimmter inkludierter Sachzusammenhänge in ein Abhängigkeitsschema eingeordnet werden. Hier steht also primär die Systematisierung betrachteter Kennzahlen im Fokus. Im Gegensatz dazu beruhen Rechensysteme auf der rechentechnischen Verarbeitung von Kennzahlen. Bei Rechensystemen geht es vorrangig um den Aufbau einer hierarchischen Ordnung der Kennzahlen (vgl. Horváth 2009, S.507).

Da der weiterführende Konzeptionierungsprozess des Entscheidungsmodells auf Basis eines KNN erfolgt, welches auf dem Prinzip der rechentechnischen Simulation beruht, ist das für das Entscheidungsmodell grundlegende Kennzahlensystem formal als ein Rechensystem zu verstehen, bei dem die Modellkennzahlen aufgrund der inkludierten Kausalitätsvermutung in eine hierarchische Kennzahlenordnung transferiert werden.

Abbildung 42 stellt das aus der Kausalitätsbeziehung der Kennzahlen abgeleitete Kennzahlensystem schematisch dar. Bei Anwendung eines gewissen Abstraktionsgrades kann das Layout des Kennzahlensystems als eine auf der Seite liegende Pyramide beschrieben werden. Das Layout spiegelt dabei die hierarchische Ordnung wider, die aus der Einteilung der Kennzahlen in Gestaltungs- und Erfolgsvariablen resultiert.

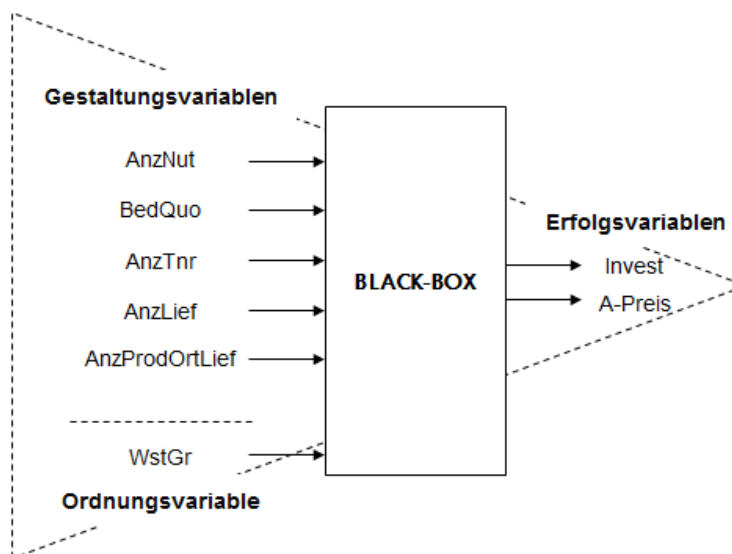


Abbildung 42: Ableitung des Kennzahlensystems  
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Lee & Ou-Yang (2006, S.2964)

Da der Erfolgsbeitrag der Beschaffung über generierte Kosteneinsparungen gemessen und eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung vorrangig mit dem Ziel der Kostenoptimierung durchgeführt wird, werden die Kennzahlen Gesamtinvestition (Invest) und Einzelkosten (A-Preis) als die beiden zu betrachtenden Erfolgsvariablen innerhalb des Entscheidungsmodells festgelegt. Damit spiegelt das Kennzahlensystem auch die Ergebnisse der durchgeführten Studie von MAUCHER ET AL. (2013, S.50) wider, wonach die Messung von Kosteneinsparungen (Savings) „in den meisten Unternehmen den bedeutendsten Bestandteil der Erfolgsmessung im Einkauf bildet.“

Im Umkehrschluss stellen alle anderen Kennzahlen Gestaltungsvariablen dar, da aufgrund der Kausalität davon ausgegangen werden kann, dass Veränderungen dieser Kennzahlen einen direkten Einfluss auf das Kostenniveau des Unternehmens besitzen. Diese Einflüsse sollten sich somit in einer monetären Änderung der betrachteten Erfolgsvariablen widerspiegeln.

Die definierten Gestaltungs- und Erfolgsvariablen unterliegen dabei einem Mechanismus, der die Berechenbarkeit relevanter Variablen in Form einer INPUT-OUTPUT-Transformation ermöglicht. Die unterstellte Kausalität entzieht sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt im Forschungsprozess noch dem detaillierten Kenntnisstand und stellt innerhalb des Kennzahlensystems eine Black-Box dar (vgl. Luhmann 1975, S.49). Im weiteren Verlauf soll dieser Mechanismus durch Anwendung eines KNN detailliert werden, um die Forschungsfrage nach den Wirkungszusammenhängen der identifizierten Einflussfaktoren beantworten zu können.

Zusätzlich erfolgt die Erweiterung des Kennzahlensystems durch eine Ordnungsvariable, um eine Zuordnung von Datensatz und Bauteilumfang zu gewährleisten. Hierfür scheint mit Hinblick auf das Kriterium der Allgemeingültigkeit die Betrachtung der Werkstoffgruppe (WstGr) sinnvoller geeignet als die Berücksichtigung der spezifischen Teilenummer, da nach subjektiver Einschätzung der hohe teilespezifische Detaillierungsgrad die allgemeingültige Aussagefähigkeit der Ergebnisse negativ beeinflussen kann. Da innerhalb einer Werkstoffgruppe bezogen auf die Materialbeschaffenheit und Fertigungstechnik ähnliche Bauteilumfänge gruppiert werden, ist gleichzeitig eine Vergleichbarkeit einzelner Umfänge möglich. Zusätzlich werden die Ergebnisse durch die Gruppierung aus einer im Vergleich zur separaten Betrachtung der TNR breiter aufgestellten Datenbasis abgeleitet, wodurch die Aussagekraft der Modellergebnisse positiv verstärkt wird.

Abschließend kann positiv festgestellt werden, dass der klare Aufbau des Kennzahlensystems und die damit verbundene verständliche Darlegung der Kausalitätszusammenhänge zwischen den einzelnen Kennzahlen die Austauschbarkeit einzelner Kennzahlen erleichtert. Damit entspricht das Kennzahlensystem in seiner gewählten Form einerseits der Forderung nach Flexibilität und unterstützt andererseits die Erfüllung der an das Entscheidungsmodell gestellten anwendungsorientierten Anforderungen in hohem Maß.

#### 5.4 Entwicklung des Entscheidungsmodells auf Basis eines Künstlichen Neuronalen Netzes (KNN)

*„Es darf nicht darum gehen, die Probleme den Methoden anzupassen, sondern es müssen problemadäquate Methoden verwendet und ggf. entwickelt werden“ (Klüver et al. 2012, S.2).*

Nach HORVÁTH (2009, S.80) dient ein Erklärungsmodell der Erklärung von Entscheidungskonsequenzen. Erweitert man das Erklärungsmodell um die mathematische Formulierung eines Ziels, erhält man ein Entscheidungsmodell, welches eine optimale Entscheidung ermöglichen soll. Dabei muss das entwickelte Modell immer einer empirischen Überprüfung unterzogen werden, um die logische Konsistenz des Modells hinsichtlich der tatsächlichen Widerspiegelung der Realität zu prüfen (vgl. Horváth 2009, S.80).

Formal gesehen lässt sich das zu entwickelnde Entscheidungsmodell auf Basis eines KNN dem Bereich des Soft Computing zuordnen (vgl. Klüver et al. 2012, S.5). Soft Computing-Modelle lassen sich dadurch charakterisieren, dass sie nicht einen universell einsetzbaren fertigen Algorithmus darstellen, sondern einen Algorithmus in Form eines universell einsetzbaren Schemata beschreiben, der auf spezifische Fragestellungen und Randbedingungen durch die Adaption der Parameter angepasst werden kann (vgl. Klüver et al. 2012, S.5; Rojas 2013, S.8).

Die dieser Art von Modellen innewohnende Flexibilität ermöglicht somit die geforderte Anpassungsfähigkeit an dynamikgetriebene Veränderungen.

Nach CRONE (2010, S.161) lassen sich KNN als Klasse mathematisch-statistischer Verfahren verstehen, „deren Funktionsweise dem Vorbild der neurobiologischen Informationsverarbeitung in Nervenzellen und Nervenverbänden des Menschen nachempfunden wurde und die aufgrund ihrer Fähigkeiten zur nichtlinearen, datengetriebenen und semi-parametrischen Informationsverarbeitung“ zur betriebswirtschaftlichen Entscheidungsfindung unterstützend eingesetzt werden können.

Dabei geht es vorrangig um Modellierungen, „die sich möglichst unmittelbar an Prozessen der Natur, des sozialen und ökonomischen Handelns und des menschlichen Alltagsdenkens orientieren“ (Klüver et al. 2012, S.5).

Ein Ziel dieser „naturalen Verfahren“ (Klüver et al. 2012, S.5) liegt darin, Modelle nach dem Vorbild der kognitiven Fähigkeiten von lebenden Organismen zu erstellen, mit denen reale Prozesse, die aufgrund der inkludierten Komplexität nur schwer zu verstehen sind, exakt abgebildet werden können (vgl. Klüver et al. 2012, S.7; Rojas 2013, S.3). Der hieraus resultierende Verständnisszuwachs ermöglicht die Ableitung von Lösungsansätzen für existierende Problemstellungen.

KNN verfolgen die Logik durch die Übertragung biologischer Verarbeitungsprinzipien auf den Computer die Funktionsweise natürlicher neuronaler Netze zu simulieren und durch

die Entwicklung von Lernalgorithmen komplexe Problemstellungen zu lösen (vgl. Lukassek 2004, S.15f.). KNN sind dadurch in der Lage, anhand von präsentierten Beispielen oder gesammelten Erfahrungen der Systemumwelt problemlösungsorientierte Zusammenhänge zu extrahieren (vgl. Heuer 1997, S.7), auch wenn nicht in ausreichendem Maß Informationen vorhanden sind oder aber die Relationen zwischen den zu betrachtenden Input- und Output-Variablen aufgrund fehlender Kenntnis über die inkludierten funktionalen Strukturzusammenhänge nicht vorgegeben werden können (vgl. Duran et al. 2012, S.7788; Oberhofer & Zimmerer 1996, S.3). Ein KNN ist dabei in der Lage „jede beliebige Funktion zu einem [gewünschten] Grad der Genauigkeit zu approximieren“ (Crone 2010, S.4).

Die flexible Einsatzfähigkeit von KNN bei komplexen Problemen, die sich unserer vollumfänglichen Kenntnis entziehen, einen Lösungsansatz zu generieren, führt dazu, dass die Anwendung nicht auf einzelne Bereiche beschränkt ist. Hieraus resultierend nehmen KNN ein interdisziplinäres Forschungsgebiet ein (vgl. Crone 2010, S.159ff.; Lukassek 2004, S.1ff.). In vielen wissenschaftlichen Arbeiten konnte gezeigt werden, dass der Einsatz von KNN verglichen mit Standardregressionsansätzen bessere Ergebnisse bei der Erforschung verborgener Kausalitätszusammenhänge zwischen betrachteten Variablen liefert (vgl. Duran et al. 2012, S.7789; Fixson 2002, S.133).

OSSEN (1990, S.15) führt zusätzlich an, dass die Leistungsfähigkeit des KNN auch bei einem partiellen Netzausfall kaum gemindert wird. Lernfähigkeit, Parallelität und Fehler-toleranz sind somit die drei charakteristischen Eigenschaften eines KNN (vgl. Ossen 1990, S.14f).

Somit erscheint die Nutzung eines KNN als Basis für die Modellkonzeption ein vielversprechender Ansatz für die zielorientierte Auseinandersetzung mit der aufgezeigten Problemstellung.

#### **5.4.1 Grundlagen zu KNN**

In einem stark vereinfachten Ansatz kann unter einem KNN „eine vernetzte Struktur zur Informationsverarbeitung“ (vgl. Heuer 1997, S.13) verstanden werden. Dabei wird durch einen iterativen Lernprozess aus bekannten Beobachtungen ein Verständnis über strukturelle Zusammenhänge innerhalb des betrachteten Kennzahlensystems abgeleitet (vgl. Schneider 1993, S.6). KNN können daher den strukturentdeckenden Verfahren zugeordnet werden (vgl. Gießmann 2010, S.120).

Die einem KNN innewohnende Logik versucht durch die Anwendung bestimmter Algorithmen, die sich an den Funktionen des Gehirns orientieren, komplexe Prozesse zu operationalisieren (vgl. Klüver et al. 2012, S.115 und S.117). Da diese Operationalisierungsprozesse simultan durchlaufen werden, kann ein KNN als ein parallel arbeitendes System verstanden werden (vgl. Bodendorf 2006, S.177).

Das zugrunde liegende Prinzip eines KNN umfasst das Erlernen von Wirkungszusammenhängen betrachteter Größen durch die Analyse und Generalisierung vorhandenen Wissens sowie die anschließende Anwendung der Erkenntnisse bei der Untersuchung neuer bisher nicht bekannter Fälle (vgl. Kohlhasse 1997, S.102).

Die fehlende Kenntnis über den der Problemstellung zugrunde liegenden mathematischen Algorithmus führt dazu, dass KNN nicht wie andere regelorientierte Problemlösungsverfahren einer Programmierung unterliegen, sondern mithilfe eines zu definierenden Lernalgorithmus trainiert werden müssen (vgl. Bodendorf 2006, S.177). KNN stellen eine BLACK-BOX dar, „die für eine bestimmte Eingabe eine bestimmte Ausgabe erzeugen soll“ (ALEX 2013, S.103).

KNN verfolgen dabei das Prinzip der nicht-parametrischen Approximation (vgl. Bode 2000, S.1233; Fixson 2002, S.133). Ziel des Trainings liegt in der Findung einer Abbildungsfunktion (vgl. Bodendorf 2006, S.177), die auf Basis bestehender Beobachtungen bzw. vorliegender Datensätze den Transformationsprozess der Input- in Output-Signale innerhalb der BLACK-BOX beschreibt und somit eine Input-Output-Verknüpfung der Modellvariablen ermöglicht (vgl. Oberhofer & Zimmerer 1996, S.5; Rojas 2013, S.29).

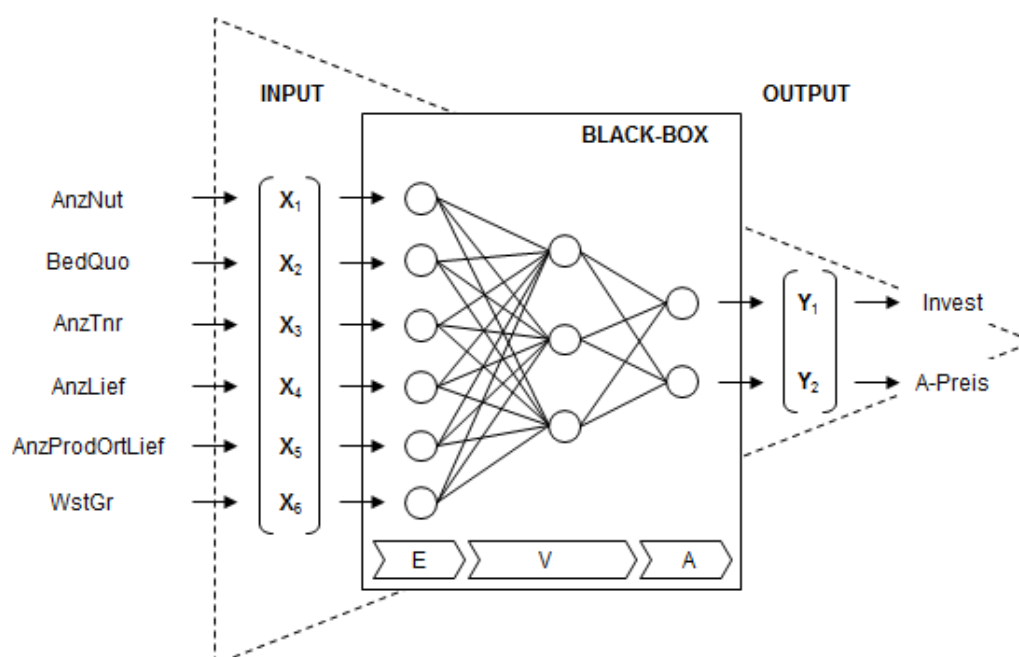


Abbildung 43: Transformationsprozess eines KNN nach dem EVA-Prinzip

Das KNN orientiert sich prozessual an dem in der Informatik angewendeten EVA-Prinzip (Eingabe-->Verarbeitung-->Ausgabe) (vgl. Heuer 1997, S.14; Rey & Wender 2008, S.16): Die Eingabe erfolgt über die Präsentation von Informationen in Form eines Eingabevektors, die durch die Neuronen der Eingabeschicht aufgenommen und in Form von Signalen an das Innere des KNN weitergeleitet werden. In den nachgelagerten Neuronen der ver-

decken Schichten, sofern vorhanden (vgl. Kap. 5.4.1.1), erfolgt dann die Signalverarbeitung. Das Ergebnis des Verarbeitungsprozesses kann über die Neuronen der Ausgabeschicht als Form eines Ausgabevektors abgelesen werden.

Aus den bisherigen Ausführungen kann geschlussfolgert werden, dass die für ein KNN maßgebenden Elemente die Netzstruktur und der angewendete Lernalgorithmus sind (vgl. Rojas 2013, S.24). Beide Ausprägungen beeinflussen die mathematische Formulierung der Signalverarbeitung innerhalb des Neurons sowie die Festlegung des Informationsverarbeitungsprozesses innerhalb des Netzes. Gleichzeitig determiniert die durch den Lernalgorithmus bestimmte Netzparametrisierung die Freiheitsgrade des Netzes und damit dessen Flexibilität (vgl. Crone 2010, S.159).

Resultierend hieraus, fokussiert sich dieses Unterkapitel auf die Vermittlung relevanter Grundlagen im Umgang mit KNN (vgl. Abbildung 44).

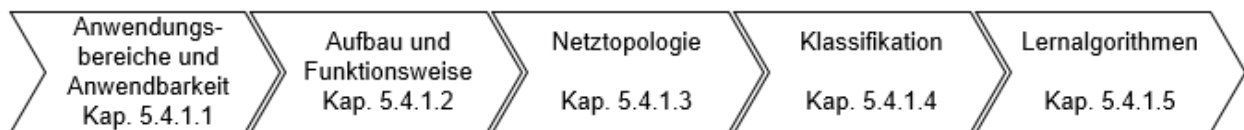


Abbildung 44: Inhaltliche Schwerpunkte bei der Grundlagenvermittlung

#### 5.4.1.1 Anwendungsbereiche und Anwendbarkeit

Aufgrund der hohen Flexibilität existiert heutzutage eine Vielzahl unterschiedlichster Anwendungsgebiete von KNN. Dabei lassen sich zwei große Themenbereiche voneinander abgrenzen (vgl. Rey & Wender 2008, S.17). Zum einen werden KNN für die Simulation menschlichen Verhaltens zur Verbesserung des Grundverständnisses zugrundeliegender Prozesse des menschlichen Gehirns genutzt. Zum anderen werden KNN eingesetzt, um bspw. wirtschafts- und ingenieurwissenschaftliche Fragestellungen zu lösen. Ihr Anwendungsbereich umfasst häufig die Entscheidungsunterstützung bei Problemstellungen der Prognose und Diagnose, der Kategorisierung sowie der Optimierung (vgl. Crone 2010, S.211ff.).

LEE UND OU-YANG (2009) setzen bspw. in Ihrer Arbeit ein KNN bei der Prognose des Angebotspreises des Lieferanten für eine effizientere Gestaltung des Vergabeprozesses ein. Darüber hinaus lassen sich weitere Anwendungsbeispiele für den Einsatz von KNN bei der Kostenprognose finden (vgl. Bahrammirzaee 2010; Bode 2000; Shtub & Versano1999; Wang et al. 2000).

KNN können gemäß KOHLHASE (1997, S.100) den algorithmischen Kostenprognoseverfahren zugeordnet werden. Das Funktionsprinzip algorithmischer Verfahren beruht in der Aufstellung einer Kostenfunktion, mit der unterschiedliche Einflussgrößen miteinander verknüpft werden (vgl. Kohlhase 1997, S.101):

$$(5.1) \text{ Kosten} = f(E_1, E_2, E_3, \dots, E_n) \quad \text{mit Kosteneinflussgrößen } E_i$$

Die Durchführung von Kostenprognosen erfolgt auf Basis von Erfahrungswerten, bei denen ähnliche, bereits realisierte Fälle miteinander verglichen werden und mittels Generalisierung auf neue Fälle anwendbar sind (vgl. Kohlhasse 1997, S.99 u. S.102).

Die Kalkulationsgenauigkeit und damit die Prognosegüte hängt hierbei sowohl von der Kostenfunktion als auch von der Anzahl und Qualität der Einflussgrößen ab (vgl. Kohlhasse 1997, S.101). Da der Aufbau und damit auch der Optimierungsaufwand der Kostenfunktion von der Komplexität des zu untersuchenden Gegenstands abhängt, sind häufig lange Rechenzeiten für ein zufriedenstellendes Ergebnis notwendig (vgl. Kohlhasse 1997, S.101).

KNN zeichnen sich dadurch aus, dass der Aufwand trotz einer großen Anzahl von Einflussgrößen bei gleichzeitiger Fehlertoleranz gegenüber unwichtigen Einflussgrößen, im Gegensatz z.B. zur Durchführung einer Regressionsanalyse, durch den hohen Automatisierungsgrad bei der Ermittlung der Kostenfunktion überschaubar bleibt (vgl. Kohlhasse 1997, S.101). SHTUB UND VERSANO (1999) konnten in ihrer Arbeit zur Prognose von Kosten beim Biegeprozess von Rohren zeigen, dass KNN hinsichtlich der zu erzielenden Ergebnisgüte Ansätze der traditionellen Regressionsanalyse übertreffen (vgl. auch Fixson 2002, S.133; Wang et al. 2000, S.3818).

Der Anwendbarkeit von KNN sind durch das hohe Maß an Flexibilität kaum Restriktionen gesetzt. Die hohe Flexibilität ist damit begründbar, dass KNN unabhängig von der jeweiligen Problemstellung und der zu approximierenden Funktion einsetzbar sind (vgl. Wang et al. 2000, S.3812). Der Einsatz von KNN eignet sich vor allem dann, wenn die nichtlinearen Wirkungszusammenhänge zwischen Einflussgrößen schwer erkennbar sind und Problemlösungsansätze überhaupt nicht oder nur mit hohem Aufwand in einen mathematischen Algorithmus überführt werden können (vgl. Bodendorf 2006, S.177; Lee & Ou-Wang 2009, S.2969; Schneider 1993, S.32). Als wichtigste Vorteile von KNN können daher die Adaptionfähigkeit bei sich ändernden Rahmenbedingungen und das Lösungspotential unscharfer Probleme, selbst bei fehlender Kenntnis über die der Problemstellung innewohnenden Algorithmen, genannt werden (vgl. Heuer 1997, S.68f.).

Die Anwendbarkeit von KNN setzt laut KOHLHASE (1997, S.102) zwei Bedingungen voraus: Erstens bedarf es für den Lernalgorithmus des KNN eine genügend große Anzahl bekannter Fälle aus der Vergangenheit, um hieraus Wissen über mögliche Wirkungszusammenhänge zu generieren (vgl. auch Bode 2000, S.1249; Fixson 2002, S.133). Zweitens müssen die zu untersuchenden Sachverhalte quantifizierbar sein, damit die Fälle in für den Lernalgorithmus verwendbare Datensätze transformiert werden können.

Darüber hinaus betont BODE (2000, S.1249), dass drittens auch wenn keine genau Kenntnis über die funktionalen Strukturzusammenhänge erforderlich ist, für die Anwend-

barkeit von KNN zumindest die Existenz einer Input-Output-Korrelation der berücksichtigten Modellvariablen sichergestellt werden muss. Großer Vorteil von KNN ist es, dass es keine Rolle spielt, ob diese Korrelation direkt oder indirekter Natur ist (vgl. Bode 2000, S.1249). Erst wenn diese drei Voraussetzungen erfüllt sind, kann eine hinreichende Ergebnislösungsgüte des KNN sichergestellt werden. Der Einsatz von KNN erscheint somit besonders dann vorteilhaft, wenn eine hinreichend große Datenbasis ähnlicher Fälle existiert, Kenntnis über die zur Beantwortung der Fragestellung notwendigen Variablen besteht, die zu berücksichtigende Variablenanzahl überschaubar ist und gleichzeitig Unwissenheit bzgl. der existierenden Wirkungszusammenhänge zwischen den betrachteten Gestaltungs- und Erfolgsvariablen vorliegt (vgl. Bode 2000, S.1249ff; Fixson 2002, S.133).

HEUER (1997, S.70) sieht in dem fehlenden eindeutig bestimmbar mathematischen Algorithmus einen großen Nachteil von KNN, da die eingeschränkte Nachvollziehbarkeit des Lösungsweges die Belastbarkeit hieraus ableitbarer Entscheidungen negativ beeinflussen kann. Bezogen auf die Validität der Ergebnisse besitzen gängige Regressionsanalysen gegenüber KNN daher Vorteile (vgl. Wang et al. 2000, S.3820).

Weiterhin ist die Adaptionsfähigkeit eines Netzes auch nur dann gewährleistet, wenn sich die Rahmenbedingungen, in denen das KNN arbeitet, nur graduell ändern und die Änderungen somit vom Netz schrittweise erlernt werden können (vgl. Heuer 1997, S.70). Gleichzeitig betonen WANG ET AL. (2000, S.3811) aufgrund der Vielzahl möglicher Alternativen des strukturellen Aufbaus von KNN und der damit verbundenen Komplexität bei der Anwendung die Schwierigkeit einer für die spezifische Problemstellung adäquaten Netzselektion.

Somit bleibt zu betonen, dass den genannten anwendungsorientierten Vorteilen von KNN auch Nachteile bzw. Restriktionen gegenüberstehen, die im Rahmen der problemfokussierten Entscheidungsfindung für bzw. gegen die Anwendbarkeit von KNN sprechen und daher innerhalb des Modellierungsprozesses Berücksichtigung finden müssen.

#### 5.4.1.2 Aufbau und Funktionsweise

Das Modell eines KNN orientiert sich in seinem Aufbau und der Funktionsweise an den Neuronenverbänden des menschlichen Zentralen Nervensystems (vgl. Crone 2010, S.164ff.). Daher sollen in einem ersten Schritt der Aufbau und die Funktionsweise eines biologischen Neurons vereinfacht dargelegt werden. Im Anschluss werden diese Erkenntnisse auf das künstliche Neuron, als den zentralen Baustein des KNN, transferiert und die Funktionen des Informationsprozesses erläutert.

Da in dieser Arbeit die Anwendung von KNN vorrangig in der Nutzung als Konzeptionierungsbasis für das Entscheidungsmodell liegt, wird auf eine detaillierte mathematische Ableitung bei der Diskussion der relevanten Funktionen für den Signalverarbeitungsprozess innerhalb eines künstlichen Neurons ebenso verzichtet wie auf die Detaillierung der

chemischen Prozesse eines biologischen Neurons. Vielmehr sei bei weiterführendem Interesse auf die zitierte einschlägige Literatur zum Thema KNN verwiesen.<sup>69</sup>

Aufbau und Funktionsweise eines **biologischen Neurons** lassen sich vereinfacht wie folgt beschreiben (vgl. Klüver et al. 2012, S.115): Die Signalintegration erfolgt innerhalb eines Neurons über die Dendriten, die über ihre Verbindungen zu anderen Neuronen Impulse empfangen. Diese Impulse werden entsprechend einer bestehenden Gewichtung aufsummiert und an das Soma weitergeleitet. Die auf das Neuron wirkende Impulsintensität ist somit von der Stärke (Gewichtung) der auf das Neuron einwirkenden Impulse abhängig (vgl. Heuer 1997, S.10). Sofern auf Basis der summierten Gewichte ein spezifischer Schwellenwert überschritten wird, erfolgt eine Aktivierung. Je nachdem, ob durch die Summation der Impulse ein bestimmter Schwellenwert erreicht wird, kann das Neuron somit einen entspannten oder einen angeregten Aktivierungszustand einnehmen (vgl. Heuer 1997, S.9).

Im Falle des angeregten Aktivierungszustands erfolgt durch die hieraus resultierende Impulsentstehung eine Weiterleitung der Information über das Axon. Durch die bestehende Vernetzung werden die Impulse über die Synapsen auf angrenzende Neuronen übertragen. Dabei kann es je nach Art des Impulses wiederum zu einer Erregung oder Hemmung eines angrenzenden Neurons kommen. Der Zustand der Erregung bzw. Hemmung führt dazu, dass sich Verbindungen zwischen Neuronen über die Zeit verstärken bzw. gelöst werden. Dieser Prozess beschreibt die Lernfähigkeit des Gehirns (vgl. Klüver et al. 2012, S.116).

Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass die Lernvorgänge innerhalb der biologischen Neuronen hochgradig komplexe und biochemische Prozesse darstellen (vgl. Lukassek 2004, S. 14).

Im Gegensatz dazu lässt sich der Lernvorgang innerhalb eines KNN als Optimierungsprozess auf Basis mathematischer Formulierungen der Signalverarbeitung verstehen (vgl. Crone 2010, S.167; Lukassek 2004, S.14). Dabei verfolgen KNN nicht den Ansatz der vollständigen Nachbildung biologischer Neuronaler Netze, sondern versuchen vielmehr, durch die Nachahmung einzelner biologischer Prinzipien auf dem Computer anwendbare Lernalgorithmen zu entwickeln (vgl. Lukassek 2004, S.15).

Ähnlich wie im menschlichen Gehirn ist auch innerhalb des KNN das Neuron zentraler Grundbaustein für den Verarbeitungsprozess von Informationen (vgl. Abbildung 45).

Das **künstliche Neuron** stellt in einem vereinfachten Betrachtungsansatz einen numerischen Verarbeitungsknoten des KNN dar, der über bestehende Verbindungen mit Informationen anderer Neuronen versorgt wird, diese Information interpretiert und über einen

---

<sup>69</sup> Bei weiterführendem Interesse über den Aufbau und die Funktionsweise biologischer neuronaler Netze sei auf ROJAS (2013, S.10ff.) verwiesen. Zusätzlich kann für die Darstellung der für die Reizweiterleitung zugrunde liegenden chemischen Prozesse auf LUKASSEK (2004, S.7ff.) verwiesen werden.

internen Transformationsprozess in ein Ausgabesignal umwandelt (vgl. Heuer 1997, S.8). Der innerhalb des Neurons ablaufende Prozess kann daher durch einen kombinatorischen und einen transformatorischen Prozessbaustein charakterisiert werden (vgl. Eichhorn 2014, S.5).

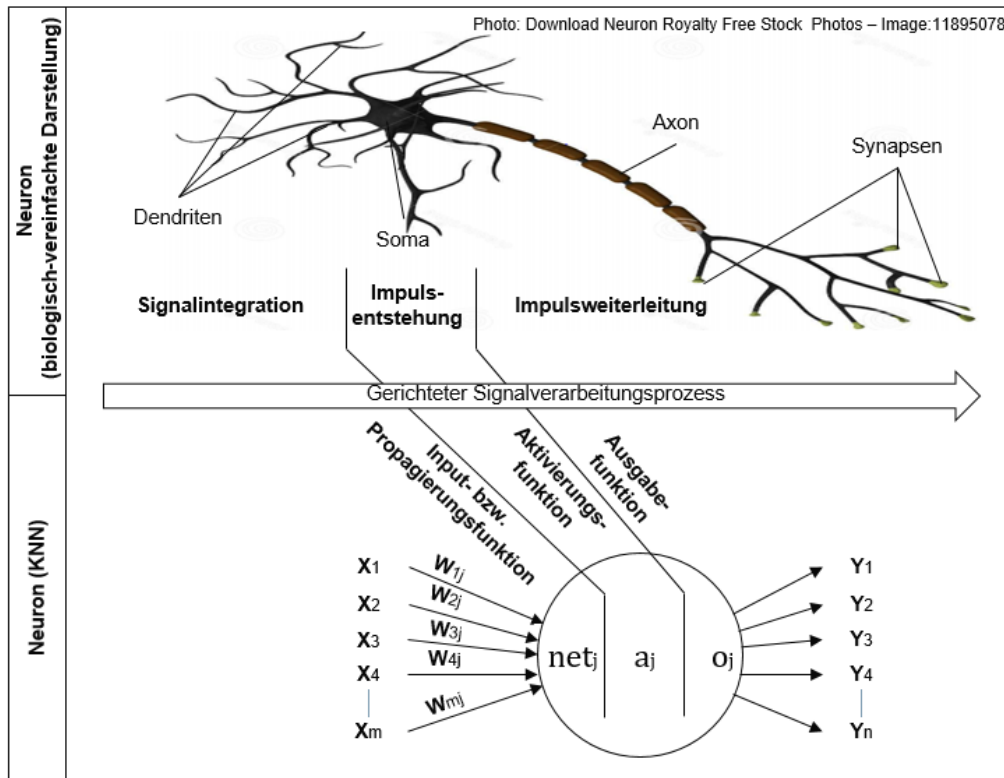


Abbildung 45: Modell des Signalverarbeitungsprozesses eines künstlichen Neurons in Anlehnung an das biologische Vorbild

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Oberhofer & Zimmerer (1996, S.6 u. S.7 )

Das künstliche Neuron wird in der Literatur häufig als Unit  $u$  bezeichnet (vgl. Oberhofer & Zimmerer 1996, S.7). Innerhalb dieser Unit erfolgt der gerichtete Signalverarbeitungsprozess über numerische Funktionen (vgl. Lukassek 2004, S.16). Daher kann das künstliche Neuron abstrakt als ein mathematisches Modell verstanden werden (vgl. Oberhofer & Zimmerer 1996, S.4) mit einer definierten Anzahl an  $m$  Eingabe- und  $n$  Ausgabeschnittstellen (vgl. Crone 2010, S.167). In Analogie zu den existierenden Prozessstufen der Signalintegration, Impulsentstehung und Impulsweiterleitung innerhalb eines biologischen Neurons wird der gerichtete Signalverarbeitungsprozess innerhalb des künstlichen Neurons  $u_j$  durch eine Input- bzw. Propagierungsfunktion  $net_j(\cdot)$ , eine Aktivierungsfunktion  $a_j(\cdot)$  und eine Ausgabefunktion  $o_j(\cdot)$  beschrieben (vgl. Oberhofer & Zimmerer 1996, S.7; Rey & Wender 2008, S.19ff; Zander 2001, S.56). Der Signalverarbeitungsprozess eines Neurons  $u_j$  kann somit als „sequenzielle Berechnung der Verarbeitungsfunktionen der Eingabe, Aktivierung und der Ausgabe“ (Crone 2010, S.175) definiert werden und lässt sich durch die folgende Funktion beschreiben (vgl. Zander 2001, S.56):

$$(5.2) \quad y_j(x) = o_j(a_j(\text{net}_j(x)))$$

Die **Inputfunktion**  $\text{net}_j(\cdot)$  beschreibt dabei den Zustand eines Neurons resultierend aus den gewichteten Eingangssignalen der Neuronen der Vorgängerschicht (vgl. Klüver et al. 2012, S.118). Wie bereits einleitend ausgeführt, wird die Signalübertragung innerhalb des KNN durch gewichtete Verbindung zwischen Neuronen modelliert. Das Verbindungsgewicht  $w_{ij}$  gibt dabei die Verbindungsstärke zwischen dem sendenden Neuron  $u_i$  und dem empfangenden Neuron  $u_j$  an (vgl. Crone 2010, s.168), wohingegen  $x_i$  das Eingangssignal des Neurons  $u_j$  resultierend aus den Ausgaben der vorgelagerten Neuronenschicht  $i$  beschreibt. Bei der am häufigsten verwendeten Inputfunktion werden die Eingangssignale entsprechend ihrer Verbindungsstärke gewichtet und aufsummiert (vgl. Crone 2010, S.169f; Rojas 2013, S.31; Zander 2001, S.56)<sup>70</sup>:

$$(5.3) \quad \text{net}_j = \sum_{i=1}^m w_{ij} x_i$$

Mit der Festlegung der **Aktivierungsfunktion**  $a_j(\cdot)$  wird definiert, ob und in welcher Form eine Modifizierung des aus der Inputfunktion resultierenden Signales erfolgt (vgl. Klüver et al. 2012, S.119). „Dabei wird der ursprüngliche Aktivierungszustand nicht nur mit einem Vorzeichen versehen, sondern auch noch mit der Gewichtung multipliziert“ (Heuer 1997, S.10f.). Die Aktivierungsfunktion determiniert somit den Transformationsprozess der Eingangssignale in den Aktivierungszustand des Neurons (vgl. Heuer 1997, S.12). Aufgrund des beschriebenen Transformationsprozesses wird in der Literatur neben der Aktivierungsfunktion auch der Begriff der Transferfunktion synonym verwendet (vgl. Klüver et al. 2012, S.119). Die große Anzahl anwendbarer Aktivierungsfunktionen kann nach HEUER (1997, S. 12f.) in lineare und nicht-lineare Funktionen klassifiziert werden, wobei die in der Literatur am häufigsten diskutierten Aktivierungsfunktionen in Abbildung 46 schematisch dargestellt sind.<sup>71</sup> Dabei nehmen vor allem die sigmoiden Aktivierungsfunktionen, als Klasse der nicht-linearen Funktionen, sowohl in der Theorie als auch in der Praxis eine dominante Rolle bei der Anwendung von KNN ein (vgl. Crone 2010, S.174).

Theoretisch kann jedes Neuron eine spezifische Aktivierungsfunktion mit einem durch die Aktivierungsfunktion definierten Schwellenwert besitzen (vgl. Bodendorf 2006, S.179), wobei jedoch „die Art des Aktivierungszustandes des Neurons die Art der Transferfunktion wesentlich beeinflusst“ (Heuer 1997, S.12). In der Praxis hat sich zugunsten einer erleichterten Anwendbarkeit von KNN der Ansatz durchgesetzt, zumindest allen Neuronen einer Schicht die gleiche Transferfunktion zuzuweisen (vgl. Rey & Wender 2008, S.21f.).

<sup>70</sup> Alternativ anwendbare Inputfunktionen stellt CRONE (2010, S.170) tabellarisch vor.

<sup>71</sup> Auf eine weiterführende mathematische Detaillierung soll an dieser Stelle verzichtet werden. Bei weitergehendem Interesse wird auf die einschlägige Literatur verwiesen (vgl. Crone 2010, S.171ff.; Rey & Wender 2008, S.21ff.)

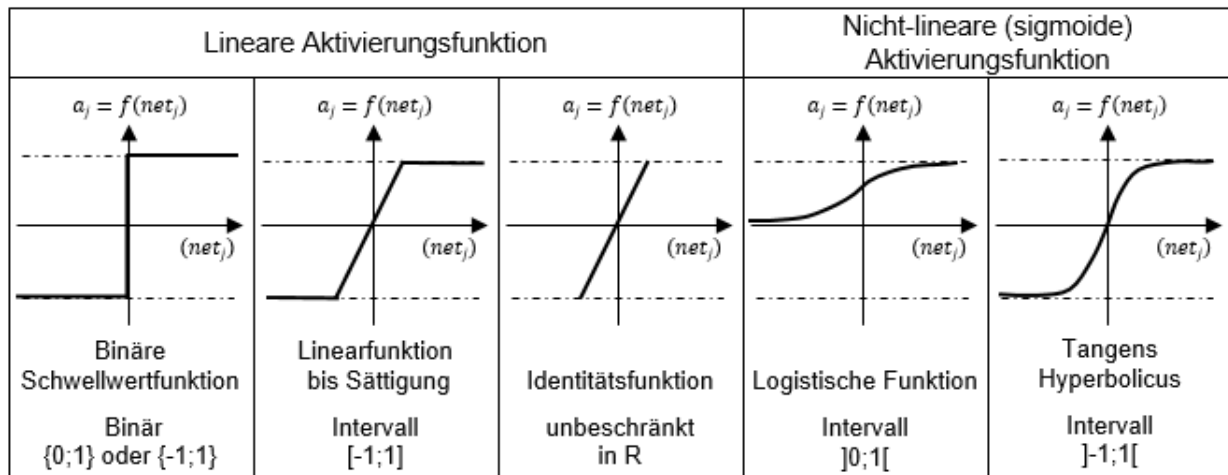


Abbildung 46: Schematische Darstellung gängiger Aktivierungsfunktionen  
Quelle: Modifizierte Darstellung entnommen Crone (2010, S.172)

Aufgabe der **Ausgabefunktion**  $o_j(\cdot)$  ist die Bestimmung des Neuronen Outputs auf Basis des existierenden Aktivitätsniveaus (vgl. Rey & Wender 2008, S.28). Die Ausgabefunktion legt fest, ob und wie die aus der Aktivierungsfunktion resultierende Signalstärke skaliert wird, bevor das Ausgabesignal  $y_j$  an die Neuronen der nachgelagerten Neuronenschicht weitergeleitet wird (vgl. Alex 2013, S.87).

Die Identitätsfunktion stellt dabei die einfachste und gleichzeitig am häufigsten verwendete Form der Ausgabefunktion dar, da hier der Output des Neurons dem Aktivierungsniveau entspricht (vgl. Crone 2010, S.175; Rey & Wender 2008, S.28):

$$(5.4) \quad o_j = a_j$$

#### 5.4.1.3 Netztopologie

Die Eigenschaft eines KNN wird definiert über die Festlegung der netzspezifischen Struktur, die Konnektivität der einzelnen Neuronen sowie deren gewählte Funktionalität (vgl. Ossen 1990, S.11). Sämtliche Entscheidungen, die sowohl die strukturelle als auch die funktionelle Gliederung eines KNN bestimmen, können unter dem Begriff der Netztopologie zusammengefasst werden. Hierzu zählen nach HEUER (1997, S.34) neben der Art verwendeter Neuronen und deren Verbindungen untereinander, auch die Anzahl der Netzschichten und die Festlegung der je Neuronenschicht anzuwendenden Input-, Aktivierungs- und Ausgabefunktionen. Die Festlegung einer adäquaten Netzstruktur nimmt innerhalb des Konzeptionierungsprozesses somit eine zentrale Rolle ein (vgl. Bodendorf 2006, S.178), da der strukturelle Aufbau des KNN dessen Approximationsfähigkeit der Abbildungsfunktion hochgradig beeinflusst.<sup>72</sup>

<sup>72</sup> Unter dem Begriff der Approximationsfähigkeit kann die Eignung eines Neuronalen Netzes verstanden werden, die inkludierte funktionale Beziehung zwischen Eingabe- und Ausgabesignalen auf Basis präsentierter Musterpaare hinreichend genau abzubilden (vgl. Zander 2001, S.61).

Die Netztopologie kann als eine Form des Pfaddiagramms verstanden werden, welches auf Basis kausalanalytischer Vorüberlegungen die Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen den einzelnen Variablen graphisch darstellt (vgl. Gießmann 2010, S.125). KLÜVER ET AL. (2012, S.123) sprechen in diesem Zusammenhang von der **extern orientierten Topologie**.

In Anlehnung an die Graphentheorie können im Rahmen der strukturellen Darstellung der Netztopologie die Neuronen als Knoten verstanden werden, die, sofern zwischen zwei Knoten eine bestimmte Relation besteht, über Kanten miteinander verbunden sind (vgl. Crone 2010, S.179; Klüver et al. 2012, S.132ff.; Rojas 2013, S.31). Häufig werden die Kanten innerhalb des Strukturmodells in Form von Pfeilen dargestellt, um die vermutete Wirkungsrichtung der Beziehung zwischen betrachteten Variablen aufzuzeigen (vgl. Nitzl 2010, S.4). Die beschriebene Wirkungsrichtung inkludiert, dass die Kanten eines KNN als gerichtete Informationskanäle verstanden werden können, über die ein Informationstransfer zwischen zwei Neuronen entsprechend der angezeigten Pfeilrichtung stattfindet (vgl. Rojas 2013, S.31).

Im Gegensatz dazu beschreibt **die interne Topologie** die Informationsverarbeitung. Hier interessiert also primär, ob und mit welcher Intensität die Signalweiterleitung zwischen einzelnen Neuronen erfolgt. Die interne Topologie wird dabei neben der Festlegung der funktionalen Ausgestaltung des Neurons vorrangig von der Gewichtsmatrix eines KNN bestimmt (vgl. Klüver et al. 2012, S.123). Die Gewichtsmatrix ist für den erfolgreichen Einsatz von KNN von großer Wichtigkeit, da sie den Lernerfolg des KNN repräsentiert (vgl. Oberhofer & Zimmerer 1996, S.8).<sup>73</sup>

Greift man die Ausführungen zur Graphentheorie auf, wird durch die einzelnen Gewichte, als Pfadkoeffizienten innerhalb des Pfaddiagramms, die Intensitätsstärke der Wirkungsbeziehung zwischen zwei Neuronen beschrieben, wobei positive Werte auf eine verstärkende, negative Werte auf eine reduzierende Wirkung und 0 auf keine Wirkungsbeziehung zwischen Quell- und Zielneuron schließen lassen (vgl. Nitzl 2010, S.4f.; Oberhofer & Zimmerer 1996, S.8; Rey & Wender 2008, S.18).

Abbildung 47 stellt die Netztopologie eines KNN beispielhaft dar. Hierbei wurde bezogen auf die interne Topologie auf die Darstellung der Ausgabefunktion eines Neurons in Analogie zur gängigen themenspezifischen Literatur verzichtet. Hintergrund ist die Tatsache, dass als Ausgabefunktion fast ausschließlich die Identitätsfunktion zur Anwendung kommt (vgl. Kap. 5.4.1.2). Da diese jedoch die Werte der Aktivierungsfunktion 1:1 widerspiegelt (vgl. Gleichung 5.4, S.205), wird die explizite Darstellung der Ausgabefunktion vernachlässigt.

---

<sup>73</sup> Da die Gestalt der Gewichtsmatrix vom strukturellen Aufbau des KNN abhängt und sich letztlich final erst nach Abschluss des Lernprozesses wertmäßig bestimmen lässt, wird auf eine detaillierte Diskussion der internen Topologie an dieser Stelle verzichtet und im weiteren Verlauf dieser Arbeit bei der Modellkonzeptionierung die extern orientierte Topologie des KNN vorrangig betrachtet.

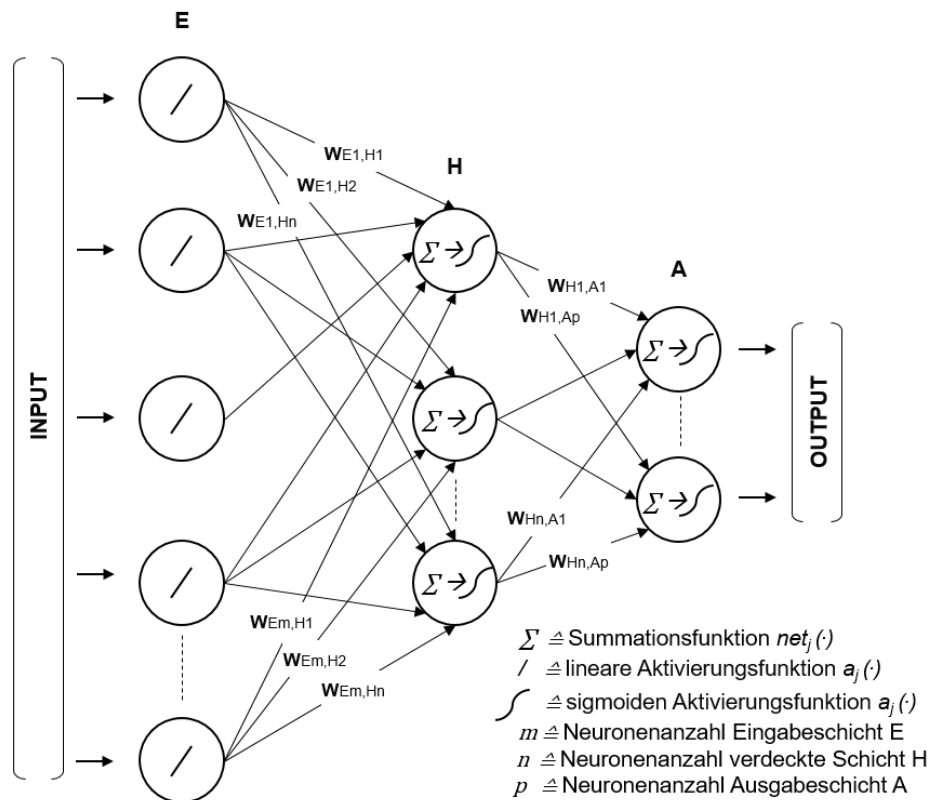


Abbildung 47: Exemplarische integrative Darstellung der externen und internen Netztopologie eines KNN

Zusammenfassend kann ein KNN somit als ein gerichteter und gewichteter Graph verstanden werden (vgl. Klüver et al. 2012, S.134). Da bei einem gewichteten Graph die Eigenschaft der Richtung inkludiert ist, werden KNN in der Literatur verkürzt als gewichtete Graphen bezeichnet (vgl. Klüver et al. 2012, S.134).

#### 5.4.1.4 Klassifikation

KNN können in Abhängigkeit von der Existenz und Anzahl bestehender Neuronenschichten, dem Vernetzungsgrad zwischen den Neuronen und dem netzinternen Signalverarbeitungsprozess in verschiedene Klassen unterteilt werden (vgl. Lukasek 2004, S.19). Die Klassifikationsmöglichkeit anhand von Schichten entspringt der Tatsache, dass Neuronen aufgrund Ihrer Funktion spezifischen Neuronenverbänden zuordenbar sind. Diese Verbände lassen sich in einem abstrakten Verständnisansatz als verschiedenartige Schichten verstehen, die entsprechend ihrer Funktion hierarchisch angeordnet werden können (vgl. Klüver et al. 2012, S.116). Diese Eigenschaft ermöglicht es innerhalb des KNN, Neuronen der Eingabeschicht (direkte Reaktion auf die Umwelt), der verdeckten Schicht (Erarbeitung der Problemlösung) und der Ausgabeschicht (Repräsentation der Problemlösung) zuzuordnen (vgl. Klüver et al. 2012, S.123).

Betrachtet man die strukturelle Topologie hinsichtlich des geschichteten Aufbaus, lassen sich KNN in zwei grundlegende Arten der Netzwerkarchitektur klassifizieren. **Hierarchisch aufgebaute KNN** lassen sich dadurch charakterisieren, dass die Neuronen einer

bestimmten Schicht (engl. Layer) zugeordnet werden, die Schichten (Eingabe-, Zwischen-, Ausgabeschicht) selbst hierarchisch angeordnet sind, Verbindungen nur zwischen Neuronen unterschiedlicher Hierarchiestufen existieren und Signale nur vorwärtsgerichtet durch die einzelnen Hierarchiestufen getragen werden (vgl. Bodendorf 2006, S.182; Oberhofer & Zimmerer 1996, S.10). Dabei weisen Neuronen einer Schicht in der Regel die gleiche „Konnektionsstruktur“ auf (Oberhofer & Zimmerer 1996, S.9; vgl. auch Crone 2010, S.179). Greift man die in Kapitel 5.4.1.2 gewählte Bezeichnung eines künstlichen Neurons als Unit auf, werden die Neuronen entsprechend ihrer Schichtenzugehörigkeit in Input-Unit, Hidden-Unit und Output-Unit unterschieden (vgl. Oberhofer & Zimmerer 1996, S.9; Rey & Wender 2008, S.17). Die Bezeichnung Hidden-Unit lässt sich durch den Sachverhalt begründen, dass sich die Neuronen der Zwischenschicht aufgrund des Blackbox-Charakters eines KNN der genauen Kenntnis des Anwenders entziehen und „im Verdeckten“ operieren.

Sofern zusätzlich auch Verbindungen zwischen Units derselben Schicht bestehen bzw. keine Gruppierung einzelner Units in Schichten erfolgt, wird von einem **nicht hierarchischen Netzwerk** gesprochen (vgl. Bodendorf 2006, S.182; Oberhofer & Zimmerer 1996, S.11).

Mit dieser Klassifikation eng verbunden ist eine weitere Unterscheidung möglicher Netzstrukturen hinsichtlich der Anzahl existierender Neuronenschichten in einschichtige und mehrschichtige KNN in der Literatur zu finden (vgl. Heuer 1997, S.14f.).<sup>74</sup>

Eine weitere Klassifizierungsmöglichkeit von KNN ist die Unterscheidung hinsichtlich der Netzdynamik. Hier steht somit nicht die eigentliche Struktur des Netzes sondern der Signalverarbeitungsprozess im Vordergrund. Da Netzwerkarchitektur und Netzdynamik eine enge Verknüpfung aufweisen, müssen beide Begrifflichkeiten immer simultan betrachtet werden.

Je nachdem wie innerhalb des KNN der Signalverarbeitungsprozess erfolgt, kann zwischen **Netzen ohne Rückkopplung** (Feedforward Netze) und **Netzen mit Rückkopplungsschleifen** (Feedback Netze und rekurrente Netze) unterschieden werden (vgl. Heuer 1997, S.15; Klüver et al. 2012, S.125f.).

Innerhalb eines **Feedforward Netzes** erfolgt ausgehend von einem externen Informationsinput eine gerichtete Signalverarbeitung von den Neuronen der Eingabeschicht über die verdeckte Schicht bis zu den Neuronen der Ausgabeschicht (vgl. Klüver et al. 2012, S.125; Ossen 1990, S.17). Charakteristisch ist somit, dass in Feedforward Netzen eine vorwärts gerichtete Propagierung des Signalfusses erfolgt: Neuronen empfangen nur Signale von Neuronen einer vorgelagerten Schicht und geben Signale ausschließlich an Neuronen einer nachgelagerten Schicht weiter (vgl. Bodendorf 2006, S.182; Heuer 1997,

---

<sup>74</sup> Aufgrund der begrifflichen Eindeutigkeit der erläuterten Klassifizierung wird auf eine weitere Detaillierung an dieser Stelle verzichtet.

S.15). Ergänzend führt CRONE (2010, S.181) aus, dass ein Netz dann ohne Rückkopplungsschleifen ist, wenn kein Pfad existiert, „der von einem Neuron  $u_i$  direkt oder indirekt über zwischengeschaltete Neuronen wieder zum Neuron  $u_i$  zurückführt.“

Im Gegensatz zum für ein Feedforward Netz charakteristischen einmalig durchlaufenen Aktivierungsfluss von der Eingabe- zur Ausgabeschicht, wird der Informationsfluss innerhalb von **Feedback Netzen** durch die Existenz von vertikalen Rückkopplungsschleifen zwischen Neuronen unterschiedlicher Schichten geprägt (Klüver et al. 2012, S.125). Es erfolgt also eine Umkehrung der Signalrichtung, so dass Informationen bspw. auch von der Ausgabeschicht an die Zwischenschicht zurückgegeben werden können. Dadurch ist es diesem Netztyp möglich, Signale über einen bestimmten Zeitraum festzuhalten und, in Anlehnung an die Erinnerungsfähigkeit eines biologischen Neuronalen Netzes, zu einem späteren Zeitpunkt wiederzuverwenden (Rojas 2013, S.44). Rückgekoppelte Netztypen zeichnen sich dadurch aus, dass bei ihnen im Gegensatz zum Feedforward Netz, bei dem die Anzahl der zu durchlaufenden Bearbeitungsschritte von der Anzahl existierender Netzschichten abhängt, die notwendige Anzahl an Bearbeitungsschritten nicht vorab bestimmbar ist, sondern vom Verhalten des Netzes auf die Präsentation bekannter Muster innerhalb der Lernphase abhängt (vgl. Heuer 1997, S.15). Folglich sieht ALEX (2013, S.84) bei rückgekoppelten Netzen gegenüber rückkopplungsfreien Netzen den Nachteil der geringeren Stabilität.

Feedforward und Feedback Netzen ist gemein, dass die Signalausbreitung stets zwischen Neuronen unterschiedlicher Schichten erfolgt. Im Gegensatz dazu existieren bei **rekurrenten Netzen** zusätzlich Verknüpfungen, durch die die Aktivierungsausbreitung auch zwischen Neuronen derselben Schicht erfolgen kann (vgl. Klüver et al. 2012, S.126).

In Abbildung 48 sind die beschriebenen Klassifikationsmöglichkeiten von KNN zusammenfassend dargestellt. Auf Basis dieser Klassifizierung stellen hierarchisch aufgebaute Feedforward Netze die in der Praxis am häufigsten anzutreffende Netzarchitektur KNN dar (vgl. Oberhofer & Zimmerer 1996, S.11).

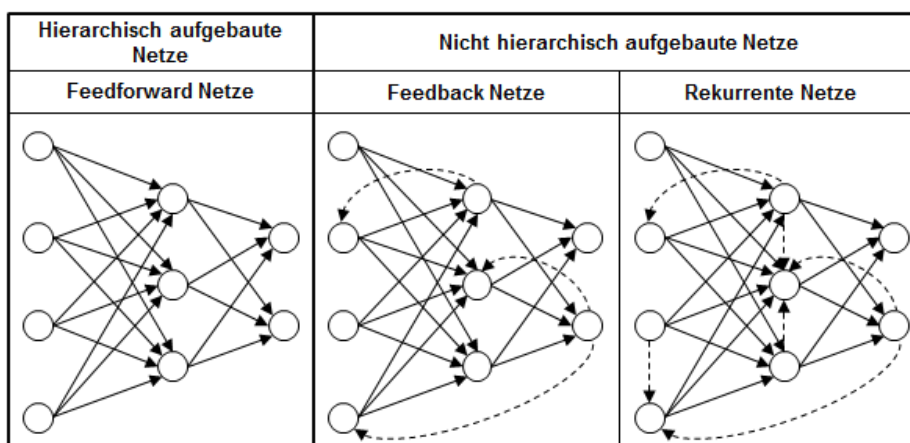


Abbildung 48: Klassifizierungsmöglichkeit zur Unterscheidung gängiger Netzarchitekturen

#### 5.4.1.5 Lernalgorithmen

Wie bereits ausgeführt wurde, handelt es sich bei einem KNN nicht um ein starres Konstrukt mit fixierten Netzparametern. Vielmehr durchläuft ein KNN innerhalb der Lernphase einen iterativen Anpassungsprozess der Netzparameter für die Steigerung seiner Approximationsfähigkeit zur Abbildung des funktionsbasierten Wirkungszusammenhangs.

HEUER (1997, S.16) beschreibt Neuronales Lernen als einen „Anpassungsprozess, bei dem ein Neuronales Netz auf seine Umwelt reagiert, um sein Verhalten hinsichtlich einer Zielfunktion zu optimieren. Zumeist ist das Neuronale Lernen darauf aus, einen bestimmten Fehler, eine Abweichung von der gewünschten Reaktion, zu beseitigen.“

Im Versuch einer ersten begriffsanalytischen Annäherung kann Lernen daher als ein Optimierungsproblem verstanden werden (vgl. Alex 2013, S.89; Lukassek 2004, S.55). Das Optimierungsproblem ist dahingehend zu verstehen, als dass das Netz am Ende des Lernprozesses eine hinreichend gute Approximationsfähigkeit der inkludierten funktionalen Zusammenhänge abbildet und gleichzeitig ein ausreichend großes Generalisierungspotential für die Anwendung unbekannter Eingabesignale besitzt (vgl. Lukassek 2004, S.55).

Der zugrunde liegende Prozess der beschriebenen Selbstorganisation wird durch den Lernalgorithmus eines KNN bestimmt (vgl. Rojas 2013, S.74). Über die Festlegung eines bestimmten Lernalgorithmus wird somit definiert, mit welcher Methodik die Anpassung der Netzparameter innerhalb des Lernprozesses erfolgt (vgl. Rojas 2013, S. 74).

Grundsätzlich existieren zur Realisierung des Lernerfolgs verschiedenste Modifizierungsmöglichkeiten des KNN (vgl. Alex 2013, S.92f.; Rey & Wender 2008, S.37f.). BODENDORF (2006, S.180) führt hierzu aus, dass die im Rahmen des Lernfortschrittes erforderliche Anpassung des KNN zur Entsprechung der Problemlösung entweder durch Änderung der Neuronenparameter (Aktivierungsfunktion, Schwellenwerte) oder der Netztopologie durch die dynamische Modifizierung der Verbindungsgewichte erfolgen kann. In einschlägigen Arbeiten wird die Modifizierung des KNN vorrangig über die Anpassung der Verbindungsgewichte in Abhängigkeit des gewählten Lernalgorithmus vollzogen, wohingegen die Neuronen-spezifischen Parameter während der gesamten Lernphase konstant gehalten werden (vgl. Alex 2013, S.93; Bodendorf 2006, S. 180). Die „synaptischen“ Verbindungsgewichte übernehmen damit innerhalb des KNN die Aufgabe des Lernens (vgl. Alex 2013, S.89). Im Rahmen des Lernprozesses erlangtes Wissen speichert das Netz folglich primär in Form von Gewichten und nicht durch die Modifizierung funktionaler Neuronen-Parameter (vgl. Lukassek 2004, S.63; Rey & Wender 2008, S.18).

Die Wahl des anzuwendenden Lernalgorithmus ist dabei stark mit der gewählten Netztopologie verknüpft, da die Topologie das anzuwendende Lerngesetz determiniert (vgl. Heuer 1997, S.35) und vice versa. Gleichzeitig müssen sich Netztopologie und Lernalgorithmus immer auch am aus der Problemstellung ableitbaren Lernziel orientieren (vgl. Crone 2010, S.188).

Die zwei grundlegenden Klassen von Lernalgorithmen eines KNN stellen das überwachte und unüberwachte Lernen dar (vgl. Heuer 1997, S.17f.). Eine weiterführende Detaillierungsstufe liefert die Klassifizierung von ROJAS (2013, S.75), bei der überwachtes Lernen zusätzlich in ein korrigierendes Lernen und ein Verstärkungslernen unterschieden wird.<sup>75</sup>

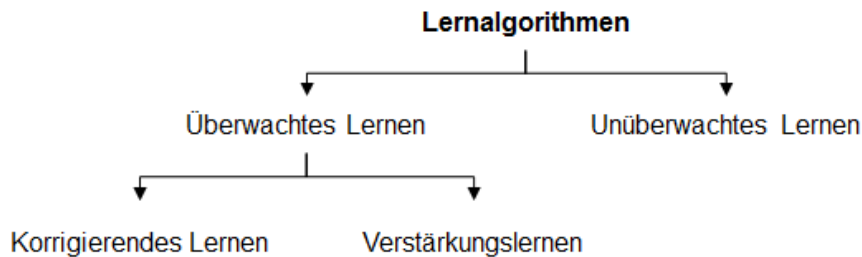


Abbildung 49: Klassifizierungsmöglichkeit von Lernalgorithmen  
Quelle: Modifizierte Darstellung entnommen Rojas (2013, S.75)

Von **überwachtem Lernen** wird immer dann gesprochen, wenn dem Netz im Rahmen der Lernphase bereits bekannte Musterpaare präsentiert werden und der Trainer auf Basis der beobachtbaren Reaktion des Netzes durch eine gezielte Modifizierungen zur Reduzierung der aktuellen Soll-Ist-Abweichung bei der erneuten Präsentation des gleichen bzw. ähnlicher Muster beiträgt (vgl. Heuer 1997, S.17). Dabei werden durch den Lernalgorithmus die Verbindungsgewichte schrittweise so modifiziert, dass die Abweichung zwischen Ist-Ergebnis des Modells und Soll-Ergebnis bei einem gegebenen Trainingspaar (Eingabewert und zugehörigem Soll-Wert der Ausgabeschicht) minimiert wird und die Qualitätsgüte der durch das KNN abgeleiteten Schlussfolgerungen hinreichend hoch ist (vgl. Bodendorf 2006, S.183 und 187).

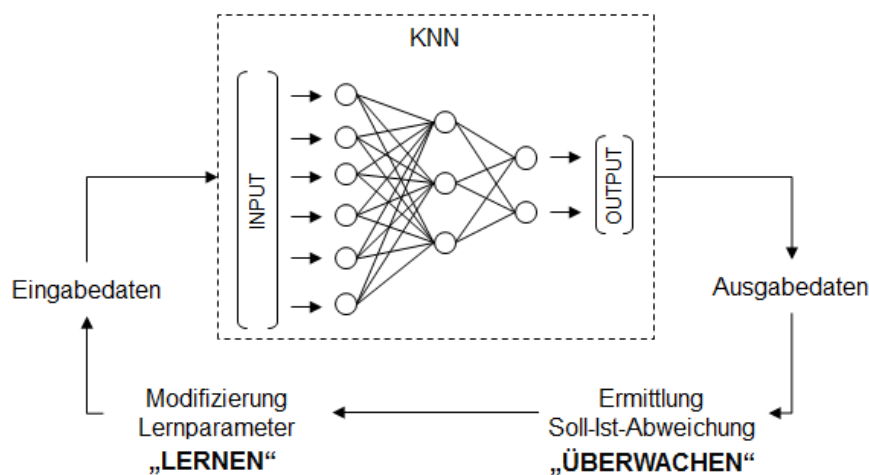


Abbildung 50: Prozessdarstellung des Überwachten Lernens  
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Bodendorf (2006, S.183)

<sup>75</sup> Auf eine weiterführende Detaillierung grundlegender Lernregeln des überwachten und unüberwachten Lernens wird bewusst verzichtet, da dies den Umfang dieser Arbeit bei weitem übersteigt. Vielmehr wird bei Interesse auf die Arbeiten von KLÜVER ET AL. (2012, S.127ff.) oder ALEX (2013, S.93ff. und 109ff.) verwiesen.

Beim **Verstärkungslernen** erfolgt die Anpassung der Gewichte allein auf der Feststellung, ob basierend auf einem präsentierten Eingabe-Ausgabe-Paar das Netz eine korrekte Ausgabe liefert oder nicht. Im Gegensatz dazu werden beim **korrigierenden Lernen** die Gewichte dahingehend modifiziert, dass der zusätzlich ermittelte Fehler der Soll-Ist-Abweichung der Ausgabe möglichst schnell minimiert wird (vgl. Rojas 2013, S.75).

Beim überwachten Lernen muss immer Kenntnis über die Zusammengehörigkeit von Eingabe- und Ausgabewert bestehen. Existiert dieses Wissen nicht, kann ein KNN nur über einen unüberwachten Lernprozess trainiert werden (vgl. Rojas 2013, S.74). **Unüberwachtes Lernen** kann dadurch charakterisiert werden, dass dem Netz während der Lernphase keine Information über dessen Arbeitsgüte mitgeteilt wird, sondern das Netz basierend auf den präsentierten Mustern „eine eigene Repräsentation seines Erfahrungsraumes“ abbildet (Heuer 1997, S.18).

#### 5.4.1.6 Zusammenfassende Darstellung selektierter Ausprägungsalternativen KNN

Die Ausführungen zu den theoretischen Grundlagen haben verdeutlicht, dass es bei der Anwendung KNN für den Anwender eine Vielzahl an Auswahlmöglichkeiten in Bezug auf die Netzarchitektur gibt. Die Selektion möglicher Ausprägungsalternativen sollte in Verbindung mit dem spezifischen Anwendungsfall getroffen werden. Die in Tabelle 17 dargestellte Übersicht fasst auf Basis eines morphologischen Kastens die selektierten Ausprägungsalternativen zusammen, die zur Bearbeitung der Problemstellung dieser Arbeit als vorteilhaft bewertet werden. Mit Abschluss dieses Kapitels ist damit die Grundmodifikation des KNN für den nachfolgend beschriebenen Modellierungsprozess definiert.

Kriterium	Ausprägungsalternative		
	Hierarchie	hierarchisch aufgebautes Netz	nicht hierarchisch aufgebautes Netz
Schichtanzahl	einschichtiges Netz	mehrschichtiges Netz	
Dynamik	Feedforward Netz	Feedback Netz	Rekurrentes Netz
Lernalgorithmus	überwachtes Lernen		unüberwachtes Lernen
	korrigierendes Lernen	verstärkendes Lernen	

Tabelle 17: Selektionsübersicht der Ausprägungsalternativen von KNN

#### 5.4.2 Modellerstellung auf Basis eines Multi-Layer-Perceptron

Die Verwendung des Multi-Layer-Perceptron (MLP) erscheint aus Sicht des Autors besonders zielführend, da durch ein KNN auf Basis eines MLP mit mindestens einer verdeckten Neuronenschicht und sigmoider Aktivierungsfunktion nachweislich jede logische Funktion abgebildet werden kann (vgl. Crone 2010, S.207 und 210f.; Heuer 1997, S.22; Zander 2001, S.61).

Entsprechend der bisher aufgezeigten Klassifizierungsmöglichkeiten von KNN lässt sich das MLP der Klasse der mehrschichtigen, vollständig verkoppelten Feedforward Netze zuordnen, charakterisiert durch die Existenz mindestens einer verdeckten Neuronenschicht und die Anwendung des Backpropagation-Algorithmus<sup>76</sup> zum Training des Netzes (vgl. Zander 2001, S.58f.).

Vor allem bei Problemstellungen der Prognose ist das MLP ein häufig eingesetzter Netzwerktyp, der auf Basis der Präsentation gegenwärtiger Systemzustände in der Eingabeschicht eine Prognostizierung zukünftiger Zustände in der Ausgabeschicht ermöglicht (vgl. Heuer 1997, S.157).

Die Entwicklung des KNN erfolgt durch Anwendung eines NeuroSimulators, der die IT-gestützte Nachbildung eines KNN ermöglicht (vgl. Heuer 1997, S.37f.). Im Rahmen der Recherche anwendbarer Simulatoren hat sich der Einsatz der Simulationssoftware MemBrain (Version V09.00.03.00, 23.03.2019) als besonders vorteilhaft herausgestellt. Die Software steht zum kostenlosen Download ([www.membrain-nn.de](http://www.membrain-nn.de)) zur Verfügung und bietet eine von den Entwicklern bereitgestellte ausführliche Hilfefunktion zum Programm sowie ein umfassendes Tutorial, wodurch ein erleichterter Einstieg bei der IT-gestützten Simulation von KNN unterstützt wird.

Um die Nachvollziehbarkeit des softwaregestützten Implementierungsprozesses mithilfe von MemBrain zu unterstützen, wird, sofern anwendbar, am Ende eines jeden Kapitels die dem jeweiligen Modellierungsschritt entsprechend relevante MemBrain-Benutzeroberfläche dargestellt.

#### 5.4.2.1 Festlegung der Netztopologie

Das Multi-Layer-Perceptron (MLP) kann entsprechend der aufgezeigten Klassifizierung in Kapitel 5.4.1.4 den Feedforward Netzen zugeordnet werden. Die Signalübertragung erfolgt gerichtet von der Eingabeschicht über die verdeckten Schichten hin zur Ausgabeschicht. Grundsätzlich besteht die Topologie eines MLP somit aus einer Eingabeschicht, einer Ausgabeschicht und mindestens einer dazwischenliegenden verdeckten Schicht. Auch wenn ein MLP bei einer ausreichenden Anzahl Hidden-Units theoretisch in der Lage ist, mit nur einer verdeckten Schicht jede Funktion hinreichend gut zu approximieren (vgl. Rey & Wender 2008, S.17f.), führt ZANDER (2001, S.62) aus, dass eine gewählte Netztopologie mit zwei verdeckten Schichten womöglich ein besseres Approximationsergebnis liefert.

Ein allgemeingültiger, problemunabhängiger Ansatz zur Bestimmung der optimalen Topologiestruktur ist jedoch nicht bekannt. Als eine Ursache hierfür ist anzuführen, dass der Output eines Systems durch die funktionalen Abhängigkeiten seiner Systemstruktur determiniert wird (vgl. Malik 1996, S. 61). Hieraus resultierend ist die optimale externe und interne Netztopologie immer der spezifischen Problemstellung anzupassen.

---

<sup>76</sup> Für Erläuterungen zum Algorithmus des Backpropagation siehe Kapitel 5.4.2.3.

Zur Gestaltung der optimalen Topologie muss bei der Festlegung der Anzahl verdeckter Schichten und Anzahl der Neuronen stets folgender Zielkonflikt aufgelöst werden: hohe Approximationsfähigkeit der Kausalzusammenhänge auf Basis der präsentierten Datenpaare (Reduzierung Netzfehler) vs. hohe Generalisierungsfähigkeit zur korrekten Abbildung bisher nicht bekannter Daten (gute Extrapolationsfähigkeit unbekannter Eingabevektoren) (vgl. Lukassek 2004, S.69).

Bei der Auflösung dieses Zielkonflikts ist es hilfreich, sich die folgenden zwei Sachverhalte ins Bewusstsein zu rufen:

- 1) Laut LUKASSEK (2004, S.66) wird die Komplexität des Systemverhaltens eines Modells, in unserem Fall das MLP, einerseits von der Anzahl zu berücksichtigender Größen (Units) und andererseits vom Grad der Nichtlinearität der funktionalen Verknüpfung der Größen untereinander bestimmt.
- 2) Gleichzeitig ist die erforderliche Approximations- und Generalisierungsfähigkeit eines MLP abhängig vom Verhältnis zwischen der Komplexität des Netzes und den zur Verfügung stehenden Trainingsdaten (vgl. Zander 2001, S.64).

Da die Anzahl der Neuronen somit direkten Einfluss auf die Anzahl notwendiger Trainingsdatensätze hat (vgl. Kohlhase 1997, S.103) und die Komplexität des Netzes maßgeblich von der Anzahl an Neuronen, von der Anzahl der verdeckten Schichten und von der Anzahl hieraus resultierender Verbindungen abhängt (vgl. Oberhofer & Zimmerer 1996, S.9), sollte die anfänglich festzulegende Netztopologie zur Vermeidung eines zeitintensiven nachgelagerten Lernprozesses möglichst schlank gehalten werden. Hierzu führt KOHLHASE (1997, S.106) aus: „Ein optimales Netz enthält so wenig Schichten und Neuronen wie möglich und approximiert die gewünschte Funktion so gut wie vorab gefordert.“ Als Faustregel empfiehlt ALEX (2013, S.125) deutlich weniger Neuronen in der verdeckten Schicht zu verwenden als in der Eingabeschicht.

An der wenig präzisen Empfehlung wird gut ersichtlich, wie schwierig es ist, eine allgemeingültige Aussage für die optimale Netztopologie bei einer spezifischen Problemstellung zu treffen.

Werden zu viele Neuronen und Schichten gewählt, besteht die Gefahr, dass das KNN im Verlauf des Lernprozesses keine Abstrahierung der Funktion vornimmt, da durch die Vielzahl von Knoten sämtliche Datensätze abgebildet werden können. LUKASSEK (2004, S.69) führt diesen Effekt auf die steigende Zahl der Freiheitsgrade des Netzes zurück und spricht von einer zunehmenden Netz-Plastizität, wodurch die Anpassungsfähigkeit des Netzes an die Trainingsmenge und damit die Approximationsfähigkeit erhöht werden. Gleichzeitig kann hieraus ein Rückgang der Generalisierungsfähigkeit des Netzes resultieren (vgl. Bode 2000, S.1247; Lukassek 2004, S.69). Es kommt zu einem **Overfit** des Netzes (vgl. Zander 2001, S.63).

Wird dagegen eine Topologie mit einer zu geringen Anzahl verdeckter Neuronen gewählt, kann das Netz aufgrund einer fehlenden Flexibilität und Komplexität den funktionalen Zusammenhang nur unzureichend abbilden. Im Fall der fehlenden Approximationsfähigkeit wird vom **Underfit** des Netzes gesprochen (vgl. Zander 2001, S.62f.). Die Abgrenzung beider Begrifflichkeiten ist in Abbildung 51 dargestellt.

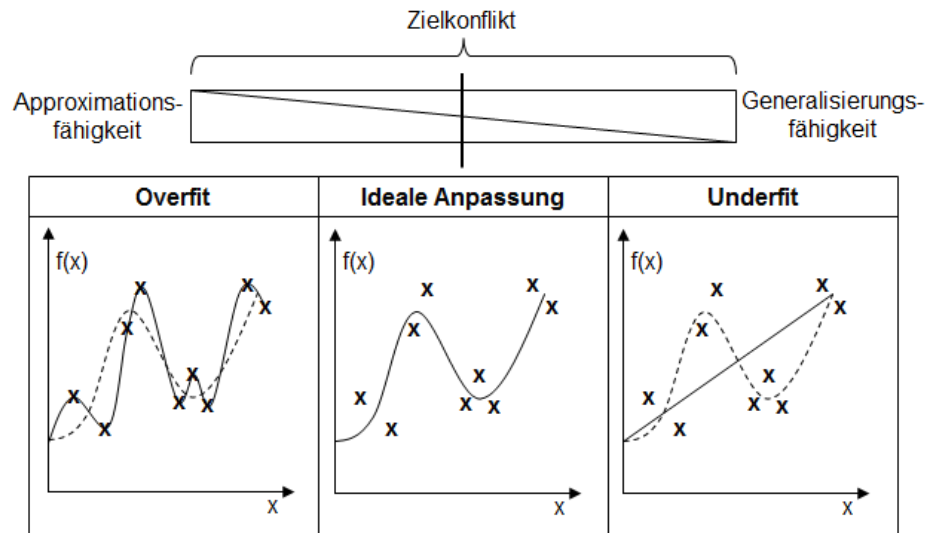


Abbildung 51: Funktionale Anpassungsfähigkeit eines KNN

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Crone (2010, S.204) und Zander (2001, S.63)

Die Wahl der optimalen Netztopologie beruht vorrangig auf Erfahrungen (vgl. Bodendorf 2006, S.178). Die fehlenden Anwendungsregeln veranlassen BODE (2000, S.1247) dazu, die Festlegung der optimalen Netzstruktur eher als einen experimentellen Prozess zu verstehen. SCHNEIDER (1993, S.8) vergleicht den Festlegungsprozess daher mit einer Trial-and-Error-Strategie.

Als Hilfestellungen existieren zwar einige „Daumenregeln“ (vgl. Zander 2001, S.95f.), die bspw. besagen, dass die Anzahl der Netzverbindungen 1/5 bzw. maximal 1/10 der Anzahl vorliegender Trainingsdatensätze entspricht und die Anzahl verdeckter Neuronen die halbe Summe aus der Anzahl von Eingabe- und Ausgabeneuronen nicht übersteigt.

Auch hierzu gibt es jedoch Stimmen, die die Verwendung der Daumenregeln aufgrund einer fehlenden wissenschaftlichen Grundlage kritisieren und argumentieren, dass die Wahl der Topologie vorrangig von der Anzahl der zur Verfügung stehenden Datensätze und der Komplexität der zu approximierenden Funktion abhängt (vgl. Zander 2001, S.96). Da auch diese Aussage wenig zielführend für die praxisorientierte Festlegung der optimalen Netztopologie ist, erscheint die Festlegung einer Topologie unter Zuhilfenahme der genannten Daumenregeln, nicht zuletzt durch die Anwendung in wissenschaftlichen Arbeiten, legitim.

Vor allem die Wahl der optimalen Anzahl an Neuronen in der verdeckten Schicht gestaltet sich aufgrund fehlender Bestimmungsansätze schwierig. Zwar schlägt ZANDER (2001, S.95ff.), wie bereits ausgeführt, einzelne Ansätze zur Bestimmung einer vorteilhaften

Netztopologie vor. Jedoch existiert nach HEUER (1997, S.132) kein Verfahren, welches „die Anzahl der Neuronen für ein bestimmtes Problem eindeutig bestimmt.“ (vgl. auch Zander 2001, S.96). Gleichzeitig ist die Festlegung der Neuronenanzahl sowohl in der Eingabeschicht (und damit die Berücksichtigung relevanter Einflussgrößen) als auch in der Zwischenschicht durch die inkludierte Komplexität essentiell, da hiervon die Dauer des Lernprozesses, die Approximationsfähigkeit des Netzes und damit letztlich die Ergebnisgüte des KNN in Bezug auf die Problemstellung abhängt (vgl. Bode 2000, S.1248; Klüver et al. 2012, S.125).

Sofern keine Kenntnis über die zur Lösung der Fragestellung geeignete Netztopologie vorliegt, empfehlen KLÜVER ET AL. (2012, S.125) daher mit einer geringen Anzahl Neuronen zu starten und im Verlauf der Modellerstellung sukzessive zu erweitern. Weiterhin empfiehlt KOHLHASE (1997, S.106) die Lernphase mit einer dreiecksförmigen Netztopologie zu beginnen.<sup>77</sup>

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass es keinen allgemeingültigen Strukturierungsansatz für die Festlegung einer geeigneten Netztopologie gibt und auch die genannten Empfehlungen als recht vage einzuordnen sind. Daher erscheint es an dieser Stelle sehr sinnvoll, die in einschlägigen Arbeiten verwendeten KNN hinsichtlich der gewählten Topologie zu analysieren, um hieraus neben dem strukturellen Aufbau des Netzes (externe Topologie) vor allem auch Rückschlüsse für die Wahl eines geeigneten funktionalen Aufbaus der Neuronen (interne Topologie) abzuleiten.

Die für Neuronen der verdeckten Schicht am häufigsten zur Anwendung kommende Aktivierungsfunktion, aufgrund der biologischen Plausibilität bzgl. der Begrenzung des Aktivierungslevels, stellt die Gruppe der nicht-linearen, sigmoiden Aktivierungsfunktionen dar, wohingegen Neuronen der Eingabe- und Ausgabeschicht zur Vermeidung der nachteiligen Begrenzung des Aktivierungslevels häufig mit der linearen Identitätsfunktion ausgestattet sind (vgl. Crone 2010, S.174; Rey & Bender 2008, S.22 und S.25f.). Die Anwendung einer sigmoiden Aktivierungsfunktion erscheint vor allem dann als sinnvoll, wenn das Netz in der Lage sein muss, sowohl auf kleine als auch auf große Signalamplituden zu reagieren und bei kleinen Amplituden ein hohes Maß an Sensibilität erforderlich ist (vgl. Crone 2010, S.173).

CRONE und PRESSMAR (2006) führen in ihrer Literaturrecherche aus, dass in allen berücksichtigten Publikationen zur Absatzprognose ein MLP mit mindestens einer verdeckten Neuronenschicht verwendet wird, bei denen zu 93% die Logistische Aktivierungsfunktion für die verdeckten Neuronen verwendet wird (vgl. Crone 2010, S.227). Weiterhin stellen die Autoren fest, dass als Aktivierungsfunktion für die Neuronen der Ausgabeschicht zu 50% die Logistische Funktion, zu 42% die lineare Identitätsfunktion und zu 8% die Tangens Hyperbolicus Funktion gewählt wurde (vgl. Crone 2010, S.227).

---

<sup>77</sup> Eine Detaillierung anwendbarer Strategien bei der Festlegung der optimalen Netztopologie kann LUKASSEK (2004, S.70f.) entnommen werden.

Aufgrund eines fehlenden allgemeingültigen Ansatzes für die optimale strukturelle Netztopologie wird die Leistungsfähigkeit verschiedenartiger Netzarchitekturen untersucht. Basierend auf den Erkenntnissen der theoriegeleiteten Vorüberlegungen erscheint es dabei sinnvoll, zwei verschiedene Netzvarianten sowohl bezogen auf die externe als auch die interne Netztopologie festzulegen und in ihrer Ergebnisgüte nach Abschluss des Netztrainings vergleichend gegenüberzustellen (vgl. 5.4.2.6). Bei der Modellierung der optimalen Netztopologie wird damit eine empirische Herangehensweise gewählt (vgl. Duran et al. 2012, S. 7791).

Die grundlegende Charakteristik der externen Netztopologie orientiert sich an der Grundstruktur eines vollständig vernetzten MLP mit einer Eingabe-, einer Ausgabe- und einer dazwischenliegenden verdeckten Neuronenschicht. Die Anzahl gewählter Eingabe- (6) und Ausgabe-Neuronen (2) entspricht dabei der Anzahl der als modellrelevant identifizierten Kennzahlen (vgl. Abbildung 42, S.198). Diese Grundstruktur ist strukturvariantenunabhängig und somit identisch für alle Netzvarianten.

Die Festlegung, den Trainingsprozess mit zwei unterschiedlichen Strukturvarianten durchzuführen, ist mit der Fragestellung hinsichtlich der Wirkungszusammenhänge der Modellvariablen zu begründen. Ein Blick auf Abbildung 52 verdeutlicht, dass sich die gewählten Strukturvarianten A und B vorrangig in ihrem Vernetzungsgrad bezogen auf die Erfolgsvariablen Invest und A-Preis unterscheiden. Der höhere Vernetzungsgrad von Strukturvariante A lässt vermuten, dass das Netz den ganzheitlichen Wirkungszusammenhang zwar besser abbilden kann, jedoch möglicherweise die Analysegüte für die separierte Betrachtung nur einer Erfolgsvariable negativ beeinflusst. Im Umkehrschluss sollte ein Netz der Strukturvariante B, welches idealisiert als die Zusammenführung zweier Teilnetze (Teilnetz 1 für Erfolgsvariable Invest und Teilnetz 2 für Erfolgsvariable A-Preis) verstanden werden kann, hier deutliche Vorteile besitzen jedoch zu Lasten der ganzheitlichen Wirkungszusammenhänge.

Weiterhin werden entsprechend der Empfehlung, nicht deutlich mehr Neuronen in der verdeckten Schicht anzuordnen als in der Eingabeschicht, bei Strukturvariante A Netzarchitekturen mit einer Anzahl von zwei bis sieben verdeckten Neuronen verwendet. Aufgrund der strukturellen Charakteristik von Strukturvariante B wird dieser Ansatz dahingehend abgewandelt, dass hier die stufenweise Erhöhung der Neuronenanzahl innerhalb der verdeckten Schicht für jedes Teilnetz vollzogen wird, so dass das Netztraining in Summe mit einer Anzahl von vier (2x2) bis vierzehn (7x7) verdeckten Neuronen durchgeführt wird. Der Ansatz der schrittweisen Erhöhung liegt deshalb nahe, da es keine eindeutige Vorgehensweise für die genaue Bestimmung der optimalen Neuronenanzahl in der verdeckten Schicht gibt. Somit kann letztlich auch erst im Rahmen des Netztrainings erkannt werden, welches die optimale Anzahl verdeckter Neuronen darstellt. Die gewählte externe Netztopologie ist damit vollständig beschrieben.

Bei der internen Topologie wird der bei der Anwendung von KNN am häufigsten verwendeten Modifikation gefolgt. Demnach erhalten die Neuronen der Eingabeschicht aufgrund

der beschriebenen Vorteilhaftigkeit als Aktivierungsfunktion die Identitätsfunktion, wohingegen den verdeckten Neuronen und den Ausgabeneuronen eine sigmoide Aktivierungsfunktion zugewiesen wird. Weiterhin werden die Eingangssignale der verdeckten und der Ausgabeneuronen durch die Summationsfunktion als Input-Funktion gebündelt. Als Ausgabefunktion wird für alle Neuronen die Identitätsfunktion gewählt, wobei aus den bereits erläuterten Gründen auf die grafische Darstellung der Ausgabefunktion verzichtet wird (vgl. Kap. 5.4.1.3). Nach REY UND WENDER (2008, S.26) kann „ein derartig zusammengestelltes Netz [...] jede denkbare Funktion beliebig gut approximieren“.

Die Logistische (Log) und die Tangens Hyperbolicus (Tanh) Funktion stellen die beiden am Häufigsten angewandten Varianten der sigmoiden Aktivierungsfunktion dar (vgl. Kap. 5.4.1.2). Welche Variante für den Anwendungsfall besser geeignet ist, kann jedoch zu diesem Zeitpunkt nicht hinreichend genug begründet werden. Daher erfolgt in Analogie zur externen Netztopologie erneut die bewusste Entscheidung zur Anwendung zweier unterschiedlicher Netzvarianten. Die gewählte Varianz ist damit zu begründen, dass sigmoide Aktivierungsfunktionen zwar die dominierende Rolle bei der Anwendung von KNN einnehmen, die Vorteilhaftigkeit der Anwendung der Logistischen Aktivierungsfunktion respektive der Tangens Hyperbolicus Funktion dabei jedoch vom Anwendungsbeispiel des KNN abhängig ist.

Die aus der gewählten Varianz resultierenden Netztopologien für das Netztraining sind in Abbildung 52 in Form einer 2x2-Matrix dargestellt. Die Selektion der für die bestehende Problemstellung optimalen Netztopologie kann erst nach Abschluss des Trainingsprozesses durch die ergebnisorientierte Gegenüberstellung der gewählten Netzvarianten erfolgen.

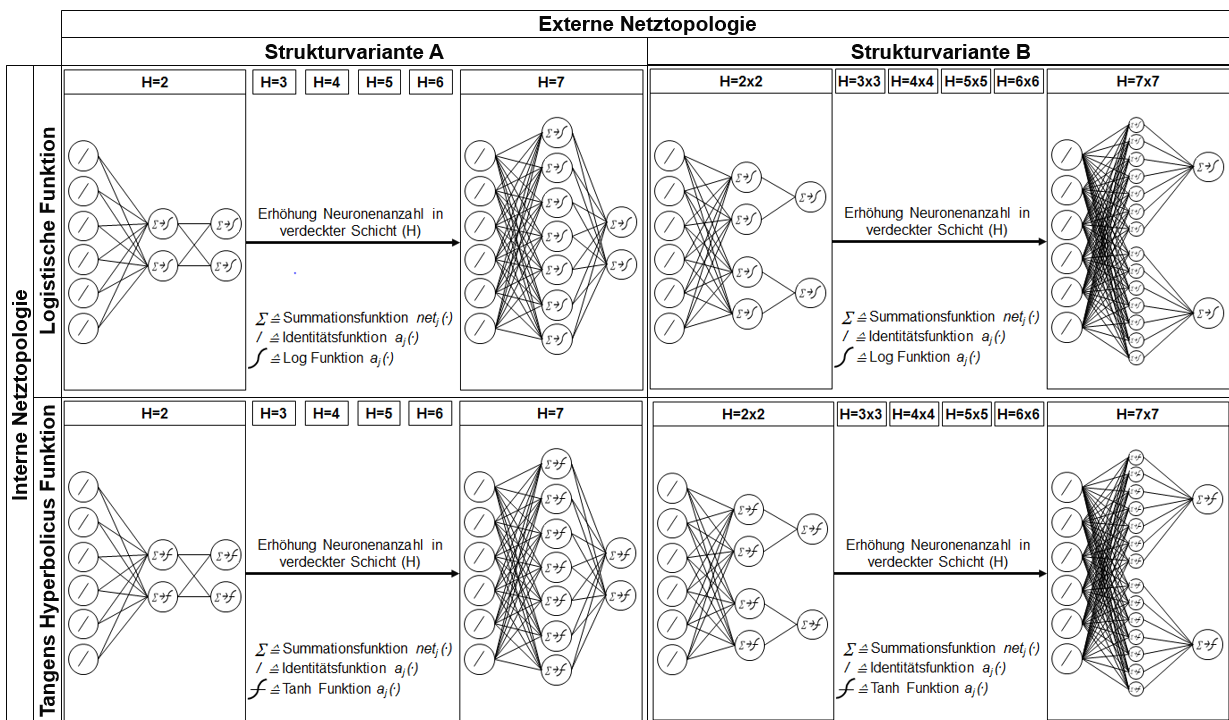


Abbildung 52: Netztopologie des Entscheidungsmodells

Die softwareseitige Implementierung der festgelegten externen und internen Topologie ist am Beispiel eines Netzes der Strukturvariante A mit vier verdeckten Neuronen und Logistischer Aktivierungsfunktion in Abbildung 53 exemplarisch dargestellt. Zur besseren Übersichtlichkeit ist die gewählte softwaregestützte Darstellung der Netztopologie um 90° im Uhrzeigersinn gedreht.

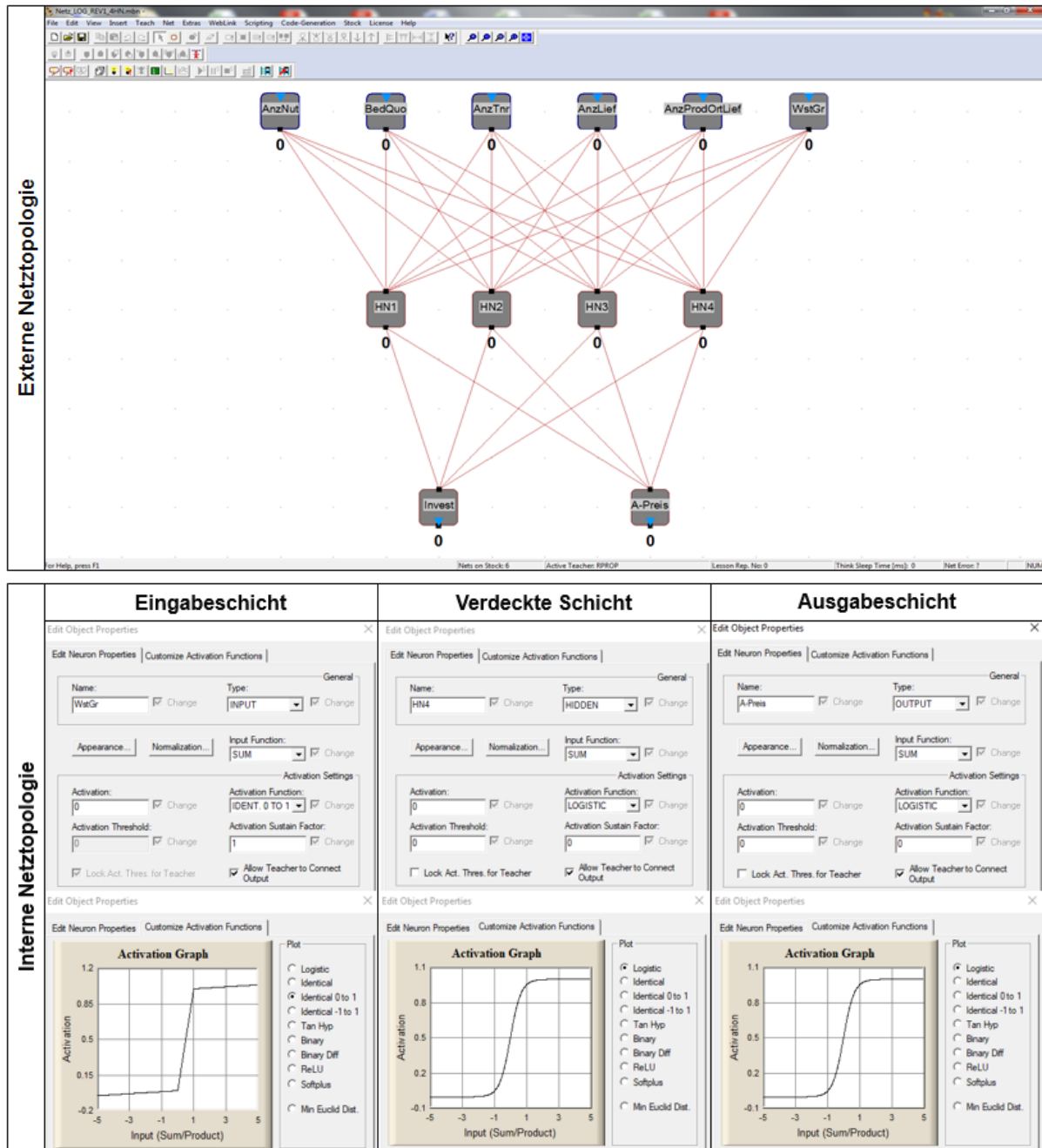


Abbildung 53: Festlegung der Netztopologie mithilfe der Simulationssoftware MemBrain<sup>78</sup>

<sup>78</sup> Die Verwendung der Log-Funktion für die verdeckten Neuronen und die Ausgabeneuronen erfordert vor Beginn der Lernphase eine Normierung der ursprünglichen Daten entsprechend dem Wertebereich der Logistischen Funktion (Intervall  $]0;1[$ ). Basierend auf dieser vorgelagerten Normierung wird für alle Neuronen der Eingabeschicht bei der softwaregestützten Modellierung die auf den Wertebereich von 0 bis 1 begrenzte Identitätsfunktion als Aktivierungsfunktion gewählt. Sowohl Normierung als auch die Identitätsfunktion mit eingeschränktem Wertebereich werden für die Netzvariante mit Tanh-Aktivierungsfunktion analog angewendet.

#### 5.4.2.2 Datenerhebung und Datenskalierung

Ziel dieses Abschnitts liegt in der Erstellung, Aufteilung und Transformation der Datenbasis für den nachgelagerten Lernprozess des KNN.

In Ihrer Arbeit führen REY UND WENDER (2008, S.18) an, dass der Trainingserfolg eines KNN und damit dessen Approximations- und Generalisierungsfähigkeit entscheidend von den präsentierten Daten abhängt (vgl. auch Alex 2013, S.100f.). Folgerichtig weist OSSEN (1990, S.40) auf die Notwendigkeit hin, eine hinreichend komplexe Datenbasis zu wählen, „um die Mächtigkeit des zu testenden Verfahrens auszuschöpfen“, ohne dadurch gleichzeitig die Nachvollziehbarkeit einzuschränken. Da die Informationsqualität und der Lernaufwand eines KNN somit in hohem Maß vom Umfang und der Güte der Datenbasis bestimmt werden, betont KOHLHASE (1997, S.104) die Notwendigkeit einen Kompromiss zwischen Informationsbedarf zum Lernen, Aufwand zur Datenerhebung und erforderlichem Informationsgehalt bei der Anwendung des KNN zu finden.

Wie bereits aus den Ausführungen zur Wahl der geeigneten Netztopologie bekannt, gibt es auch für eine problemadäquate Datenauswahl keine allgemeingültigen Regeln. Somit hängt die erfolgreiche Datenerhebung gleichermaßen von der Erfahrung des Anwenders ab (vgl. Alex 2013, S.101). Einen ersten, allgemeingültigen Ansatz für die Datenauswahl liefert ZANDER (2001, S.66), wonach die für das Netztraining herangezogenen Daten eine „große und repräsentative Stichprobe der Grundgesamtheit“ darstellen sollen. Zur Sicherstellung einer zufriedenstellenden Ergebnislage des KNN empfiehlt ALEX (2013, S.101) daher eine entsprechend hohe Anzahl an Datensätzen und eine breitgefächerte Datenbasis für die Lernphase zu verwenden, um eine Abdeckung des gesamten Eingaberaums zu ermöglichen. Laut KOHLHASE (1997, S.106) sollte bei der Auswahl der Trainingsmenge darauf geachtet werden, dass die Trainingsdaten über den zu Beginn der Lernphase bekannten Wertebereich möglichst gleichverteilt sind.

Die im Rahmen dieser Arbeit herangezogene Datenbasis wurde aus der STAR-Datenbank von Volkswagen extrahiert, in der sämtliche Vergabevorgänge der Beschaffung archiviert werden. Bei den Daten handelt es sich im Detail um unternehmenseigene Sekundärdaten in schriftlicher Form, die bezogen auf das zu untersuchende Forschungsziel gemäß den Empfehlungen von SAUNDERS ET AL. (2009, S.258f.) entsprechend geeigneter Kriterien zusammengestellt und aufbereitet worden sind. Das Entscheidungsmodell kann somit als ein Anwendungsbeispiel von KNN unter realen Bedingungen verstanden werden (vgl. Bode 2000, S.1234).

Voraussetzung für die Bereitstellung der hochsensiblen Datensätze war die Anonymisierung der jeweils hinterlegten Lieferanten. Jedem Lieferanten und seinem jeweiligen Produktionsstandort wurden eine eindeutige, codierte ID zugeordnet. Die Anonymisierung der sensiblen Daten hat keinen Einfluss auf den Informationsgehalt der extrahierten Daten und kann daher mit Hinblick auf die weitere Verarbeitung als unbedenklich eingestuft werden.

Die Extrahierung der modellrelevanten Datensätze erfolgte anhand der nachfolgend erläuterten Festlegung geeigneter Filterkriterien und Filterungsstufen:

#### 1) Bestimmung der Grundgesamtheit

Da Vergaben für ein Baukastenprojekt nicht auf ein fixes Zeitfenster begrenzt sind, ist bei einer Reduzierung des Betrachtungszeitraums immer die Gefahr einer Nichtbetrachtung relevanter Datensätze induziert. Daher wurde entschieden, bei der Filterung der Grundgesamtheit den **Betrachtungszeitraum** nicht einzugrenzen. Der Betrachtungszeitraum wurde somit allein von der Datenbank selbst eingeschränkt, da erst Vergaben ab dem Zeitpunkt des Rollouts in 2005 in der Datenbank gespeichert werden. Daher wurden im ersten Schritt der Datenaufbereitung alle Datensätze von 2005 bis einschließlich 2017 gefiltert.<sup>79</sup>

Auf Basis des festgelegten Filterkriteriums des Betrachtungszeitraums konnten innerhalb der ersten Filterungsstufe **294.984 Datensätzen** als Grundgesamtheit identifiziert werden.

#### 2) Extrahierung der baukastenrelevanten Datensätze

Auf der zweiten Filterungsstufe wurden im Sinne eines Reduzierungsprozesses aus der Grundgesamtheit die baukastenrelevanten Datensätze für den nachgelagerten Verdichtungsprozess herausgefiltert. Ein Datensatz wurde genau dann als relevant erachtet, wenn dieser direkt einem Baukastenprojekt zugeordnet werden konnte.

Der erste Ansatz zur Datenbankfilterung der baukastenspezifischen Datenbasis bestand in der Selektion anhand der in der Datenbank hinterlegten **Projekt und Vorgangsbezeichnung**. Da aber die jeweilige Bezeichnung vom Einkäufer im Rahmen der Vergabe frei gewählt werden kann und somit ein unzureichendes Maß an Eindeutigkeit bei diesem Filterkriterium existiert, musste dieser Ansatz verworfen werden, um eine Nichtbeachtung relevanter Datensätze ausschließen zu können.

Ein nächster vielversprechender Ansatz mit Hinblick auf eine eindeutige Zuordnung stellte die Filterung nach der **Teilenummer** dar. Da sich die Teilenummer (TNR) entsprechend der Volkswagen-Nomenklatur aus einer Hauptgruppe, Mittelgruppe und Endgruppe zusammensetzt, war anfänglich die Frage zu klären, ob die ganze TNR oder nur Fragmente selbiger zur Filterung herangezogen werden sollten.

---

<sup>79</sup> Die Nichtberücksichtigung der Jahre 2018ff. bedeutet dabei keine Einschränkung der Ergebnishöhe, da davon ausgegangen werden kann, dass durch eine nachträgliche Berücksichtigung dieses Zeitintervalls größtenteils zusätzliche Datensätze innerhalb des bereits bekannten Wertebereichs extrahiert werden. Aufgrund der bereits beschriebenen Robustheit von KNN gegenüber Ausreißern und fehlerhaften Daten wird die Wahrscheinlichkeit einer Verschiebung der zu approximierenden Funktion und die hieraus resultierende Abweichung der Ergebnisse als sehr gering eingeschätzt. Der Mehraufwand steht somit im Missverhältnis zum potentiellen Zusatznutzen. Im Hinblick auf eine effiziente Gestaltung des Forschungsprozesses wird daher auf die Berücksichtigung dieses Zeitraums verzichtet.

Hier erschien vor allem der Ansatz einer Filterung nach der Mittelgruppe (MGR) vorteilhaft, da diese fahrzeugunabhängig und konzernweit die gleiche Nomenklatur besitzt und somit eindeutig einer baukastenspezifischen Bauteilgruppe (Fahrwerk, Karosserie, Elektrik etc.) zugeordnet werden kann. Als nächstes stellte sich die Frage, welche Mittelgruppen für die Betrachtung modularer Baukästen relevant sind. Es mussten also die Mittelgruppen berücksichtigt werden, die mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Vergaben hindeuten, die Bestandteil des Baukastens sind. Dazu wurden aus dem Stücklistensystem TEVON für die existierenden VW-spezifischen Teil-Baukästen des MQB die jeweiligen Projekte anhand der stücklistenrelevanten Projekt-ID gefiltert und die Mittelgruppen in eine Gesamtübersicht übertragen. Mehrfachnennungen einer MGR wurden bereinigt. Die entstandene Übersicht stellt somit alle baukastenrelevanten Mittelgruppen als Filterkriterium für die nachfolgende Datenfilterung dar.

Letztlich wurde jedoch auch dieser Filterungsansatz verworfen, da sowohl durch die singuläre Betrachtung der Teilenummer als auch die Selektion etwaiger Teilsegmente der TNR keine eindeutige Zuordenbarkeit sicherzustellen war, da auf Basis der COP-Thematik eine TNR von mehreren auch baukastenfremden Projekten genutzt werden kann.

Vielmehr hat sich gezeigt, dass nur durch die simultane Betrachtung der Filterkriterien der TNR-Segmente **Haupt- (HGR)** und **Mittelgruppe (MGR)** in Verbindung mit der **Projekt- und Vorgangsbezeichnung** eine eindeutige Zuordnung erreicht werden kann. Als Ergebnis dieses 4-stufigen Filterungsprozesses wurde ein Datensatz genau dann der baukastenrelevanten Datenmenge zugeordnet, wenn jedes einzelne der vier Filterkriterien erfüllt war. Durch die ausschließliche Berücksichtigung baukastenspezifischer Datensätze können nicht-baukastenspezifische Einflüsse bei der Modellkonzeptionierung vermieden und somit eine eindeutige Abgrenzbarkeit des Baukastens sichergestellt werden.

Zusammenfassend kann die zweite Filterungsstufe als ein Reduzierungsprozess verstanden werden, bei der alle Datensätze, die keinem Baukasten eindeutig zugeordnet werden konnten, aus der als untersuchungsrelevant erachteten Grundgesamtheit eliminiert wurden. In Summe konnten 273.700 Datensätze gelöscht und eine Reduktion der baukastenrelevanten Datenmenge auf **21.284 Datensätze** herbeigeführt werden.

### 3) Datenaufbereitung und Informationsverdichtung

Um die gefilterten Datensätze für das Training des KNN verwenden zu können, erfolgte anschließend basierend auf dem abgeleiteten Kennzahlensystem die Datenaufbereitung und eine zusätzliche Verdichtung. Hierzu wurden die durch die Filterung als Einzelposition auf TNR-Basis dargestellten Datensätze anhand der hinterlegten Vergabe-Vorgangsnummer wieder gruppiert und die separierten Einzeldaten entsprechend der für die Berechnung des KNN erforderlichen Form konsolidiert (vgl. Abbildung 54). Zusätzlich wurden die Datensätze durch das Löschen nicht benötigter Informationen bereinigt.

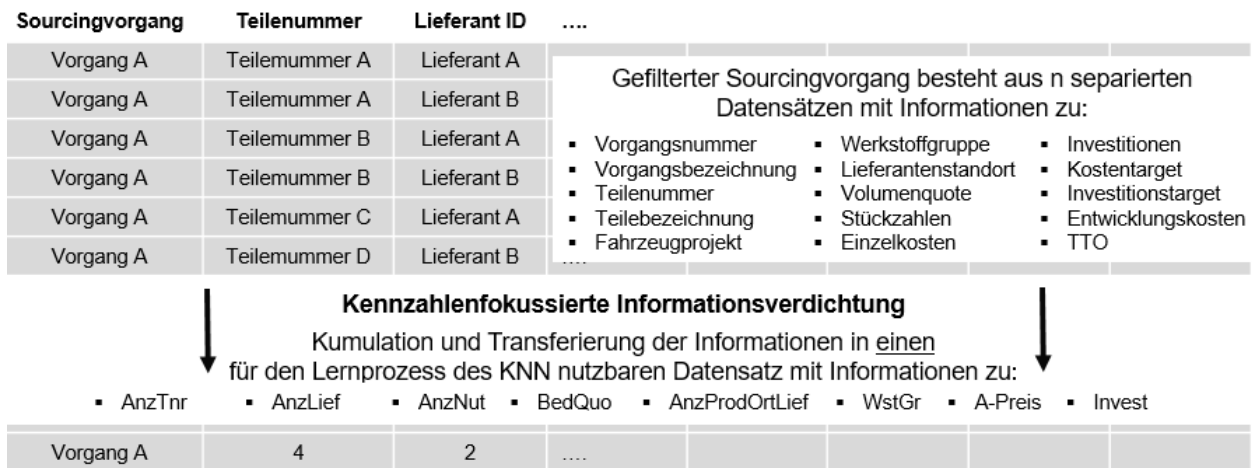


Abbildung 54: Exemplarisches Beispiel für den Prozess der Informationsverdichtung

Die Bildung der aus dem Verdichtungsprozess resultierenden Kennzahlenwerte erfolgte dabei anhand der in Tabelle 18 erläuterten kennzahlenspezifischen Ableitungsvorschriften.

Kennzahl	Ableitungsvorschrift
AnzNut	Kumulierte Anzahl Baukastennutzer, die innerhalb eines Sourcingvorgangs durch ein vergebenes Bedarfvolumen berücksichtigt werden. Ein Baukastennutzer ist ein Fahrzeugprojekt, welches aufgrund seiner Architektur einem bestimmten (Teil-) Baukasten zugeordnet werden kann.
BedQuo	Aufsummierung der maximalen, quotierten Jahresbedarfe der separiert gefilterten Datensätze eines Sourcingvorgangs.
AnzTnr	Kumulierte Anzahl unterschiedlicher Teilenummern, die in einem Sourcingvorgang Berücksichtigung finden.
AnzLief	Kumulierte Anzahl unterschiedlicher Lieferanten, die in einem Sourcingvorgang Berücksichtigung finden. Bestimmung erfolgt auf Basis der jedem Lieferanten eindeutig zuordenbaren, globalen Lieferanten-ID.
AnzProdOrtLief	Kumulierte Anzahl unterschiedlicher Produktionswerke sämtlicher Lieferanten, die in einem Sourcingvorgang Berücksichtigung finden. Bestimmung erfolgt auf Basis der jedem Lieferanten eindeutig zuordenbaren lokalen Lieferanten-ID je Werk.
WstGr	Entspricht der auf Basis des gesourceten Teileumfangs zugeordneten Werkstoffgruppe je Sourcingvorgang.
Invest	Aufsummierung der Investitionen der separiert gefilterten Datensätze eines Sourcingvorgangs. Dabei werden nur die werkzeugspezifischen Investitionen des Lieferanten berücksichtigt, ohne Berücksichtigung entwicklungspezifischer Investitionen.
A-Preis	Entspricht dem Durchschnitt der bedarfsgewichteten A-Preise der separiert gefilterten Datensätze eines Sourcingvorgangs. Der A-Preis umfasst sämtliche bauteilbezogenen Herstellkosten des Lieferanten, ohne Berücksichtigung von dem Herstellprozess nachgelagerten Logistikkosten des Lieferanten.

Tabelle 18: Kennzahlenspezifische Ableitungsvorschriften

Durch den Verdichtungsprozess konnte die ursprünglich extrahierte Grundgesamtheit letztendlich auf eine für den Trainingsprozess des KNN relevante Datenmenge von **1.734 Datensätzen** reduziert werden, von denen 103 Datensätze dem Baukasten MQB37W

zugeordnet werden können.<sup>80</sup> Die explizite Separierung der MQB37W Umfänge erfolgte vor dem Hintergrund, dass am Beispiel dieses Baukastens im Anschluss an die Modellkonzeptionierung die praktische Validierung des Entscheidungsmodells durchgeführt wird (vgl. Kap.6).

#### 4) Datengruppierung

Um eine mangelnde Generalisierungsfähigkeit zu verhindern, wird in der Literatur empfohlen, vor Beginn der Lernphase eine Aufteilung der Datensätze in eine Trainings- und eine Validierungsmenge durchzuführen, wobei die Festlegung der Validierungsmenge durch das Ziehen einer Zufallsstichprobe erfolgt (vgl. Bodendorf 2006, S.187, Zander 2001, S.69).

Entsprechend der gängigen Praxis erscheinen Teilungsverhältnisse von Validierungs- und Trainingsmenge von 1:10 bis 1:1 in Abhängigkeit des Umfangs der Grundgesamtheit gebräuchlich (vgl. Zander 2001, S.105). Gleichzeitig wird empfohlen eine bis zu 30mal größere Trainingsmenge als Netzgewichte zu wählen, um einen Overfit des Netzes zu verhindern (vgl. Zander 2001, S.106).

Zusätzlich schlägt LUKKASEK (2004, S.72) die Abteilung einer Testmenge vor, um im Rahmen der Modellanwendung sowohl den Lernerfolg als auch die Generalisierungsfähigkeit des Netzes zu evaluieren (vgl. auch Crone 2010, S.205). LUKASSEK (2004, S.72) empfiehlt dabei die Aufteilung der Datenbasis in einem Verhältnis von 70% Trainings-, 20% Validierungs- und 10% Testmenge.<sup>81</sup>

Der Empfehlung wird auch im Rahmen dieser Arbeit gefolgt, wobei bei der prozentualen Aufteilung im Hinblick auf die Praktikabilität eine zum Teil abweichende Festlegung sinnvoll erscheint, ohne dabei die beschriebenen Mindestanforderungen bei der Datenaufteilung zu vernachlässigen.

Basierend auf der Anzahl zur Verfügung stehender Datensätze wird entsprechend dem von ZANDER (2001, S.105) vorgeschlagenen Aufteilungsintervall ein Verhältnis von 1:4 zwischen Validierungs- und Trainingsmenge vorgenommen. Resultierend hieraus ergibt sich eine Gruppierung der Datensätze in 75% Trainings-, 19% Validierungs- und 6% Testmenge. Die Größe der Testmenge wird dabei allein durch die Anzahl gefilterter Datensätze MQB37W determiniert, wodurch die prozentuale Empfehlung von LUKASSEK (2004, S.72) bei diesem Anwendungsbeispiel nicht gänzlich erfüllt werden kann.

---

<sup>80</sup> Die Entscheidung, die Modellvalidierung am Beispiel des Baukastens MQB37W mit einer Markteinführung in 2019 durchzuführen, ist damit zu begründen, dass durch die Modellanwendung auf diesen Baukasten dieser Arbeit ein hohes Maß an Aktualität und thematischer Relevanz attestiert werden kann.

<sup>81</sup> An dieser Stelle sei eine kurze Anmerkung bzgl. der gewählten Begrifflichkeiten gestattet, um etwaige Verständnisprobleme zu vermeiden. Die Validierungsmenge wird innerhalb der Testphase zur Bestätigung der Generalisierungsfähigkeit des KNN herangezogen. Im Gegensatz dazu unterstützt die Testmenge die Validierung des Modells im Rahmen der praktischen Anwendung. Auch wenn die Begrifflichkeiten hinsichtlich deren Anwendung suboptimal erscheinen, werden bewusst die in der Literatur gewählten Begriffszuordnungen zur Förderung der begrifflichen Konsistenz beibehalten.

Die zweite Empfehlung ZANDERS (2001, S.106) bzgl. des Verhältnisses Anzahl Gewichte zu Anzahl verwendeter Trainingsdatensätze von 1:35 konnte dagegen nicht umgesetzt werden. Legt man die gewählte Topologie (Strukturvariante B) zugrunde, dann sind maximal 112 Verbindungsgewichte bei einem Netz mit sieben verdeckten Neuronen zu berücksichtigen (sechs Neuronen Eingabeschicht, sieben Neuronen verdeckte Schicht, zwei Neuronen Ausgabeschicht entspricht:  $2 \times (6 \times 7 + 7 \times 2) = 112$  Gewichtsverbindungen). Demnach empfiehlt ZANDER 3.920 Datensätze im Training zu verwenden. Im Anwendungsbeispiel kann aufgrund der gegebenen Anzahl an Datensätzen nur eine 12mal höhere Anzahl an Trainingsdaten im Vergleich zur Anzahl der maximalen Gewichte erreicht werden. Die Nichterfüllung der Empfehlung wird jedoch als unkritisch bewertet, da das Risiko eines Overfit anhand der detaillierten Bestimmung des optimalen Zeitpunkts für den Trainingsabbruch im Rahmen der Testphase minimiert wird (siehe Kap. 5.4.2.5).

Das in der nachfolgenden Abbildung 55 dargestellte Schemata fasst den durchgeführten Prozess der Datenerhebung nochmals ganzheitlich zusammen. Die durchzuführende Zufallsstichprobe zur Aufteilung der Datensätze in Trainings- und Validierungsmenge erfolgt dabei nicht händisch, sondern wird durch die Simulationssoftware MemBrain selbst vorgenommen, um auch hier ein Höchstmaß an Objektivität zu gewährleisten.

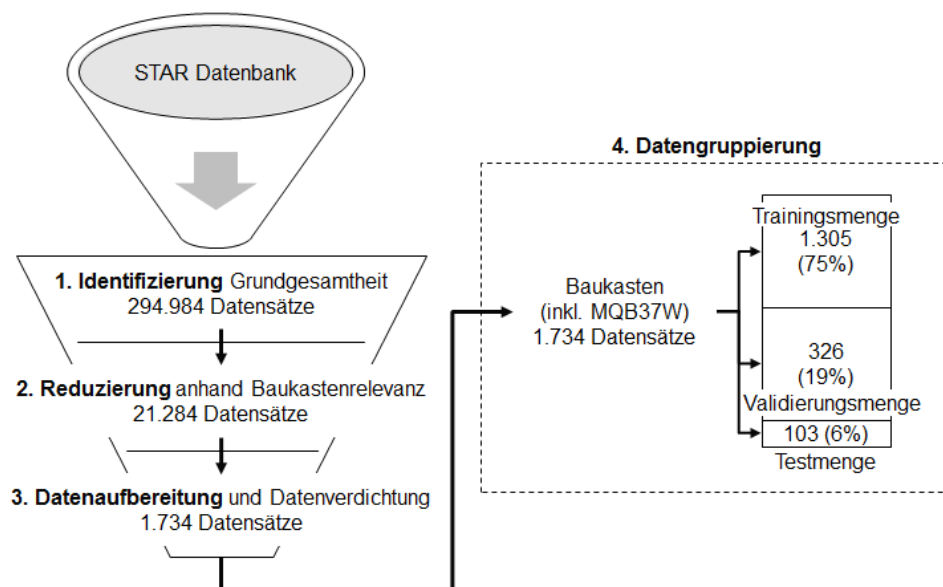


Abbildung 55: Ganzheitliche Prozessdarstellung der Datenerhebung

In Abhängigkeit der gewählten Aktivierungsfunktion und des damit verbundenen Wertebereichs ist zusätzlich vor Beginn des Trainings eine Skalierung der zu verarbeitenden Daten notwendig (vgl. Bodendorf 2006, S.191). Da die Skalierung dabei hilft, den dominierenden Einfluss großer Eingangswerte zu mindern und dadurch den Vorhersagefehler des Netzes zu reduzieren (vgl. Duran et al. 2012, S.7791), erscheint sowohl die Skalierung der Daten der Eingabeschicht als auch der Ausgabeschicht vorteilhaft und in diesem

Anwendungsfall zwingend erforderlich, da die Originaldaten nicht vollumfänglich dem gültigen Wertebereich der sigmoiden Aktivierungsfunktionen entsprechen.<sup>82</sup>

Der zur Anwendung kommende Skalierungsprozess folgt dem von SCHNEIDER (1993, S.10) mit Bezug auf SCHÖNEBURG (1991, S.52) beschriebenen Ansatz der linearen Transformation, bei der mithilfe eines Skalierungsfaktors und Offsets die Originalwerte in den Wertebereich der Aktivierungsfunktion übertragen werden.<sup>83</sup> Die Ableitungsvorschrift der linearen Transformation und die hieraus resultierenden kennzahlenspezifischen Werte für Skalierungsfaktor und Offset sind in der nachfolgenden Tabelle detailliert dargestellt.<sup>84</sup>

Lineare Skalierung	Kennzahl							
	AnzNut	BedQuo	AnzTnr	AnzLief	AnzProdOrtLief	WstGr	Invest	A-Preis
Skalierungsfaktor	0,0242424242	0,0000000368	0,0170212766	0,0727272727	0,0380952381	0,0012480499	0,0000000350	0,0027759079
Offset	0,0757575758	0,0999998895	0,0829787234	0,0272727273	0,0619047619	0,0712948518	0,1000000000	0,0999833446
Skalierter Wert	Transferierung der Originaldaten in skalierte Modelldaten							
	Skalierungsfaktor = $0,8 / (\max\text{Wert} - \min\text{Wert})$		Offset = $0,1 - \text{Skalierungsfaktor} * \min\text{Wert}$			Skalierter Wert = $\text{Wert} * \text{Skalierungsfaktor} + \text{Offset}$		

Tabelle 19: Datenskalierung auf Basis der linearen Transformation

Hierbei ist anzumerken, dass die Skalierung sowohl für jeden Datensatz der Trainings-, Validierungs- und Testmenge als auch bei zukünftig dem Netz zu präsentierenden Datenpaaren erfolgen muss und zusätzlich stets eine Rücktransformation der modellspezifischen Ausgabewerte erforderlich ist (vgl. Schneider 1993, S.10).

Die Verwaltung der skalierten Datensätze erfolgt innerhalb von MemBrain mithilfe des Lesson Editors (vgl. Abbildung 56). Dazu werden in einem ersten Schritt alle 1631 Datensätze der Trainings- und Validierungsmenge in den Lesson Editor hochgeladen. Anschließend erfolgt in einem zweiten Schritt die automatisierte Zufallsverteilung der Gesamtdaten in eine separierte Trainings- (Lesson Training mit 1305 Datensätzen) und Validierungsmenge (Lesson Validierung mit 326 Datensätzen) auf Basis des vorab festgelegten Gruppierungsverhältnisses (vgl. Abbildung 55).<sup>85</sup>

<sup>82</sup> Als anwendbare Skalierungsintervalle beim Einsatz einer sigmoiden Aktivierungsfunktion sind in der Literatur unterschiedliche Vorschläge zu finden. So wählt EICHHORN (2014, S.6) ein Intervall von  $[0,2;0,8]$  wohingegen SCHNEIDER (1993, S.10) mit einem Intervall von  $[0,1;0,9]$  ein etwas größeres Skalierungsspektrum empfiehlt.

<sup>83</sup> Bei der Festlegung des minimalen (minWert) und des maximalen Wertes (maxWert) ist sicherzustellen, dass sowohl die Originalwerte der Trainings- und Validierungs- als auch der Testmenge Elemente des definierten Intervalls  $[\min\text{Wert};\max\text{Wert}]$  sind. Eine Verschiebung bzw. notwendige Erweiterung dieses Wertebereichs im Rahmen der zukünftigen Modellanwendung erfordert zwingend eine Modifizierung des Intervalls und die erneute Durchführung des Skalierungsprozesses zur Bestimmung der Modelldaten.

<sup>84</sup> Zwar bietet auch MemBrain die Möglichkeit der automatisierten Skalierung, jedoch erscheint mit Blick auf die Nachvollziehbarkeit eine händische Skalierung auf Basis der linearen Transformation vorteilhafter.

<sup>85</sup> Eine Lesson setzt sich aus einer bestimmten Anzahl von Datenpaaren (Pattern) zusammen. Ein Datenpaar besteht aus einem Set von Input-/ Outputdaten.

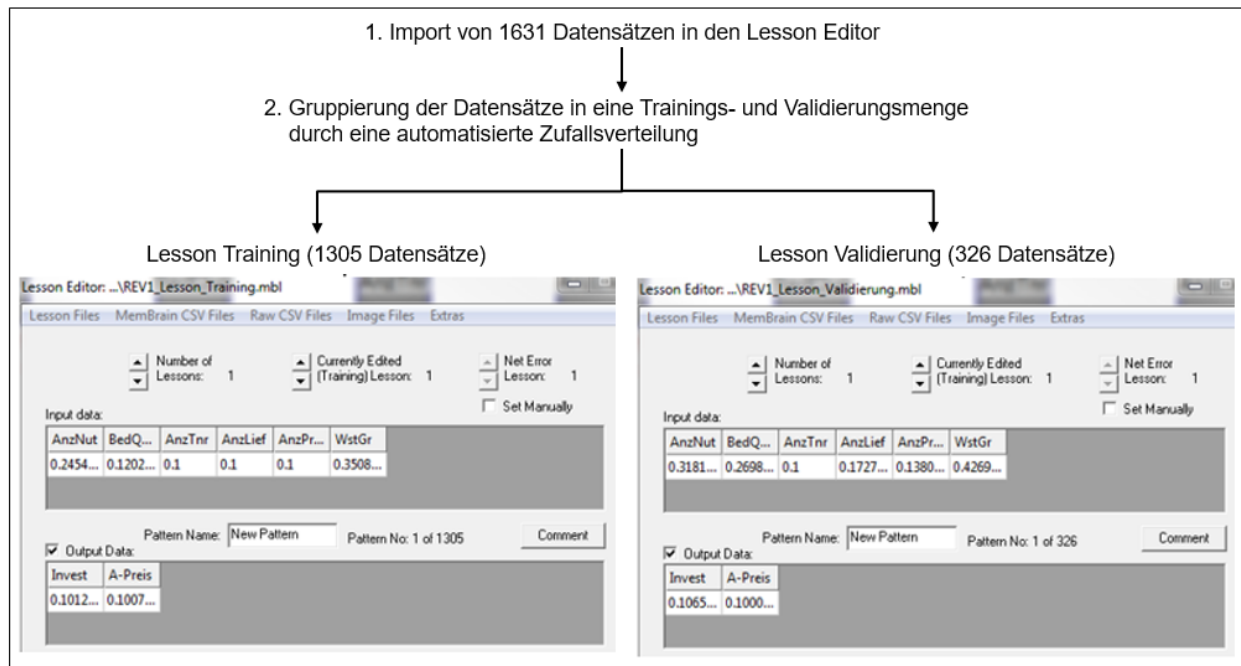


Abbildung 56: Import und Gruppierung der skalierten Daten mithilfe des Lesson Editors von MemBrain

#### 5.4.2.3 Anwendung der Backpropagation als Lernalgorithmus

Greift man die aufgezeigte Klassifikation möglicher Lernmethoden aus Kapitel 5.4.1.5 auf, ist der Backpropagation-Algorithmus (BPA) in die Gruppe der überwachten Lernverfahren einzuordnen (vgl. Alex 2013, S.110; Zander 2001, S.71) und kann als numerisches Verfahren zur „Anpassung einer nichtlinearen Funktion an vorgegebene Werte“ (Lukassek 2004, S.69) verstanden werden.

Der BPA stellt den bei der Anwendung mehrschichtiger Feedforward Netze am weitesten verbreiteten Lernalgorithmus dar (vgl. Alex 2013, S.210f.; Lukassek 2004, S.35; Rey & Wender 2008, S.55; Zander 2001, S.71). Legt man die Ausführungen von ALEX (2013, S.203ff.) zugrunde, kann die weite Verbreitung u.a. mit der im Vergleich zu anderen Netzmodellen dargelegten hohen Ergebnislage von KNN, die mittels BPA trainiert wurden, begründet werden.<sup>86</sup>

Der BPA berücksichtigt, dass sich bei mehrschichtigen Feedforward Netzen die Fehler einzelner Neuronen von Schicht zu Schicht fortpflanzen, da sie in das Aktivierungspotenzial der nachgelagerten Neuronen eingehen. Das Fehlersignal jedes Neurons einer Zwischenschicht beeinflusst also die Fehlersignale der nachgelagerten Schichten“ (Bodendorf 2006, S.185).

<sup>86</sup> Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch DURAN ET AL. (2012, S.7794), die basierend auf ihren Ergebnissen bei der Anwendung von KNN zur Prognose von Kosten bei der Herstellung von Rohrelementen dem MLP bezogen auf die Exaktheit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse die beste Performance attestieren.

Ziel des Algorithmus ist es, durch einen iterativen Prozess die Knotengewichte so zu optimieren, dass der resultierende Fehler des Netzes aus der Soll-Ist-Abweichung zwischen dem Soll-Ausgabewert und dem prognostizierten Ausgabewert der Simulation hinreichend minimiert wird (vgl. Crone 2010, S.204; Zander 2001, S.71).

Reduziert man zusätzlich den bisher gewählten Abstraktionsgrad zugunsten einer erhöhten Detaillierung, gliedert sich der BPA in die zwei Phasen der Propagierung und Rückpropagierung (vgl. Lukassek 2004, S.27ff.; Ossen 1990, S.31f.). Bei der **Propagierung** wird den Eingabeneuronen des Netzes ein Muster präsentiert. Die Eingabeneuronen übernehmen dabei ausschließlich die Aufgabe der Informationsverteilung und nicht der Informationsverarbeitung. Diese erfolgt primär über die verdeckten Neuronen mit dem Ziel der Berechnung einer Netzantwort, die über die Ausgabeneuronen letztlich dargelegt wird. Das Muster wird also durch das Netz propagiert (vgl. Ossen 1990, S.32).

Bei der anschließenden **Rückpropagierung** handelt es sich formal um eine „Fehlerrückführungs-Methode“ (Heuer 1997, S.21), bei der beginnend bei den Neuronen der Ausgabeschicht für jedes Neuron vorgelagerter Schichten bis hin zur Eingabeschicht die Abweichung in Form eines Fehlers berechnet wird (vgl. Heuer 1997, S.21; Lukassek 2004, S.27f.). Das Fehlersignal wird somit im Rahmen des Korrekturprozesses für die Gewichtsanzpassung in entgegengesetzter Richtung zur eigentlichen Signalausbreitung an ein Neuron der vorgelagerten Schicht vererbt (vgl. Bodendorf 2006, S.185). Diese rückwärtsgerichtete Vererbung des Fehlersignals von der Ausgabe- zur Eingabeschicht ist das Charakteristikum des Backpropagation-Algorithmus (vgl. Bodendorf 2006, S.185).<sup>87</sup>

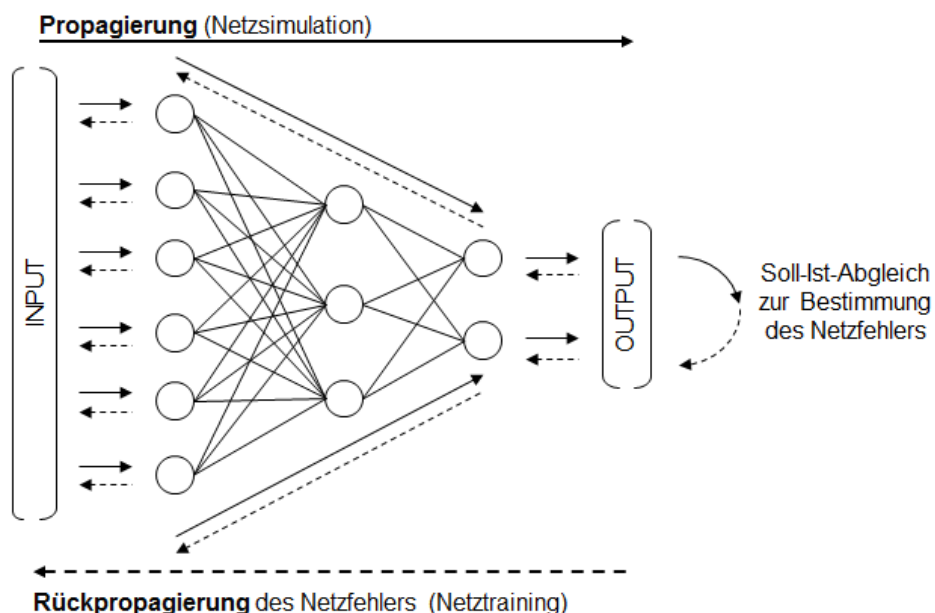


Abbildung 57: Die zwei Phasen des Backpropagation-Algorithmus (BPA)  
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Lukassek (2004, S.27)

<sup>87</sup> Auf eine detaillierte Darstellung des Backpropagation Algorithmus wird an dieser Stelle verzichtet. Bei weiterführendem Interesse kann bspw. auf OBERHOFER UND ZIMMERER (1996, S.17ff.) verwiesen werden, die den Algorithmus ausführlich mathematisch diskutieren.

Trotz der weitverbreiteten Anwendung des BPA ist auszuführen, dass dieser Algorithmus bei der Anwendung einige Herausforderungen bereithält. Erstens wird durch die Anwendung des BPA eine über den gesamten Wertebereich differenzierbare Aktivierungsfunktion vorausgesetzt. Somit muss bereits bei der Wahl der geeigneten Netztopologie der anzuwendende Lernalgorithmus Berücksichtigung finden (vgl. Kap. 5.4.1.5). Zweitens resultiert aus der Komplexität des Netzes ein hoher Zeitaufwand des Lernens, ausgelöst durch die langsame Konvergenzgeschwindigkeit bei gleichzeitig hohem Rechenaufwand. Drittens kann sich die Bestimmung des globalen Minimums der Fehlerfunktion als schwierig erweisen, da mit steigender Anzahl der Verbindungen (Komplexitätsanstieg des MLP) die Zerklüftung der Fehlerfläche zunimmt (vgl. Lukassek 2004, S.30; Zander 2001, S.74ff.).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Anwendung des BPA grundsätzlich die Ergebnismenge des Netzes positiv beeinflusst, jedoch aufgrund einer zerklüfteten Fehlerfunktion ohne Garantie auf das Erreichen der optimalen Lösung (vgl. Lukassek 2004, S.34). Wie spätere Ausführungen aber zeigen werden, kann die Modifizierung einzelner Lernparameter die erfolgreiche Bestimmung des Fehleroptimums positiv beeinflussen (vgl. Kap. 5.4.2.4).

#### 5.4.2.4 Festlegung der Lernparameter

Bevor der Lernprozess durch Anwendung des BPA durchgeführt werden kann, ist die Festlegung bestimmter Lernparameter notwendig, die die Ergebnismenge und die Konvergenzgeschwindigkeit des durchzuführenden Software-gestützten Lernprozess maßgeblich mitbestimmen (vgl. Eichhorn 2014, S.7; Ossen 1990, S.39). Zu ihnen zählen in erster Linie Fragestellungen hinsichtlich Höhe der Lernrate, Einsatz eines Momentumparameters und Festlegung eines Kriteriums für den Trainingsabbruch (vgl. Zander 2001, S.98). Daneben gibt es weitere Parameter, auf die im Folgenden eingegangen werden soll, sofern diese vor Beginn der Lernphase aktiv durch den Anwender der Simulationssoftware festgelegt werden müssen. Aufgrund fehlender allgemeingültiger Regeln gilt auch bei der Festlegung einzelner Lernparameter, dass der Erfahrung des Netz-Designers eine hohe Bedeutung beizumessen ist (vgl. Lukassek 2004, S.35).

##### Lernrate

Wie bereits mehrfach angedeutet, hängen Entscheidungen im Zusammenhang mit der Anwendung von KNN von einer Vielzahl von Faktoren ab, die sich teilweise gegenseitig beeinflussen. Daher ist es nicht verwunderlich, dass es auch bei der Festlegung der Lernrate keinen allgemeingültigen Ansatz gibt, sondern die Wahl sowohl vom eigentlichen Lernproblem als auch von den Trainingsdaten und der Netztopologie abhängt (vgl. Zander 2001, S.99).

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit die Lernrate während der gesamten Lernphase konstant zu halten oder aber entsprechend der Entwicklung der Fehlerfunktion anzupassen (vgl. Rey & Wender 2008, S.49f.; Zander 2001, S.99). Dabei gilt: Je höher die Lernrate gewählt wird, desto höher ist die Konvergenzgeschwindigkeit (vgl. Lukassek 2004, S.31; Zander 2001, S.99). Durch die hieraus resultierenden großen Sprünge auf der Fehlerfläche wird die Suche des Minimums der Fehlerfunktion erschwert. Auf der anderen Seite resultiert aus einer kleinen Lernrate eine geringe Konvergenzgeschwindigkeit, wodurch der Zeitaufwand des Lernprozess deutlich steigt (vgl. Crone 2010, S.201; Zander 2001, S.99). Gleichzeitig reduziert eine kleine Lernrate die Wahrscheinlichkeit, dass die Fehlerfunktion in ein lokales Optimum divergiert (vgl. Alex 2013 S.121f). Aus diesem Grund erscheint es oft vorteilhaft, mit einer hohen Lernrate zu beginnen und diese schrittweise in definierten Stufen mit steigender Lerndauer zu reduzieren (vgl. Alex 2013, S.122; Kriesel 2018, S.116). Bezogen auf die optimale Gestaltung der Lernrate sind sowohl die Festlegung der Reduzierungsstufen als auch die Anzahl der Lernschritte je Stufe dem jeweiligen Anwendungsbeispiel anzupassen. Nur bei sehr einfachen Problemen empfiehlt es sich dagegen, die Lernrate konstant zu halten (vgl. KRIESEL 20018, S.116). Mit Blick auf das komplexe Anwendungsbeispiel dieser Arbeit erscheint somit die Anwendung einer flexiblen Lernrate vorteilhafter.

#### Momentum-Term

Die Berücksichtigung eines Momentums dient einerseits dazu die Konvergenzgeschwindigkeit auf flachen Plateaus zu erhöhen und andererseits die Konvergenzgeschwindigkeit in stark zerklüfteten Bereichen der Fehlerfunktion zu reduzieren, wodurch das Verlassen enger und steiler Täler der Fehlerfunktion ermöglicht und somit das Risiko der Oszillation verhindert wird (vgl. Crone 2010, S.201; Zander 2001, S.79). Dennoch kann durch die Anwendung des Momentum-Terms auch der negative Effekt auftreten, dass ein gefundenes Minimum fälschlicherweise wieder verlassen wird (vgl. Kriesel 2018, S.122). Aus dem Grund birgt auch der Einsatz eines Momentums Gefahren, die bei der Einsatzentscheidung abgewogen werden müssen. Im Rahmen dieser Arbeit wird auf den Einsatz eines Momentum-Terms verzichtet.

#### Kriterium für den Trainingsabbruch

Die Festlegung des optimalen Zeitpunkts für das Abbrechen des Trainings ist mit Bezug auf die bereits angesprochene Approximations- und Generalisierungsfähigkeit des KNN substantiell. Bei zu wenig durchgeführten Iterationsschritten wird der Trainingsfehler nicht hinreichend reduziert, wodurch eine schlechte Approximationsfähigkeit des Netzes (Underfit) hervorgerufen wird. Eine zu hohe Anzahl von Iterationsschritten führt dagegen zu einem „auswendig lernen“ und somit einer schlechten Generalisierungsfähigkeit (Overfit).<sup>88</sup>

---

<sup>88</sup> An dieser Stelle seien nochmals die Ausführungen in Kapitel 5.4.2.1 in Erinnerung gerufen, bei denen auf die Wichtigkeit der optimal gewählten Netztopologie hingewiesen wurde, um die gewünschte Approximations- und Generalisierungsfähigkeit des KNN gewährleisten zu können.

Aus den genannten Gründen gestaltet sich die Festlegung eines Zeitpunkts für den Trainingsabbruch häufig schwierig (vgl. Alex 2013, S.187). Das im Rahmen des BPA am häufigsten herangezogene Abbruchkriterium ist die Unterschreitung eines vorab festgelegten Wertes für die absolute Fehlerhöhe (vgl. Zander 2001, S.101).

Ergänzend hierzu führt ALEX (2013, S.188) weitere Abbruchkriterien an und bringt diese, wie nachfolgend dargestellt, in eine Ablaufrangfolge zur Bestimmung des optimalen Zeitpunktes für den Trainingsabbruch:

- 1) Die Fehlerfunktion unterschreitet einen festgelegten Schwellenwert (analog Zander 2001, S.101).
- 2) Es erfolgt keine weitere Minimierung der Fehlerfunktion innerhalb einer festgelegten Anzahl durchlaufener Lernschritte.
- 3) Das Training wird abgebrochen, wenn die festgelegte Obergrenze für die Anzahl zu durchlaufender Lernschritte erreicht ist.
- 4) Nimmt die Fehlerfunktion ihr Minimum erst mit Erreichung der Obergrenze ein, wird weiter trainiert, bis innerhalb einer definierten Anzahl aufeinander folgender Epochen<sup>89</sup> keine weitere Verbesserung mehr erzielt werden kann.

Bei den bisher dargelegten Abbruchkriterien ist nachteilig anzumerken, dass die Festlegung der einzelnen Kriterien hochgradig subjektiviert ist und stark von der Art und Komplexität des zu untersuchenden Problems sowie der Anzahl zur Verfügung stehender Trainingsdaten abhängt.

Deutlich vorteilhafter erscheint daher die Anwendung des ebenfalls in der Literatur häufig beschriebenen Abbruchkriteriums des Konvergenzzeitpunktes der Fehlerfunktion. Demnach wird das Training zu dem Zeitpunkt abgebrochen, in dem die Fehlerfunktion der Validierungsmenge konvergiert (vgl. Bodendorf 2006, S.187; Crone 2010, S.205; Lukasek 2004, S.72f.; Zander 2001, S.65).<sup>90</sup>

Dieses Abbruchkriterium ist vor allem vor dem Hintergrund des inkludierten Objektivitätsgrades vorteilhaft zu bewerten und wird daher als die optimale Wahl für das anzuwendende Abbruchkriterium angesehen.

### Reihenfolge der Musterpräsentation

Die in der Literatur am weitesten verbreitete Strategie ist die Zufallspräsentation der Muster. Im Gegensatz werden bei der Alternativstrategie die Muster immer in der gleichen Reihenfolge präsentiert. Negative Auswirkungen auf den Lernerfolg können bei der erstgenannten Strategie dadurch entstehen, dass Muster nicht gleichverteilt erlernt werden, wohingegen die Gefahr der letztgenannten Strategie in einem erhöhten Risiko des Auswendiglernens begründet liegt (vgl. Kriesel 2018, S74).

---

<sup>89</sup> Unter dem Begriff der Epoche wird die einmalige Präsentation sämtlicher Patterns einer Lesson innerhalb eines Lernschrittes verstanden (vgl. MemBrain Help, S.121).

<sup>90</sup> Für weiterführende Erläuterungen und Anwendung des Abbruchkriteriums wird auf Kapitel 5.4.2.5 verwiesen.

Da die negativen Ausstrahlungseffekte auf den Lernerfolg aufgrund einer ungünstigen Gleichverteilung der Musterpräsentation geringer eingeschätzt werden, erfolgt die Musterpräsentation in der Lernphase in einer zufälligen Reihenfolge (vgl. Alex 2013, S.102f).

#### Lernzeitpunkt (online- vs. offline-Lernen)

Ein weiterer zu berücksichtigender Parameter beschreibt den Lernzeitpunkt des Netzes ausgelöst durch die Fehlerberechnung. Je nachdem wann innerhalb des Lernalgorithmus der Fehler berechnet wird, kann zwischen online- bzw. offline-Lernen unterschieden werden (vgl. Crone 2010, S.191): Erfolgt beim online-Lernen die Korrektur der Gewichte nach jedem präsentierten Muster auf Basis der lokalen Differenz zwischen Soll- und Ist-Wert, wird die Korrektur beim offline-Lernen durch die kumulierte Betrachtung sämtlicher Fehler der Teilmuster eines Datensatzes vollzogen.

Bei einer computergestützten Anwendung besitzt offline-Lernen deutliche Vorteile, da die Implementierung einfacher und der Lernprozess im Vergleich zum online-Lernen durch weniger aufwändigere Berechnungen schneller ist (vgl. Alex 2013, S.92). Ergo findet in der Lernphase das offline-Lernen seine Anwendung.

#### Anfangsinitialisierung der Gewichte

Die optimalen Werte für die Anfangsinitialisierung der Gewichte sind mit Hinblick auf den weiteren Lernverlauf essentiell. Werden die Werte gleich 0 gesetzt, erfolgt während der Lernphase keine Änderung des spezifischen Gewichts. Werden dagegen alle Initialwerte gleich gewählt, werden während der Lernphase alle Gewichte in gleicher Weise geändert (vgl. Kiesel 2018, S.128). Beide Möglichkeiten sind für einen optimalen Lernerfolg sub-optimal. Daher empfiehlt KIESEL (2018, S.128) die Festlegung eines geeigneten, um 0 symmetrischen Intervalls für die zufällige Festlegung kleiner Initialgewichte.<sup>91</sup>

Im Anwendungsbeispiel erfolgt nur die Festlegung der Intervallgrenzen durch den Anwender selbst, wohingegen die Anfangsinitialisierung durch MemBrain automatisiert durchgeführt wird.

Basierend auf den vorangestellten Ausführungen sind in der nachfolgenden Tabelle abschließend die zu Beginn der Lernphase festgelegten Lernparameter zusammenfassend aufgeführt.

---

<sup>91</sup> Bspw. ist eine Zufallsinitialisierung in einem Intervall von  $[-0,5;0,5]$  deswegen vorteilhaft, da davon ausgegangen werden kann, dass der durchschnittliche Wert der Netzeingaben nahe 0 liegt. Berücksichtigt man ferner den Sachverhalt, dass viele gängige Aktivierungsfunktionen in diesem Bereich den steilsten Anstieg besitzen, sind somit gerade zu Beginn der Lernphase kräftige Lernimpulse zu erwarten (vgl. Kiesel 2018, S.128).

Lernparameter (Anwendungsbeispiele aus der Literatur)					
Lernrate	Momentum-Term	Kriterium für Trainingsabbruch	Reihenfolge der Musterpräsentation	Lernzeitpunkt	Anfangsinitialisierung der Gewichte
<u>konstante Lernrate</u> <b>0,5-0,6</b> (vgl. Ossen 1990, S.42) <b>1,0</b> (vgl. Lee/Ou-Yang 2009, S.2967)	<u>konstantes Momentum</u> <b>0,9</b> (vgl. Zander 2001, S.79) <b>0,8</b> (vgl. Lee/Ou-Yang 2009, S.2967) <b>0,6-0,9</b> (vgl. Kriesel 2018, S.122)	<u>Fehlerfunktion unterschreitet Schwellenwert</u> <b>0,01-0,02</b> (vgl. Eichhorn 2014, S.9)	zufällige vs. festgelegte Reihenfolge	online- vs. offline-Lernen	Intervall <b>[-0,2; 0,2]</b> (vgl. Eichhorn 2014, S.9; Lee/Ou-Yang 2009, S.2967)
<u>flexible Lernrate</u> beginnend mit $\geq 0,9$ und Reduzierung mit Trainingsfortschritt bis auf <b>0,1</b> (vgl. Eichhorn 2014, S.9; Kriesel 2018, S.118)	<u>flexibles Momentum</u> beginnend mit $\geq 0,4$ und Erhöhung mit Trainingsfortschritt (vgl. Eichhorn 2014, S.9) <u>ohne Momentum</u> (vgl. Kriesel 2018, S.122)	<u>Festlegung Kriterienkatalog mit Ablaufrangfolge</u> (vgl. Alex 2013, S.180)			
<b>flexible Lernrate</b>	<b>ohne Momentum</b>	<b>Fehlerfunktion Validierungsmenge konvergiert</b>	<b>zufällige Reihenfolge</b>	<b>offline-Lernen</b>	<b>Intervall [-0,5;0,5]</b>
<b>Festlegung KNN</b> (Entscheidungsmodell)					

Tabelle 20: Übersicht gewählter Lernparameter

Die Festlegung des anzuwendenden Lernalgorithmus und der Lernparameter erfolgt innerhalb von MemBrain mithilfe des Teacher Managers (vgl. Abbildung 58). Als Lernalgorithmus wird Resilient Backpropagation (RPROP) gewählt.<sup>92</sup> Es findet damit ein überwachtes Lernen statt (vgl. Kap.5.4.1.5). Innerhalb eines Lernschrittes wird die Lektion (Lesson) einmal (Repetitions per Lesson) vollständig durchlaufen, wobei jedes Muster einmal (Repetition per Pattern) in zufälliger Reihenfolge (Random Order) dem Netz präsentiert wird.

Die Anwendung des RPROP-Algorithmus soll nachfolgend begründend dargelegt werden. IGEL UND HÜSKEN (2000, S.115) beschreiben RPROP als „one of the best performing first-order learning methods for neural networks“. Im Gegensatz zum Standardalgorithmus der Backpropagation, der durch eine globale Gewichts Anpassung zur Reduzierung der Fehlerfunktion des Netzes charakterisiert ist, wird innerhalb des RPROP-Algorithmus eine lokale Gewichts Anpassung basierend auf dem Vorzeichen der lokalen Fehlerfunktion vollzogen (vgl. Chen & Liu 2011, S.4218f.; Riedmiller & Braun 1993, S.587). Die Anpassung der Lernrate erfolgt somit für jede Gewichtsverbindung separat und flexibel. Die Schwierigkeit der Auswahl einer optimalen globalen Lernrate durch den Anwender besteht bei diesem Algorithmus folglich nicht (vgl. Igel & Hüsken 2000, S.115). Die Vorteilhaftigkeit des RPROP-Algorithmus gegenüber anderen Verfahren der Backpropagation lässt sich anhand von drei Punkten verdeutlichen (vgl. Chen & Liu 2011, S.4218; Rey & Wender 2008, S.188; Riedmiller & Braun 1993, S.591.): Erstens kann der Prozess des Netztrainings deutlich beschleunigt werden. Zweitens kann der Algorithmus Auswirkungen einer suboptimalen Festlegung der Lernparameter innerhalb des Netztrainings besser abfedern. Dies lässt gleichzeitig die Schlussfolgerung zu, dass die Wahr-

<sup>92</sup> Der RPROP-Algorithmus wurde erstmalig von RIEDMILLER UND BRAUN (1993) vorgestellt. Spätere Modifizierungen dieses Grund-Algorithmus liefern bspw. IGEL UND HÜSKEN (2000).

scheinlichkeit ein optimales Ergebnis zu erreichen, deutlich erhöht wird. Drittens entspricht die lokale Anpassungsstrategie besser dem natürlichen Prozess des neuronalen Lernens (vgl. Riedmiller & Braun 1993, S.586f.).

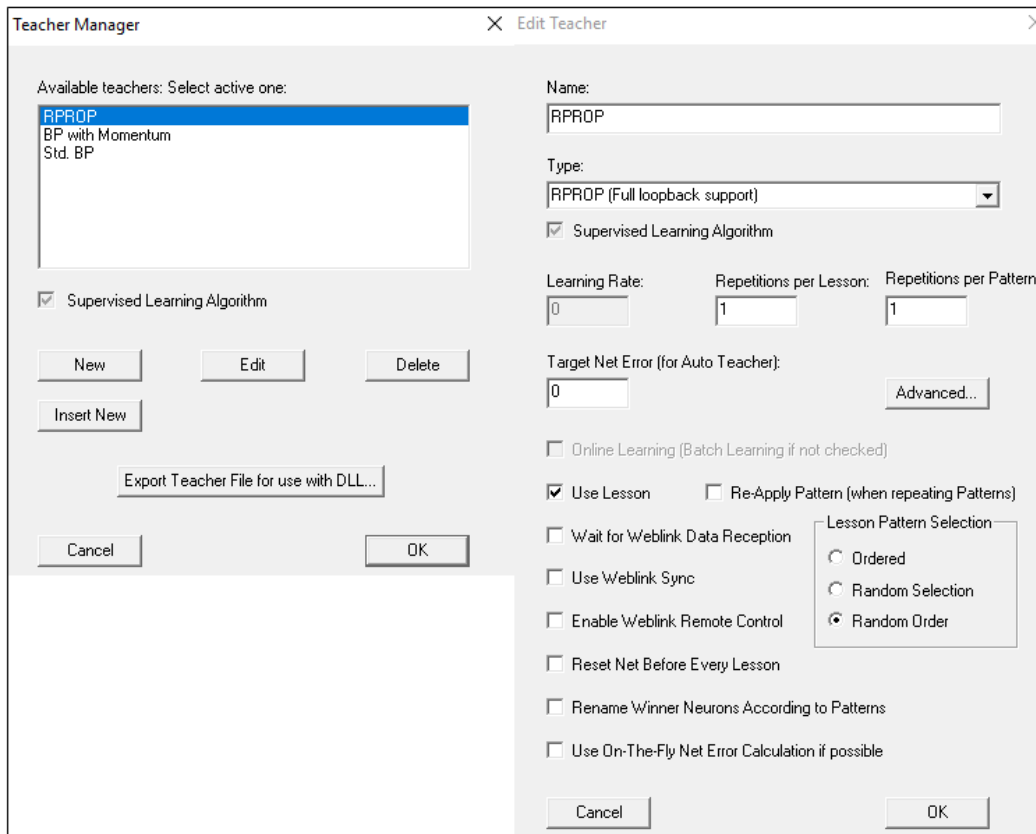


Abbildung 58: Festlegung von Lernalgorithmus und Lernparameter mithilfe des Teacher Managers<sup>93</sup>

#### 5.4.2.5 Netztraining

Bisher wurde die Netztopologie gewählt, geeignete Lernparameter festgelegt und aus der Gesamtheit der vorliegenden Datensätze eine Trainings- und Validierungs- sowie Testmenge skaliertes Datensätze bestimmt. Somit sind nun alle Voraussetzungen erfüllt, um mit dem Netztraining mittels Einsatz des RPROP-Algorithmus beginnen zu können.

Das Netztraining kann idealisiert als ein zweistufiger Prozess verstanden werden, bestehend aus einer Lern- und einer Testphase. Im hier zur Anwendung kommenden Trainingsprozess werden Lern- und Testphase parallel durchlaufen.

Während der **Lernphase** erfolgt durch die Präsentation bestehender Problem-Lösungs-Paare (Patterns) der Trainings-Lesson das eigentliche Training des KNN mit der Zielstel-

<sup>93</sup> Für die detaillierte Erläuterung sämtlicher Einstellungsmöglichkeiten des Teacher Editors wird auf die Ausführungen von REY UND WENDER (2008, S.187ff.) und auf das im Downloadbereich unter [www.membrain-nn.de](http://www.membrain-nn.de) zur Verfügung stehende Handbuch MemBrain Help (S.139ff.) verwiesen.

lung, durch eine schrittweise Gewichtsmodifizierung die aus der summierten quadratischen Soll-Ist-Abweichung (Squared Deviation) resultierende Fehlerfunktion der Netzsimulation zu minimieren. Als Folge dieses Lernprozesses ist das KNN zukünftig in der Lage ähnliche Probleme trotz nicht vollständiger Informationen selbstständig lösen zu können (vgl. Bodendorf 2006, S.182f.; Heuer 1997, S.35).

Im Gegensatz zur Lernphase erfolgt innerhalb der **Testphase** keine weiterführende Modifizierung der Gewichte (vgl. Rey & Wender 2008, S.30). Ziel der Testphase ist es, durch das Präsentieren bisher für das Netz unbekannter Datenpaare der Validierungsmenge den Lernerfolg unter Berücksichtigung der erforderlichen Approximations- und Generalisierungsfähigkeit des Netzes beurteilen zu können. Die so aus der Testphase ableitbare Ergebnismenge dient der Entscheidungsfindung, zu welchem Zeitpunkt die Lernphase abgebrochen werden kann (vgl. Heuer 1997, S.35), um das erläuterte Over- bzw. Underfit des Netzes zu verhindern (vgl. Kap.5.4.2.1).

Der optimale Punkt für den Trainingsabbruch ist dann gegeben, wenn das KNN einerseits hinreichend genaue Ergebnisse liefert, also die Soll-Ist-Abweichung möglichst gering ist, und andererseits eine hinreichend große Verallgemeinerungsfähigkeit des Netzes für die Anwendung unbekannter Datensätze vorliegt (vgl. Rojas 2013, S.175).

Laut BODENDORF (2006, S.187) kann das Interesse nicht darin liegen, den Netzfehler im Rahmen der Lernphase gänzlich auf 0 zu reduzieren. Dies ist mit der perfekten Approximationsfähigkeit des KNN an die präsentierten Lernbeispiele gleichzusetzen, aus der eine deutlich verminderte Qualität der Generalisierungsfähigkeit des Modells hinsichtlich neuer bisher durch das Netz nicht trainierter Eingabewerte bei der späteren Modelanwendung resultiert.

Die Durchführung eines jedem Lernzyklus<sup>94</sup> nachgelagerten Testzyklus dient somit der Überprüfung, inwieweit das Netz auf Basis der erlernten Gewichte in der Lage ist, die gewünschte Sollausgabe hinreichend gut zu reproduzieren (vgl. Bodendorf 2006, S.187; Kohlhase 1997, S. 107; Zander 2001, S.71).

Die Bestimmung des Zeitpunktes für den Trainingsabbruch folgt dem von BODENDORF (2006, S.187) beschriebenen Prozess (vgl. Abbildung 59): „Nach jedem Lernzyklus wird mithilfe der nicht gelernten, dem Netz unbekanntem Validierungsmenge ein bzgl. des Lernfortschritts aussagekräftiger Netzfehler  $[E(z)]$  ermittelt. Die Lernphase ist beendet, wenn dieser Netzfehler sein Minimum überschritten hat und aufgrund einer Überanpassung an die Trainingsmenge wieder anzusteigen beginnt. Die optimale Konfiguration des Neuronalen Netzes ist zu dem Zeitpunkt  $[z_{opt}]$  erreicht, zu dem der mithilfe der Validierungsmenge abgeleitete Netzfehler minimal ist  $[E_{val,min}(z_{opt})]$ “ (vgl. auch Lukassek 2004, S.72).

---

<sup>94</sup> Die Begrifflichkeiten Lernzyklus und Lernschritt werden in dieser Arbeit simultan verwendet.

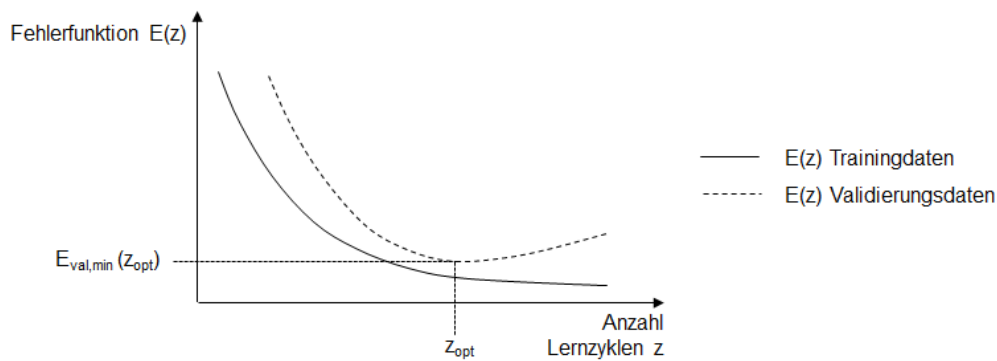
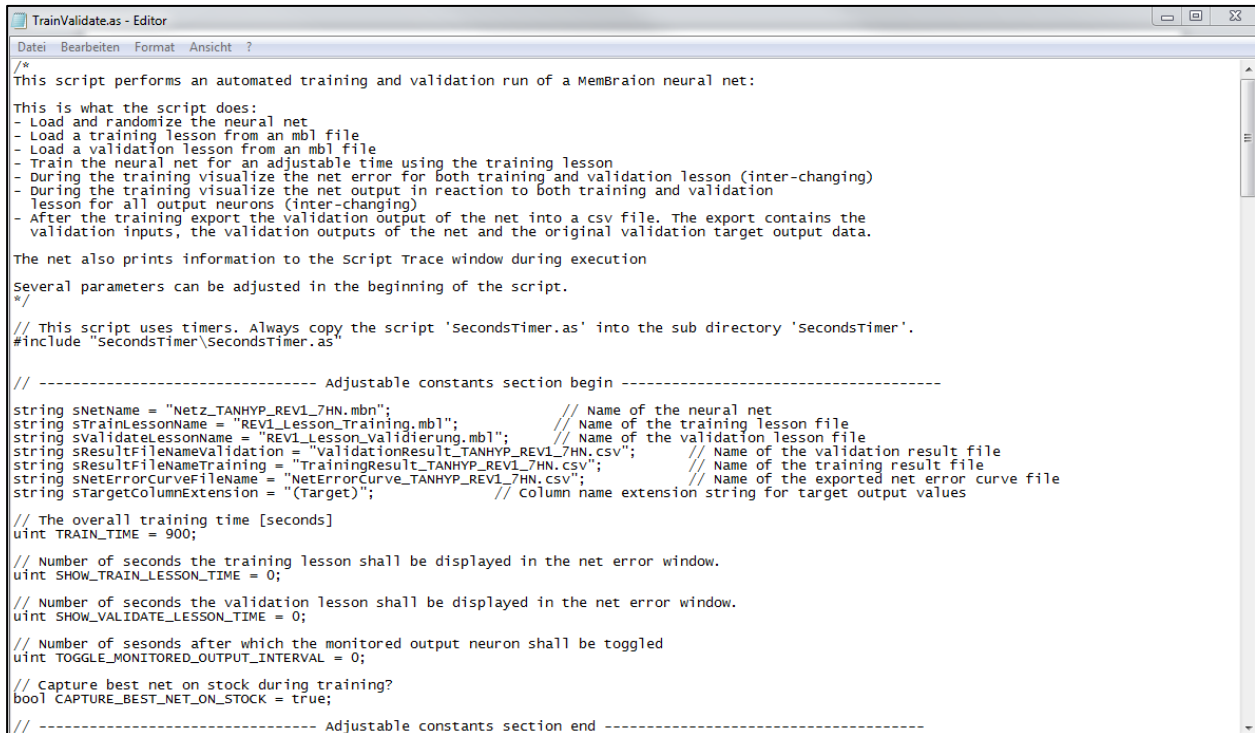


Abbildung 59: Bestimmung Optimum für Trainingsabbruch in Abhängigkeit der Fehlerfunktion  
 Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Bodendorf (2006, S.18) und Zander (2001, S.65)

Mit Bezug auf den Prozess des Netztrainings zeigt sich durch die Möglichkeit des Einsatzes eines vordefinierten Trainingskriptes abermals die Vorteilhaftigkeit von MemBrain. Durch die Anwendung des Skriptes TrainValidate wird dem Anwender ermöglicht, für eine zu definierende Zeitperiode ein automatisiertes Netztraining mit simultan stattfindender Trainings- und Testphase durchlaufen zu lassen. Dabei wird die Reaktion des Netzes sowohl auf die Trainings- als auch auf die Validierungsdaten visualisiert. Nach Beendigung des Trainings werden die Soll-Ist-Abweichungen und der korrespondierende Netzfehler für jeden Lernzyklus in eine Excel-basierte CSV-Datei für die nachgelagerte Detailauswertung übertragen. Zusätzlich wird das beste Netz mit dem minimalen Validierungsfehler  $E_{val,min}$  am Ende des Trainingsvorgangs automatisch im Net Stock gespeichert. Dadurch kann nachträglich der Zeitpunkt  $z_{opt}$  für die optimale Anzahl benötigter Lernzyklen bestimmt werden.

Entsprechend der gewählten Netzarchitekturen (vgl. Abbildung 52) mit einer Anzahl von zwei bis sieben bzw. vier bis vierzehn verdeckten Neuronen (vgl. Kap. 5.4.2.1) wurde das Skript mit jeweils modifizierter Netzarchitektur sechs Mal ausgeführt. Die Dauer eines jeden Trainings betrug fünfzehn Minuten. Diese Trainingsdauer erwies sich für alle Netzvarianten als ausreichend, da innerhalb dieser Zeitperiode das gewählte Kriterium für den Trainingsabbruch erreicht wurde (vgl. Abbildung 59).

Die prozessuale Funktionsweise des Skriptes sowie die modifizierbaren Einstellungen sind für den Trainingsdurchlauf eines Netzes (Strukturvariante A, sieben verdeckten Neuronen, Tangens Hyperbolicus Funktion (Tanh)) in Abbildung 60 exemplarisch dargestellt.



```

TrainValidate.as - Editor
Datei Bearbeiten Format Ansicht ?
/*
This script performs an automated training and validation run of a MemBraion neural net:

This is what the script does:
- Load and randomize the neural net
- Load a training lesson from an mbl file
- Load a validation lesson from an mbl file
- Train the neural net for an adjustable time using the training lesson
- During the training visualize the net error for both training and validation lesson (inter-changing)
- During the training visualize the net output in reaction to both training and validation
  lesson for all output neurons (inter-changing)
- After the training export the validation output of the net into a csv file. The export contains the
  validation inputs, the validation outputs of the net and the original validation target output data.

The net also prints information to the script Trace window during execution

Several parameters can be adjusted in the beginning of the script.
*/
// This script uses timers. Always copy the script 'SecondsTimer.as' into the sub directory 'SecondsTimer'.
#include "SecondsTimer\SecondsTimer.as"

// ----- Adjustable constants section begin -----
string sNetName = "Netz_TANHYP_REVI_7HN.mbn"; // Name of the neural net
string sTrainLessonName = "REVI_Lesson_Training.mbl"; // Name of the training lesson file
string sValidateLessonName = "REVI_Lesson_Validierung.mbl"; // Name of the validation lesson file
string sResultFilenameValidation = "validationResult_TANHYP_REVI_7HN.csv"; // Name of the validation result file
string sResultFilenameTraining = "trainingResult_TANHYP_REVI_7HN.csv"; // Name of the training result file
string sNetErrorCurveFilename = "NetErrorCurve_TANHYP_REVI_7HN.csv"; // Name of the exported net error curve file
string sTargetColumnExtension = "(target)"; // column name extension string for target output values

// The overall training time [seconds]
uint TRAIN_TIME = 900;

// Number of seconds the training lesson shall be displayed in the net error window.
uint SHOW_TRAIN_LESSON_TIME = 0;

// Number of seconds the validation lesson shall be displayed in the net error window.
uint SHOW_VALIDATE_LESSON_TIME = 0;

// Number of seconds after which the monitored output neuron shall be toggled
uint TOGGLE_MONITORED_OUTPUT_INTERVAL = 0;

// capture best net on stock during training?
bool CAPTURE_BEST_NET_ON_STOCK = true;

// ----- Adjustable constants section end -----

```

Abbildung 60: Funktionsbeschreibung und modifizierbare Einstellungen des Skriptes TrainValidate

#### 5.4.2.6 Zusammenfassende Ergebnisdarstellung des Trainingsprozesses

Nachdem das Training des KNN im vorangestellten Abschnitt vorrangig prozessual beschrieben wurde, liegt der inhaltliche Schwerpunkt dieses Abschnitts in der Darstellung der zentralen Ergebnisse des Netztrainings und der hieraus resultierenden strukturellen Ableitung des Entscheidungsmodells.

An dieser Stelle seien nochmals die Erläuterungen aus Kapitel 5.4.2.1 in Erinnerung gerufen. Ein erfolgreiches Netztraining ist dann gewährleistet, wenn das Netz sowohl hinsichtlich seiner Approximations- als auch seiner Generalisierungsfähigkeit zufriedenstellende Ergebnisse liefert. Hierzu wurde in Kapitel 5.4.2.5 ein Abbruchkriterium für das Netztraining erläutert, aus dem das am besten trainierte Netz bezogen auf das optimale Verhältnis zwischen Approximations- und Generalisierungsfähigkeit abgeleitet werden kann. Basierend auf diesem Abbruchkriterium ist das optimale Netztraining genau dann erreicht, wenn die Fehlerfunktion der Validierungsdaten ihr Minimum einnimmt.

		Externe Netztopologie			
		Strukturvariante A		Strukturvariante B	
		Anzahl verdeckter Neuronen	Netzfehler Validierungsdaten $E_{val,min}(z_{opt})$	Anzahl verdeckter Neuronen	Netzfehler Validierungsdaten $E_{val,min}(z_{opt})$
Interne Netztopologie	Log – Funktion	2	0,00472437394962114	2x2	0,00465481344631986
		3	0,00465666042996291	3x3	0,00460719439499664
		4	0,00454695184907140	4x4	0,00458866409076942
		5	0,00444663449095921	5x5	0,00443270221570052
		6	0,00459859147057418	<b>6x6</b>	<b>0,00423769589126154</b>
		7	<b>0,00436424393271220</b>	7x7	0,00457722719277272
		Tanh – Funktion	2	0,00475324264003225	2x2
	3		0,00472172052376696	3x3	0,00457375060730979
	4		0,00458709876335150	4x4	0,00447203237875757
	5		0,00449345516681035	5x5	0,00447146727697612
	6		0,00448697604169679	<b>6x6</b>	<b>0,00438897957671705</b>
	7		<b>0,00443546351265660</b>	7x7	0,00453010609650137

Abbildung 61: Netzfehler zum Zeitpunkt des optimalen Trainingsabbruchs  $z_{opt}$

Abbildung 61 stellt die Ergebnisse des Netztrainings in Abhängigkeit der gewählten Netztopologie zusammenfassend dar. Hieraus lassen sich drei Erkenntnisse ableiten:

- 1) Bei der Wahl der optimalen Netzstruktur müssen interne und externe Netztopologie immer simultan berücksichtigt werden, wobei die Vorteilhaftigkeit der jeweiligen Kombinatorik in Abhängigkeit der Problemstellung zu betrachten ist.
- 2) Unabhängig von der betrachteten Strukturvariante liegt der Wert der Fehlerfunktion des besten Netzes im Optimum bei Netzen mit Log-Aktivierungsfunktion unterhalb des besten Netzes mit Tanh-Aktivierungsfunktion (vgl. Kap.5.4.2.1). Hieraus wird geschlussfolgert, dass für das gegebene Anwendungsbeispiel die Selektion der Log-Aktivierungsfunktion als vorteilhafter zu bewerten ist.
- 3) Bei gleicher Aktivierungsfunktion weist das beste Netz der Strukturvariante B im Vergleich zur Strukturvariante A ein kleineres Minimum der Fehlerfunktion auf. Dies lässt vermuten, dass die Selektion von Strukturvariante B die Anpassungsfähigkeit eines Netzes aufgrund der höheren Anzahl verdeckter Neuronen verbessert.

Aus dem über alle Netzvarianten übergreifend erzielten Minimum der Fehlerfunktion kann abgeleitet werden, dass ein Netz der Strukturvariante B mit zwölf (6x6) Neuronen in der verdeckten Schicht und einer Logistischen Aktivierungsfunktion die besten Ergebnisse generiert. Das dem Entscheidungsmodell zugrunde liegende optimale KNN ist nachfolgend in Abbildung 62 dargestellt.

Stark negative Verbindungsgewichte und Aktivierungszustände der Neuronen sind durch eine blaue, stark positive Verbindungsgewichte durch eine rote und nah bei Null liegende Systemzustände durch eine graue Färbung der Kanten bzw. Knoten visualisiert (vgl. Rey & Wender 2008, S.191).

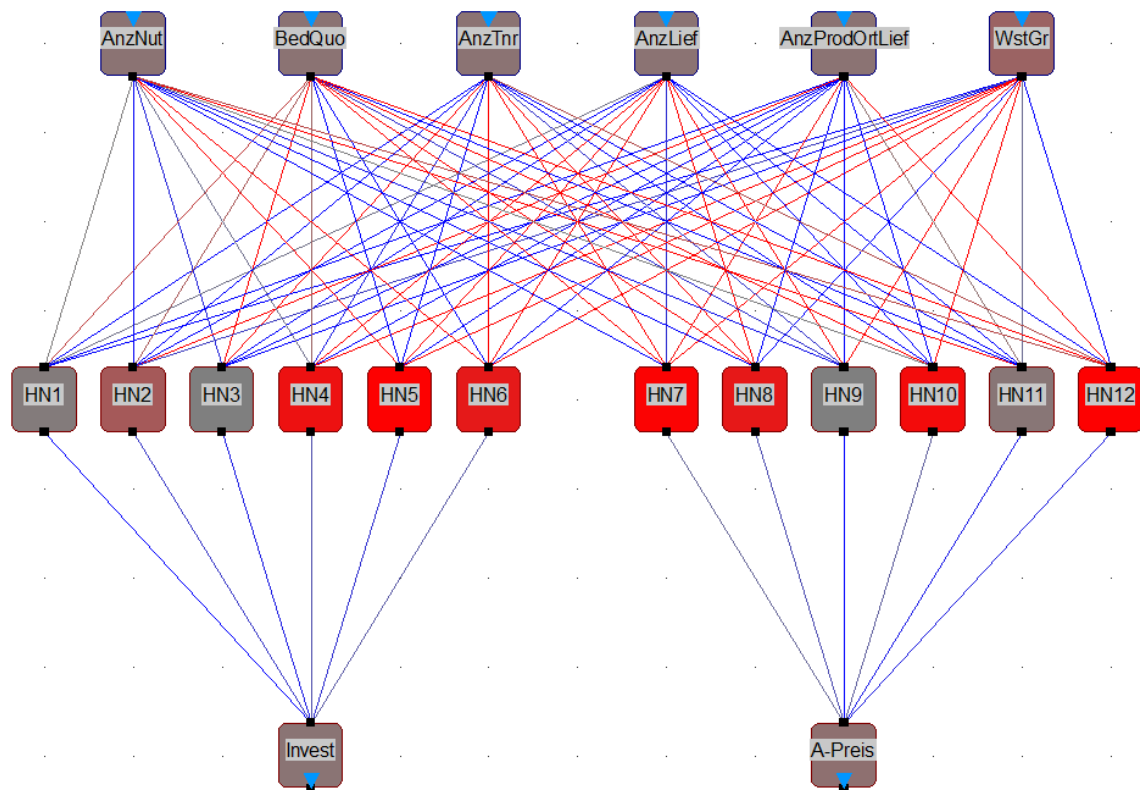


Abbildung 62: Finale externe Netztopologie des Entscheidungsmodells

Zur abschließenden Beantwortung der Fragestellung nach den inkludierten kennzahlenbasierten Wirkungszusammenhängen zwischen den einzelnen Modellvariablen seien an dieser Stelle nochmals drei wichtige Erkenntnisse zum Aufbau und zur Funktionsweise von KNN in Erinnerung gerufen (vgl. Kap. 5.4.1.2 und 5.4.1.3).

Erstens speichert ein KNN sein Wissen über die erlernten Wirkungszusammenhänge der inkludierten INPUT-OUTPUT-Beziehung durch die spezifische Wichtung der neuronalen Verbindungen. Zweitens wird die Intensität der Signalweiterleitung innerhalb des KNN über die Größe dieser Verbindungsgewichte wiedergespiegelt. Drittens sind die Gewichte vorzeichenbehaftet. Positive Gewichte führen zu einer verstärkenden, negative Gewichte zu einer reduzierenden Signalintensität zwischen Quell- und Zielneuron.

Hieraus ableitend erfolgt die Analyse der zwischen den Modellvariablen existierenden Wirkungszusammenhänge durch die detaillierte Betrachtung der aus dem abgeschlossenen Lernprozess resultierenden Netzgewichte. Ausgangspunkt der Analyse bildet die in Tabelle 21 dargestellte Gewichtsmatrix zum Zeitpunkt des Trainingsoptimums.

Gewichtsmatrix Invest		Neuron Signaleingang						
		HN1	HN2	HN3	HN4	HN5	HN6	Invest
Neuron Signalausgang	AnzNut	0.0086973803	-0.9394422167	-0.7200848322	-0.1249222475	4.0395367687	2.4914975876	
	BedQuo	0.5073887428	0.3285425553	2.0494240277	0.2215621494	-5.5237486142	-2.3213293197	
	AnzTnr	-1.5513871426	-4.0675134932	13.7367926257	-0.8010273782	-17.7815786945	10.9169900823	
	AnzLief	-0.0877661149	-1.1690000576	-14.4776610530	4.3338577128	35.3285660276	9.3797671759	
	AnzProdOrtLief	-1.3268923739	3.7387756765	-4.1342601273	-4.3426069659	-13.4876901121	-26.2946227519	
	WstGr	-5.4047558049	-0.5130621901	-7.5537397365	20.6639261593	6.3375706639	2.3396682911	
	HN1							-3.1213412230
	HN2							-0.5738859265
	HN3							-0.7898653234
	HN4							-0.3761386412
	HN5							-0.6423764680
	HN6							-0.3002069430
Gewichtsmatrix A-Preis		Neuron Signaleingang						
		HN7	HN8	HN9	HN10	HN11	HN12	A-Preis
Neuron Signalausgang	AnzNut	-6.0410242448	-1.5076691384	-0.8400478963	-0.0115903001	1.8798131406	0.4447325214	
	BedQuo	8.9564585373	9.0134632381	-0.6336109720	47.9465518610	-2.5667947866	11.3750258853	
	AnzTnr	1.2597239369	1.8309571608	-0.5954424075	-6.2228542477	-7.8538080793	0.3994311955	
	AnzLief	-0.6508562676	6.6813636787	2.0007257620	-4.6125887167	-2.5761494803	-16.0204482242	
	AnzProdOrtLief	0.9279316494	-8.2301586123	-6.4799784760	-1.0228728615	0.1184367267	35.8776929904	
	WstGr	1.0730574565	-1.3293911259	7.6276702273	11.7398689623	-0.1554776208	-11.5966677637	
	HN 7							-0.1993159175
	HN 8							-0.3983850988
	HN 9							-1.0932781800
	HN10							-0.2477128323
	HN11							-0.8232262242
	HN12							-0.7704045223

Tabelle 21: Gewichtsmatrix des besten Netzes zum Zeitpunkt des Trainingsoptimums

Die Identifikation der Wirkungszusammenhänge erfolgt in einem zweiten Analyseschritt. Dieser wird an die Analyse des kritischen Pfads angelehnt, welche häufig bei der Nutzung von Pfaddiagrammen zur Anwendung kommt.

Die dem Analyseprozess zugrunde liegende Überlegung lautet, dass sich die Wirkungsintensität einer Gestaltungs- bzw. Ordnungsvariable auf die Erfolgsvariable durch den über die Verbindungsgewichte weitergeleiteten Signalanteil des Netzinputs definiert. Hierzu wird zuerst für jeden Pfad zwischen einem spezifischen Eingabe- und Ausgabe-neuron das Produkt der Verbindungsgewichte mit dem Wert der Aktivierungsfunktion des für die Signalweiterleitung zuständigen verdeckten Neurons gewichtet. Anschließend werden die Produkte der einzelnen Pfade aufsummiert.

	Invest	A-Preis
AnzNut	-2,2151249374	0,8358468905
BedQuo	0,7708188977	-23,2105759078
AnzTnr	4,7728900886	7,3696931318
AnzLief	-14,7600189415	10,8861974517
AnzProdOrtLief	23,4529871660	-17,3062183380
WstGr	10,5849713135	-1,8694308881

Tabelle 22: Matrix der kennzahlenbasierten Wirkungszusammenhänge

Aus den in Tabelle 22 dargestellten Ergebnissen lassen sich bezogen auf die zwischen den Modellkennzahlen existierenden Wirkungszusammenhänge folgende signifikante Erkenntnisse ableiten:

- 1) Die Höhe der Investitionen (Invest) wird primär von der Anzahl nominierter Lieferanten (AnzLief) sowie der Anzahl an Produktionsstandorten der Lieferanten (AnzProdOrtLief) und der Werkstoffgruppe (WstGr) bestimmt.  
Folglich muss attestiert werden, dass die Werkstoffgruppe neben der Ordnungsfunktion bezogen auf die Erfolgsvariable der Investitionen zusätzlich eine wichtige Gestaltungsfunktion besitzt. Der hohe Einfluss der Werkstoffgruppe kann damit begründet werden, dass über die Werkstoffgruppe maßgeblich auch die Komplexität der in der Werkstoffgruppe zusammengefassten Bauteile definiert ist. Geht man ferner davon aus, dass mit steigender Komplexität eines Bauteils auch dessen Fertigungsaufwand und somit letztlich die Investitionen steigen, ist der hohe Einfluss der Werkstoffgruppe nachvollziehbar.
- 2) Bezogen auf die Erfolgsvariable der direkten bauteilbezogenen Einzelkosten (A-Preis) ist feststellbar, dass das Vergabevolumen (BedQuo) den mit Abstand größten Wirkungseffekt besitzt. In Analogie zu den Investitionen gehören auch bei den Einzelkosten die Anzahl der Lieferanten (AnzLief) sowie deren Anzahl an Produktionsstandorten (AnzProdOrtLief) zur Gruppe der drei Gestaltungsvariablen mit der höchsten gewichtsbasierten Wirkungsintensität.  
Auch wenn dies auf den ersten Blick überraschend erscheint, so ist die ermittelte Wirkungsintensität mit dem bereits in den Abschnitten 3 und 4 diskutierten Effekt der Volumenbündelung zu begründen. Grundsätzlich besitzt eine Bündelungsstrategie ein hohes Kostensenkungspotential. Gleichzeitig wurde gezeigt, dass es vor dem Hintergrund der Risikominimierung strategisch nicht sinnvoll ist, ein großes Volumen allein auf einen Lieferanten zu konzentrieren. Folglich resultiert aus einem steigenden Bedarfsvolumen der Zwang zur Erhöhung der Lieferantenzahl. Geht man hypothetisch ferner davon aus, dass trotz steigenden Volumens die Anzahl der Lieferanten konstant gehalten werden soll, ist der Lieferant bei begrenzter Produktionskapazität gezwungen seine Anzahl der Produktionsstandorte zu erhöhen. Die Argumentation verdeutlicht, dass die identifizierte Rangfolge der Wirkungsintensität, nicht zuletzt auch aufgrund der inkludierten Komplexitätswirkung der Modellvariablen, damit auch für die Erfolgsgröße der Einzelkosten als valide angenommen werden kann.
- 3) Basierend auf den vorangestellten Ausführungen besitzen sowohl die Einflussgrößen der Lieferantenzahl (AnzLief) als auch deren Anzahl an Produktionsstandorten (AnzProdOrtLief) auf beide Erfolgsvariablen einen hohen Einfluss und müssen im Rahmen strategischer Entscheidungen hinsichtlich ihrer Kosten- und Komplexitätswirkung intensiv diskutiert werden.
- 4) Durch die Theorie- und Praxisanalyse konnte die hohe Komplexitätswirkung der Modellvariable Teilenummernanzahl (AnzTnr) als primärer Variantentreiber herausgearbeitet werden. Im Gegensatz dazu ist durch die Ergebnisse des Netztrainings das Phänomen feststellbar, dass sich die hohe Komplexitätswirkung nicht in ähnlicher Intensität auch in der Kostenwirkung widerspiegelt.

- 5) Aus der separierten Betrachtung der Vorzeichen sind keine schlüssigen Aussagen über das inkludierte Wirkungsverhalten der Einflussgrößen bzgl. einer verstärkenden oder hemmenden Wirkung auf die Erfolgsvariablen ableitbar. Auswirkungen durch etwaige Änderungen einer Gestaltungsvariable sind unter Berücksichtigung möglicher Ausstrahlungseffekte auf andere Gestaltungsvariablen daher immer kontextbezogen für den spezifischen Anwendungsfall zu eruieren.

Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass anhand der Ergebnisse aus der Modellkonzeptionierung das entwickelte Kennzahlensystem und die hierdurch unterstellten Wirkungszusammenhänge zwischen den abgeleiteten Modellvariablen nachgewiesen werden konnten. Die Analyse zeigte weiterhin, dass zwischen der Wirkungsintensität der Gestaltungsvariablen markante Unterschiede existieren. Da die Gestaltungsvariablen neben der Kostenwirkung auch gleichzeitig eine Komplexitätswirkung besitzen, dürfen weniger dominante Variablen jedoch nicht vernachlässigt werden. Die Anwendung des Entscheidungsmodells sollte folglich immer im Kontext einer ganzheitlichen Betrachtung der Gestaltungsvariablen erfolgen, um aus den Modellergebnissen belastbare strategische Entscheidungen ableiten zu können.

#### 5.4.2.7 Finale schematische Darstellung des Entscheidungsmodells

Die Zielstellung von Abschnitt 5 lag in der Konzeption eines Entscheidungsmodells, welches der Beschaffung ermöglicht, die aus der Anwendung modularer Baukästen resultierenden Effekte hinsichtlich einer komplexitätsoptimierenden Beschaffungsstrategie gezielter auszuschöpfen und gleichzeitig die Prognosefähigkeit der Kosten-Nutzen-Wirkung beschaffungsstrategischer Entscheidungen im Umgang mit modularen Baukästen zu verbessern.

Hierzu wurden in einem ersten Schritt relevante Modellvariablen identifiziert und ein Kennzahlensystem abgeleitet. Basierend auf diesem Kennzahlensystem erfolgte anschließend der Aufbau eines KNN. Durch den nachgelagerten Lernprozess des KNN war es möglich die Modellvariablen in ein Beziehungskonstrukt zu integrieren sowie die inkludierten Wirkungszusammenhänge zu analysieren.

Bezug nehmend auf die in Kapitel 5.1 dargelegte Grundidee stellt Abbildung 63 das finale Layout des Entscheidungsmodells als Ergebnis des Konzeptionierungsprozesses schematisch dar.

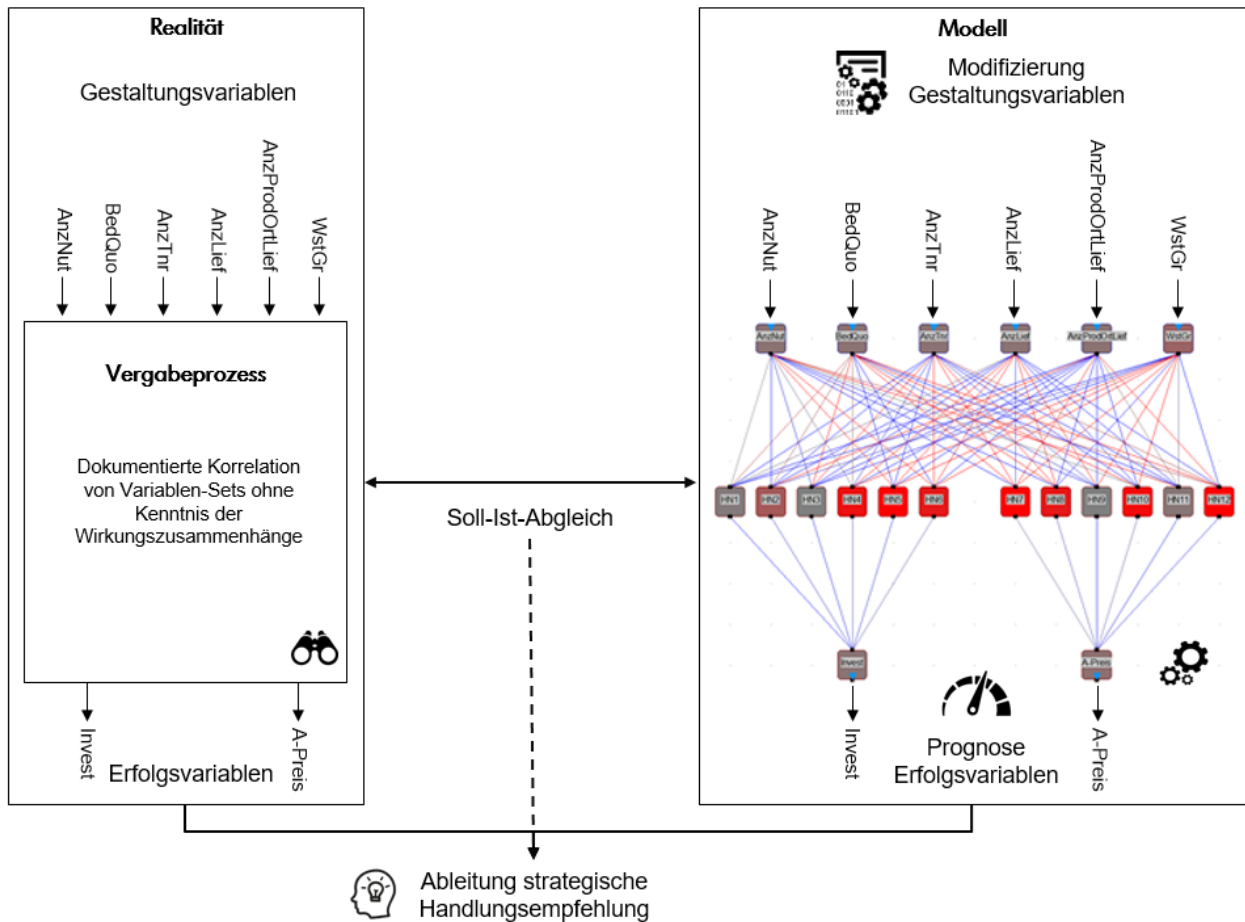


Abbildung 63: Schematische Darstellung des Entscheidungsmodells

Um dem anwendungsorientierten Forschungsansatz dieser Arbeit gerecht zu werden, wird in Abschnitt 6 durch Aufbau eines Demonstrators anhand eines gewählten Anwendungsbeispiels das Entscheidungsmodell hinsichtlich seiner Praxistauglichkeit im Detail untersucht. Der Fokus der anschließenden Ergebnisanalyse liegt dabei in der Ableitung von Handlungsempfehlungen hinsichtlich einer komplexitätsoptimierenden Ausrichtung der Beschaffungsstrategie bei der Anwendung modularer Baukästen.

### 5.5 Verifizierung der Eignung von KNN für den Prozess der Modellkonzeption

Kernziel der Verifizierung ist die Beantwortung der Frage, inwieweit der konzipierte Prozessansatz zur Lösung des zugrunde liegenden Realproblems herangezogen werden kann.

Ob ein Modellkonzept zur Lösung einer bestehenden Problemstellung geeignet ist, hängt, unter Beachtung spezifischer Limitationen der Exaktheit, nicht allein von der Ergebnisgüte ab. Vielmehr müssen auch weiterführende Kriterien bei der Bewertung Berücksichtigung finden. Eine hierfür sehr vielversprechende Aufstellung liefert ALEX (2013, S. 264), der zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit von KNN die Kriterien Ergebnisgüte und Bear-

beitungsdauer als ergebnisorientierte Bewertungskriterien sowie Flexibilität, Bedienbarkeit und Integrationsfähigkeit als allgemeine Bewertungskriterien heranzieht. Zusätzlich erscheint ergänzend die Betrachtung eines ergebnisorientierten Transparenzkriteriums sinnvoll, da gerade die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse zur Unterstützung bei strategischen Managemententscheidungen essentiell ist (vgl. Stölzle 2007, S.200).

Basierend auf den ableitbaren Erkenntnissen des Konzeptionierungsprozesses wird nachfolgend die Vor- bzw. Nachteilhaftigkeit von KNN für die Eignung der Modellkonzeption bezogen auf die genannten Beurteilungskriterien diskutiert.

Um eine Aussage über die **Ergebnisgüte** des Modells treffen zu können, sei an dieser Stelle an die Ausführungen zum Zielkonflikt zwischen dem optimalen Verhältnis von Approximations- und Generalisierungsfähigkeit eines KNN (vgl. Kap. 5.4.2.1) sowie den hieraus ableitbaren optimalen Zeitpunkt des Trainingsabbruchs erinnert (vgl. Kap.5.4.2.5). Resultierend hieraus muss dem KNN bezogen auf die Exaktheit der durch das gelernte Netz prognostizierten Werte zwar eine eingeschränkte Eignung attestiert werden. In der Realität beruht die Ableitung strategischer Entscheidungen jedoch auch in hohem Maß auf qualitativen Tendenzaussagen. Genau hier liegt, hervorgerufen durch das Zusammenwirken von Approximations- und Generalisierungsfähigkeit, die große Vorteilhaftigkeit von KNN.

Ein weiter positiver Effekt hinsichtlich der Ergebnisgüte generiert sich aus dem induktiven Charakter des Lernprozesses. Grund hierfür ist, dass die aus den Ergebnissen des KNN ableitbaren Entscheidungen gegenüber einer reinen Expertenentscheidung ein deutlich geringeres Maß an Subjektivität aufweisen, da die Entscheidungsgüte vorrangig von der Vollständigkeit und Güte der Trainingsdaten abhängig ist (vgl. Schneider 1993, S.6). Unter der Voraussetzung einer vollständigen, detaillierten und hinreichend repräsentativen Datenbasis können aus KNN ableitbare Entscheidungen somit häufig eine auf ausschließlichem Expertenwissen basierende Entscheidung qualitativ übertreffen (vgl. Schneider 1993, S.6).

Wird ein Konzeptionierungsprozess durch den Anwender angestrebt, der durch ein sehr hohes Maß an **Transparenz** charakterisiert ist, kann die Eignung von KNN nur eingeschränkt empfohlen werden. Ursächlich hierfür ist die nur bedingte Realisierung einer transparenten Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse. In Abhängigkeit der Zusammensetzung der Zufallsstichprobe von Trainings- und Validierungsmenge, der zufälligen Initialisierung der Startgewichte und der zufälligen Präsentationsreihenfolge der Muster innerhalb des Trainings liefert ein KNN aufgrund der inkludierten Robustheit zwar vergleichbare nicht aber identische Ergebnisse. Hierzu stellt ALEX (2013, S.273) fest, dass sich die Ergebnisse „nicht explizit anhand von formalen Kriterien überprüfen und validieren lassen“ sondern „lediglich eine Überprüfung der Validität anhand von verfügbaren Beispielen [Validierungsmenge] durchgeführt werden“ kann.

Um die nachteiligen Effekte der limitierten Transparenz bezogen auf die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse zu minimieren, sollte die Erstellung der dem Lernprozess zugrunde liegenden Datenbasis anhand eines detaillierten und vor allem transparenten Prozesses erfolgen. Durch einen hohen Detaillierungsgrad erhöht sich gleichzeitig auch die **Bearbeitungsdauer**, da davon ausgegangen werden kann, dass der Grad der Datenaufbereitung und der hierfür benötigte Zeitbedarf positiv korreliert sind. Gleiches gilt für die Größe der Datenbasis und die Bearbeitungsdauer.

Weiterhin ist zu betonen, dass die Ergebnislänge des Netzes hochgradig von der Güte der präsentierten Datenmuster abhängt. Die Anwendung eines KNN erfordert somit eine ständige Pflege und Erweiterung der Datenbasis sowie deren Anpassung (Skalierung) an die erforderliche Netztopologie.

Im Gegensatz dazu nimmt der Software gestützte Lernprozess nur einen geringen Zeitbedarf in Anspruch. Aufgrund des geringen Rechenaufwands kann das Netztraining im PC als Hintergrundprozess ablaufen, wodurch parallele Tätigkeiten durch den Anwender ausgeübt werden können.

Vorteilhaft ist weiterhin die innerhalb der Anwendungsphase direkte Ergebnisbereitstellung, aus der ohne weiteren Zeitversatz strategische Handlungsempfehlungen ableitbar sind.

Ein großer Vorteil in der Anwendung von KNN liegt in der hohen **Flexibilität** des Entscheidungsmodells. Durch einen andauernden Lernprozess des Netzes durch die zusätzliche Präsentation neuer, dem Netz unbekannter Datenmuster, kann eine dynamische Anpassungsfähigkeit des Modells an sich stetig ändernde Rahmenbedingungen sichergestellt werden.

Die Flexibilität spiegelt sich auch in der möglichen Integration neuer Modellkennzahlen wider. Dadurch ist das Modellkonzept nicht allein auf den im Rahmen dieser Arbeit fokussierten Unternehmensbereich der Beschaffung limitiert, sondern lässt sich auch auf andere Unternehmensbereiche bzw. abweichende Problemstellungen transferieren.

Es muss hervorgehoben werden, dass sich KNN nur bis zu einem gewissen Grad flexibel anpassen können, ohne dass dadurch die Ergebnislänge negativ beeinflusst wird. Neue Problemstellungen oder aber deutlich geänderte Rahmenbedingungen erfordern daher immer eine Anpassung der Datenbasis, der Netztopologie und einen neu zu durlaufenden Lernprozess.

Bezogen auf die Eignung von KNN hinsichtlich des allgemeinen Bewertungskriteriums der **Bedienbarkeit** ist anzumerken, dass dem interessierten Anwender verschiedene Programme zur Auswahl stehen, die den Einsatz von KNN bei der spezifischen Problemstellung erleichtern. Die im Rahmen dieser Arbeit eingesetzte Simulationssoftware MemBrain zeichnet sich aufgrund der grafischen Oberfläche sowie der umfangreichen Hilfsfunktion durch eine leichte Bedienbarkeit aus, wodurch der Einarbeitungsaufwand gering ausfällt und Modifizierungen an neue Problemstellungen relativ kurzfristig realisierbar sind. Kenntnisse einschlägiger Programmiersprachen sind nicht erforderlich.

Durch die Anwendung einer Simulationssoftware ist die Eignung von KNN für das Kriterium der **Integrationsfähigkeit** ebenfalls positiv zu bewerten. Die Einbettung des Entscheidungsmodells in eine Software gestützte Umgebung und die hieraus resultierende Programmvernetzung ermöglicht dem Anwender über standardisierte Schnittstellen die direkte Datentransferierung aus gängigen Tabellenkalkulationsprogrammen oder Datenbanken.

Kriterium	Beurteilung	
	pro	contra
Ergebnisgüte	- Prognosefähigkeit zur Ableitung qualitativer Tendenzaussagen - Objektivität des Lernprozesses erhöht Qualität der ableitbaren Entscheidungen	- eingeschränkte Exaktheit der Netzergebnisse - Netzergebnisse abhängig von Güte der Datenbasis
Tranzparenz	- Robustheit des Prozesses unterstützt Vergleichbarkeit der Ergebnisse	- eingeschränkte Nachvollziehbarkeit der Netz-Ergebnisse
Bearbeitungsdauer	- geringer Zeitbedarf des Software gestützten Lernprozesses - direkte Ergebnisbereitstellung	- zeitintensive Bereitstellung und Modifizierung der Datenbasis
Flexibilität	- dynamische Anpassungsfähigkeit an sich ändernde Rahmenbedingungen und Problemstellungen	
Bedienbarkeit	- Nutzung Simulationssoftware ohne Erfordernis einschlägiger Programmierkenntnisse	
Integrationsfähigkeit	- Modelleinbettung in Softwareumgebung fördert Programmvernetzung - standardisierte Schnittstellen ermöglichen direkte Datentransferierung	

Tabelle 23: Qualitative Beurteilung für die Eignung von KNN

Zusammenfassend kann bezogen auf die Verifizierung konstatiert werden, dass die Eignung von KNN für den Prozess der Modellkonzeption auf Basis der gewählten Beurteilungskriterien überwiegend positiv bewertet werden kann. Jedoch existieren vor allem hinsichtlich der Ergebnisgüte bezogen auf die Exaktheit der prognostizierten Werte und die erforderliche Bearbeitungsdauer bei der Aufbereitung der Datenbasis zumindest im Rahmen des hier präsentierten Anwendungsbeispiels einige Effekte, die einer vollumfänglichen Eignung entgegenwirken.

Sofern der Anwender diesen Sachverhalt sowohl bei der Modellanwendung als auch bei der Interpretation der Modellergebnisse berücksichtigt, bietet die Modellkonzeption auf Basis eines KNN gegenüber statischen Modellen den großen Vorteil der flexiblen Anpassungsfähigkeit bei sich ändernden Rahmenbedingungen oder neuen Problemstellungen. Diese inkludierte Flexibilität ist vor allem vor dem Hintergrund der Praxisanwendung das Herausstellungsmerkmal des aufgezeigten Prozesses der Modellkonzeption. Durch den ebenfalls aus den Ergebnissen ableitbaren Erkenntnisgewinn für Theorie und Praxis unterstützt die Anwendung von KNN gleichzeitig in hohem Maß die Charakteristika der anwendungsorientierten Forschung.

## 6. Pilotanwendung des Modellkonzeptes am Beispiel des Modulareen Querbaueastens des Volkswagen Konzerns

*„Das zukunftsbezogene Durcndenken und Festlegen von Zielen, MaBnahmen und Vorgehensweisen zur künftigen Zielerreichung setzt das Abwägen verschiedener Handlungsalternativen voraus“ (Junge 2005, S.29).*

Die bisherigen Ausführungen haben verdeutlicht, dass die Aussagefähigkeit über die Wirkung modularer Baueasten aufgrund einer fehlenden simultanen Betrachtung beschaffungsrelevanter Komplexitäts- und Kosteneffekte limitiert ist. Gleichzeitig beeinflusst die Beschaffung über strategische Entscheidungen in hohem Maß das Komplexitätsniveau und profitiert von den durch die Implementierung modularer Baueasten generierten Skaleneffekten.

Um die aus der unzureichenden Kenntnis über die Wechselwirkungen resultierende Unsicherheit bei der Ableitung strategischer Entscheidungen zu minimieren, wurde in Abschnitt 5 auf Basis eines KNN ein Entscheidungsmodell konzipiert. Hierauf aufbauend liegt der inhaltliche Schwerpunkt dieses Abschnitts in der praxisorientierten Anwendung sowie Validierung des entwickelten Entscheidungsmodells. Ziel ist somit die Beantwortung der Fragestellung, ob die vorgesehene Zweckbestimmung des Modells erfüllt ist und die gelieferten Ergebnisse aus der Modellanwendung logisch und glaubwürdig sind.

### 6.1 Methodische Umsetzung des Demonstrators als Einzelfallstudie

Die Überprüfung der Anwendbarkeit erfolgt in Form einer fallstudienbasierten Pilotanwendung als Demonstrator. Die Durchführung einer praxisorientierten Einzelfallstudie eignet sich sowohl bei der tiefgehenden Analyse komplexer Probleme als auch für neue Konzepte, da sie detaillierte und gleichzeitig kontextbezogene Ergebnisse liefert, ohne auf großzahlige Befragungen oder Experimente zurückgreifen zu müssen (vgl. Lammers 2012, S.137). Die Beschränkung auf eine Einzelfallstudie, also einen single-case research Ansatz, kann mit der besonderen Eignung des gewählten Beispiels zur Verdeutlichung existierender Phänomene sowie zur Ableitung praxisrelevanter Handlungsszenarien begründet werden (vgl. Eisenhardt & Graebner 2007, S.27).

Entsprechend der gesetzten Zielstellung des Demonstrators, nämlich die Anwendbarkeit des Entscheidungsmodells nachzuweisen sowie praxisorientierte Handlungsempfehlungen abzuleiten, wird den Ausführungen von LAMMERS (2012, S.137) und EISENHARDT UND GRAEBNER (2007, S.27) dahingehend gefolgt, als dass die Anwendung einer Einzelfallstudie im Rahmen dieser Forschungsarbeit als probate Methodik zur Erreichung der Forschungsziele bewertet werden kann.

Zwar müssen bei einer Einzelfallstudie gegenüber einer Multi-Fallstudie Einschränkungen hinsichtlich der Robustheit der Ergebnisse hingenommen werden, dennoch legitimie-

ren BLUMBERG ET AL. (2008, S.377) den Einsatz einer Einzelfallstudie: „[...] if a researcher is able to access information that is rarely accessible to researcher, a single case study is sufficient as it will offer yet unknown insights“.

An dieser Stelle ist zu betonen, dass sowohl für die Modellkonzeptionierung als auch für die Pilotanwendung sensible Unternehmensdaten mit beschränktem Zugang herangezogen wurden. Somit kann der Einsatz einer Einzelfallstudie auch mit Bezug zu BLUMBERG et al (2008, S.377) verstärkend gerechtfertigt werden.

In Analogie zum aufgezeigten praktischen Bezugsrahmen bei der Konzeption des Entscheidungsmodells (vgl. Abschnitt 5) erfolgt auch im Rahmen des Demonstrators mit der Wahl des Volkswagen Konzerns als Untersuchungsobjekt eine branchenfokussierte Betrachtung der Automobilindustrie. Ebenso wird der Untersuchungsgegenstand bei der praxisorientierten Modellanwendung beibehalten. Zentraler Gegenstand der Untersuchung ist der Funktionsbereich der Beschaffung und dessen beschaffungsstrategische Entscheidungen resultierend aus der Rollenwahrnehmung der Beschaffung als Element der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette.

Mit dem Aufbau des Demonstrators werden drei grundlegende Ziele verfolgt. Erstens soll die Validität und damit Eignung des Modellkonzeptes zur Auflösung der Problemstellung nachgewiesen werden. Zweitens sollen die Auswirkungen beschaffungsstrategischer Entscheidungen hinsichtlich einer komplexitäts- und kostenfokussierten Optimierung sowie drittens die mit der Modellanwendung implizierten Potentiale für Theorie und Praxis aufgezeigt werden, um den Nutzenbeitrag des Modells evaluieren zu können.

Hierfür werden für ein exemplarisch gewähltes Anwendungsbeispiel zwei Szenarien aufgebaut, mit denen auf Basis unterstellter Kausalzusammenhänge zwischen den Gestaltungsvariablen deren Komplexitäts- und Kostenwirkung auf die Erfolgsvariablen durch Anwendung des Entscheidungsmodells untersucht werden kann. Aufgrund der inkludierten Prognosefähigkeit hinsichtlich der Wirkung der Modifizierung auf die Erfolgsvariablen und den hieraus ableitbaren Handlungsempfehlungen kann das Modell eine unterstützende Indikation für die Festlegung beschaffungsstrategischer Entscheidungen bereitstellen.

Abbildung 64 fasst abschließend die Prozessdarstellung des Demonstrators in einem Schaubild schematisch zusammen. Aufbauend auf der in diesem Kapitel dargelegten Methodenauswahl und Zielstellung des Demonstrators (Kapitel 6.1) erfolgt die Datenauswahl (Kapitel 6.2) sowie die Pilotanwendung des Entscheidungsmodells (Kapitel 6.3) mit den Teilprozessen Modifizierung des Faktorenssets, Simulationsdurchlauf des KNN mit modifiziertem Faktorensset und Ergebnisdarstellung. Anschließend werden, basierend auf einer vergleichenden Analyse der Simulationsergebnisse des Entscheidungsmodells mit den realen Werten, Handlungsempfehlungen bezogen auf eine komplexitäts- und kostenfokussierte Optimierung beschaffungsstrategischer Entscheidungen abgeleitet (Kapitel 6.4). Das Kapitel der praktischen Anwendung schließt mit der Darlegung der aus der Fallstudie resultierenden Implikationen für Theorie und Praxis (Kapitel 6.5).

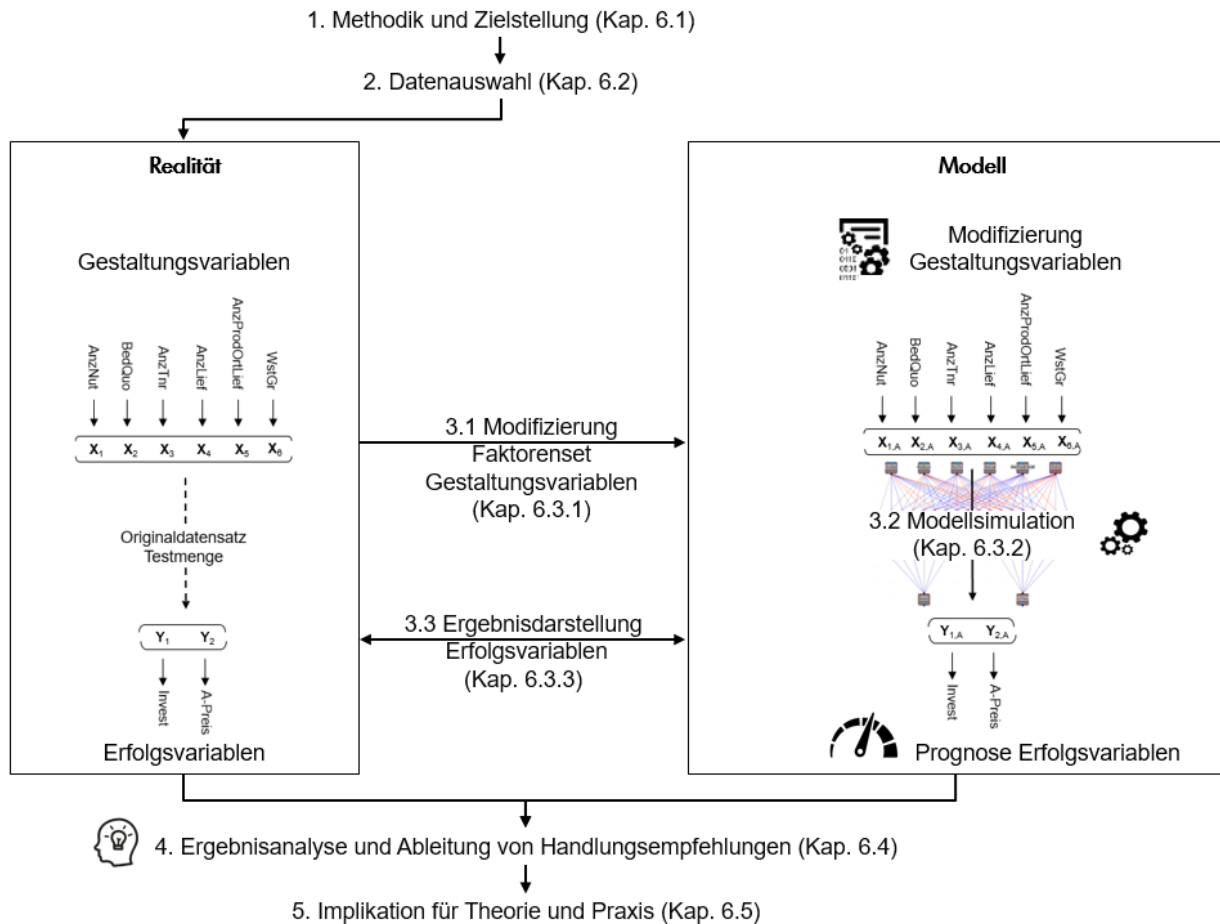


Abbildung 64: Schaubild der schematischen Prozessdarstellung des Demonstrators

## 6.2 Datenauswahl

In Kapitel 5.4.2.2 wurde mittels Datengruppierung aus der Gesamtheit der verdichteten Datenbasis eine Testmenge von 103 Datensätzen abgeteilt, um den Lernerfolg und die Generalisierungsfähigkeit des Netzes evaluieren zu können. Diese Testmenge stellt die Datenbasis für die Anwendung des Demonstrators dar. Eine erneute Datenerhebung ist somit nicht erforderlich. Der Fokus dieses Kapitels liegt stattdessen in der Darlegung des Selektionsprozesses geeigneter Datensätze aus der Gesamtheit der Testmenge.

Die Datenauswahl erfolgt durch einen zweistufigen Selektionsprozess, da eine Zufallsziehung anhand der erzielten Erkenntnisse in Bezug auf die Wirkungszusammenhänge (vgl. 5.4.2.6) als suboptimal eingeschätzt wird. Vielmehr erscheint es sinnvoll den Selektionsprozess an den praktischen Erfahrungen im Umgang mit modularen Baukästen auszurichten.

Da durch die Anwendung des Entscheidungsmodells beschaffungsstrategische Entscheidungen sowohl hinsichtlich ihrer Kosten- als auch ihrer Komplexitätswirkung untersucht werden, lag innerhalb des ersten Selektionsschrittes das Hauptaugenmerk der Datenauswahl in der Bestimmung einer geeigneten Werkstoffgruppe. Aufgrund der bereits

angesprochenen praktischen Erfahrungen des Autors wurde die für das Untersuchungsobjekt spezifische Werkstoffgruppe „266 Stoßdämpfer, Gasfedern, Feder“ als vorteilhaft erachtet, da diese sowohl hinsichtlich der Teilenummernanzahl als auch der Lieferantenzahl eine hohe Varianz aufweist.<sup>95</sup> Durch den ersten Selektionsschritt reduzierte sich der Umfang potenzieller Datensätze von 103 auf 4.

Da die Demonstration der Funktionsweise des Entscheidungsmodells anhand einer spezifischen Werkstoffgruppe erfolgt, wird die Variable Werkstoffgruppe innerhalb der Pilotanwendung als gegeben angesehen und bei der weiterführenden Detaillierung ausgeblendet. Hierfür kann begründend angeführt werden, dass die Werkstoffgruppe primär eine Ordnungsfunktion besitzt. Eine Änderung des Vergabevolumens hat bspw. keinen Einfluss auf die Auswahl der Werkstoffgruppe. Dennoch muss berücksichtigt werden, dass die Wahl der Werkstoffgruppe per se sowohl einen Einfluss auf das Kosten- als auch auf das Komplexitätsniveau des Bauteils besitzt mit entsprechenden Ausstrahlungseffekten auf sämtliche Modellvariablen.

Innerhalb des zweiten Selektionsschrittes erfolgte dann die Auswahl des für die Pilotanwendung genutzten Datensatzes. Hier wurde derjenige Datensatz gewählt, der bezogen auf die identifizierten Wirkungszusammenhänge bei den wirkungsintensivsten Gestaltungsvariablen Vergabevolumen (BedQuo), Anzahl der Lieferanten (AnzLief) sowie deren Anzahl an Produktionsstandorten (AnzProdOrtLief) die höchsten Ausprägungen besitzt.

Abbildung 65 stellt den beschriebenen zweistufigen Prozess der Datenauswahl auf Basis der gewählten Selektionskriterien zusammenfassend dar.

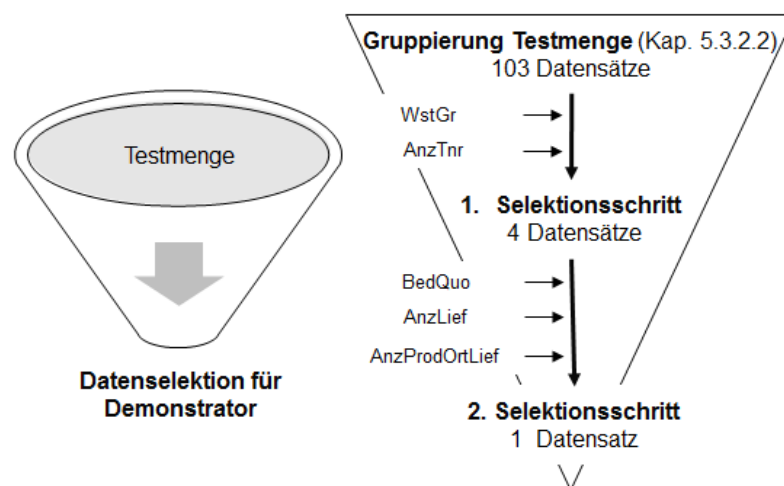


Abbildung 65: Selektionsprozess der Datenauswahl

<sup>95</sup> Die hohe Varianz ist damit zu begründen, dass jedes Fahrzeug in Abhängigkeit des ausstattungsabhängigen Fahrzeuggewichts und der gewünschten Fahrcharakteristik eine bestimmte Dämpferabstimmung erhält, die sowohl zwischen Vorder- und Hinterachse aufgrund des unterschiedlichen Dämpferaufbaus differiert als auch zwischen den einzelnen Baukastennutzern, um die markenspezifischen fahrdynamischen Alleinstellungsmerkmale abzugrenzen.

### 6.3 Pilotanwendung des Entscheidungsmodells

Zentrales Kernstück der Pilotanwendung ist der Aufbau des Demonstrators, mit dessen Hilfe die praxistaugliche Anwendung des Entscheidungsmodells nachgewiesen werden soll. Wie bereits ausgeführt, liegt die zentrale Motivation des Demonstrators darin, anhand eines Anwendungsbeispiels die Auswirkung einer gezielten Modifizierung eines bekannten Faktorenssets von Gestaltungsvariablen auf die Erfolgsvariablen zu untersuchen, um hieraus einen Wertbeitrag für die Ableitung beschaffungsstrategischer Handlungsempfehlungen zu realisieren.

Hierfür wurde in einem ersten Schritt im vorangestellten Kapitel ein Datensatz aus der Testmenge als Datenbasis für die weitere Untersuchung extrahiert. Der Aufbau des Demonstrators stellt den zweiten Prozessschritt der Pilotanwendung dar. Gemäß des in Abbildung 64 dargestellten Schaubilds unterteilt sich dieser Prozessschritt in die Teilprozesse Modifizierung des Faktorenssets (Kapitel 6.3.1), Modellsimulation (Kapitel 6.3.2) und Ergebnisdarstellung (Kapitel 6.3.3).

Da der Umgang mit Komplexität von einem fehlenden Maß an Quantifizierbarkeit geprägt ist und Veränderungen des Komplexitätsniveaus in Form relativer Systemzustände gemessen werden, wird für den Demonstrator ein qualitativer Modifizierungsansatz gewählt. Folglich erfolgt auch die Ergebnisanalyse und Ableitung der Handlungsszenarien auf einer qualitativen Basis.

#### 6.3.1 Modifizierung des Faktorenssets

Der Teilprozess der Modifizierung fasst alle Prozessschritte zusammen, die mit der Veränderung des bestehenden Faktorenssets der Gestaltungsvariablen in Verbindung stehen. Hierzu soll in Erinnerung gerufen werden, dass zwischen den einzelnen Gestaltungsvariablen ebenfalls Wirkungszusammenhänge existieren, so dass die Veränderung einer Variablen einen bestimmten Einfluss auf die anderen Variablen des Faktorenssets besitzt. Die Modifizierung des Faktorenssets muss daher ganzheitlich erfolgen, um inkludierte Abhängigkeiten zwischen den Variablen zu berücksichtigen.

Die Herleitung des modifizierten Faktorenssets erfolgt im Anwendungsbeispiel auf Basis von vier Prämissen:

- 1) Zwischen den Gestaltungsvariablen wird eine Wirkungsrangfolge basierend auf den identifizierten Wirkungsintensitäten der Gestaltungsvariablen für die Erfolgsvariable A-Preis unterstellt (vgl. Kap. 5.4.2.6). Die Ableitung des modifizierten Faktorenssets beginnt somit mit der Betrachtung der Kennzahl des Vergabevolumens (BedQuo).

- 2) Die Auswirkungen der modifizierten Gestaltungsvariablen auf die Erfolgsvariablen werden für zwei frei definierte Systemzustände der prozentualen Veränderung von +/- 25% und +/- 50% untersucht.
- 3) In einem vereinfachten Ansatz werden modifizierten Gestaltungsvariablen immer die gleichen Prozentsätze zugeordnet. Dies betrifft sowohl die Veränderungen des Kosten- als auch des Komplexitätsniveaus.
- 4) Die Modifizierungen innerhalb des Entscheidungsmodells haben keinen verändernden Einfluss auf bestehende Planzahlen anderer Funktionsbereiche. Eine flexible Anpassungsfähigkeit modellfremder Planzahlen wird somit ausgeschlossen.

Die bisherigen Ausführungen haben verdeutlicht, dass aufgrund inkludierter Wirkungszusammenhänge zwischen den Gestaltungsvariablen die Modifizierung einer Variablen gleichzeitig die Veränderung einer anderen Variable hervorruft. Zur Sicherstellung einer ausreichenden Berücksichtigung dieses Vernetzungsgrades zwischen den Modellvariablen bedarf es entsprechend der ersten Prämisse zu Beginn der Modifizierung einiger Überlegungen bzgl. der Wirkungszusammenhänge, um die festzulegende Richtung der prozentualen Veränderung je Variable ableiten zu können.

Aus diesem Grund werden nachfolgend die für die Ableitung der Modifizierungsszenarien unterstellten Wirkungszusammenhänge am Beispiel eines steigenden Vergabevolumens exemplarisch erläutert. Auf eine Detaillierung für den Fall eines sinkenden Vergabevolumens wird bewusst verzichtet, da die Wirkungszusammenhänge der gleichen Argumentationskette nur mit einer gegensätzlichen Wirkungsrichtung folgen.

Schaut man sich die Wirkungszusammenhänge unter den Modellvariablen im Detail an, dann ist grundsätzlich davon auszugehen, dass sich bei einem steigenden Vergabevolumen (BedQuo) sowohl die Anzahl der Lieferanten (AnzLief) als auch die Anzahl der Bauteilnutzer (AnzNut) ändern.

Mit Fokus auf AnzLief sind bei einer steigenden BedQuo prinzipiell alle drei Entwicklungsrichtungen möglich. Genauso verhält es sich mit der Anzahl an Produktionsstandorten des Lieferanten (AnzProdOrtLief). Beschaffungsstrategisch unterstellt die Erhöhung der Lieferantenzahl die Forderung nach einem gleichbleibenden Risikoniveau bezogen auf die Lieferantenabhängigkeit des OEM. Unter der Annahme einer vom Lieferanten permanent angestrebten Auslastung der Produktionsanlagen resultiert hieraus gleichzeitig auch eine Erhöhung der Produktionsstandorte der Lieferanten und zwar unabhängig davon, ob es sich um einen zusätzlichen Standort eines neuen Lieferanten oder eines bestehenden Lieferanten aufgrund erforderlicher Kapazitätserweiterungen handelt. Beide Größen sind somit unter den getroffenen Bedingungen positiv korreliert. Wird sich dagegen bewusst für eine Risikoerhöhung entschieden bzw. wird keine vollständige Kapazitätsauslastung unterstellt, sind auch andere Ausprägungen beider Variablen bei gleichzeitiger Aufhebung der angesprochenen Korrelation möglich.

Die zwingende Erhöhung AnzNut hat ihren Ursprung in der definierten Prämisse der fehlenden Anpassungsfähigkeit von Planzahlen anderer Funktionsbereiche. Für das Anwendungsbeispiel bedeutet dies, dass eine Erhöhung des Vergabevolumens nicht durch eine singuläre Erhöhung des vertriebsspezifischen Absatzes realisierbar ist, sondern zwingend eine Erhöhung der internen Baukastennutzer hervorgerufen durch einen steigenden Standardisierungsgrad erfordert. BedQuo und AnzNut sind somit positiv korreliert.

Betrachtet man abschließend die Anzahl an Teilenummern (AnzTnr) sind theoretisch alle drei Entwicklungstendenzen vorstellbar, wobei gerade eine sinkende AnzTnr bei steigender BedQuo vor dem Hintergrund der genannten Prämissen in der Praxis nur dann realisiert werden kann, wenn die Standardisierung innerhalb des Baukastens trotz zunehmender Nutzeranzahl erhöht wird. Deutlich realistischer erscheint es, dass sowohl eine erhöhte Anzahl an Lieferanten als auch der Anstieg der Bauteilnutzer selbst eine Zunahme der internen Varianz in Form einer steigenden AnzTnr hervorrufen. Bezogen auf die Lieferantenzahl resultiert dies aus einer erforderlichen Eindeutigkeit bei der Rückverfolgbarkeit der Teileherkunft im Fall von qualitativen Beanstandungen. Mit Blick auf die Bauteilnutzer liegt der Auslöser in der gesteigerten Divergenz der technischen Anforderungen. Wie bereits ausgeführt, ist bei der innerhalb des Anwendungsbeispiels gewählten Werkstoffgruppe dieser Effekt besonders ausgeprägt (vgl. Kap. 6.2).

Aus der Argumentation lassen sich, wenn auch vorerst hypothetisch, folgende drei Annahmen über die Wirkung der zu untersuchenden Effekte der Modifizierung auf die Erfolgsvariablen treffen:

- 1) Ein steigendes Volumen führt zu einem Anstieg der Investitionen (Invest) ausgelöst durch den erforderlichen Aufbau zusätzlicher Kapazitäten.
- 2) Aufgrund der aufgezeigten Wirkungsintensität der Gestaltungsvariable BedQuo löst ein Volumenanstieg eine Reduzierung der Einzelkosten des Bauteils (A-Preis) aus.
- 3) Durch die dargelegten Veränderungen innerhalb der Gestaltungsvariablen wird das bestehende Komplexitätsniveau negativ beeinflusst.

In vergleichbarer Art und Weise ließen sich auch die Annahmen für das Beispiel eines sinkenden Vergabevolumens mit jeweils gegensätzlicher Kernaussage formulieren. Da es sich hierbei um Annahmen handelt, lassen sich die tatsächlichen Auswirkungen der Modifizierung auf die Erfolgsvariablen erst aus der Ergebnisanalyse der prognostizierten Werte des Entscheidungsmodells abschließend ableiten.

Abbildung 66 stellt die unterstellten Wirkungszusammenhänge und die angenommenen durch das Modell zu prognostizierenden qualitativen Veränderungen der Erfolgsvariablen dar. Ergänzt wird die Abbildung um die aus den Wirkungszusammenhängen abgeleitete Tendenzaussage zur Auswirkung der Modifizierung auf das inkludierte Komplexitätsniveau.

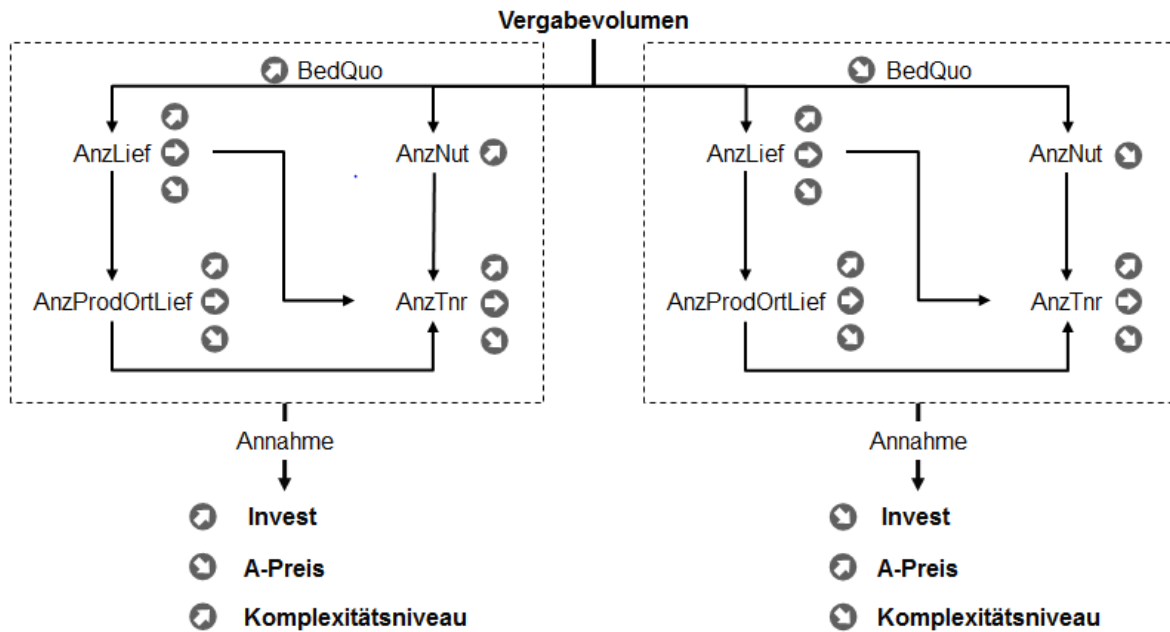


Abbildung 66: Wirkungszusammenhänge der Modellvariablen

Basierend auf den vorangestellten Ausführungen schließt der Abschnitt mit der in Tabelle 24 zusammenfassend dargestellten Modifizierung des Faktorensets. Die Reihenfolge der Variablen orientiert sich an der Rangfolge der Wirkungszusammenhänge innerhalb der dargelegten Argumentationskette. Ziel ist es, anhand der zehn abgebildeten Szenarien mit den definierten Systemzuständen der prozentualen Veränderung von +/- 25% und +/- 50% die Anwendbarkeit des Entscheidungsmodells zu demonstrieren sowie wichtige Implikationen für Theorie und Praxis aus der nachgelagerten Analyse der Simulationsergebnisse abzuleiten. Die Szenarien 1N bis 5N stellen die im Nullpunkt gespiegelten Werte der Szenarien 1 bis 5 wider, um eine vergleichende Aussage über das Modellverhalten bei einer Erhöhung bzw. Reduzierung des Volumens ableiten zu können.

		BedQuo	AnzLief	AnzProdOrtLief	AnzNut	AnzTnr
<b>Modifizierung</b>	Szenario 1	+25%/ +50%	+25%/ +50%	+25%/ +50%	+25%/ +50%	+25%/ +50%
	Szenario 2	+25%/ +50%	+25%/ +50%	+25%/ +50%	+25%/ +50%	IST
	Szenario 3	+25%/ +50%	IST	IST	+25%/ +50%	IST
	Szenario 4	+25%/ +50%	IST	IST	+25%/ +50%	-25%/ -50%
	Szenario 5	+25%/ +50%	IST	+25%/ +50%	+25%/ +50%	+25%/ +50%
		IST	IST	IST	IST	IST
	Szenario 1N	-25%/ -50%	-25%/ -50%	-25%/ -50%	-25%/ -50%	-25%
	Szenario 2N	-25%/ -50%	-25%/ -50%	-25%/ -50%	-25%/ -50%	IST
	Szenario 3N	-25%/ -50%	IST	IST	-25%/ -50%	IST
	Szenario 4N	-25%/ -50%	IST	IST	-25%/ -50%	+25%/ +50%
Szenario 5N	-25%/ -50%	IST	-25%/ -50%	-25%/ -50%	-25%/ -50%	

Tabelle 24: Modifiziertes Faktorensset

Die Szenarien 1 und 1N bilden abstrakt betrachtet die beiden Grenzen des Spektrums möglicher Kombinationsmöglichkeiten, da die maximalen Änderungen des Faktorenssets berücksichtigt werden. Diese Szenarien besitzen somit den höchsten Grad der Varianzveränderung. Diese Ausprägungen resultieren vorrangig aus theoretischen Überlegungen und werden in der Praxis unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten kaum realisierbar sein.

Die weiteren Szenarien leiten sich aus den in Abbildung 66 dargelegten Wirkungszusammenhängen ab und wurden exemplarisch so modifiziert, dass eine Aussage über die Kostenwirkung der spezifischen Varianzeffekte der einzelnen Gestaltungsvariablen möglich ist. Die Szenarien 2 und 2N betrachten vorrangig den Wirkungseffekt einer modifizierten Lieferantenstruktur (AnzLief, AnzProdOrtLief). Die Wirkung des singularär betrachteten Volumeneffekts steht im Fokus der Szenarien 3 und 3N. Im Gegensatz dazu erfolgt mit den Szenarien 4 und 4N die simultane Betrachtung der Effektwirkung einer gegensätzlichen Änderung von Volumen (BedQuo) und Anzahl der Teilenummern (AnzTnr). Entsprechend den Ausführungen der Abschnitt 3 und 4 sollten hier die größten Potenziale bzgl. einer Kostenoptimierung realisierbar sein. Die Szenarien 5 und 5N sollen die Frage beantworten, welchen Kosteneffekt eine Volumenänderung bei konstanter Lieferantenstruktur (AnzLief) aber erforderlichen Kapazitätsmaßnahmen des Lieferanten (AnzProdOrtLief) bei gleichzeitiger Erhöhung der bauteilspezifischen Varianz (AnzTnr) hervorruft.

### 6.3.2 Modellsimulation

Kernstück des Demonstrators ist die Anwendung des entwickelten Entscheidungsmodells. Hierzu wird dem trainierten KNN (vgl. Kap.5.4.2.5) eine Lesson mit 22 Datensätzen auf Basis des modifizierten Faktorenssets (vgl. Tabelle 24) als Netz-Input präsentiert. Durch den Durchlauf eines einmaligen Propagierungsprozesses erfolgt die simulierte Prognostizierung des Netz-Outputs für jeden einzelnen Datensatz, ohne dabei die im Rahmen des Trainingsprozesses erlernten Netzgewichte zu modifizieren (vgl. Abbildung 67). Es findet somit kein weiterführendes Lernen des Netzes statt.

Innerhalb von MemBrain erfolgt die Simulation mithilfe des Unterpunkts *Think on Lesson* in der Maske des *Lesson Editors*.

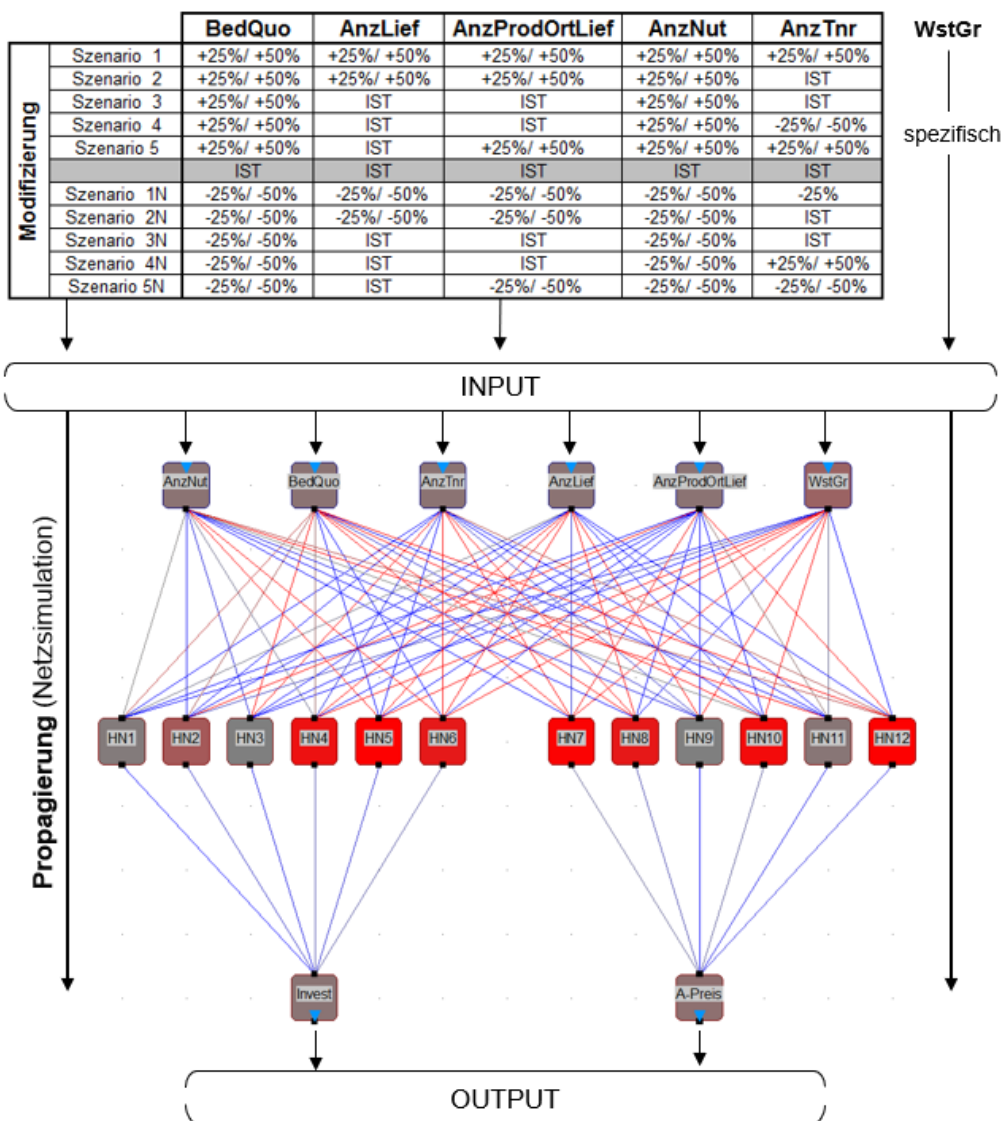


Abbildung 67: Prozess der Modellsimulation

### 6.3.3 Ergebnisdarstellung

Das Ergebnis der Simulation in Form einer prozentualen Abweichung für die Erfolgsvariablen Invest und A-Preis kann Tabelle 25 entnommen werden.

Zusätzlich wurde in Tabelle 24 die aus der Modifizierung zu erwartende Veränderung des Komplexitätsniveaus aufgenommen. Es muss betont werden, dass die Herleitung der Komplexitätsänderung auf einem idealisierten Ansatz mit hohem Abstraktionsgrad beruht. Die Intention dieses Ansatzes liegt vorrangig im idealisierten Aufzeigen der Auswirkung spezifischer Szenarien auf das bestehende Komplexitätsniveau und nicht in der Ermittlung des tatsächlich vorherrschenden Komplexitätsniveaus. Die Herleitung der Höhe folgt der Prämisse, dass die prozentuale Änderung eines Faktors eine Änderung des Komplexitätsniveaus in gleicher Höhe und Richtung hervorruft. Die Gesamtverände-

ung ergibt sich aus dem Durchschnitt der aufsummierten Änderungen je Faktor. Aufgrund der inkludierten Punktsymmetrie besitzen gegensätzliche Szenarien (z.B. 1 und 1N) immer die betragsmäßig gleichen Werte.

		Veränderung +/- 25%			Veränderung +/- 50%		
		Invest	A-Preis	Komplexität	Invest	A-Preis	Komplexität
<b>Modifizierung</b>	Szenario 1	+19%	- 2%	+25%	+33%	- 1%	+50%
	Szenario 2	+ 3%	- 5%	+20%	+ 7%	- 5%	+40%
	Szenario 3	+ 7%	- 7%	+10%	+13%	-10%	+20%
	Szenario 4	-11%	-17%	+ 5%	-23%	-45%	+10%
	Szenario 5	+15%	+ 6%	+20%	+28%	+10%	+40%
		IST	IST	IST	IST	IST	IST
	Szenario 1N	-24%	+ 8%	-25%	-53%	+30%	-50%
	Szenario 2N	- 3%	+16%	-20%	- 7%	+53%	-40%
	Szenario 3N	- 7%	+11%	-10%	-16%	+30%	-20%
	Szenario 4N	+10%	+13%	- 5%	+20%	+26%	-10%
Szenario 5N	-17%	- 7%	-20%	-36%	+46%	-40%	

Tabelle 25: Ergebnis der Modellsimulation

#### 6.4 Validierende Ergebnisanalyse und Ableitung von Handlungsempfehlungen

Wie bereits einleitend ausgeführt, liegt die Zielstellung von Kapitel 6 in der Validierung des entwickelten Modellkonzeptes. Ein Modellkonzept kann dann als valide bezeichnet werden, wenn die ursprünglich vorgesehen Zweckbestimmung des Modells erfüllt ist sowie die Sachlogik und Glaubwürdigkeit der Ergebnisse nachgewiesen wurden. Sofern aufgrund der Komplexität des gewählten Modellkonzeptes eine vollständige Verifizierung der Ergebnisse nicht möglich ist, schlägt HOFMANN (2020, S.237) den Einsatz einer Plausibilitätskontrolle vor. Die Validierung wird nachfolgend daher auf Basis einer detaillierten Analyse der Simulationsergebnisse geführt, um die Plausibilität und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse und damit die Validität des Modellkonzeptes nachzuweisen.

Für die Ergebnisanalyse scheint die gewählte tabellarische Darstellungsform der Ergebnisse unzureichend. Aus diesem Grund ist der Analyse ein Transformationsschritt vorangestellt, der die erzielten Ergebnisse in eine graphische Darstellungsform überführt. Um eine ganzheitliche Betrachtung der zu analysierenden Wirkungszusammenhänge zwischen den Modellvariablen sicherzustellen, werden gleichzeitig die Inhalte von Tabelle 24 und Tabelle 25 in der Grafik zusammengeführt. Das Ergebnis der Transformation kann Abbildung 68 entnommen werden.

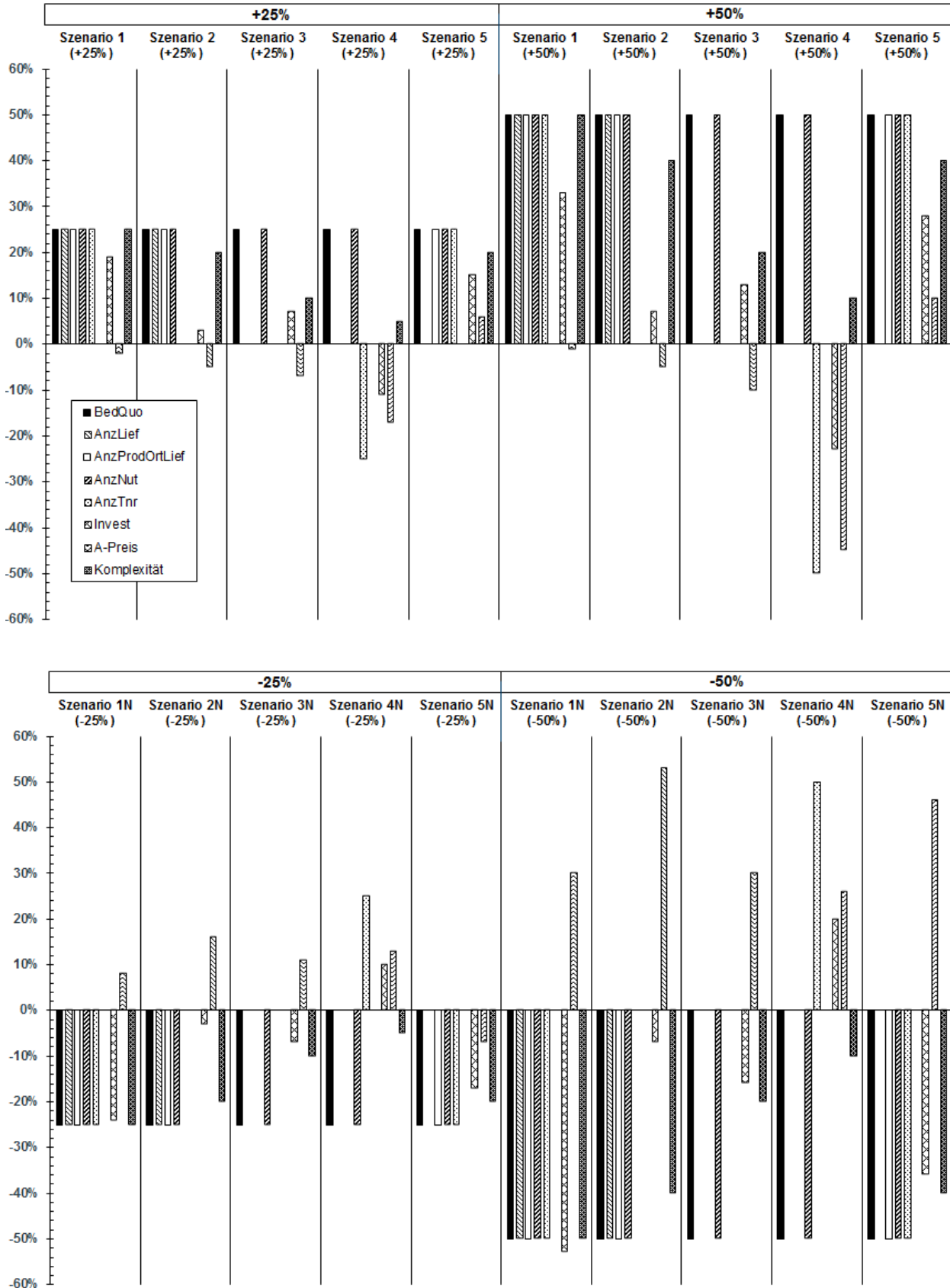


Abbildung 68: Transformierte Ergebnisdarstellung der Modellsimulation

Der Analyseprozess erfolgt in drei Schritten. Innerhalb des **ersten Schrittes** werden die Szenarien 1 bis 5 bzw. 1N bis 5N für den Systemzustand der prozentualen Veränderung von +/- 25% vergleichend analysiert. Hierbei sind vor allem zwei Untersuchungsschwerpunkte von Interesse. Erstens sollen die aus den jeweiligen Wirkungszusammenhängen der Gestaltungsvariablen resultierenden Effekte auf die Erfolgsvariablen untersucht werden, um wichtige Erkenntnisse für die nachgelagerte Ableitung von Handlungsempfehlung zu generieren. Zweitens ist bezogen auf die Richtung der prozentualen Veränderung zu klären, ob und in welcher Höhe Wirkungsunterschiede innerhalb der Szenarien (z.B. 1 und 1N) durch die Modellsimulation erkennbar sind.

Anschließend konzentriert sich der **zweite Schritt** auf das Herausarbeiten von Unterschieden, die aus der Höhe der prozentualen Veränderung resultieren. Der Fokus liegt somit in der Analyse der sich ändernden Ausprägungen durch den Vergleich der Systemzustände +/- 25% und +/- 50%.

Der **dritte Schritt** umfasst abschließend die Zusammenfassung gewonnener Erkenntnisse des Analyseprozesses und die hieraus resultierende Ableitung der Handlungsempfehlungen.

Um die Strukturierung und damit auch die Nachvollziehbarkeit der Analyse zu verbessern, erfolgt die Analyse der Szenarien tabellarisch und den genannten Schritten folgend gruppiert. Die Betrachtung der Auswirkung der Modifizierung wird für jede Erfolgsvariable separat vollzogen.

Zu betonen ist, dass die als Auslöser für die Änderung dargelegten Argumentationsansätze keinen Anspruch auf Vollständigkeit besitzen. Vielmehr sind aufgrund der mit dem Thema verbundenen Komplexität auch alternative Argumentationen denkbar.

Aus der in Tabelle 26 zusammenfassend dargelegten Ergebnisanalyse lassen sich entsprechend der angeführten Argumentation folgende prägnante Erkenntnisse ableiten:

- 1) Übergreifend über alle definierten Szenarien liefert das Entscheidungsmodell konsistente und argumentativ sachlogisch nachvollziehbare Ergebnisse.
- 2) Eine Reduzierung der Varianz und damit ein Rückgang des Komplexitätsniveaus führt tendenziell gleichzeitig zu einer Reduzierung benötigter Investitionen (Invest) (Ausnahme Szenarien 4+4N).
- 3) Eine Einzelkostenreduzierung (A-Preis) inkludiert tendenziell einen Anstieg des Komplexitätsniveaus und vice versa (Ausnahme Szenarien 5+5N).
- 4) Volumen- und Varianzeffekt besitzen bezogen auf die Kosten sowohl eine gegensätzliche Wirkungsrichtung als auch eine in Abhängigkeit der Änderungsrichtung des Volumens (BedQuo) differenzierbare Wirkungsintensität. Bei einem steigenden Volumen wirkt der Varianzeffekt verstärkt, so dass die positive Kostenwirkung des Volumeneffekts zunehmend kompensiert wird. Im Gegensatz dazu nimmt die

Wirkungsintensität des Varianzeffekts mit zunehmender Volumenreduzierung ab, so dass die negative Kostenwirkung des Volumeneffekts aufgrund einer fehlenden Kompensation verstärkt zum Tragen kommt.

		Änderung		Analyse
		+25%	+50%	
		-25%	-50%	
Szenarien 1 + 1N	Invest	+19%	+33%	Unterproportionale Zunahme, da durch Erhöhung der BedQuo effizientere und somit in Relation günstigere Werkzeugkonzepte einsetzbar sind. Dadurch können die aus der Varianzerhöhung durch die steigende AnzTnr resultierenden Mehrkosten zusätzlich erforderlicher Werkzeuge teilweise kompensiert werden. Dieses Kompensationspotential nimmt mit steigendem Volumen zu.
		-24%	-53%	Im Gegensatz dazu sind bei sinkender BedQuo die Investitionskosten durch eine überproportionale Reduzierung gekennzeichnet. Dies lässt den Rückschluss zu, dass sich mit sinkender BedQuo die positive Effektivwirkung einer Varianzreduzierung verstärkt.
	A-Preis	-2%	-1%	Der kostenreduzierende Volumeneffekt wird durch eine erhöhte Varianz (AnzLief, AnzProdOrtLief, AnzTnr) und somit bezogen auf die spezifische Teilenummer durch sinkende Skaleneffekte annähernd kompensiert, wodurch die Kostenreduzierung nur marginal ausfällt. Dieser Sachverhalt tritt volumenunabhängig auf.
		+8%	+30%	Mit sinkender BedQuo erhöhen sich die Einzelkosten überproportional. Hieraus kann geschlossen werden, dass entweder der in Szenario 1 beschriebene und dem Volumeneffekt entgegengerichtete Varianzeffekt sich mit zunehmender Reduzierung der BedQuo abschwächt oder sich die Wirkungsintensität des Volumeneffekts verstärkt.
	Komplexität	+25%	+50%	Dem gewählten vereinfachten Ableitungsansatz folgend, ändert sich das Komplexitätsniveau immer proportional entsprechend der durchschnittlichen prozentualen Änderung der Gestaltungsvariablen. Resultierend hieraus ist die prozentuale Änderung im Vergleich zu den anderen Szenarien am Höchsten und unabhängig von der Änderungsrichtung betragsmäßig gleich groß. Der Aspekt der Symmetrie trifft aufgrund des definierten Ableitungsansatzes für alle anderen Szenarien ebenfalls zu.
		-25%	-50%	
Szenarien 2 + 2N	Invest	+3%	+7%	Der Anstieg BedQuo in Verbindung mit Erweiterung der Lieferantenstruktur (AnzLief, AnzProdOrtLief) rufen nur geringen annähernd proportionalen Anstieg der Investitionen hervor. Voraussetzung ist, dass das Zusatzvolumen strategisch günstig variantenspezifisch auf die neue Lieferantenstruktur aufgeteilt werden kann. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus Szenario 1 resultiert im Umkehrschluss hieraus, dass die bauteilspezifische Varianz (AnzTnr) den primären Kostentreiber für Investitionen darstellt.
		-3%	-7%	Die beschriebene Ausprägung tritt unabhängig von der Änderungsrichtung mit betragsmäßig identischen Werten auf. Es liegt somit eine Punktsymmetrie zum Ursprung vor.
	A-Preis	-5%	-5%	Die Varianzerhöhung innerhalb der Lieferantenstruktur (AnzLief, AnzProdOrtLief) und die bezogen auf den spezifischen Lieferanten hieraus resultierenden sinkenden Skaleneffekte dämpfen die Wirkung des kostenreduzierenden Volumeneffektes. Prägnant ist, dass dieses Phänomen volumenunabhängig auftritt.
		+16%	+53%	Die Einzelkostenerhöhung steigt mit sinkender BedQuo überproportional an und nimmt verglichen mit den anderen Szenarien mit +53% den Maximalwert an. Als Ursache kann angeführt werden, dass die Konstanz der bauteilspezifischen Varianz (AnzTnr) bei sinkendem Volumen mit verstärkender Wirkung zu einem Kostenanstieg führt, da sich bei einer reduzierenden Lieferantenstruktur (AnzLief, AnzProdOrtLief) die bauteilspezifische Varianz (AnzTnr) des Lieferanten bei gleichzeitig sinkenden Skaleneffekten deutlich erhöht. Zusätzlich verstärkt der sinkende Wettbewerbsdruck durch die Reduzierung AnzLief den Kostenanstieg zusätzlich.
	Komplexität	+20%	+40%	Eine Konstanz der AnzTnr führt im Vergleich mit den Szenarien 1 und 1N zu einer minimierten Änderung des Komplexitätsniveaus.
		-20%	-40%	

Szenarien 3 + 3N	Invest	+7%	+13%	Annähernd proportionaler Anstieg, ausgelöst durch eine erforderliche Kapazitätsaufstockung zur Absicherung des Mehrvolumens.
		-7%	-16%	Annähernd proportionaler Rückgang, wobei das Reduzierungspotential mit sinkendem Volumen marginal zunimmt. Die Absicherung reduzierter Kapazitäten kann durch weniger komplexe und daher günstigere Werkzeugkonzepte erfolgen.
	A-Preis	-7%	-10%	Unterproportionaler Rückgang der Einzelkosten lässt darauf schließen, dass kostenreduzierende Skaleneffekte sich mit zunehmender BedQuo aufgrund zusätzlicher sprungfixer Bauteilkosten beim Lieferanten im Zusammenhang mit einer erforderlichen Kapazitätserweiterung abschwächen.
		+11%	+30%	Reduzierung nutzbarer Skaleneffekte rufen überproportional steigenden negativen Kosteneffekt hervor, da sich die Teilepreislage (sprung-)fixer Kosten des Lieferanten mit sinkender BedQuo erhöht.
	Komplexität	+10%	+20%	Reduktion der Anzahl modifizierter Gestaltungsvariablen von 4 auf 2 (BedQuo; AnzNut) führt zu einer proportionalen Änderung des Komplexitätsniveaus ggü. Szenarien 2 bzw. 2N um 50%.
-10%		-20%		
Szenarien 4 +4N	Invest	-11%	-23%	Annähernd proportional fallende Investitionen, hervorgerufen durch die Reduzierung AnzTnr und die damit inkludierte Reduzierung variantenspezifischer Werkzeuge. Es erfolgt somit eine Überkompensation des in Szenario 3 identifizierten Kostenanstieges einer singulären Kapazitätserweiterung.
		+10%	+20%	Reduzierung der BedQuo führt zu einem proportionalen Anstieg der Investitionskosten und somit zu einer Umkehrung der beschriebenen Wirkung einer Volumenerhöhung. Die erforderliche Investitionserhöhung aufgrund einer steigenden Anzahl variantenspezifischer Werkzeuge übersteigt die aus der Kapazitätsreduzierung resultierenden Einsparungen (vgl. Szenario 3N) deutlich.
	A-Preis	-17%	-45%	Einzelkostenreduzierung steigt mit zunehmenden Volumen überproportional an und nimmt verglichen mit den anderen Szenarien den Minimalwert an. Als Ursache kann die gleichgerichtete Kostenwirkung zusätzlicher Skaleneffekte aus einer erhöhten BedQuo sowie die verminderte Varianz aus einer Reduzierung AnzTnr angeführt werden.
		+13%	+26%	Reduzierung der BedQuo löst einen proportionalen Anstieg der Einzelkosten aus. Der Vergleich mit Szenario 3N lässt den Rückschluss zu, dass die aus dem Varianzeffekt resultierende Kostenwirkung ggü. der Kostenwirkung des Volumeneffektes vernachlässigbar ist.
	Komplexität	+5%	+10%	Geringste Änderung des Komplexitätsniveaus ist damit begründbar, dass die Komplexitätswirkung einer reduzierten AnzTnr der aus der Änderung von BedQuo und AnzNut resultierenden Wirkungsrichtung entgegengerichtet ist.
-5%		-10%		
Szenarien 5 + 5N	Invest	+15%	+28%	Annähernd proportionaler Anstieg, wobei die Zunahme ggü. Szenario 1 geringer ausfällt, da eine parallele Industrialisierung zusätzlicher Lieferanten nicht erforderlich ist. Kapazitätsmaßnahmen können durch die Nutzung von Bündelungseffekten wirtschaftlicher umgesetzt werden.
		-17%	-36%	Bei sinkender BedQuo annähernd proportionaler Rückgang der Investitionen. Aus dem Vergleich der Absolutwerte ist ableitbar, dass sich der positive Effekt einer minimierten Varianz aufgrund der reduzierten AnzTnr bei einer sinkenden BedQuo verstärkt und somit die vorzeichenbereinigte Änderung höher ausfällt (+28% vs. -36%). Der Argumentation von Szenario 5 folgend, fällt die Reduzierung im Vergleich zu Szenario 1N geringer aus.
	A-Preis	+6%	+10%	Im Gegensatz zu den anderen Szenarien führt eine Modifizierung der Gestaltungsvariablen zu einem unterproportionalen Anstieg der Einzelkosten. Es liegt somit eine Umkehr des Kosteneffekts vor, in dem der kostenreduzierende Volumeneffekt überkompensiert wird. Zu den bereits in Szenario 1 beschriebenen Ursachen einer erhöhten Varianz (AnzProdOrtLief, AnzTnr) und der hieraus bezogen auf die spezifische Teilenummer resultierenden Verminderung nutzbarer Skaleneffekte kommt zusätzlich noch die negative Wirkung eines fehlenden Anstiegs des Wettbewerbes (konstant ANzLief) hinzu.
		-7%	+46%	Vorteilhaftigkeit ist abhängig von der Änderungshöhe der Gestaltungsvariablen. Innerhalb des Systemzustands -25% übersteigt die Wirkung der Varianzreduzierung die entgegengerichtete negative Wirkung des Volumeneffekts und führt zu einer Kostenreduzierung. Im Gegensatz dazu überwiegt beim Systemzustand -50% die negative Kostenwirkung des Volumeneffekts deutlich. Da sich aufgrund der konstanten AnzLief die lieferantenbezogenen Skaleneffekte ggü. Szenario 1N stärker reduzieren, erhöht sich gleichzeitig die negative Wirkung des Volumeneffekts. Das Ergebnis spiegelt sich in einem höheren Kostenanstieg wider (+46% vs. +30%).
	Komplexität	+20%	+40%	Aufgrund des proportionalen Ableitungsansatzes entspricht die Änderungshöhe des Komplexitätsniveaus bei gleicher Anzahl modifizierter Gestaltungsvariablen den Werten der Szenarien 2 und 2N.
-20%		-40%		

Tabelle 26: Analyseergebnisse der Pilotanwendung

Zu betonen ist, dass die Aussagen aufgrund der exemplarisch selektierten Szenarien einen tendenziellen Charakter besitzen. Die Analyseergebnisse verdeutlichen weiterhin, dass jedes Szenario durch die jeweils spezifischen Wirkungszusammenhänge der Gestaltungsvariablen abweichende Ergebnisse liefert. Die dem Entscheidungsmodell innewohnende Komplexität der inkludierten Wechselwirkungen zwischen den Variablen schränkt somit das Verdichtungspotential der Ergebnisse zu allgemeingültigen Aussagen ein. Die Anwendung des Entscheidungsmodells und die hieraus resultierende Ableitung strategischer Handlungsalternativen müssen daher immer anhand einer Einzelfallbetrachtung situativ erfolgen.

Unabhängig von der beschriebenen Notwendigkeit der Einzelfallbetrachtung können die identifizierten Erkenntnisse dazu genutzt werden, um hieraus Handlungsempfehlungen abzuleiten, die basierend auf dem gewählten anwendungsorientierten Forschungsansatz als eine Entscheidungshilfe bei der Festlegung beschaffungsstrategischer Maßnahmen herangezogen werden können.

Zusammenfassend lassen sich basierend auf den Erkenntnissen des Analyseprozesses und deren Verdichtung folgende Handlungsempfehlungen formulieren:

- 1) Eine singuläre Erhöhung des Vergabevolumens zur Generierung einer Kosteneinsparung liefert keine beschaffungsstrategisch optimale Lösung. Vielmehr sollte stets auch die Reduzierung der Varianz vorangetrieben werden, um im Sinne eines ganzheitlichen Ansatzes sowohl das Komplexitäts- als auch das Kostenniveau zu optimieren (vgl. Warburton et al. 2013, S.29).  
Aus Sicht der Beschaffung bedeutet dies, dass erst durch die gleichzeitige Erhöhung der baukastenspezifischen Standardisierung und der hieraus resultierenden verstärkten Volumenbündelung eine optimale Realisierung von Kosteneinsparungen durch Nutzung von Skaleneffekten erreicht werden kann.
- 2) Eine Erhöhung der Varianz sollte nur in Kombination mit einer Volumenerhöhung umgesetzt werden, um negative Kosteneffekte zu vermeiden. Hierzu ist die Volumenerhöhung so zu wählen, dass der resultierende kostenminimierende Volumeneffekt gegenüber dem kostenerhöhenden Varianzeffekt ein hinreichend großes Kompensationspotential besitzt.
- 3) Eine Volumenreduzierung sollte mit einer gleichzeitigen Absenkung der Varianz einhergehen, um die negative Kostenwirkung des Volumeneffekts möglichst durch positive Varianzeffekte zu minimieren. Es konnte gezeigt werden, dass sich die Kompensationswirkung des Varianzeffektes mit sinkendem Volumen deutlich abschwächt. Somit muss bei einem Volumentrückgang der gleichzeitige Rückgang der Varianz überproportional groß sein, um die Kompensationswirkung zu maximieren.

- 4) Bei einer Volumenreduzierung können durch die Wahl einer Mehrlieferantenstrategie und die hieraus generierte Nutzung eines erhöhten Lieferantenwettbewerbes in Verbindung mit der Ausnutzung der eigenen Marktmacht Kostenvorteile generiert werden. Die Volumenbündelung auf eine reduzierte Anzahl von Lieferanten für eine bessere Ausnutzung inkludierter Skaleneffekte erscheint dagegen, bezogen auf das gewählte Anwendungsobjekt Volkswagen, bei einem Volumentrückgang zumindest mit Fokus auf die Kostenwirkung strategisch suboptimal.

Abschließend ist zu konstatieren, dass mit dem Einsatz des Demonstrators die Funktionsfähigkeit des Entscheidungsmodells und somit dessen Validität nachgewiesen werden konnten.

Die Ergebnisanalyse hat gezeigt, dass das Modellkonzept erstens bezogen auf die Sachlogik und Glaubwürdigkeit zufriedenstellende Ergebnisse liefert. Zweitens wurde durch die Extrahierung beschaffungsstrategischer Handlungsempfehlungen aus den Erkenntnissen der Ergebnisanalyse der Nachweis zur Erfüllung der ursprünglich vorgesehen Zweckbestimmung des Modells erbracht. Der Nutzenbeitrag des Entscheidungsmodells konnte somit trotz der begrenzten Betrachtung von Szenarien aufgezeigt werden. Folglich wurden die im Rahmen der Pilotanwendung gesetzten Ziele vollumfänglich erfüllt.

## 6.5 Nutzenbeitrag des Entscheidungsmodells für Theorie und Praxis

*„Ultimately, the measure of a valuable theoretical contribution is whether or not it helps us perceive and understand the world more clearly.“ (Fawcett & Waller, 2011, S. 3)*

Gute Forschung zeichnet sich demnach dadurch aus, dass zum einen das Interesse am Forschungsthema geweckt wird. Zum anderen schärft gute Forschung die Wahrnehmung bestehender Zusammenhänge (vgl. Fawcett & Waller 2011, S.3). Ergänzend führt KUBICEK (1977, S.7) aus, dass sich der maßgebende wissenschaftliche Fortschritt einer Arbeit nicht im Zuwachs der Erkenntnissicherung sondern im Zuwachs des Verständnisses und der hieraus resultierenden Beherrschbarkeit der Realität widerspiegelt. Zur Erschließung des Nutzenbeitrags muss man sich somit immer folgende Fragen stellen: „Für wen liefert der Forschungsbeitrag welchen Wissenszuwachs?“ und „Wie und wofür können die neuerlangten Erkenntnisse eingesetzt werden?“ (vgl. auch Kaufmann & Denk, 2011, S.68).

Die angeführten Aussagen lassen sich ohne Abstriche auch auf die praxisorientierte Nutzenanalyse übertragen, da die Beantwortung der Fragen auch für die Entscheidungsträger im Unternehmen gleichermaßen Relevanz besitzen.

Durch die Konzeption des strategischen Entscheidungsmodells liefert diese Arbeit einen Beitrag zur systematischen Erschließung der Effektwirkung modularer Baukästen bei der Ableitung beschaffungsstrategischer Entscheidungen. Der hierfür gewählte methodische

Ansatz aus qualitativer Exploration und quantitativer Modellkonzeptionierung unterstützt in hohem Maß eine transparente und strukturierte Identifikation zu untersuchender Wirkungszusammenhänge. Somit fördert der Ansatz den theoretischen und praktischen Erkenntnisgewinn bezogen auf die Identifikation relevanter Gestaltungsvariablen sowie deren Wechselwirkung gleichermaßen. Gleichzeitig wurde das Modellkonzept so gestaltet, dass eine Entkopplung von methodenspezifischem Wissen über KNN und fachspezifischem Wissen des Anwenders realisiert werden konnte. Vor allem in Bezug auf die Anwenderorientierung ist dieses Charakteristikum positiv zu bewerten.

Der Nutzenbeitrag für die Theorie liegt vorrangig in der fokussierten Betrachtung der Beschaffung begründet. Durch die gezielte Identifikation beschaffungsrelevanter Modularisierungseffekte und Komplexitätstreiber wurde die vorrangig produktorientierte Sichtweise innerhalb existierender methodischer Ansätze zur Gestaltung modularer Baukästen um eine Beschaffungsperspektive erweitert.

Damit liefert die Arbeit einen wichtigen Beitrag für eine ganzheitliche Beurteilung der Wirtschaftlichkeit modularer Baukästen. Vor allem die durch das integrative Modellkonzept erzielten Erkenntnisse über die Wechselwirkungen zwischen den Themenschwerpunkten Komplexität, modularer Baukasten und Beschaffung stellen einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung der in der Einleitung dieser Arbeit formulierten Forschungslücke dar.

Auch wenn das angesprochene Verdichtungspotential der Ergebnisse zu allgemeingültigen Aussagen aufgrund der Komplexität der inkludierten Wechselwirkungen zwischen den spezifischen Variablen eingeschränkt ist, liefern die Handlungsempfehlungen durch die angewandte sachlogische Ableitungsmethodik für beschaffungsfokussierte Fragestellungen übertragbare und damit allgemeingültige Erkenntnisse.

Daneben stellt der modellierte Konzeptionierungsprozess auf Basis KNN einen allgemeingültigen methodisch Ansatz bereit, der durch geeignete Modifizierungsmaßnahmen flexibel auf andere wissenschaftliche Fragestellungen adaptierbar ist. Bezogen auf den theoretischen Betrachtungsfokus besitzen somit sowohl die ergebnisanalytischen als auch prozessualen Erkenntnisse einen allgemeingültigen Mehrwert.

Der praktische Nutzenbeitrag liegt in der anwendungsorientierten Entwicklung eines dynamischen Modellkonzeptes. Durch die beschaffungsfokussierte systematische Erschließung der Effektwirkung modularer Baukästen trägt das Modellkonzept dazu bei, existierende Wechselwirkungen zwischen modularen Baukästen und beschaffungsstrategischen Entscheidungen besser zu verstehen.

Weiterhin kann das Modell als eine Beurteilungshilfe genutzt werden, da ausgehend von der Analyse der Simulationsergebnisse die Kosten- und Komplexitätswirkung beschaffungsstrategischer Entscheidungen direkt prognostizierbar ist.

Aus den Ergebnissen des Konzeptionierungsprozesses und der Pilotanwendung kann konstatiert werden, dass das Modell diverse Anwendungsmöglichkeiten für Aufgaben innerhalb des gesamten Beschaffungsprozesses bietet (vgl. Abbildung 69, grau hinterlegte Felder).

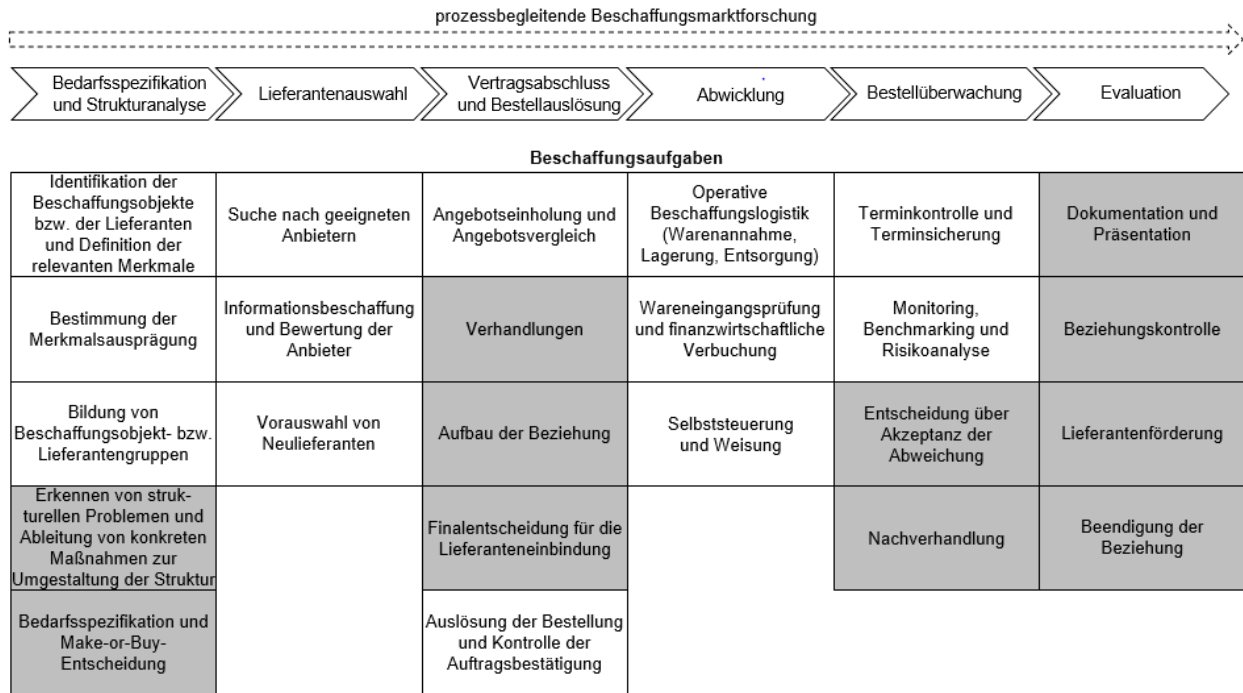


Abbildung 69: Anwendbarkeit und Nutzenbeitrag des Entscheidungsmodells für spezifische Beschaffungsaufgaben des Beschaffungsprozesses

Die Prognosefähigkeit des Modells kann dazu genutzt werden, strategischen Maßnahmen bzgl. einer strukturellen Umgestaltung des Lieferantenportfolios monetär zu bewerten bzw. diese in eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im Rahmen einer Make-or-Buy-Entscheidung einfließen zu lassen. Gleichzeitig stellt das Modell für den Beschaffer eine Unterstützungshilfe innerhalb des Vergabeprozesses dar, da strategische Überlegungen zu Lieferantenzahl, Lieferantenstandorte und Vergabevolumen je Lieferant monetär bewertet sowie Abweichung zwischen angebotenen und prognostizierten Kosten aufgezeigt werden. Die hieraus resultierende Förderung der Kostentransparenz kann auch dazu genutzt werden, Verträge nachzuverhandeln, bestehende Lieferantenbeziehung strategisch neu auszugestalten oder aber zu beenden.

Das Modellkonzept kann somit als ein unterstützendes Tool in der Praxis eingesetzt werden, welches die kostenoptimierende Nutzung von Skaleneffekten durch die Anwendung modularer Baukästen sowie die strategische Lieferantenentwicklung fördert und gleichzeitig den Aufbau eines ganzheitlichen Komplexitätsmanagements zur Optimierung des Komplexitätsniveaus im Unternehmen unterstützt. Durch die Anwendung des Modellkonzeptes auf Basis eines selbstlernenden KNN können innerhalb der Beschaffung somit Kosten reduziert werden (vgl. Schulze-Horn et al. 2020, S.624).

Weiterhin kann angemerkt werden, dass die von WYNSTRA ET AL. (2003, S.69) genannten drei Rollen des Beschaffers zur Zielerreichung der Beschaffungsfunktion integrativ durch das Modell abgebildet werden: erstens die rationale Rolle zur Sicherung der eigenen Wettbewerbsposition durch Generierung von Kosteneinsparungen, zweitens die

strukturierende Rolle durch Ausgestaltung des Lieferantenportfolios und drittens die entwickelnde Rolle durch Harmonisierung der produktorientierten Entwicklungstendenzen mit der Entwicklung potentieller Lieferanten.

Zusammenfassend sehen HOFMANN & STAIGER (2020, S.2) in der Anwendung intelligenter Systeme die Erschließung enormer Potentiale für zukünftige Revolutionen in der Beschaffung. Hier liefert die Arbeit durch die Konzeption des dynamisierten, selbstlernenden Modells einen wichtigen Forschungsbeitrag für Theorie und Praxis.

## **7. Zusammenfassende Schlussbetrachtung und Ausblick**

### **7.1 Meilensteine des Forschungsprozesses und Darlegung zentraler Ergebnisse**

Um eine strukturierte Darlegung der elementaren Meilensteine des Forschungsprozesses sowie der zentralen Ergebnisse der Forschungsarbeit zu gewährleisten, wird das Kapitel anhand der drei grundlegenden Forschungsfragen strukturiert.

Grundvoraussetzung für einen effizienten sowie problemlösungsorientierten Forschungsprozess bei der Beantwortung der Forschungsfragen ist die detaillierte Darlegung des Untersuchungsbereichs und die Vermittlung themenrelevanter Grundlagen. Die Einbettung der Arbeit in einen Bezugsrahmen sowie die Erläuterung wichtiger Begrifflichkeiten liefern dem Wissenschaftler eine unterstützende Ordnungsfunktion und erzeugen beim Autor und Leser ein einheitliches Grundverständnis.

Hierzu wurden in Abschnitt 2 die für die Beantwortung der Forschungsfragen relevanten Themenschwerpunkte Komplexität, modularer Baukasten und Beschaffung herausgearbeitet und sachlogisch miteinander verknüpft.

Am Beispiel der Automobilindustrie konnte gezeigt werden, dass Unternehmen heutzutage mit einem steigenden Komplexitätsniveau und einem Zwang zur Reduzierung des eigenen Kostenniveaus konfrontiert sind, um dem steigenden Wettbewerbsdruck standhalten zu können. KALUZA UND BLECKER (2005, S.19) führen hierzu zusammenfassend aus: „Der Erfolg eines Unternehmens hängt heute davon ab, ob es Veränderungen in seinem Umfeld frühzeitig erkennt und in seinem Wettbewerbsverhalten rechtzeitig berücksichtigt.“ Dieser Sachverhalt ist heute genauso gültig wie im Jahr 2005.

Vor allem die Implementierung modularer Baukästen und die damit verbundene Realisierung positiver Modularisierungseffekte durch die Reduktion der internen Varietät können in hohem Maß dazu beitragen, das omnipräsente Problem einer kosteneffizienten Produktvielfalt zu lösen und gleichzeitig die Herausforderungen im Umgang mit Komplexität erfolgreich zu meistern.

Es wurde weiterhin dargelegt, dass durch die voranschreitende Reduzierung der Wertschöpfungstiefe der Wertbeitrag der Beschaffung für den Unternehmenserfolg stetig an Bedeutung gewinnt. Durch strategische Entscheidungen hinsichtlich einer skaleneffektbezogenen Kostenoptimierung liefert die Beschaffung einen wichtigen Beitrag zur Rentabilität eines Unternehmens und trägt damit zu dessen Wettbewerbsfähigkeit bei. Das Ziel der Beschaffung muss in einer komplexitätsoptimalen Ausgestaltung der Beschaffungsstrategie liegen, die die unternehmerischen Erfolgsfaktoren Kosten, Qualität, Zeit, Flexibilität und Risiko zur Erhaltung und Verbesserung der eigenen Wettbewerbsfähigkeit ganzheitlich integriert.

Angesichts einer stetig steigenden Komplexität und eines zunehmenden Kostendrucks ist es für ein Unternehmen im Allgemeinen und den Funktionsbereich der Beschaffung im Besonderen zwingend erforderlich Strategien zu entwickeln, die es erlauben, sich an dynamisch veränderliche Rahmenbedingungen anzupassen. Grundvoraussetzung hierfür ist die Existenz geeigneter unternehmensinterner Steuerungs- und Analysemodelle.

Genau hier setzt die Grundidee der Arbeit mit der Konzeption eines anwendungsorientierten Entscheidungsmodells an. Mit der fokussierten Betrachtung beschaffungsrelevanter Einflussfaktoren und deren Integration in ein dynamisches Entscheidungsmodell liefert diese Arbeit einen entscheidenden Beitrag für die kostenorientierte Prognose strategischer Beschaffungsentscheidungen.

Die elementaren Meilensteine des Konzeptionsprozesses spiegeln sich in den in Abschnitt 1 aus dem aufgezeigten Forschungsbedarf abgeleiteten Forschungsfragen wider. Daher werden, wie bereits einleitend ausgeführt, sowohl der gewählte Forschungsprozess als auch die hieraus abgeleiteten Forschungsergebnisse nachfolgenden kontextbezogen zur betreffenden Forschungsfrage abgehandelt.

### **F<sub>1</sub>: Welches sind die beschaffungsrelevanten Gestaltungsvariablen für das Entscheidungsmodell aus Sicht von Wissenschaft und Praxis?**

Erster Prozessschritt der Identifikation relevanter Modellvariablen stellte in Abschnitt 3 die Durchführung einer Literaturrecherche dar. Basierend auf der Anwendung eines dreidimensionalen Analyseansatzes wurden in der Wissenschaft behandelte Komplexitätstreiber und Modularisierungseffekte identifiziert und durch Anwendung eines idealisierten Modells der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette wirkungslogisch verknüpft. Dies ermöglicht die ganzheitliche Betrachtung und Bewertung der komplexitätsoptimierenden Wirkung modularer Baukästen unter Berücksichtigung der inkludierten Wechselwirkung zwischen Komplexitätstreibern und Modularisierungseffekten. Durch das so aufgebaute Konstrukt war es möglich, die Themenschwerpunkte Komplexität und Modularisierung in einem integrativen Modellansatz zu konsolidieren.

Es wurde weiterhin ausgeführt, dass zur Ableitung optimaler strategischer Entscheidungen die ganzheitliche Betrachtung der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette und somit die Einbeziehung sämtlicher Funktionsbereiche in den Prozess der Entscheidungsfindung erforderlich ist.

Im Rahmen der Literaturrecherche hat sich jedoch gezeigt, dass ein solcher ganzheitlicher Betrachtungsansatz in den untersuchten Arbeiten nicht vollumfänglich zu finden ist. Vielmehr konnte herausgearbeitet werden, dass sich bspw. viele Arbeiten bei der Untersuchung der modularen Effektwirkung primär mit dem Einsatz der Modulstrategie als Ansatz der entwicklungsorientierten Produktstrukturierung befassen.

Es konnte festgestellt werden, dass die Beschaffung entgegen dem hohen Wertbeitrag zum Unternehmenserfolg in aktuellen wissenschaftlichen Arbeiten unzureichende Beachtung findet. Ein wichtiger Forschungsbeitrag dieser Arbeit liegt somit in der fokussierten beschaffungsspezifischen Eruiierung der beschriebenen Wirkungszusammenhänge, um durch die Erweiterung einer Beschaffungskomponente wichtige Erkenntnisse hinsichtlich eines ganzheitlichen Betrachtungsansatzes ableiten zu können.

Hierzu wurden entsprechend dem gewählten anwendungsorientierten Forschungsansatz in Abschnitt 4 die aus der Literatur extrahierten beschaffungsspezifischen Komplexitätstreiber und Modularisierungseffekte hinsichtlich ihrer Praxisrelevanz explorativ untersucht. Mithilfe der Durchführung semi-strukturierter Experteninterviews und deren praxisfokussierte Analyse konnten die aus den theoriegeleiteten Überlegungen deduktiv abgeleiteten Einflussgrößen induktiv weiterentwickelt werden.

Die Analyse hat verdeutlicht, dass die in der Wissenschaft diskutierten Problemstellungen in hohem Maß auch von den Experten als aktuelle Handlungsbedarfe im Umgang mit Komplexität und modularen Baukästen in der Praxis verstanden werden. Gleichzeitig konnte im Rahmen der Analyse aufgezeigt werden, dass aufgrund der fehlenden Kenntnis über die Kausalitätszusammenhänge zwischen den identifizierten Einflussgrößen und deren eingeschränkte Quantifizierbarkeit über die Wirtschaftlichkeit modularer Baukästen sowie deren Komplexitätswirkung auf die Beschaffung kaum eine belastbare Aussage möglich ist.

Resultierend hieraus rückte im weiterführenden Forschungsprozess die Beantwortung der Forschungsfrage F<sub>2</sub> in den Fokus.

### **F<sub>2</sub>: In welchen Wirkungszusammenhängen stehen die identifizierten Modellvariablen zueinander?**

Zur Überwindung der aufgezeigten Forschungslücke über die unzureichende Kenntnis der Wirkungszusammenhänge wurde für die Modellkonzeptionierung ein Ansatz auf Basis eines KNN gewählt.

Die Vorteilhaftigkeit dieses Forschungsansatzes für die dargelegte Problemstellung liegt darin begründet, dass auch ohne die Kenntnis der mathematischen Funktion zur Transformation der INPUT- in die OUTPUT-Werte KNN in der Lage sind, die inkludierten Wirkungsbeziehungen anhand sachlogischer Verknüpfungen zu approximieren. Die hierfür genutzten Operationen orientieren sich an den neuronalen Verknüpfungsmustern des menschlichen Gehirns. Damit ist es KNN im Gegensatz zu statischen Modellen möglich, sich flexibel an wechselnde Rahmenbedingungen oder neue Problemstellungen anzupassen. Diese inkludierte Flexibilität ist vor allem vor dem Hintergrund der Praxisanwendung ein Herausstellungsmerkmal des aufgezeigten Prozesses der Modellkonzeption.

Der Konzeptionierungsprozess des strategischen Entscheidungsmodells erfolgte in mehreren Prozessstufen, wobei die anfängliche Herausforderung in der Ableitung eines geeigneten Kennzahlensystems zur Verdichtung und Transformation der in der Literaturrecherche und Praxisanalyse identifizierten Einflussfaktoren zu Modellkennzahlen lag. Basierend auf dem entwickelten Kennzahlensystem mit fünf Gestaltungs-, einer Ordnungs- und zwei Erfolgsvariablen wurden anschließend unter Berücksichtigung der inkludierten sachlogischen Verknüpfung der Modellvariablen das Strukturmodell des KNN in Form eines Pfaddiagramms erarbeitet sowie geeignete Parameter für das Anlernen des Netzes definiert.

Unter Anwendung der Simulationssoftware MemBrain und Einbeziehung unternehmensbezogener datenbankbasierter Sekundärdaten stellte das anschließende Netztraining den finalen Schritt des Konzeptionierungsprozesses dar. Dabei erschien es sinnvoll, sich nicht auf ein einziges Netz zu beschränken, sondern unterschiedliche externe und interne Netztypologien vergleichend gegenüberzustellen.

Als Ergebnis des Netztrainings konnte festgestellt werden, dass ein Netz der Strukturvariante B mit zwölf verdeckten Neuronen (6x6) und Logistischer Aktivierungsfunktion bezogen auf das Anwendungsbeispiel das am besten geeignete Netz (Minimum der Fehlerfunktion) darstellt. Die Arbeit bestätigt somit den bereits in der Theorie zu den KNN erwähnten Sachverhalt, dass die Vorteilhaftigkeit der jeweiligen Kombinatorik aus interner und externer Netztopologie in Abhängigkeit der Problemstellung zu betrachten ist.

Die zusammenfassende Ergebnisanalyse des Konzeptionsprozesses hat gezeigt, dass zwischen den im Modell berücksichtigten Gestaltungsvariablen markante Unterschiede in deren Wirkungsintensität auf die Erfolgsvariablen existieren.

Die Untersuchung der Wirkungsintensität anhand der aufsummierten Kantengewichte in Anlehnung an den Ansatz des kritischen Pfads ergab, dass die Höhe der Investitionen (Invest) primär von der Anzahl nominierter Lieferanten (AnzLief), der Anzahl an Produktionsstandorten des Lieferanten (AnzProdOrtLief) und der Werkstoffgruppe (WstGr) bestimmt wird.

Bezogen auf die Erfolgsvariable der direkten bauteilbezogenen Einzelkosten (A-Preis) wurde festgestellt, dass das Vergabevolumen (BedQuo) den mit Abstand größten Wirkungseffekt besitzt. In Analogie zu den Investitionen gehören auch bei den Einzelkosten die Anzahl der Lieferanten (AnzLief) sowie deren Anzahl an Produktionsstandorten (AnzProdOrtLief) zur Gruppe der drei Gestaltungsvariablen mit der höchsten gewichtsbasierten Wirkungsintensität, die im Rahmen strategischer Entscheidungen hinsichtlich ihrer Kosten- und Komplexitätswirkung intensiv diskutiert werden sollten.

Im Gegensatz dazu wurde durch die Ergebnisse des Netztrainings aufgezeigt, dass sich die in der Theorie- und Praxisanalyse herausgearbeitete hohe Komplexitätswirkung der Modellvariable Teilenummernanzahl (AnzTnr) nicht in ähnlicher Intensität auch in der Kostenwirkung widerspiegelt.

Aufgrund einer simultanen Kosten- und Komplexitätswirkung ist zu betonen, dass weniger dominante Gestaltungsvariablen keineswegs vernachlässigbar sind. Um belastbare strategische Entscheidungen ableiten zu können, muss die Anwendung des Entscheidungsmodells im Kontext einer ganzheitlichen Betrachtung sämtlicher Gestaltungsvariablen erfolgen.

Welche unterstützenden Erkenntnisse hinsichtlich beschaffungsstrategischer Entscheidungen aus der Anwendung des Modellkonzeptes abgeleitet werden können, stand im Betrachtungsfokus des weiterführenden Forschungsprozesses und spiegelt sich inhaltlich in der dritten Forschungsfrage wider.

**F<sub>3</sub>: Welche Handlungsempfehlungen lassen sich hinsichtlich einer komplexitätsoptimierenden Ausrichtung der Beschaffungsstrategie aus den gewonnenen Erkenntnissen ableiten?**

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurde das konzipierte Entscheidungsmodell bezüglich seiner Praxistauglichkeit in Form einer Pilotanwendung am Beispiel des Modularen Querbaukastens des Volkswagen Konzerns untersucht. Hierzu wurden durch die exemplarische Modifizierung eines Faktorensatzes bekannter Gestaltungsvariablen zehn Szenarien aufgebaut und für zwei frei definierte Systemzustände der prozentualen Veränderung von +/- 25% und +/- 50% untersucht. Anhand der nachgelagerten Ergebnisanalyse konnte die Funktionsfähigkeit des Entscheidungsmodells argumentativ nachgewiesen werden.

Gleichzeitig konnten durch die erzielten Erkenntnisse der demonstrativen Anwendung praxisrelevante Implikationen in Form von beschaffungsstrategischen Handlungsempfehlungen extrahiert werden. Die abgeleiteten Handlungsempfehlungen sind nachfolgend nochmals in einer inhaltlich komprimierten Form aufgelistet:

- 1) Eine singuläre Erhöhung des Vergabevolumens liefert keine beschaffungsstrategisch optimale Lösung. Vielmehr sollte stets auch die Reduzierung der Varianz vorangetrieben werden, um im Sinne eines ganzheitlichen Ansatzes sowohl das Komplexitäts- als auch das Kostenniveau zu optimieren.
- 2) Eine Erhöhung der Varianz sollte nur in Kombination mit einer Volumenerhöhung umgesetzt werden, um das Kompensationspotential des kostenminimierenden Volumeneffekts gegenüber dem kostenerhöhenden Varianzeffekt zu nutzen und somit negative Kosteneffekte zu vermeiden.
- 3) Eine Volumenreduzierung sollte mit einer gleichzeitigen Absenkung der Varianz einhergehen, um die negative Kostenwirkung des Volumeneffekts möglichst durch positive Varianzeffekte zu minimieren.
- 4) Bei einer Volumenreduzierung können durch eine wettbewerbsfördernde Mehrlieferantenstrategie Kostenvorteile generiert werden.

Zusammenfassend kann somit konstatiert werden, dass der erwartete Nutzenbeitrag des Entscheidungsmodells bestätigt werden konnte.

Wie bereits ausgeführt, liegt der theoretische Nutzenbeitrag in der Erweiterung der vorrangig produktorientierten Sichtweise um eine Beschaffungsperspektive. Durch die untersuchten Wechselwirkungen zwischen den Themenschwerpunkten Komplexität, modularem Baukasten und Beschaffung sowie deren integrative Zusammenführung in ein Modellkonzept liefert diese Arbeit einen wichtigen Beitrag für eine ganzheitliche Beurteilung der Wirtschaftlichkeit modularer Baukästen. Die in der Einleitung der Arbeit formulierte Forschungslücke konnte somit reduziert werden.

Den praktischen Nutzenbeitrag stellt die anwendungsorientierte Entwicklung eines dynamischen Modellkonzeptes zur Nutzung als beschaffungsstrategische Entscheidungshilfe dar, um durch das verbesserte Verständnis existierender Wechselwirkungen komplexitäts- und kostenfokussierte Optimierungen zu erzielen. Damit unterstützt das Entscheidungsmodell den Aufbau eines ganzheitlichen Komplexitätsmanagements und hilft dabei, den in der Praxis existierenden Zielkonflikt zwischen einer verstärkten Nutzung von Skaleneffekten und einer Zunahme von Komplexität aufzulösen.

Zum Abschluss des Kapitels wird beurteilt, inwieweit die dargelegten zentralen Ergebnisse dieser Arbeit den wissenschaftlichen Anspruch nach Allgemeingültig erfüllen.

Erstens unterstützt das gewählte Forschungsdesign, die sequenzielle Abfolge von qualitativer und quantitativer Forschungsmethodik, die intersubjektive Nachvollziehbarkeit und Überprüfbarkeit des gesamten Forschungsprozesses (vgl. Mayring 2001, S.12).

Zweitens wurden Methodiken hinsichtlich ihrer Eignung zur Sicherstellung eines objektiven und validen Forschungsprozesses ausgewählt und begründend dargelegt. Es kann folglich konstatiert werden, dass die erzielten Ergebnisse ein hohes Maß an Unabhängigkeit von der Person des Wissenschaftlers selbst aufweisen. Gleichzeitig wurde die Validität über die Erfüllung der ursprünglich vorgesehen Zweckbestimmung des Modells sowie die Sachlogik und Glaubwürdigkeit der Ergebnisse nachgewiesen.

Drittens ist positiv hervorzuheben, dass trotz der starken Fokussierung auf die Automobilbranche und Beschaffung die im Rahmen der Arbeit erzielten Erkenntnisse sowie das entwickelte Konzept mit wenigen Modifikationen auch auf andere Branchen bzw. Funktionsbereiche des Unternehmens transferiert werden können. Weiterhin sind die aus der Pilotanwendung erarbeiteten Ergebnisse und abgeleiteten Handlungsempfehlungen mitnichten auf die Anwendung modularer Baukästen beschränkt, sondern liefern allgemeingültige Erkenntnisbeiträge für beschaffungsstrategische Entscheidungen.

Die thematische Fokussierung sowie die prozessuale Abfolge der gewählten Forschungsmethodik stellen somit keine Limitation des Blickwinkels dar und stehen dem wissenschaftlichen Anspruch der Allgemeingültigkeit nicht entgegen.

Einzig die Entscheidung zur Anwendung von KNN als heuristisches Modellkonzept führt zu einer eingeschränkten Reliabilität. Als Ursache wurde angeführt, dass verschiedene Lernprozesse eines KNN unter gleichen Randbedingungen zwar ähnliche aber keine

identischen Ergebnisse liefern. Die hieraus resultierende Limitation bezogen auf die Allgemeingültigkeit der Erkenntnisse wird im nachfolgenden Kapitel erörtert.

## 7.2 Kritische Würdigung bestehender Limitationen

Die Feststellung möglicher Limitationen einer Forschungsarbeit stellt einen wichtigen Baustein im Forschungsprozess dar, da aus einer bestehenden Limitation gleichzeitig weiterführender Forschungsbedarf ableitbar ist.

Eine Limitation kann dann als existent angenommen werden, wenn Forschungsfragen und die damit einhergehenden Forschungsziele durch den Forschungsprozess nicht vollumfänglich beantwortet bzw. erfüllt werden konnten.

Diesem Verständnis entsprechend erfolgt das Aufzeigen bestehender Limitationen durch die Bestimmung des Zielerreichungsgrades der in Kapitel 1.3 dargelegten Teilziele dieser Arbeit. Hierzu wurde in Tabelle 27 die gewählte tabellarische Darstellung zur Detaillierung der Forschungsziele modifiziert und um einen subjektiv abgeschätzten prozentualen Zielerreichungsgrad ergänzt.

	Inhalt	Zielerreichungsgrad
Forschungsprozess ↓	1. Teilziel	erfüllt (100%)
	2. Teilziel	annähernd erfüllt (95%)
	3. Teilziel	annähernd erfüllt (95%)
	4. Teilziel	erfüllt (100%)
	5. Teilziel	mit Einschränkung erfüllt (90%)
	6. Teilziel	mit Einschränkung erfüllt (90%)

Tabelle 27: Zielerreichungsgrad gesetzter Forschungsziele

Die Abstriche in der Zielerreichung der **Teilziele 2 und 3** können mit der kritischen Hinterfragung begründet werden, dass eine vollumfängliche Identifizierung modellrelevanter Einflussgrößen nicht garantiert werden kann. So besteht trotz der intensiv und systematisch durchgeführten Literaturrecherche die Möglichkeit, dass wichtige themenrelevante Arbeiten unberücksichtigt geblieben sind. In Analogie kann argumentiert werden, dass im Rahmen der durchgeführten Praxisanalyse durch die angewendete Sampling-Strategie wichtige Experten nicht interviewt wurden bzw. die angeführte theoretischen Sättigung als Abbruchkriterium zur Durchführung weiterer Interviews die Exploration zusätzlicher wichtiger Erkenntnisse verhinderte. Auch wenn die getroffenen Entscheidungen hinsichtlich der gewählten Forschungsmethodik stets begründend dargelegt wurden, besteht dennoch die Möglichkeit einer limitierten Aussagekraft, auch wenn diese als gering einzuschätzen ist.

Die Limitation der Arbeit bezogen auf **Teilziel 5** besitzt ihren Ursprung in der Entscheidung, die Modellkonzeptionierung auf Basis eines KNN durchzuführen. Im Detail konnten drei limitierende Faktoren identifiziert werden.

Erstens haben die Ausführungen in Abschnitt 5 gezeigt, dass KNN bezogen auf die Exaktheit der prognostizierten Werte im Vergleich zu rein mathematischen Optimierungsansätzen Einschränkungen in der Ergebnisgüte aufweisen, da die identifizierten Wirkungszusammenhänge über ein heuristisches Näherungsverfahren bestimmt werden.

Zweitens müssen die im Rahmen des entwickelten Kennzahlensystems berücksichtigten Einflussfaktoren, entsprechend der Einordnung von KNN in die Klasse mathematisch-statistischer Verfahren, zwingend quantifizierbar sein. Die ausschließliche Betrachtung quantifizierbarer Einflussfaktoren kann somit als weitere Limitation angesehen werden, da auch nicht-quantifizierbare Faktoren in hohem Maß Einfluss auf die Kostenstruktur eines Unternehmens besitzen können (vgl. Kersten et al. 2011, S.24).

Drittens wurde ausgeführt, dass die Replikationsfähigkeit der erzielten Ergebnisse und deren Aussagefähigkeit von der gewählten Netztopologie, den festgelegten Netzparametern sowie der Qualität, Quantität und Präsentationsreihenfolge der Datensätze abhängig sind. Bereits eine geringfügige Abweichung der Lernparameter, initialisierten Startgewichte und Zufallsauswahl der Trainingsdaten können zu geänderten Parameterschätzungen (Gewichte) des Netzes führen und die Replikationsfähigkeit einschränken (vgl. Zander 2001, S.225f.).

Auch wenn die Teilziele 5 und 6 eine enge inhaltliche Verknüpfung aufweisen, resultiert die Limitation der Zielerreichung bezogen auf das **Teilziel 6** nicht aus dem gewählten Konzeptionierungsprozess auf Basis eines KNN direkt, sondern aus den festgelegten Prämissen im Rahmen der Pilotanwendung. Die bewusste Entscheidung, die Pilotanwendung in Form einer qualitativen Einzelfallbetrachtung für eine spezifische Werkstoffgruppe (WstGr) mit einer beschränkten Anzahl exemplarisch definierter Szenarien durchzuführen, lässt die Frage unbeantwortet, ob das Modellverhalten für eine alternative WstGr oder anderweitig modifizierte Szenarien ähnliche oder abweichende Ergebnisse liefern würde. Somit muss konstatiert werden, dass die formulierten Handlungsempfehlungen in Teilaspekten bzgl. ihrer Allgemeingültigkeit möglicherweise limitiert sind.

Zusammenfassend ist damit festzuhalten, dass einige Teilaspekte der anfänglichen Zielstellung nicht zuletzt auch aufgrund der gewählten Betrachtungstiefe unbeantwortet bleiben.

### 7.3 Weiterführender Forschungsbedarf

Da sich aus einer Limitation argumentativ stets auch ein neuer Forschungsbedarf ableiten lässt, sollen am Ende dieser Arbeit die in Kapitel 7.2 dargelegten Limitationen dazu genutzt werden, Denkanstöße für weiterführende themenverwandte Forschungsarbeiten aufzuzeigen. Die aufgezeigten Limitationen dieser Arbeit sind somit nicht zwingend negativ zu bewerten, sondern fördern in einer positiven Art und Weise gleichzeitig den wissenschaftlichen Fortschritt.

Innerhalb des Analyseprozesses wurde aufgezeigt, dass sowohl Modularisierungseffekte als auch Komplexitätstreiber unternehmensweit wirken, wobei die Intensität ihrer Wirkung bereichsspezifisch unterschiedlich ausfällt (vgl. Persson 2004, S.36). Aufgrund des hohen Korrelationsgrades zwischen den einzelnen Einflussgrößen und deren bereichsübergreifender Wirkung ist eine separierte funktionspezifische Betrachtung für eine optimierende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung suboptimal. Dieser Sachverhalt wird in Theorie und Praxis gleichermaßen bewertet.

*„Funktionsspezifisches Optimieren führt leider nicht zum gesamtbetrieblichen Optimum“ (Adam & Johannwille 1998, S.10).*

*„Ein Gesamtoptimum wirtschaftlicher Natur finden wir nur dann, wenn die verschiedenen Aspekte von der Produktion, vom After Sales, von der Entwicklung, von der Beschaffungsseite her, auch von der Q-Seite so in ein Gesamtwerk einfließen können, dass eben nicht singuläre Optima dazu führen, dass man andere Aspekte außenvorlässt und damit eben das globale Optimum nicht erwischt“ (Experte S).*

Folglich muss das Ziel zukünftig noch verstärkter in der ganzheitlichen Modellintegration aller Funktionsbereiche der innerbetrieblichen Wertschöpfung liegen. Strategische Entscheidungen bzgl. des optimalen Komplexitäts- und Kostenniveaus dürfen sich nicht auf einzelne Funktionsbereiche beschränken, sondern erfordern eine konsequente Abstimmung zwischen allen Funktionsbereichen des Unternehmens (vgl. Dehnen 2004, S.198f.)

Genau hier liegt der große Mehrwert dieser Arbeit für nachfolgende Forschungsaktivitäten begründet, nämlich die Übertragung des entwickelten Modellkonzeptes auf Basis künstlicher Intelligenz auf andere Funktionsbereiche (vgl. Schulze-Horn et al. 2020, S.633) sowie die Kopplung mehrerer KNN zur Schaffung eines ganzheitlichen Ansatzes für das Gesamtunternehmen (vgl. Abbildung 70).

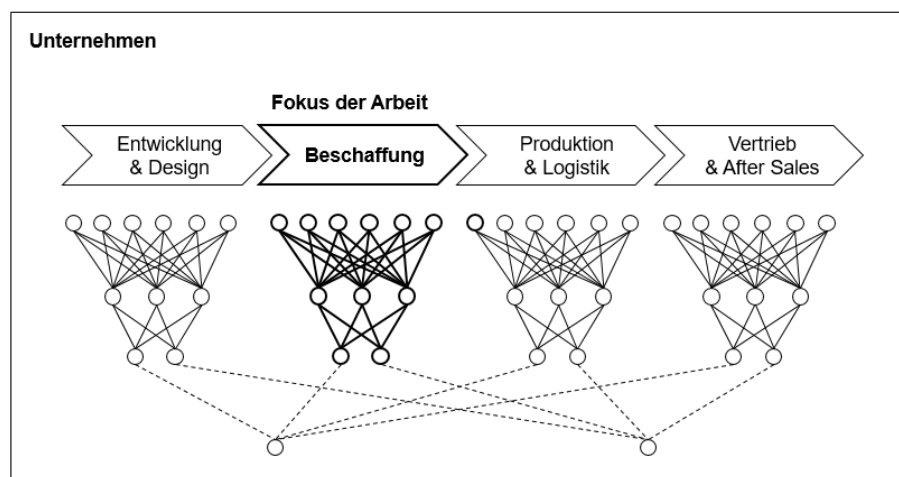


Abbildung 70: Funktionsbereichsübergreifende Kopplung des Entscheidungsmodells  
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Kohlhasse (1997, S.155)

Damit wird ein von KOHLHASE (1997, S.154ff.) vorgestellter potentieller Ansatz, der die Kombinatorik mehrerer KNN zur Kostenprognose unterschiedlicher Kostenarten als potentiellen Forschungsbedarf aufgezeigt hat, revitalisiert und auf die abgehandelte Thematik dieser Arbeit übertragen. Die aus der Untersuchung einer Kopplung einzelner funktionsbereichsspezifischer Entscheidungsmodelle zu realisierenden Optimierungspotentiale werden als hoch eingeschätzt.

Es besteht außerdem weiterführender Forschungsbedarf in der Prüfung, inwieweit das Modell durch bisher nicht berücksichtigte Einflussgrößen sinnvoll ergänzt sowie die Netztopologie und Lernparameter modifiziert werden können, um die Aussagewirkung des Entscheidungsmodells und dessen Ergebnislage weiter zu optimieren.

Daneben könnte ein vielversprechender Forschungsansatz in der Integration qualitativer Modellvariablen liegen, um deren Einfluss auf die Kostenstruktur eines Unternehmens zu eruieren.

Weiterhin wurde die aktuelle Schwierigkeit einer unzureichenden Quantifizierbarkeit der Komplexitätskosten thematisiert. Aktuell liefert das Modellkonzept keine quantifizierte Aussage über die Auswirkung der strategischen Entscheidung auf das Komplexitätsniveau und damit auf die Änderungshöhe der inkludierten Komplexitätskosten. Auch hierzu lassen sich bezogen auf eine verbesserte quantifizierbare Entscheidungsbasis interessante Ansätze für weitere Forschungsarbeiten ableiten, um zukünftig dem geforderten ganzheitlichen Ansatz der simultanen Betrachtung des optimalen Komplexitäts- und Kostenniveaus vollumfänglich zu entsprechen.

Als weiterer vielversprechender Forschungsansatz kann untersucht werden, inwieweit die Modellergebnisse im Rahmen der Forschungsaktivitäten zum „Preferred-Customer“-Konzept im Hinblick auf die strategische Lieferantenentwicklung zur Steigerung der eigenen Kundenattraktivität beim Lieferanten bei gleichzeitiger Generierung von Kostenpotentialen integriert werden können (vgl. Schiele et al. 2011; Schiele et al. 2012). Zusammenfassend liefert diese Arbeit somit eine Vielzahl neuer Denkanstöße und ebnet den Weg für zukünftige Forschungsarbeiten.

Zu guter Letzt ist ausblickend festzuhalten, dass trotz der im Rahmen dieser Arbeit bei der Konzeption des Entscheidungsmodells angewendeten Beschaffungsfokussierung das Konzept und der Entwicklungsprozess des Modells mit geringen Modifikationen auch auf die weiteren Funktionsbereiche der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette übertragbar sind. Darüber hinaus ist der Prozess der Modellkonzeption durch ein hohes Maß an Flexibilität charakterisiert und somit auch in anderen Wirtschaftsbranchen und nicht nur in der Automobilindustrie einsetzbar.

## V. Anhang – Anschreiben und Interviewleitfaden

**VOLKSWAGEN**  
AKTIENGESELLSCHAFT

**AutoUni**   
Institut für Beschaffung

Betreff: Promotion „Modulstrategie in der Beschaffung“  
**Durchführung konzerninterner Interviews zur  
Identifizierung beschaffungsrelevanter Komplexitätstreiber  
und deren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit modularer Baukästen**

Sehr geehrte Damen und Herren,

die Implementierung modularer Baukästen wird in Wissenschaft und Praxis als Lösungsansatz zur Generierung von Einsparungspotenzialen und zur Reduzierung von Produktkomplexität diskutiert. Dennoch ist es derzeit aufgrund einer fehlenden ganzheitlichen Betrachtung kaum möglich, eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit modularer Baukästen zu treffen. Um diese Lücke zu schließen, wird im Rahmen eines Promotionsvorhabens der Beschaffung der Volkswagen AG, unter interner Verantwortung von K-BN-B, in Kooperation mit der TU Hamburg-Harburg ein strategisches Entscheidungsmodell für die komplexitätskostenoptimierte Implementierung modularer Baukästen aus Sicht der Beschaffung konzipiert. Um dabei der Schnittstellenfunktion der Beschaffung gerecht zu werden, ist bei der Modellentwicklung auch die Integration der Sichtweisen anderer Funktionsbereiche von essenzieller Bedeutung.

Im Zuge dieses Vorhabens stellt die Durchführung von Experteninterviews zur Identifizierung beschaffungsrelevanter Einflussfaktoren und Ableitung ihrer Wirkungszusammenhänge eine fundamentale Voraussetzung für die erfolgreiche Implementierung des Entscheidungsmodells dar.

Die Interviews sind als persönliches Gespräch konzipiert und sollen ein Zeitfenster von 1 Stunde nicht überschreiten. Der sich im Anhang befindliche Interviewleitfaden dient der inhaltlichen Aufarbeitung der Thematik in Vorbereitung auf das Interview. Dadurch wird der Erkenntnisbeitrag gesteigert und der Zeitaufwand des Interviews reduziert. Es besteht seitens des Interviewten jedoch keine Notwendigkeit der schriftlichen Ausarbeitung, so dass der zeitliche Aufwand allein auf die Dauer des Interviews beschränkt ist.

Für eine bessere Informationsauswertung wird ein digitaler Mitschnitt des Interviews erstellt. Dies erfolgt jedoch nur mit ausdrücklicher Erlaubnis des Interviewpartners. Alle Aussagen werden entsprechend der Datenschutzbestimmungen des Volkswagen Konzerns anonymisiert, nur im Rahmen der Themenbearbeitung eingesetzt, nach Abschluss datenschutzsicher vernichtet und nicht anderweitig verwendet.

Durch ihre tatkräftige Unterstützung leisten Sie einen wichtigen Beitrag für die erfolgreiche Erstellung dieser Promotion und sichern Volkswagen dadurch zukünftig einen wichtigen Wettbewerbsvorteil.

Mit freundlichen Grüßen

XXX  
X  
X

XXX  
X  
X

XXX  
X  
X



## INTERVIEWLEITFADEN

**Ziel: Identifizierung beschaffungsrelevanter Komplexitätstreiber und deren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit modularer Baukästen**

Name:

Abteilung:

Datum des Interviews:

### **Datenschutzbestimmungen/ Digitaler Mitschnitt:**

Alle im Rahmen dieses Interviews getätigten Aussagen unterliegen der Geheimhaltung und werden ausschließlich in anonymisierter Form weiterverwendet. Zusätzlich wird für eine nachgelagerte Auswertung des Interviews ein Tonbandmitschnitt angefertigt. Sämtliche erhobene Daten werden nur im Rahmen der Themenbearbeitung eingesetzt, nach Abschluss datenschutzsicher vernichtet und nicht anderweitig verwendet.

Zusätzliche Bestimmungen: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Unter den oben genannten Bedingungen stimme Ich einem digitalen Mitschnitt des Interviews zu.**

\_\_\_\_\_

(Unterschrift des Interviewten)

Gliederungspunkte	Themenschwerpunkt	Schwerpunktfragen
<b>I Einleitung</b>	Berufliche/ thematische Erfahrung und Tätigkeitsbereich	<input type="checkbox"/> Wie lange arbeiten Sie in der Automobilindustrie/ im Konzern/ in Ihrer derzeitigen Position? <input type="checkbox"/> Bitte geben Sie einen kurzen Überblick über Ihren Tätigkeitsbereich. <input type="checkbox"/> In welchem Verhältnis stehen hierbei strategische und operative Tätigkeiten zueinander? <input type="checkbox"/> Wie schätzen Sie selbst Ihren Erfahrungswert mit der Thematik modulare Baukästen und/oder Komplexität ein?
<b>II Modularisierungseffekte und deren Kennzahlen</b>	Begriffsverständnis und subjektive Wahrnehmung	<input type="checkbox"/> Wie definieren Sie den Begriff „modularer Baukasten“, „Modul“, „Modularisierungseffekt“? <input type="checkbox"/> Was spricht aus Ihrer Sicht für die Implementierung modularer Baukästen? <input type="checkbox"/> Welche Veränderungen ergeben sich verglichen mit der Plattformstrategie durch diesen Implementierungsprozess <input type="checkbox"/> für das Unternehmen? <input type="checkbox"/> für die Beschaffung? <input type="checkbox"/> Welchen Einfluss hat aus Ihrer Sicht die Beschaffung auf die Gestaltung modularer Baukästen? <input type="checkbox"/> Ist der Bedeutung der Beschaffung bei der Gestaltung modularer Baukästen in ausreichendem Maß Rechnung getragen?
	Identifizierung von Modularisierungseffekten	<input type="checkbox"/> Welche (positiven/ negativen) Modularisierungseffekte sind Ihnen bekannt? <input type="checkbox"/> Welche dieser Modularisierungseffekte haben vor allem für die Beschaffung hohe Relevanz? <input type="checkbox"/> Wie schätzen Sie die Beeinflussbarkeit dieser Effekte durch die Beschaffung ein? <input type="checkbox"/> Gibt es Effekte, die auf die Beschaffung kaum einen Einfluss haben?
	Stellhebel für die kostenoptimierte Gestaltung modularer Baukästen	<input type="checkbox"/> Welches sind Ihrer Meinung nach nutzbare Stellhebel für eine kostenoptimierte Gestaltung modularer Baukästen? <input type="checkbox"/> Mit welchen Stellhebeln lässt sich aus Sicht der Beschaffung die Baukastenstruktur kostenorientiert beeinflussen? <input type="checkbox"/> Welche Stellhebel werden zukünftig für die Beschaffung an Relevanz gewinnen/ verlieren?

	Kennzahlen für die Quantifizierbarkeit von Modularisierungseffekten	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Werden die Potenziale der jeweiligen Effekte des modularen Baukastens derzeit durch die Ermittlung definierter Kennzahlen messbar gemacht?             <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Ja</li> <li><input type="checkbox"/> teilweise</li> <li><input type="checkbox"/> Nein</li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> <b>Wenn Ja</b>, welche Kennzahlen sind dies?</li> <li><input type="checkbox"/> Lassen sich die genannten Kennzahlen eindeutig einem bestimmten Modularisierungseffekt zuordnen?</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Wenn Nein oder teilweise</b>, welche Kennzahlen sollten zur Quantifizierung des jeweiligen Modularisierungseffekts (zusätzlich) herangezogen werden?</li> </ul>
<b>III Komplexität und Komplexitätstreiber</b>	Begriffsverständnis und subjektive Wahrnehmung	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Was verstehen Sie unter dem Begriff „Komplexität“, „Komplexitätstreiber“, „Komplexitätskosten“?</li> <li><input type="checkbox"/> Wodurch entsteht Komplexität?</li> <li><input type="checkbox"/> Worin besteht für Ihren Unternehmensbereich die Herausforderung im Umgang mit Komplexität?</li> <li><input type="checkbox"/> Wie hat sich der Einfluss der Komplexität in den letzten 5 Jahren verändert?</li> <li><input type="checkbox"/> Wie schätzen Sie das Komplexitätskostenniveau             <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> innerhalb des Unternehmens ein?</li> <li><input type="checkbox"/> innerhalb der Beschaffung ein?</li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> Wie schätzen Sie den Komplexitätskostenvorlauf durch die Implementierung modularer Baukästen verglichen mit der Plattformstrategie ein?</li> <li><input type="checkbox"/> Woran lassen sich die aufgezeigten Veränderungen hinsichtlich der Komplexität in der Beschaffung ableiten?</li> <li><input type="checkbox"/> Wird bei der Gestaltung modularer Baukästen ein aktives Komplexitätsmanagement betrieben?</li> <li><input type="checkbox"/> Welche Strategie des Komplexitätsmanagements wird bzw. sollte bei der Gestaltung modularer Baukästen Ihrer Meinung nach in Ihrem Unternehmen primär umgesetzt werden?</li> <li><input type="checkbox"/> Welchen Einfluss haben modulare Baukästen auf die Komplexität und die Komplexitätskosten             <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> innerhalb des Unternehmens?</li> <li><input type="checkbox"/> innerhalb der Beschaffung?</li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> Welchen Einfluss hat die Komplexitätsthematik bei der Gestaltung modularer Baukästen             <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> auf das Unternehmen?</li> <li><input type="checkbox"/> auf die Beschaffung?</li> </ul> </li> </ul>

	Identifizierung von Komplexitätstreibern	<input type="checkbox"/> Welche Komplexitätstreiber gibt es und wo haben diese ihren Ursprung? <input type="checkbox"/> Welche Komplexitätstreiber haben vor allem für die Beschaffung hohe Relevanz? <input type="checkbox"/> Wie schätzen Sie die Beeinflussbarkeit dieser Komplexitätstreiber durch die Beschaffung ein? <input type="checkbox"/> Gibt es Komplexitätstreiber, die auf die Beschaffung kaum einen Einfluss haben?
	Stellhebel für die Optimierung des Komplexitätsniveaus	<input type="checkbox"/> Mit welchen Stellhebeln lassen sich aus Sicht der Beschaffung die Komplexitätskosten beeinflussen? <input type="checkbox"/> Welche dieser Stellhebel ist Ihrer Meinung nach auf die Implementierung modularer Baukästen zurückzuführen? <input type="checkbox"/> Welche Stellhebel werden zukünftig aus Sicht der Beschaffung an Relevanz gewinnen/ verlieren?
	Kennzahlen für die Quantifizierbarkeit von Komplexitätstreibern	<input type="checkbox"/> Werden die Auswirkungen der Komplexität und die daraus resultierenden Komplexitätskosten derzeit durch Kennzahlen quantifiziert? <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> teilweise <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> <b>Wenn Ja</b> , welche Kennzahlen sind dies? <input type="checkbox"/> Lassen sich die genannten Kennzahlen einem bestimmten Komplexitätstreiber zuordnen? <input type="checkbox"/> <b>Wenn Nein oder teilweise</b> , welche Kennzahlen sollten zur Quantifizierung des jeweiligen Komplexitätstreibers (zusätzlich) herangezogen werden?
<b>IV Schlussbetrachtung</b>	Ausblick	<input type="checkbox"/> Welches sind Ihre zukünftigen Erwartungen hinsichtlich der Implementierung und Gestaltung modularer Baukästen? <input type="checkbox"/> Welches sind Ihre zukünftigen Erwartungen an die Entwicklung der Komplexität und die induzierten Komplexitätskosten?
	Identifizierung bisher nicht betrachteter Aspekte	<input type="checkbox"/> Welche sonstigen bisher nicht berücksichtigten Zusammenhänge sind Ihrer Meinung nach wichtig für die Modellkonzeptionierung? <input type="checkbox"/> Welches sind ihre Anforderungen hinsichtlich der praxisorientierten Anwendung an das Modell? <input type="checkbox"/> Gibt es Ihrer Meinung nach relevante Aspekte, die bislang in diesem Interview nicht ausreichend genug diskutiert wurden?

## VI. Literaturverzeichnis

- Adam, D., Johannwille, U. (1998). Die Komplexitätsfalle. In: Adam, D. (Hrsg.). Komplexitätsmanagement. Wiesbaden: Gabler Verlag, S.5-28.
- Alex, B. (2013). Künstliche neuronale Netze in Management-Informationssystemen: Grundlagen und Einsatzmöglichkeiten (Vol. 32). Wiesbaden: Springer Verlag.
- Anderson, E., Parker, G. (2002). The effect of learning on the make/ buy decision. *Production and Operations Management*, 11(3), S.313-339.
- Arnheiter, E., Harren, H. (2005). A typology to unleash the potential of modularity. In: *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16(7), S.699-711.
- Arnold, U. (2000). New dimensions of outsourcing: a combination of transaction cost economics and the core competencies concept. *European journal of purchasing & supply management*, 6(1), S.23-29.
- Arnold, U. (2012). Globalisierung und Beschaffung. In: Binckebanck, L., Belz, C. (Hrsg.). *Internationaler Vertrieb*. Wiesbaden: Springer Gabler, S.263-279.
- Arnoscht, J. (2011). *Beherrschung von Komplexität bei der Gestaltung von Baukastensystemen*. Aachen: Apprimus Verlag.
- Bäckstrand, J., Suurmond, R., van Raaij, E., Chen, C. (2019). Purchasing process models: Inspiration for teaching purchasing and supply management. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 25(5), 100577.
- Bahrammirzaee, A. (2010). A comparative survey of artificial intelligence applications in finance: artificial neural networks, expert system and hybrid intelligent systems. In: *Neural Computing and Applications*, 19(8), S.1165-1195.
- Bak, O. (2006). Complexity and Impact of Internet Technologies, a Study on Supply Chain Management. In: Blecker, T., Kersten, W. (Eds.). *Complexity Management in Supply Chains*. Berlin: Erich Schmidt Verlag, S.265-283.
- Baldwin, C., Clark, K. (2000). *Design rules: The power of modularity* (Vol. 1). MIT press.
- Baldwin, C., Woodard, C. (2009). The architecture of platforms: a unified view. In: Gawer, A. (Ed.): *Platforms, markets and innovation*. Cheltenham: Elgar, S.19-44.
- Bandte, H. (2007). *Komplexität in Organisationen: Organisationstheoretische Betrachtung und agentenbasierte Simulation*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Blackenfelt, M. (2001). *Managing complexity by product modularization*. Diss., Trita-MMK, 2001:1, Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden.

- Blecker, T., Abdelkafi, N. (2006). Complexity in Variety-Rich-Production Systems. In: Blecker, T., Kersten, W. (Eds.). Complexity Management in Supply Chains. Berlin: Erich Schmidt Verlag, S.67-83.
- Bliss, C. (1998). Komplexitätsreduktion und Komplexitätsbeherrschung bei der Schmitz-Anhänger Fahrzeugbau-Gesellschaft mbH. In: Adam, D. (Hrsg.). Komplexitätsmanagement. Wiesbaden: Gabler Verlag, S.145-168.
- Bliss, C. (2000). Management von Komplexität. Ein integrierter, systemtheoretischer Ansatz zur Komplexitätsreduktion. Schriftenreihe: Unternehmensführung und Marketing, Band 35. Wiesbaden: Gabler.
- Blumberg, B., Cooper, D., Schindler, S. (2008). Business research methods. 2. European ed., London: McGraw-Hill Education.
- Bode, J. (2000). Neural networks for cost estimation: simulations and pilot application. International Journal of Production Research, 38(6), S.1231-1254.
- Bodendorf, F. (2006). Daten-und Wissensmanagement. 2.Auflage, Berlin: Springer-Verlag.
- Bogaschewsky, R. (2004). Beschaffung und Nachhaltigkeit. In: Hülsmann, M., Müller-Christ, G., Haasis, H.-D. (Hrsg.). Betriebswirtschaftslehre und Nachhaltigkeit. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, S. 171-218.
- Bogaschewsky, R., Kohler, K. (2007). Innovative Organisationsformen des Einkaufs im Kontext der Globalisierung. In: Garcia Sanz, F., Semmler, K., Walther, J. (Hrsg.). Die Automobilindustrie auf dem Weg zur globalen Netzwerkkompetenz. Berlin: Springer, S.143-160.
- Bohne, F. (1998). Komplexitätskostenmanagement in der Automobilindustrie: Identifizierung und Gestaltung vielfaltinduzierter Kosten. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Bozarth, C., Warsing, D., Flynn, B., Flynn, E. (2009). The impact of supply chain complexity on manufacturing plant performance. In: Journal of Operations Management, 27(1), 78-93.
- Brockhaus, S. (2013). Analyzing the Effect of Sustainability on Supply Chain Relationships. Diss., TU Hamburg-Harburg. Kersten, W. (Hrsg.). Reihe: Supply Chain, Logistics and Operations Management, Band 15. Lohmar: Josef Eul Verlag.
- Brown, C. R. (2007). Economic theories of the entrepreneur: A systematic review of the literature. School of Management, Cranfield University.
- Campagnolo, D., Camuffo, A. (2010). The Concept of Modularity in Management Studies: A Literature Review. In: International Journal of Management Reviews, 2010, Vol. 12, Issue 3, S.259-283.

- Castellanos, M. (2012). Agent Based Simulation Approach to Assess Supply Chain Complexity and its Impact on Performance. Diss., TU Hamburg-Harburg. Kersten, W. (Hrsg.). Reihe: Supply Chain, Logistics and Operations Management, Band 12. Lohmar: Josef Eul Verlag.
- Chen, C. S., Lin, J. M. (2011). Applying Rprop neural network for the prediction of the mobile station location. In: *Sensors*, 11(4), S.4207-4230.
- Crone, S. (2010). Neuronale Netze zur Prognose und Disposition im Handel. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Dehnen, K. (2004). Strategisches Komplexitätsmanagement in der Produktentwicklung. Hamburg: Verlag Dr. Kovač
- Dittmar, N. (2004). Transkription – Ein Leitfaden mit Aufgaben für Studenten, Forscher und Laien. 2.Auflage, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Doran, D., Hill, A. (2009). A review of modular strategies and architecture within manufacturing operations. In: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 223(1), S.65-75.
- Dresing, T., Pehl, T. (2015). *Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse - Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende*. 6.Auflage, Marburg:Eigenverlag.
- Driedonks, B. A., Gevers, J. M., van Weele, A. J. (2014). Success factors for sourcing teams: How to foster sourcing team effectiveness. *European Management Journal*, 32(2), S.288-304.
- Duran, O., Maciel, J., Rodriguez, N. (2012). Comparisons between two types of neural networks for manufacturing cost estimation of piping elements. In: *Expert Systems with Applications*, 39(9), S.7788-7795.
- Eichhorn, M. (2014). *Praktikum Fuzzy und Neurol Control*. Versuch FNC-3: Experimentelle Modellbildung mit einem Multilayer Perceptron. Seminarunterlage Stand 11/14. Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Systemanalyse.
- Eisenhardt, K., Graebner, M. (2007). Theory Building from Cases: Opportunities and Challenges. In: *Academy of Management Journal*, 2007, Vol. 50, No. 1, S.25-32.
- Eitelwein, O., Malz, S., Weber, J. (2012). Erfolg durch Modularisierung. In: *Zeitschrift f. Controlling & Management*, 2012, Vol. 56, Sonderheft 2, S.79-84.
- Erixon, G. (1998). *Modular function deployment: a method for product modularisation*. Royal Inst. of Technology, Department of Manufacturing Systems, Assembly Systems Division, Stockholm.

- Eßig, M. (2007). Value Sourcing: Aspekte eines wertorientierten Controlling im Beschaffungs- und Supply Chain Controlling. In: Garcia Sanz, F., Semmler, K., Walther, J. (Hrsg.). Die Automobilindustrie auf dem Weg zur globalen Netzwerkkompetenz. Berlin: Springer, S.231-247.
- Ethiraj, S., Levinthal, D. (2004). Modularity and Innovation in Complex Systems. In: Management Science, Vol. 50, No. 2, February 2004, S.159-173.
- Eversheim, W., Schenke, F.-B., Warnke, L. (1998). Komplexität im Unternehmen verringern und beherrschen – Optimale Gestaltung von Produkten und Produktionssystemen. In: Adam, D. (Hrsg.): Komplexitätsmanagement. Wiesbaden: Gabler Verlag, S.29-45.
- Fawcett, S. E., Waller, M. A. (2011). Making Sense Out of Chaos: Why Theory is Relevant to Supply Chain Research. In: Journal of Business Logistics, 2011, 32(1), S. 1-5.
- Fiege, H. (1998). Komplexitätsreduktion durch Einschaltung logistischer Dienstleister. In: Adam, D. (Hrsg.): Komplexitätsmanagement. Wiesbaden: Gabler Verlag, S.125-133.
- Fine, C., Golany, B., Naseraldin, H. (2005). Modeling tradeoffs in three-dimensional concurrent engineering: a goal programming approach. In: Journal of Operations Management, Vol. 23(3), S.389-403.
- Fisher, M., Ramdas, K., Ulrich, K. (1999). Component sharing in the management of product variety: A study of automotive braking systems. Management Science, 45(3), S.297-315.
- Fixson, S. (2002). Linking Modularity and Cost: A Methodology to Assess Cost Implications of Product Architecture Differences to Support Product Design. Diss., Massachusetts Institute of Technology.
- Fixson, S., Clark, J. (2002). On the Link between Modularity and Cost – A Methodology to assess Cost Implications of Product Architecture Differences. In: IEEE International Engineering Management Conference, 2002 (18-20 Aug.), Vol. 1, S.131-136.
- Fixson, S. (2005). Product architecture assessment: a tool to link product, process, and supply chain design decisions. In: Journal of Operations Management, Vol.23(3), S.345-369.
- Fixson, S. (2007). Modularity and Commonality Research: Past Developments and Future Opportunities. In: Concurrent Engineering 15 (2), S. 85–111.
- Flick, U. (2008). Triangulation – eine Einführung. 2.Auflage, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

- Francis, J., Johnston, M., Robertson, C., Glidewell, V., Eccles, M., Grimshaw, M. (2010). What is an adequate sample size? Operationalising data saturation for theory-based interview studies. In: *Psychology and Health*, 01 December 2010, Vol.25 (10), S.1229-1245.
- Garcia Sanz, F. (2007). Ganzheitliche Beschaffungsstrategie als Gestaltungsrahmen der globalen Netzwerkimtegration in der Automobilindustrie. In: Garcia Sanz, F., Semmler, K., Walther, J. (Hrsg.). *Die Automobilindustrie auf dem Weg zur globalen Netzwerkkompetenz*. Berlin: Springer, S.3-23.
- Gawer, A. (2009). Platform dynamics and strategies: from products to services. In: Gawer, A. (Ed.). *Platforms, markets and innovation*. Cheltenham: Elgar, S.45-76.
- Gershenson, J., Prasad, G., Zhang, Y. (2003). Product modularity: definitions and benefits. In: *Journal of Engineering Design*, Vol.14, No.3, September 2003, S.295-313.
- Gershenson, J., Prasad, G., Zhang, Y. (2004). Product modularity: measures and design methods. In: *Journal of Engineering Design*, Vol.15, No.1, February 2004, S.33-51.
- Gießmann, M. (2010). *Komplexitätsmanagement in der Logistik*. 1. Auflage. Lohmar: Josef Eul Verlag.
- Gießmann, M., Lasch, R. (2010). Der Einfluss der Beschaffungskomplexität auf den Logistikserfolg. In: Bogaschewski, R., Eßig, M., Lasch, R., Stölzle, W. (Hrsg.). *Supply Management Research: Aktuelle Forschungsergebnisse 2010*, Wiesbaden: Gabler, 2010. S. 149-196.
- Glaser, B., Strauss, A. (1998). *Grounded Theory: Strategien qualitativer Forschung*, Bern: Verlag Hans Huber.
- Gläser, J., Laudel, G. (2009). *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse*, 3., überarbeitete Auflage, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Glock, C., Hochrein, S. (2011). Purchasing Organization and Design: A Literature Review. In: *Business Research*, 4(2), S.149-191.
- Gneiting, P., Sommer-Dittrich, T. (2008). An Overview of Modular Car Architecture: the OEMs Perspective on Why and How. In: Parry, G., Graves, A. (Ed.). *Build To Order: The Road to the 5-Day Car*. London: Springer, S.101-107.
- Gonsior, T. (2008). *Standardisierung vs. Differenzierung – Beschaffungsorientierte Betrachtung der Modularisierung entlang der Wertschöpfungskette*. Köln: Fördergesellschaft Produkt-Marketing e.V..
- Göpfert, I., Schulz, M., Wellbrock, W. (2012). Trends in der Automobillogistik. In: Göpfert, I., Braun, D., Schulz, M. (Hrsg.). *Automobillogistik: Stand und Zukunftstrends*. Wiesbaden: Gabler, S.1-28.

- Göpfert, J., Steinbrecher, M. (2000). Modulare Produktentwicklung leistet mehr. In: Harvard Business Manager, 22(3), 2000, S.20-48.
- Guest, G., Bunce, A., Johnson, L. (2006). How Many Interviews Are Enough? An Experiment with Data Saturation and Variability. In: Field Methods, 2006, Vol. 18(1), S.59-82.
- Hackenberg, U. (2011). Der Volkswagen für das 21. Jahrhundert. In: ATZextra, 2011, Vol. 16, Issue 6, S.44-51.
- Heuer, J. (1997). Neuronale Netze in der Industrie: Einführung – Analyse - Einsatzmöglichkeiten. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Himpel, F. (2013). Industrielles Beschaffungsmanagement im Spannungsfeld zwischen Herausforderung und Relevanz. In: Kersten, W., Wittmann, J. (Hrsg.). Kompetenz, Interdisziplinarität und Komplexität in der Betriebswirtschaftslehre. Wiesbaden: Springer, S.87-91.
- Hofmann, E., Maucher, D., Kotula, M., Kreienbrink, O. (2012). Erfolgsmessung und Anreizsysteme im Einkauf: Den Mehrwert der Beschaffung professionell erheben, bewerten und darstellen. Berlin: Springer-Verlag.
- Hofmann, E., Staiger, F. (2020). Beschaffungskompetenzen 4.0: Berufsbilder im Zeitalter des digitalisierten Einkaufs. Wiesbaden: Springer Gabler Verlag.
- Hofmann, J. (2020). Ein Physiologiemodell für Tactical Combat Casualty Care Training in mobilen Serious Games. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Hofmann, M., Städter, U. (2007). Integriertes Prozessmanagement als Basis für nachhaltige Spitzenleistungen im automobilen Einkauf. In: Garcia Sanz, F., Semmler, K., Walther, J. (Hrsg.). Die Automobilindustrie auf dem Weg zur globalen Netzwerkkompetenz. Berlin: Springer, S.323-338.
- Höld, R. (2009). Zur Transkription von Audiodaten. In: Buber, R., Holzmüller, H., Qualitative Marktforschung, 2. Auflage, Wiesbaden: Gabler, S.655-668.
- Horváth, P. (2009). Controlling, 11. Auflage, München: Verlag Franz Vahlen.
- Hugl, U. (1995). Qualitative Inhaltsanalyse und Mind-Mapping: Ein neuer Ansatz für Datenauswertung und Organisationsdiagnose. Wiesbaden: Gabler.
- Hüttenrauch, M., Baum, M. (2008). Effiziente Vielfalt: Die dritte Revolution in der Automobilindustrie. Berlin: Springer.
- Igel, C., Hüsken, M. (2000). Improving the Rprop learning algorithm. In: *Proceedings of the second international ICSC symposium on neural computation*, Vol. 2000, ICSC Academic Press, S. 115-121.

- Ivanov, D., Sokolov, B., Kaeschel, J. (2010). A multi-structural framework for adaptive supply chain planning and operations control with structure dynamics considerations. In: *European Journal of Operational Research*, Vol. 200 (2010), S.409-420.
- Jensen, Olaf (2005). Induktive Kategorienbildung als Basis Qualitativer Inhaltsanalyse. In: Mayring, P., Gläser-Zikuda, M. (Hrsg.). *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse*, Weinheim: Beltz Verlag, S.255-275.
- Jiao, R., Huang, G., Tseng, M. (2004). Concurrent enterprising for mass customization. In: *Concurrent Engineering Research And Applications*, v. 12, n. 2, S.83-88
- Junge, M. (2005). Controlling modularer Produktfamilien in der Automobilindustrie: Entwicklung und Anwendung der Modularisierungs-Balanced-Scorecard. Diss., Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Kaluza, B., Blecker, T. (2005). Flexibilität – State of the Art und Entwicklungstrends. In: Kaluza, B., Blecker, T.(Hrsg.). *Erfolgsfaktor Flexibilität: Strategien und Konzepte für wandlungsfähige Unternehmen*. Berlin: Erich Schmidt Verlag, S.1-25.
- Kamrani, A., Nasr, E. (2010). *Engineering Design and Rapid Prototyping*. New York (u.a.): Springer.
- Kaufmann, L. (2002). Purchasing and supply management – A conceptual framework. In: Hahn, D., Kaufmann, L. (Hrsg.). *Handbuch industrielles Beschaffungsmanagement*. Wiesbaden: Gabler Verlag, S.3-33.
- Kaufmann, L., Denk, N. (2011). How to demonstrate rigor when presenting Grounded Theory Research in the Supply Chain Management Literature. In: *Journal of Supply Chain Management*, 2011, Vol. 47(4), S. 64-72.
- Kersten, W., Kern, E.-M. (2005). Flexibilität in der verteilten Produktentwicklung. In: Kaluza, B., Blecker, T.(Hrsg.). *Erfolgsfaktor Flexibilität: Strategien und Konzepte für wandlungsfähige Unternehmen*. Berlin: Erich Schmidt Verlag, S.229-250.
- Kersten, W., Rall, K., Meyer, C.M., Dalhöfer, J. (2006). Complexity Management in Logistics and ETO-Supply Chains. In: Blecker, T., Kersten, W. (Eds.). *Complexity Management in Supply Chains*. Berlin: Erich Schmidt Verlag, S.325-342.
- Kersten, W., Hülle, J., Möller, K., Lammers, T. (2009). Kostenorientierte Analyse der Modularisierung – Ein strukturiertes Vorgehen zur Entwicklung eines kennzahlenbasierten Bewertungsansatzes. In: *ZWF- Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, Jahrg. 104 (2009) 12, S.1136-1141.
- Kersten, W., Lammers, T., Skirde, T. (2011). Entwicklung eines Kriterienkataloges zur strukturierten Allokation von Effekten der Modularisierung. In: Bertram, F.,

- Czymmek, F.. Modulstrategie in der Beschaffung - Konferenzband, Berlin: Logos Verlag, S.14-30.
- Kersten, W., Skirde, H., Lammers, T. (2013). Komplexitätscontrolling in Logistiksystemen: Methodik zur Ableitung von Handlungsempfehlungen am Beispiel der Distribution. In: Controlling – Zeitschrift für erfolgsorientierte Unternehmenssteuerung, 25(2), S. 90–95.
- Kiegelmann, M.(Ed.) (2002). The role of the Researcher in Qualitative Psychology, 1. Edition, Tübingen: Verlag Ingeborg Huber.
- Kirchhof, R. (2003). Ganzheitliches Komplexitätsmanagement: Grundlagen und Methodik des Umgangs mit Komplexität im Unternehmen. 1. Aufl. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Klaus, P. (2005). Die Frage der optimalen Komplexität in Supply-Chains und Supply-Netzwerken. In: Perspektiven des Supply Management. Berlin: Springer, S.361-375.
- Klink, G., Gänzle, S. (2010). Masse und Klasse. In: Automotive Agenda, 2010, Vol. 3, Issue 2, S. 78-81.
- Klüver, C., Klüver J., Schmidt, J. (2012). Modellierung komplexer Prozesse durch naturanaloge Verfahren: Soft Computing und verwandte Techniken. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Knapp, O., Miczka, S., Beyer, D. (2016). The CPO Agenda 2016 – Focus topics for the Chief Procurement Officer. Roland Berger, May 2016.
- Koeppen, B., Kersten, W. (2008). Systematic analyses of component couplings and their application for modularisation of complex products. In: Int. J. Mass Customisation, Vol.2, Nos. 3/ 4, 2008, S.303-323.
- Kohlhase, N. (1997). Strukturieren und Beurteilen von Baukastensystemen: Strategien, Methoden, Instrumente. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 1, Konstruktionstechnik/ Maschinenelemente, Nr. 275. Düsseldorf: VDI Verlag.
- Kopenhagen, F. (2004). Systematische Ableitung modularer Produktarchitekturen: Komplexitätsreduzierung in der Konzeptphase. Berichte aus der Konstruktionstechnik. Aachen: Shaker Verlag.
- Krampf, P. (2000). Strategisches Beschaffungsmanagement in industriellen Großunternehmen: Ein hierarchisches Konzept am Beispiel der Automobilindustrie. Diss. Univ. Bayreuth. Schlüchtermann, J. (Hrsg.). Reihe: Produktionswirtschaft und Industriebetriebslehre, Band 7. Lohmar: Josef Eul Verlag.
- Kreimeyer, M., Lindemann, U. (2011). Complexity Metrics in Engineering Design: Managing the Structure of Design Processes. Berlin: Springer Verlag.

- Kreuzpointner, A., Reißer, R. (2006). Praxishandbuch Beschaffungsmanagement. Wiesbaden: Gabler.
- Kriesel, D. (2018). Ein kleiner Überblick über Neuronale Netze. Download Manuskript Zeta2-Version (eBook Reader optimierte pdf-Version, Deutsch): Download am 02.10.2018; Link: [www.dkriesel.com/science/neural\\_networks](http://www.dkriesel.com/science/neural_networks).
- Krüger, H.-H. (2000). Stichwort: Qualitative Forschung in der Erziehungswissenschaft. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, Jg.3, Nr. 3/ 2000, S.323-342.
- Krusche, T., Leyers, J., Oehmke, T., Parr, T. (2004). Bewertung von Modularisierungsstrategien für unterschiedliche Fahrzeugkonzepte am Beispiel des Vorderwagens. In: ATZ, 10/ 2004, Jahrgang 106, S.928-933.
- Kubicek, H. (1977). Heuristische Bezugsrahmen und heuristisch angelegte Forschungsdesigns als Elemente einer Konstruktionsstrategie empirischer Forschung. In: Köhler, R. (Hrsg.). Empirische und handlungstheoretische Forschungskonzeptionen in der Betriebswirtschaftslehre, Stuttgart: C.E.Poeschel Verlag, S.3-36.
- Kuckartz, U., Dresing, T., Rädiker, S., Stefer, C. (2008). Qualitative Evaluation – Der Einstieg in die Praxis, 2.,aktualisierte Auflage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Kuckartz, U. (2010). Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten, 3., aktualisierte Auflage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- LaLande, M. (2013). Overcoming Barriers to a Successful Vehicle Modularity Strategy (No. 2013-01-1164), SAE Technical Paper.
- Lammers, T. (2012). Komplexitätsmanagement für Distributionssysteme: Konzeption eines strategischen Ansatzes zur Komplexitätsbewertung und Ableitung von Gestaltungsempfehlungen. Diss., TU Hamburg-Harburg. Kersten, W. (Hrsg.). Reihe: Supply Chain, Logistics and Operations Management, Band 11. Lohmar: Josef Eul Verlag.
- Lee, C.C., Ou-Yang, C. (2009). A neural networks approach for forecasting the supplier's bid prices in supplier selection negotiation process. Expert Systems with Applications, 36(2), S.2961-2970.
- Loch, C., Terwiesch, C., Thomke, S. (2001). Parallel and Sequential Testing of Design Alternatives. In: Management Science, Vol.45, No.5, May 2001, S.663-678.
- Lorenzi, S., Di Lello, A. (2001). Product modularity theory and practice: the benefits and difficulties in implementation within a company. In: Int. J. Automotive Technology and Management, 2001, Vol. 1, No. 4, S.425-448.
- Luhmann, N. (1975). Soziologische Aufklärung 2: Aufsätze zur Theorie der Gesellschaft. Opladen: Westdeutscher Verlag.

- Lukassek, E. J. (2004). Künstliche neuronale Netze zur Prognose ökonomischer Zeitreihen. Aachen: Shaker Verlag.
- MacDuffie, J. (2013). Modularity-as-Property, Modularization-as-Process, and 'Modularity'-as-Frame: Lessons from Product Architecture Initiatives in the Global Automotive Industry. In: Global Strategy Journal, Vol. 3(1), S.8-40.
- Macharzina, K., Wolf, J. (2005). Unternehmensführung: Das internationale Managementwissen. Konzepte-Methoden-Praxis. 5. Auflage, Wiesbaden: Gabler.
- Malik, F. (1996). Strategie des Managements komplexer Systeme – Ein Beitrag zur Management-Kybernetik evolutionärer Systeme, 5. Auflage, Bern: Verlag Paul Haupt.
- Martin, M., Ishii, K. (2002). Design for variety: developing standardized and modularized product platform architectures. In: Research in Engineering Design, 2002, Vol. 13(4), S.213-235.
- Martens, B. (2014). "Es lohnt sich immer, früh da zu sein"- geführtes Interview von Christian Otto. In: Automobil Industrie, 2014, Heft 5, S.24-25.
- Maucher, D. (ohne Jahresangabe). Was ist ein Bezugsrahmen? Zusammenfassung. Universität St. Gallen, Lehrstuhl für Logistikmanagement (LOG-HSG), S.1-6.
- Maucher, D., Stölzle, W., Hofmann, E. (2012). Procurement Value Added – Ein Ansatz zur wertorientierten Messung des Beschaffungserfolgs. In: Bogaschewski, R., Eßig, M., Lasch, R., Stölzle, W. (Hrsg.). Supply Management Research: Aktuelle Forschungsergebnisse 2012, Wiesbaden: Gabler, S.55-78.
- Maucher, D., Stölzle, W., & Hofmann, E. (2013). Erfolgsmessung beim Investitionsgütereinkauf: eine alleinige Frage von Savings? (Vol. 4). Heidelberg: Springer-Verlag.
- Mayer, A. (2007). Modularisierung der Logistik: ein Gestaltungsmodell zum Management von Komplexität in der industriellen Logistik. 1. Aufl., Schriftenreihe Logistik der Technischen Universität Berlin, Berlin : Univ.-Verl. der Techn. Univ..
- Mayring, P. (2001). Kombination und Integration qualitativer und quantitativer Analysen. FQS Forum: Qualitative Sozialforschung, Februar 2001, Volume 2, No. 1, Art. 6, S.1-14.
- Mayring, P. (2002). Qualitative content analysis – research instrument or mode of interpretation? In: M. Kiegelmann (Ed.). The role of the Researcher in Qualitative Psychology, 1. Edition, Tübingen: Verlag Ingeborg Huber, S.139-148.
- Mayring, P. (2005). Neue Entwicklungen in der qualitativen Forschung und der Qualitativen Inhaltsanalyse. In: Mayring, P., Gläser-Zikuda, M. (Hrsg.). Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse, Weinheim: Beltz Verlag, S.7-19.
- Mayring, P. (2007). Qualitative Inhaltsanalyse – Grundlagen und Techniken, 9. Auflage, Weinheim: Beltz Verlag.

- Mayring, P., Brunner, E. (2009). Der Stellenwert der Inhaltsanalyse im Methodenspektrum. In: Buber, R., Holzmüller, H.. Qualitative Marktforschung, 2. Auflage, Wiesbaden: Gabler Verlag, S.669-680.
- McCracken, G. (1988). The long interview. Sage University Paper Series on Qualitative Research Methods, Vol. 13, Beverly Hills, CA: Sage.
- Medina Rivilla, A., Feliz Murias, T., Domínguez Garrido, M.C., Pérez Pérez, R. (2002). The methodological complementariness of biograms, in-depth interviews and discussion groups. In: M. Kiegelmann (Ed.). The role of the Researcher in Qualitative Psychology, 1. Edition, Tübingen: Verlag Ingeborg Huber, S.169-184.
- Meyer, M., Lehnerd, A. (1997). The power of product platforms: building value and cost leadership. New York, NY: Free Press.
- Michalos, G., Makris, S., Papakostas, N., Mourtzis, D., Chryssolouris, G. (2010). Automotive assembly technologies review: challenges and outlook for a flexible and adaptive approach. . In: CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Vol. 2(2), S.81-91.
- Möller, K. (2013). Komplexitätscontrolling: Editorial. In: Controlling – Zeitschrift für erfolgsorientierte Unternehmenssteuerung, 25(2), S.65.
- Mondragon, C., Mondragon, A., Miller, R. (2006). Modularity, open architecture an innovation: an automotive perspective. In: Int. J. Automotive Technology and Management, 2006, Vol. 6, No. 3, S.346-363.
- Morris, D., Donnelly, T. (2006). Are there market limits to modularization? In: Int. J. Automotive Technology and Management, 2006, Vol. 6, No. 3, S.262-275.
- Müller, J., Leuchs, A., Boll, C. (2013). Kennzahlenbasiertes Komplexitätscontrolling bei John Deere. In: Controlling – Zeitschrift für erfolgsorientierte Unternehmenssteuerung, 25(2), S. 75–81.
- Müller, M. (2000). Management der Entwicklung von Produktplattformen. Dissertation Nr. 2388. Universität St. Gallen, Bamberg: Difo-Druck OHG.
- Nitzl, C. (2010). Eine anwenderorientierte Einführung in die Partial Least Square (PLS)-Methode. Arbeitspapier Nr. 21. Universität Hamburg, Institut für Industrielles Management, Hamburg.
- Oberhofer, W., Zimmerer, T. (1996). Wie Künstliche Neuronale Netze lernen: Ein Blick in die Black Box der Backpropagation Netzwerke. Regensburger Diskussionsbeiträge zur Wirtschaftswissenschaft, 292.

- Olbrich, R., Battenfeld, D. (2005). Variantenvielfalt und Komplexität—kostenorientierte vs. marktorientierte Sicht. In: *der markt*, 2005, 44. Jg., Nr. 3, S.161-173.
- Ossen, A. (1990). Zur Modularisierung und Interpretierbarkeit neuronaler Netze [On the modularization and interpretability of neural networks]. Technische Universität Berlin.
- Otto, C. (2014). Steigender Druck zur Lokalisierung. In: *Automobil Industrie*, 2014, Heft 5, S.21-23.
- Pandremenos, J., Paralikas, J., Salonitis, G., Chryssolouris, G. (2009). Modularity concepts for the automotive industry: A critical review. In: *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Vol. 1(3), S.148-152.
- Paschek, L. (2019). Moderne Baukunst. In: *Automobil Produktion, Sonderedition VISION-E*, 2019, S.8-9.
- Persson, M. (2004). Effects of changing a module's interface: a case study in an automotive company. In: *Int. J. Automotive Technology and Management*, 2006, Vol. 6, No. 13, S.331-345.
- Persson, M. (2006). The impact of organizational functions on modular structure: experiences from the Volvo Car Corporation. In: *Int. J. Automotive Technology and Management*, 2004, Vol. 4, No. 1, S.22-39.
- Persson, M., Ahlström, P. (2013). Product modularisation and organisational coordination. In: *Int. J. Automotive Technology and Management*, 2013, Vol. 13, No. 1, S.55-74.
- Piller, F., Waringer D. (1999). Modularisierung in der Automobilindustrie – neue Formen und Prinzipien; Modular Sourcing, Plattformkonzept und Fertigungssegmentierung als Mittel des Komplexitätsmanagements. Aachen: Shaker Verlag.
- Piller, F. (2000). *Mass Customization: ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Pine, B. (2006). *Mass customization: the new frontier in business competition*. Nachdruck, Boston: Harvard Business School Press.
- Proff, H., Proff, H. (2008). *Dynamisches Automobilmanagement: Strategien für Hersteller und Zulieferer im internationalen Wettbewerb*. Wiesbaden: Gabler.
- Proff, H. (2013). Geschäftsmodelle zwischen technischen Herausforderungen und betriebswirtschaftlichen Notwendigkeiten im Übergang in die Elektromobilität. In: Proff, H. (Hrsg.). *Herausforderungen für das Automotive Engineering & Management: Technische und betriebswirtschaftliche Ansätze*. Wiesbaden: Springer, S.1-23.

- Rapp, T. (1999). Produktstrukturierung: Komplexitätsmanagement durch modulare Produktstrukturen und -plattformen. Wiesbaden : Dt. Univ.-Verl./ Gabler.
- Reichhuber, A. (2010). Strategie und Struktur in der Automobilindustrie: Strategische und organisatorische Programme zur Handhabung automobil-wirtschaftlicher Herausforderungen. Dissertation Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt. Wiesbaden: Gabler.
- Reichmann, T. (2006). Controlling mit Kennzahlen und Managementberichten. 7. Auflage, München: Verlag Franz Vahlen.
- Reiß, M. (1993). Komplexität beherrschen durch „ORGA-TUNING“. In: Reiß, M.(Hrsg.): Komplexität meistern - Wettbewerbsfähigkeit sichern. Stuttgart: Schäffer-Pöschel Verlag, S.1-41
- Reither, F. (1997). Komplexitätsmanagement: Denken und Handeln in komplexen Situationen. München: Gerling Akademie Verlag.
- Rey, G. D., Wender, K. F. (2008). Neuronale Netze: Eine Einführung in die Grundlagen, Anwendungen und Datenauswertung. Bern: Verlag Hans Huber.
- Riedmiller, M., Braun, H. (1993). A direct adaptive method for faster backpropagation learning: The RPROP algorithm. In: Proceedings of the IEEE international conference on neural networks, S.586-591.
- Rodriguez, S. (2007). Komplexitätsmanagement bei der Erschließung neuer Beschaffungsmärkte am Beispiel der Gestaltung des chinesischen Liefernetzwerkes des Volkswagen-Konzerns, Diss., Lohmar: Josef Eul Verlag.
- Röh, C. (2011). Modulstrategie – Betriebswirtschaftliche Bestandsaufnahme und Implikationen. In: Bertram, F., Czymmek, F.. Modulstrategie in der Beschaffung - Konferenzband, Berlin: Logos Verlag, S.2-13.
- Roland Berger Strategy Consultants (2012). Mastering product complexity. November 2012.
- Roland Berger Strategy Consultants, Lazard & Co. GmbH (2013). Driving on thin ice – Global Automotive Supplier Study 2013. September 2013.
- Rojas, R. (2013). Theorie der neuronalen Netze: Eine systematische Einführung. Berlin: Springer-Verlag.
- Rosenberg, O. (2002). Kostensenkung durch Komplexitätsmanagement. In: Kostenmanagement: Wertsteigerung durch systematische Kostensenkung, Stuttgart: Schaeffer Poeschel, S.225-245.
- Rosenthal, G. (2014). Interpretative Sozialforschung – Eine Einführung, 4. Auflage, Weinheim: Beltz Juventa.

- Salerno, M.S. (2001). The characteristics and the role of modularity in the automotive business. In: *Int. J. Automotive Technology and Management*, 1(1), S.92-107.
- Salerno, M.S., Camargo, O.S., Lemos, M.B. (2008). Modularity ten years after: an evaluation of the Brazilian experience. In: *Int. J. Automotive Technology and Management*, 8(4), S.373-381.
- Sargut, G., Gunther McGrath, R. (2011). Mit Komplexität leben lernen. In: *Harvard Business Manager*, 33(11), S.22-34.
- Saunders, M., Lewis, P., Thornhill, A. (2009). *Research methods for business students – fifth edition*. Harlow: Prentice Hall/ Financial Times.
- Schaffer, J., Schleich, H. (2008). Complexity Cost Management. In: Parry, G., Graves, A. (Ed.). *Build To Order: The Road to the 5-Day Car*. London: Springer, S.155-174.
- Scherf, O. (2003). *Komplexität aus systemischer Sicht*. Dissertation Nr. 2786, Universität St. Gallen. Bamberg: Difo-Druck.
- Schiele, H., Zachau, T., Hüttinger, L. (2011). Das „Preferred-Customer“-Konzept–Lieferantengunst als strategische Größe im Einkauf. *Marketing Review St. Gallen*, 28(4), S.20-25.
- Schiele, H., Calvi, R., Gibbert, M. (2012). Customer attractiveness, supplier satisfaction and preferred customer status: Introduction, definitions and an overarching framework. *Industrial marketing management*, 41(8), S.1178-1185.
- Schilling, M. (2000). Toward a general modular systems theory and its application to interfirm product modularity. In: *Academy of management review*, 2000, Vol.25, No.2, S.312-334.
- Schmieder, M., Thomas, S. (2005). *Plattformstrategien und Modularisierung in der Automobilentwicklung*. Aachen: Shaker.
- Schneider, B. (1993). *Neuronale Netze für betriebliche Anwendungen: Anwendungspotentiale und existierende Systeme (No. 22)*. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster.
- Schneider, K. (2011). *Modernes Sourcing in der Automobilindustrie*. Diss. TU München. Krcmar, H. (Hrsg.). Reihe: Informationsmanagement und Computer Aided Team. Wiesbaden: Gabler.
- Schuh, G. (2005). *Produktkomplexität managen: Strategien-Methoden-Tools*. München: Carl Hanser Verlag.
- Schuh, G., Lenders, M., Nußbaum, C., Rudolf, S. (2012). Produktarchitekturgestaltung. In: Schuh, G. (Hrsg.). *Innovationsmanagement*, 2.Aufl., Berlin:Springer, S.115-160.

- Schuh, G., Arnoscht, J., Vogels, T. (2013). Controlling der Varianzsensitivität in Baukastensystemen. In: Controlling – Zeitschrift für erfolgsorientierte Unternehmenssteuerung, 25(2), S. 82–89.
- Schulze-Horn, I., Hueren, S., Scheffler, P., Schiele, H. (2020). Artificial Intelligence in Purchasing: Facilitating Mechanism Design-based Negotiations. Applied Artificial Intelligence, 34(8), S.618-642.
- Seliger, G., Friedrich, U., Müller, K., Perlewitz, H. (1997). Produktmodularität steigert die Nutzenproduktivität von Ressourcen. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb ZWF, 92 (1997), Nr.11, S.592-595.
- Serdarasan, S. (2013). A review of supply chain complexity drivers. In: Computers & Industrial Engineering, 66(3), S.533-540.
- Shankar, V., Mubarak, M., Rajagopalan, K., Singh, S.(2012). Analysis of Vehicle Platform Strategies of Key Global OEMs – 30 Percent Reduction in Vehicle Platforms By 2020. M726-18. Frost & Sullivan, February 2012.
- Shtub, A., Versano, R. (1999). Estimating the cost of steel pipe bending, a comparison between neural networks and regression analysis. In: Int. J. Production Economics, 1999, Vol. 62(3), S.201-207.
- Skirde, H. (2015). Kostenorientierte Bewertung modularer Produktarchitekturen. Diss., TU Hamburg-Harburg. Kersten, W. (Hrsg.). Reihe: Supply Chain, Logistics and Operations Management, Band 20. Lohmar: Josef Eul Verlag.
- Stölzle, W. (2007). Beschaffung als Herausforderung für das Controlling. Controlling & Management, 51(3), S.200-203.
- Stüttgen, M. (1999). Strategien der Komplexitätsbewältigung in Unternehmen: Ein transdisziplinärer Bezugsrahmen. Dissertation Nr. 2242, Universität St. Gallen. Bern: Verlag Paul Haupt.
- Surender, S., Shankar, V., Daniel, B., Singh, S.(2013). Overview of the Volkswagen Group's Global Operations – From an Industry Benchmark in Platform Sharing to the Most Profitable Automotive OEM by 2020. NC34-18. Frost & Sullivan, June 2013.
- Takeishi, A., Fujimoto, T. (2001). Modularisation in the auto industry: interlinked multiple hierarchies of product, production and supplier systems. In: Int. J. Automotive Technology and Management, 1(4), S.379-396.
- Tschiesner, A., Hofstätter, T., Krawina, M., Mühlreiter, B., Pöhler, S. (2020). Reimagining the auto industry's future: It's now or never. McKinsey & Company, October 27, 2020.

- Ulrich, H. (1982). Anwendungsorientierte Wissenschaft. In: Die Unternehmung, 1982, 36(1), S.1-10.
- Ulrich, K., Tung, K. (1991). Fundamentals of product modularity. In: Issues in Design/Manufacture Integration, Vol.39, S.73-79.
- Untiedt, A. (2008). The Modular Body. In: Parry, G., Graves, A. (Ed.): Build To Order: The Road to the 5-Day Car. London: Springer, S.109-132.
- Van Weele, A. J., Rozemeijer, F. A. (1996). Revolution in purchasing: Building competitive power through proactive. European Journal of Purchasing & Supply Management, 2(4), S.153-160.
- VDA (2016). Jahresbericht 2016, 04.November 2016. Download 02.07.2017, [www.vda.de/de/services/Publikationen/jahresbericht-2016.html](http://www.vda.de/de/services/Publikationen/jahresbericht-2016.html).
- VDA (2017). Allgemeines: Angaben zu Forschungsausgaben, Umsätzen und Beschäftigten in der Automobilwirtschaft. [www.vda.de/de/services/zahlen-und-daten/jahreszahlen/allgemeines.html](http://www.vda.de/de/services/zahlen-und-daten/jahreszahlen/allgemeines.html), aufgerufen am 02.07.2017.
- Wang, Q., Stockton, D., Baguley, P. (2000). Process cost modelling using neural networks. In: International Journal of Production Research, Vol. 38(16), S. 3811-3821.
- Wannenwetsch, H. (2004). Integrierte Materialwirtschaft und Logistik. 2., überarbeitete Auflage, Berlin: Springer.
- Warburton, M., Quettawala, A. A., Zhu, R., Wen, B. (2013). VW: MQB Benefits Are Over-Hyped – The Economics of Scale Do Not Support Some Of The More Outlandish Claims. Bernstein Research, March, 26, 2013.
- Watanabe, C., Ane, B. (2004). Constructing a virtuous cycle of manufacturing agility: concurrent roles of modularity in improving agility and reducing lead time. In: Technovation, 24(7), S.573-583.
- Weissenberger-Eibl, M., Koch, D. (2011). Innovationserosion. In: Bertram, F., Czymbek, F., Modulstrategie in der Beschaffung - Konferenzband, Berlin: Logos Verlag, S.31-52.
- Werners, B., Pietschmann, U. (2011). Optimale dynamische und flexibilitätssteigernde Modulstrategien. In: Bertram, F., Czymbek, F.. Modulstrategie in der Beschaffung - Konferenzband, Berlin: Logos Verlag, S.53-68.
- Wildemann, H. (1998). Komplexitätsmanagement durch Prozess- und Produktgestaltung. In: Adam, D. (Hrsg.): Komplexitätsmanagement. Wiesbaden: Gabler Verlag, S.47-67.

- Wildemann, H. (2001). Supply Chain Management mit E-Technologien. Universität Klagenfurt, Institut für Wirtschaftswissenschaften, Reihe BWL aktuell, Nr.7. Klagenfurt : Inst. für Wirtschaftswiss.
- Wildemann, H. (2011). Standardisierung und Individualisierung des Produktprogramms durch das Controlling. In: Controlling, 23(4-5), S.212-216.
- Willke, H. (2014). Systemtheorie III: Steuerungstheorie, 4. Auflage, Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH.
- Wüpping, J. (2011). Renditekiller Komplexität. In: Controller Magazin, 36(4), S.66-71.
- Wray, N., Markovic, M., Manderson, L. (2007). "Researcher saturation": the impact of data triangulation and intensive-research practices on the researcher and qualitative research process. In: Qualitative health research, December 2007, Vol. 17(10), S.1392-1402.
- Wynstra, F., Axelsson, B., Van Weele, A. (2000). Driving and enabling factors for purchasing involvement in product development. European Journal of Purchasing & Supply Management, 6(2), S.129-141.
- Wynstra, F., Weggeman, M., Van Weele, A. (2003). Exploring purchasing integration in product development. Industrial Marketing Management, 32(1), S.69-83.
- Zander, A. (2001). Neuronale Netze zur Analyse von nichtlinearen Strukturmodellen mit latenten Variablen. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Zettl, M., Seliger, G. (Hrsg.) (2009). Beitrag zur Steigerung der Nutzenproduktivität durch Modularisierung von Produkten. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.