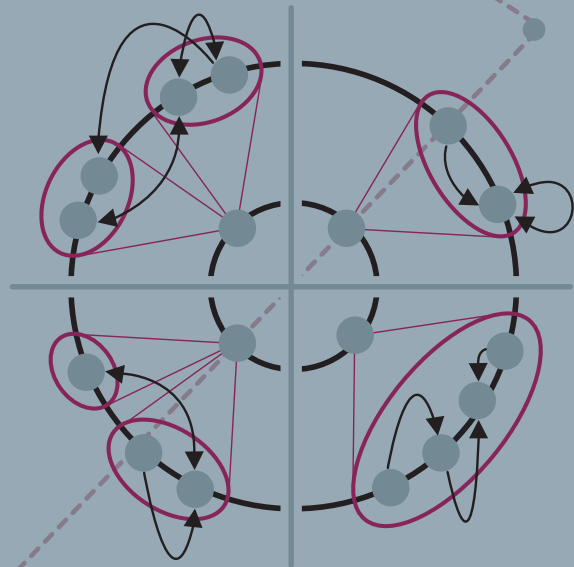


PETER SCHUBERT



ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZTE METHODIK ZUR PRODUKTKONZEPTAUSWAHL

GRUNDLAGEN, SYSTEMATIK &
EXEMPLARISCHE ANWENDUNG



Peter Schubert

ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZTE METHODIK ZUR PRODUKTKONZEPTAUSWAHL

Grundlagen, Systematik und exemplarische Anwendung

Entscheidungsunterstützte Methodik zur Produktkonzeptauswahl

Grundlagen, Systematik und exemplarische Anwendung

von
Peter Schubert

Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Fakultät für Maschinenbau, 2015

Tag der mündlichen Prüfung: 08. Mai 2015

Referenten: Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h.c. Jivka Ovtcharova
Prof. Dr.-Ing. Jörg W. Fischer

Impressum



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
KIT Scientific Publishing
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe

KIT Scientific Publishing is a registered trademark of Karlsruhe
Institute of Technology. Reprint using the book cover is not allowed.

www.ksp.kit.edu



*This document – excluding the cover – is licensed under the
Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 DE License
(CC BY-SA 3.0 DE): <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/>*



*The cover page is licensed under the Creative Commons
Attribution-No Derivatives 3.0 DE License (CC BY-ND 3.0 DE):
<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/de/>*

Print on Demand 2015

ISBN 978-3-7315-0397-2

DOI 10.5445/KSP/1000047578

Entscheidungsunterstützte Methodik zur Produktkonzeptauswahl

Grundlagen, Systematik und exemplarische Anwendung

Zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften

der Fakultät Maschinenbau
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
genehmigte

DISSERTATION

von

Dipl.-Wi.-Ing. Peter Schubert

Tag der mündlichen Prüfung	08.05.2015
Vorsitz	Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze
Hauptreferent	Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h. c. Jivka Ovtcharova
Korreferent	Prof. Dr.-Ing. Jörg W. Fischer

Geleitwort der Herausgeberin

Stetig kürzer werdende Produktentstehungszyklen und die wachsende Konkurrenz auf globalen Märkten fordern von Unternehmen schnelle und zielgerichtete Produktinnovationen. Mit der Auswahl von Produktkonzepten endet die Produktlebensphase der Planung und es beginnen die Produktlebensphasen der Entwicklung und Produktion. Während in der Planungsphase kaum produktbezogene Kosten anfallen, wirken sich insbesondere Änderungen in der Produktentstehung negativ auf die Zeit- und Kostenverläufe aus. Eine ungenügende Planung der Konzeptionsphase und eine fehlende methodische Unterstützung bei der Auswahl zu realisierender Produktkonzepte können Ursachen für nachgelagerte Änderungszyklen sein.

Erfolgreiche Produkte zeichnen sich neben der ökonomischen Betrachtung durch eine Vielzahl weiterer, quantitativer und qualitativer Merkmale aus. Eine wichtige Aufgabe innerhalb der Produktkonzeption stellt somit eine hersteller- und marktorientierte Modellierung und Bewertung von Konzeptalternativen anhand quantitativer und qualitativer Kriterien dar.

Die vorliegende Arbeit adressiert in diesem Kontext die Entwicklung einer entscheidungsunterstützten Methodik zur Produktkonzeptauswahl. Unsicherheiten, die zwangsläufig mit der subjektiven Bewertung qualitativer Kriterien durch einzelne Experten einhergehen, wird im Rahmen dieser Arbeit mit der Theorie unscharfer Mengen begegnet. Als Richtlinie für die Anwendung in der Praxis wird ein schrittweises Vorgehensmodell beschrieben, welches ausführlich die jeweils durchzuführenden Operationen darlegt, wobei die Auswahl der vorgestellten Methoden je nach Art und Umfang der geplanten Innovation variieren kann.

Mit der Möglichkeit der Integration von Planungsergebnissen und Entscheidungen der frühen, in Teilen marktorientierten Produktlebensphasen wird der vorwiegend ingenieurwissenschaftliche Ansatz des Produktlebenszyklusmanagements erweitert. Diese Ausweitung in die Produktplanung spricht der Arbeit strategischen Charakter zu und liefert einen Beitrag zu der Vision eines ganzheitlichen Lifecycle Engineerings.

*Entscheide lieber ungefähr richtig,
als genau falsch.*

*(Johann Wolfgang von Goethe, *1749; †1832)*

Vorwort des Autors

Die vorliegende Dissertation entstand neben meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen (IMI) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

Meiner Doktormutter, Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h. c. Jivka Ovtcharova, der Leiterin des Instituts und des Lifecycle Engineering Solutions Center (LESC) gilt mein besonderer Dank für die wissenschaftliche Betreuung, Förderung und das mir entgegengebrachte Vertrauen.

Für die freundliche Übernahme des Korreferats gebührt mein Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. Jörg W. Fischer, Professor für Produktionsmanagement und Virtuelle Fabrik der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik an der Hochschule Karlsruhe. Dem Vorsitzenden des Prüfungsausschusses, Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze, dem Leiter des Instituts für Fertigungs- und Werkstofftechnik am Karlsruher Institut für Technologie gilt ebenfalls mein Dank.

Meinen ehemaligen Institutskollegen danke ich für die zahlreichen Diskussionen und nützlichen Erfahrungen die ich während meiner Zeit am Institut sammeln konnte. Dem Karlsruher House of Young Scientists (KHYS) danke ich für die Gewährung eines Auslandsstipendiums am CERN und die damit verbundenen vielen fruchtbaren, wissenschaftlichen Diskussionen aus Bereichen des Innovations- und Produktlebenszyklusmanagements.

Meinen Eltern danke ich für das Vertrauen in mich und ihre kontinuierliche Unterstützung. Meiner Freundin Iva danke ich insbesondere für ihren Rückhalt, ihr Verständnis und ihre Rücksichtnahme auf die vielen Einschränkungen, die mit dem Gelingen dieser Arbeit verbunden waren.

Karlsruhe, Juni 2014

Peter Schubert

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	ix
Tabellenverzeichnis	xi
Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	xiii
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Problemstellung	2
1.2 Zielsetzung der Arbeit	7
1.3 Aufbau der Arbeit	8
2 Grundlagen	11
2.1 Thematische Einordnung der Arbeit	12
2.1.1 Innovations- und Produktmanagement	13
2.1.2 Produktlebenszyklusmanagement	21
2.1.3 Produktplanung	28
2.1.4 Produktkonzeption	31
2.2 Abgrenzung der Arbeit	34
2.2.1 Abgrenzung nach Unternehmensfeld und Lebenszyklus	34
2.2.2 Abgrenzung nach Art und Neuheitsgrad der Innovation	35
2.2.3 Abgrenzung aus Sicht des Informationsmanagements	36
2.3 Forschungskonzeptionelle Grundlagen	38
2.3.1 Wirtschaftlichkeitsanalysen von Produktkonzepten	38
2.3.2 Zielkostenmanagement	47
2.3.3 Grundlagen der Entscheidungstheorie	54
2.3.4 Modellierung von Unschärfe	56
3 Stand in Forschung, Wissenschaft und Technik	59
3.1 Einordnung von Verfahren zu Unterstützung von Entscheidungen	59
3.2 Analyse und Bewertung ausgewählter Verfahren	63
3.2.1 Eignungskriterien für die Auswahl von Produktkonzepten	63
3.2.2 Vorstellung von Verfahren aus Praxis und Wissenschaft	65
3.2.3 Bewertung der Verfahren	79
3.3 Zusammenfassung	82
4 Entscheidungsunterstützte Methodik zur Produktkonzeptauswahl	83
4.1 Erhebung von Plandaten des Entscheidungsmodells	84
4.1.1 Klassifizierung von Anforderungsprofilen	85

4.1.2	Ableitung eines produktbezogenen Kostenrahmens	87
4.1.3	Resultierende Plandaten als Input für das Entscheidungsnetzwerk	98
4.2	Aufbau des Entscheidungsmodells	100
4.2.1	Bestimmung von Kontrollkriterien und Aggregationsregeln . .	101
4.2.2	Strukturierung von Bewertungskriterien	104
4.2.3	Strukturierung des Entscheidungsproblems	105
4.3	Bewertungsregeln im Entscheidungsnetzwerk	106
4.3.1	Bestimmung der Adjazenzmatrizen auf Komponenten- und Elementebene	106
4.3.2	Voraussetzungen für die formale Modellbildung	108
4.3.3	Bewertung quantitativer Größen	109
4.3.4	Bewertung qualitativer Größen	109
4.4	Priorisierung und Konsistenzprüfung von Evaluationsmatrizen	114
4.4.1	Aufbau von Evaluationsmatrizen	114
4.4.2	Berechnung der Prioritätenvektoren	114
4.4.3	Prüfung auf Konsistenz	118
4.4.4	Aggregation von Individualbewertungen	122
4.5	Berechnung und Auswertung der Entscheide	124
4.5.1	Bestimmung der Prioritäten auf Komponentenebene	124
4.5.2	Bestimmung der Prioritäten auf Elementebene	125
4.5.3	Berechnung der Entscheidung für eine Alternative	126
4.6	Abschlussbemerkung	129
5	Validierung der Methodik	131
5.1	Exemplarische Berechnung von Prioritäten in einem Entscheidungsnetzwerk	131
5.1.1	Aufbau des exemplarischen Entscheidungsnetzwerks	131
5.1.2	Bestimmung der Adjazenzmatrizen auf Komponenten- und Elementebene	132
5.1.3	Bestimmung der Prioritäten auf Komponentenebene	134
5.1.4	Bestimmung der Prioritäten auf Elementebene	135
5.1.5	Berechnung der Entscheidung für eine Alternative des Entscheidungsnetzwerks	140
5.2	Entscheidungsproblem eines Fahrzeugherstellers	142
5.2.1	Allgemeines	142
5.2.2	Erhebung von Plandaten zur Erstellung des Entscheidungsmodells	144
5.2.3	Aufbau des Entscheidungsmodells	148
5.2.4	Priorisierung einer Konzeptalternative	151
5.3	Anmerkungen	152
6	Zusammenfassung	155
6.1	Darstellung der Ergebnisse	155
6.2	Ausblick zu weiteren Anknüpfungspunkten	158

Anhang

A Herleitung zur Defuzzifizierung	161
A.1 Defuzzifizierung mit der Methode des Flächenschwerpunkts	161
A.2 Modifikation der Methode des Flächenschwerpunkts	163
B Berechnungen des exemplarischen Beispiels	165
B.1 Berechnungen zur Komponenteneinflussmatrix	166
B.2 Berechnungen zur Supermatrix der Elementeinflüsse	168
C Anhänge zur Validierung am Beispiel des OEM	173
C.1 Ausschnitt des OEM spezifischen Innovationsprozesses	173
C.2 Zielkostenspaltung (<i>target cost breakdown</i>)	174
C.2.1 Zielkostenspaltung auf Gesamtproduktebene	174
C.2.2 Zielkostenspaltung auf Konzeptebene	175
C.3 Fahrgestell und Produktkonzeptauswahl des Achsantriebs	176
C.3.1 Prototypische Darstellung des Sonderfahrgestells	176
C.3.2 Prototypische Darstellung des Achsantriebs	176
Literaturverzeichnis	177
Stichwortverzeichnis	195

Abbildungsverzeichnis

1.1	Wesentliche Einflussbereiche auf den Unternehmenserfolg	2
1.2	Erfolgsfaktoren des Wettbewerbs	3
1.3	Festlegung, Entstehung und Beeinflussbarkeit von Produktkosten . . .	4
1.4	Aufbau und Ablauf der Arbeit	9
2.1	Arten von Produktinnovationen	15
2.2	Typisierung von Produktinnovationen nach dem Neuheitsgrad aus Sicht der Entwicklung	15
2.3	Die SWOT-Analyse	17
2.4	Die Produkt-Markt-Analyse	18
2.5	BCG-Matrix und McKinsey-Matrix	19
2.6	Modelltransformation unterschiedlicher Portfolioanalysen	20
2.7	Die Produkt-Markt-Matrix und ihre Modifikation zum BCG-Portfolio .	21
2.8	Sichten auf den Produktlebenszyklus	22
2.9	Fachtermini und Phasen im Produktleben	23
2.10	Erweiterte Integrationstiefe durch PLM	23
2.11	Idealtypische Komponenten einer PLM Lösung	26
2.12	Frontloading	27
2.13	Simultaneous Engineering	28
2.14	Anforderungen, Lasten- und Pflichtenheft	30
2.15	Prozess der Produktkonzeption	33
2.16	Systemgrenze aus strategischer Sicht	34
2.17	Systemgrenze aus Sicht des ökonomischen Produktlebenszyklus . . .	35
2.18	Semiotisches Dreieck im Informationsmanagement	37
2.19	Abgrenzung der Arbeit im Informationsmanagement	37
2.20	Unterscheidung der Kostenrechnungssysteme	40
2.21	Veranschaulichung beispielhafter statischer Investitionsrechnungsverfahren	44
2.22	Modellskizze zur Kapitalwertmethode	45
2.23	Bestimmung des erwarteten wirtschaftlichen Erfolgs	46
2.24	Phasen des Zielkostenmanagements mit Bezug zu Produktplanung und -entwicklung	49
2.25	Vierstufiger Prozess des Zielkostenmanagements	50
2.26	Modell des Zielkostenmanagements	51
2.27	Allgemeine Phasen und Einflussbereiche des Zielkostenmanagements	53
2.28	Entscheidung als fünfstufiger Prozess	55
2.29	Informationsgehalt bzw. Umweltzustände von Entscheidungsproblemen	56

2.30 Grafische Veranschaulichung verschiedener Abbildungsvorschriften unscharfer Mengen	57
3.1 Verfahren zur Unterstützung von Entscheidungen	62
3.2 Unterschiede von NWA und MAUT	70
3.3 Aufbau eines Entscheidungsproblems im AHP	76
3.4 Aufbau eines ANP Entscheidungsnetzwerks	78
4.1 Vorgehensweise der entscheidungsunterstützten Methodik zur Produktkonzeptauswahl	84
4.2 Kano-Modell	86
4.3 Klassische Verläufe von Produktnachfragen	90
4.4 Beispielschema für Activity Based Costing im Innovationsprozess	93
4.5 Anwendungsbereiche der Methoden zur Zielkostenspaltung nach Innovationsgrad	96
4.6 Erweiterte Vorgehensweise der Zielkostenspaltung	97
4.7 Zielkostenkontrolldiagramm	99
4.8 Beispiel eines Entscheidungsnetzwerks	100
4.9 Beispielhafte Grundstruktur des Entscheidungsmodells	102
4.10 Adjazenzmatrizen der Elemente (V) und der Komponenten (B)	107
4.11 Triangulare Fuzzy Menge	111
4.12 Inkonsistenz	118
4.13 Komponenteneinflussmatrix (C)	124
4.14 Initiale Supermatrix (W)	125
5.1 Entscheidungsnetzwerk am fiktiven Beispiel des Autokaufs	133
5.2 Adjazenzmatrizen V und B des exemplarischen Beispiels	134
5.3 Tragweite des Entscheidungsproblems in einem idealtypischen Innovationsprozess der Automobilindustrie	142
5.4 Wesentliche Baugruppen des Fahrgestells	145
5.5 Bereiche der Produktentstehung des OEM	146
5.6 Linguistische Variablen und Darstellung als triangulare Fuzzy Nummer	152
A.1 Aufbau einer triangularen Fuzzy Nummer	161
C.1 Ausschnitt des Innovationsprozesses von Unternehmen OEM	173
C.2 Sonderfahrgestell	176
C.3 Achsantrieb	176

Tabellenverzeichnis

2.2	Auswahl idealtypischer Funktionen des PDM und PLM	26
2.3	Typisierung von Entscheidungsproblemen	55
3.1	Prinzipieller Aufbau und Berechnung im Rahmen der Nutzwertanalyse	67
3.2	Teilschritte und Unterschiede von Nutzwertanalyse und VDI-Richtlinie 2225	68
3.3	Übersicht und Bewertung potentieller Verfahren zur Modellierung und Lösung von Entscheidungsproblemen	81
4.1	Differenzierungsmerkmale der Methoden der Zielkostenfestlegung . .	89
4.2	Beispielergebnisse der jeweiligen Netzwerke	103
4.3	Beispielergebnisse für das Entscheidungsmodell	103
4.4	Skala für Paarvergleichsurteile	110
4.5	Triangulare Fuzzy Nummern für Paarvergleichsurteile	112
4.6	Beurteilung von Verfahren zur Berechnung der Prioritäten	115
4.7	Berechnung der Prioritäten w_i mit dem Standardverfahren	116
4.8	Gegenüberstellung von Zufallsindizes	119
4.9	Beurteilung von Verfahren zur Berechnung der Eigenwerte	120
4.10	Aufbau der Durchschnittsmatrix	122
4.11	Beurteilung von Verfahren zur Aggregation von Individualentscheiden	123
5.1	Beschreibung der beispielhaften Entscheidungssituation	132
5.2	Prioritäten auf Komponentenebene	135
5.3	Prioritätenvektor $W_{11}(e_{11})$	136
5.4	Prioritätenvektor $W_{14}(a_1)$	137
5.5	Prioritätenvektor $W_{14}(a_2)$	137
5.6	Prioritätenvektor $W_{32}(e_{21})$	137
5.7	Prioritätenvektor $W_{33}(e_{33})$	138
5.8	Prioritätenvektor $W_{34}(a_1)$	138
5.9	Prioritätenvektor $W_{34}(a_2)$	138
5.10	Beispieldaten der Alternativen	139
5.11	Prioritätenvektor $W_{41}(e_{11})$	139
5.12	Prioritätenvektor $W_{41}(e_{12})$	139
5.13	Prioritätenvektor $W_{43}(e_{33})$	140
5.14	Ergebnisse der exemplarischen Entscheidungssituation	142
5.15	Leistungsanforderungen	147
5.16	Begeisterungsanforderungen	147
5.17	Basisanforderungen	148

5.18	Kriterien im Rahmen der Herstellung	149
5.19	Kriterien in Bezug auf die Nutzung	149
5.20	Strategische Kriterien	149
5.21	Prognostizierte Standardkosten	150
5.22	Anpassungsaufwendungen	150
5.23	Risiken in Bezug auf Unternehmensstandards	150
5.24	Risiken durch Mis-Management	151
B.1	Berechnungen zur Komponenteneinflussmatrix	166
B.2	Berechnungen zur Komponenteneinflussmatrix	167
B.3	Berechnungen zur Supermatrix	168
B.4	Berechnungen zur Supermatrix	169
B.5	Berechnungen zur Supermatrix	170
B.6	Berechnungen zur Supermatrix	171
B.7	Berechnungen zur Supermatrix	172
C.1	Zielkostenspaltung auf Produktebene	174
C.2	Zielkostenspaltung auf Konzeptebene	175

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Abkürzungen

Abb.	Abbildung(en)
ABC	Activity Based Costing
AHP	Analytic Hierarchy Process
ANP	Analytic Network Process
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
CA	Conjoint Analyse
CAD	Computer Aided Design, früher auch Computer Aided Drafting
CE	Concurrent Engineering
Conc	Konkordanzindex
CRM	Customer Relationship Management
d. h.	das heißt
DIN	Deutsche Industrie Norm
Disc	Diskordanzindex
DMM	Domain Mapping Matrix
DMU	Digital Mock-Up
DSM	Design Struktur Matrix
ELECTRE	Elimination Et Choix Traduisant la Réalité
ERP	Enterprise Resource Planning
et al.	lateinischer Begriff, gleichbedeutend mit u. a.
etc.	et cetera, lateinischer Begriff, gleichbedeutend mit usw.
evtl.	eventuell
ggf.	gegebenenfalls
i. A.	im Allgemeinen
i. d. R.	in der Regel
IMI	Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen
Kap.	Kapitel
KMU	Kleine und mittelständige Unternehmen

MAUT	Multiattributive Nutzentheorie (<i>Multi Attributive Utility Theory</i>)
MDM	Multi Domain Matrix
NWA	Nutzwertanalyse
PDM	Product Data Management bzw. Produktdatenmanagement
PKR	Prozesskostenrechnung
PLM	Product Lifecycle Management bzw. Produktlebenszyklusmanagement
PROMETHEE .	Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations
QFD	Quality Function Deployment
ROI	Kapitalrendite (<i>return-on-investment</i>)
ROS	Umsatzrendite (<i>return-on-sales</i>)
SCM	Supply Chain Management
SE	Simultaneous Engineering
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
Tab.	Tabelle(n)
TFN	Triangulare Fuzzy Nummer
u. a.	und andere bzw. unter andere(m/n)
usw.	und so weiter
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
z. B.	zum Beispiel

Symbole

$(l; m; u)$	.....	Aufbau einer TFN mit <i>lower</i> , <i>middle</i> und <i>upper</i> Werten
$(l^\alpha; m^\alpha; u^\alpha)$	...	Aufbau einer TFN mit α -Schnitt zur Risikobetrachtung
λ	.....	Eigenwert
λ_{max}	.....	Maximaler Eigenwert
$\mu_{\tilde{a}}$	.....	Zugehörigkeitsfunktion der Abbildung $\mu_{\tilde{a}} : X \rightarrow [0, 1]$
\neg	.....	Fuzzy-Negation
\oplus	.....	Fuzzy-Addition
\otimes	.....	Fuzzy-Multiplikation
Π_k	.....	Präferenzfunktion zur kriterienbezogenen Abbildung von Alternativen, $\Pi_k : Ax A \rightarrow [0, 1]$
\sim	.....	Mit einer Tilde werden i. A. unscharfe Elemente und Mengen gekennzeichnet
\tilde{a}	.....	unscharfe Menge auf X
A	.....	Menge an Alternativen $a_i \in A$ oder auch Auszahlung
A_0	.....	Anschaffungsauszahlung
a_i	.....	Bezeichnung des i -ten Elements einer Menge. Im allgemeinen für Bewertungsobjekte wie Alternativen $a_i \in A$ verwendet
A_t	.....	Auszahlungen in t
A_{ft}	.....	absatzunabhängige Auszahlungen (vom Sinn ähnlich zu fixen Kosten)
a_{vt}	.....	absatzabhängige Auszahlungen (vom Sinn ähnlich zu variablen Kosten)
ac	.....	Erlaubte Kosten (<i>allowable costs</i>) pro Stück
B	.....	Adjazenzmatrix auf Komponentenebene
C	.....	Komponenteneinflussmatrix
C_i	.....	Komponente bzw. Cluster der Komponenteneinflussmatrix C
DB	.....	Deckungsbeitrag
dc	.....	prognostizierte Standardkosten (<i>drifting costs</i>) pro Stück
$defuzz(\tilde{w})$	...	Defuzzifizierung einer Unscharfen Menge
E	.....	Evaluationsmatrix oder auch Menge an Elementen $e_i \in E$ oder auch Einzahlung bzw. Einnahmen
e_i	.....	Bezeichnung für Bewertungsobjekte, hier für Kriterien
E_t	.....	Einzahlungen in t
e_{ij}	.....	Bezeichnung des j -ten Kriteriums des i -ten Cluster in einem Entscheidungsnetzwerk
EWE	.....	Erwarteter Wirtschaftlicher Erfolg
f	.....	Die »Funktion« f ist eine Abbildungsvorschrift, beispielsweise $f : X_i \rightarrow X_j$ mit $i, j \in I, I \subseteq \mathbb{N}$
g_i	.....	Personen- bzw. Expertenbezogener Gewichtungsfaktor

HK	Herstellungskosten
I	Indexmenge
i_t	Abzinsungsfaktor in t (Kapitalzins)
J	Indexmenge
K	Kriterium bzw. Menge an Kriterien $k_i \in K$
k_i	Kriterium i
$k_j(a_i)$	Für die Alternative a_i ermittelte partielle Nutzwert bzw. Zielerfüllung in Bezug auf Kriterium k_j
k_v	variable Stückkosten
k_{fix}	fixe Stückkosten
k_{ges}	Gesamtkosten
L	Liquidationserlös (Restwert)
m	Ordnungszahl <i>oder auch</i> (absetzbare) Mengeneinheit
m_t	absetzbare Menge in t
NPV	Net Present Value (Kapitalwert)
p	Verkaufspreis, i. A. pro Stück angegeben <i>oder auch</i> Wahrscheinlichkeit
p_t	Verkaufspreis in Periode bzw. zum Zeitpunkt t
p_{TE}	Wahrscheinlichkeit des Technischen Erfolgs (Realisierbarkeit)
p_{WE}	Wahrscheinlichkeit des Wirtschaftlichen Erfolgs (Marktakzeptanz)
q	Entscheidungsparameter zur Definition der Zielkostenzone
r_s	Umsatzrentabilität (<i>return on sales</i>) in [%]
s_c	Schwellenwert für die Konkordanz, $s_c \in [0, 1]$
s_d	Schwellenwert für die Diskordanz, $s_d \in [0, 1]$
s_i	Synthetische Erweiterung nach CHANG
SK	Markteintrittskosten (inkl. Verwaltung, Marketing, etc... <i>siehe</i> Selbstkosten)
T	Zeithorizont bzw. Ende der Nutzungsdauer (z.B. Lebenszyklus einer Modellreihe)
t	Zeitindex, i. A. $t = \{1, \dots, T\}$
tc	Zielkosten (<i>target costs</i>) pro Stück
tm	Gewinnspanne bzw. Gewinnmarge (<i>target margin</i>) pro Stück
tp	Zielverkaufspreis (<i>target price</i>) pro Stück
V	Adjazenzmatrix auf Elementenebene
$v(a_i)$	Additiv berechneter Gesamtnutzwert von Alternative a_i
v_j	Partielle Nutzenfunktion bzw. Wertfunktion, wobei auf Grund der Normierung gilt: $v_j(\min\{k_j(a_i)\}) = 0$ und $v_j(\max\{k_j(a_i)\}) = 1$
W	Ungewichtete, initiale Supermatrix
w^+	Summe der Kriteriengewichte, bei denen a_1 gegenüber a_2 überlegen ist

w^-	Summe der Kriteriengewichte, bei denen die Alternative a_2 überlegen ist
$w^=$	Summe der Kriteriengewichte, bei denen die Alternativen gleichwertig einzustufen sind
w_i	Gewichtungsfaktor bzw. Prioritätenvektor für ein bestimmtes Element bzw. Kriterium $i \in I$
W_{gew}	Gewichtete Supermatrix
W_{limit}	Limit Supermatrix
W_{norm}	Normierte, gewichtete Supermatrix
X	wohldefinierte Grundmenge
x_j	Nutzenteilgewicht der Komponente j in [%]
y^o	Obere Begrenzung der Zielkostenzone
y^u	Untere Begrenzung der Zielkostenzone
y_j	Kostenanteil der Komponente j
Z_k^+	Beste Ausprägung des Kriteriums k
Z_k^-	Schlechteste Ausprägung des Kriteriums k
zki_j	Zielkostenindex für Komponente j in [%]

1 Einleitung

Primäre Ziele eines Unternehmens sind der Erhalt und die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit, beispielsweise durch Maximierung des Unternehmenserfolgs bzw. der diskontierten Jahresgewinne nach Steuern. Dieses Ziel kann kurzfristig z.B. durch die Vorgabe von Marktanteils- oder Imagezielen variieren, jedoch muss ein Unternehmen langfristig Gewinne erwirtschaften, um konkurrenzfähig zu bleiben. Zur Gewährleistung dieser Zielsetzung muss das Unternehmen Produkte anbieten, die im direkten Wettbewerb entweder im Preis, in Funktion und Qualität, im Service oder im Image der Konkurrenz überlegen sind. Dabei bezieht sich die Überlegenheit auf die geschickte Planung und Herstellung derjenigen Produkte, die aus Nachfragersicht (Akzeptanz von Markt und Kunde) und Angebotssicht (Leistungserstellung im Wertschöpfungsnetzwerk von OEM und Zulieferern) ein optimales Nutzen-/Aufwandsverhältnis darstellen. Grundsätzlich gibt es zwei Stellschrauben, die den Unternehmenserfolg beeinflussen.

- Generierung von mehr Umsatz durch Anwendung unterschiedlicher Marktpenetrationsstrategien¹ und/oder
- Fokussierung auf die Einsparung von Kosten durch die konsequente Ausrichtung der innerbetrieblichen Tätigkeiten an ein lebenszyklusübergreifendes Kostenmanagement²

In Abbildung 1.1 wird der Zusammenhang dieser beiden Einflussgrößen auf den Unternehmenserfolg verdeutlicht und die daran wesentlich beteiligten Unternehmensbereiche, Managementkonzepte und -methoden exemplarisch skizziert.

¹ Vgl. hierzu Instrumente und Methoden des Innovationsmanagements, Kap. 2.1.1.4

² Vgl. hierzu Target Costing, Kap. 2.3.2

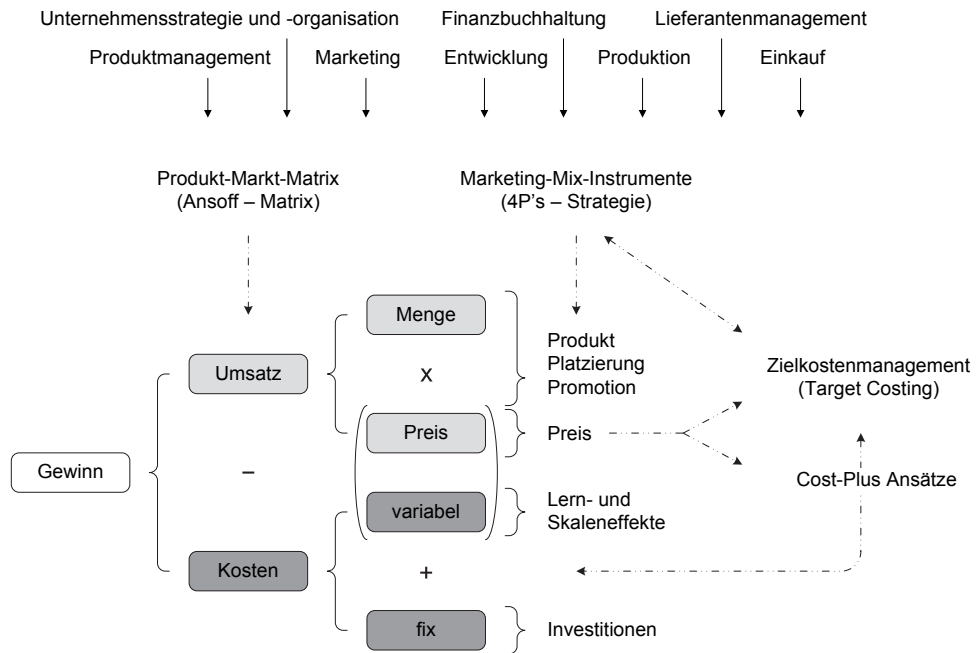


Abbildung 1.1: Wesentliche Einflussbereiche auf den Unternehmenserfolg

1.1 Motivation und Problemstellung

Die Zukunft global agierender Unternehmen liegt in der Beherrschung stetig zunehmender Komplexität, wachsender Internationalisierung des Wettbewerbs und der Notwendigkeit einer konsequenten Markt- und Kundenorientierung. Zudem fordern die steigende Komplexität der Produkte von Unternehmen ein schnelles Reagieren auf eine zunehmende Zahl sich ändernder Randbedingungen (ILIEVA U. A. 2009b, S. 57). Diese Entwicklungstrends zeigen sich produkt- und technologieeitig in ständig kürzer werdenden Technologievorsprüngen und Lebenszyklen, und marktseitig durch den Drang der Kunden nach individuellen Produkten und dem Wechsel vom klassischen Verkäufer- zum Käufermarkt (SEIDENSCHWARZ 2002, S. 136), (BUNDESREGIERUNG 2012, S. 14ff.).

Im Rahmen einer Studie wurden 65 Unternehmen hinsichtlich wettbewerbskritischer Erfolgsfaktoren zur Abgrenzung ihres Geschäfts im Vergleich zu konkurrierenden Unternehmen befragt (GAUSEMEIER U. A. 2000). Die Klassifizierung und Einordnung der identifizierten Erfolgsfaktoren wird in Abbildung 1.2 illustriert (NIßL 2006, S. 2) und (MEIER 2011, S. 2).

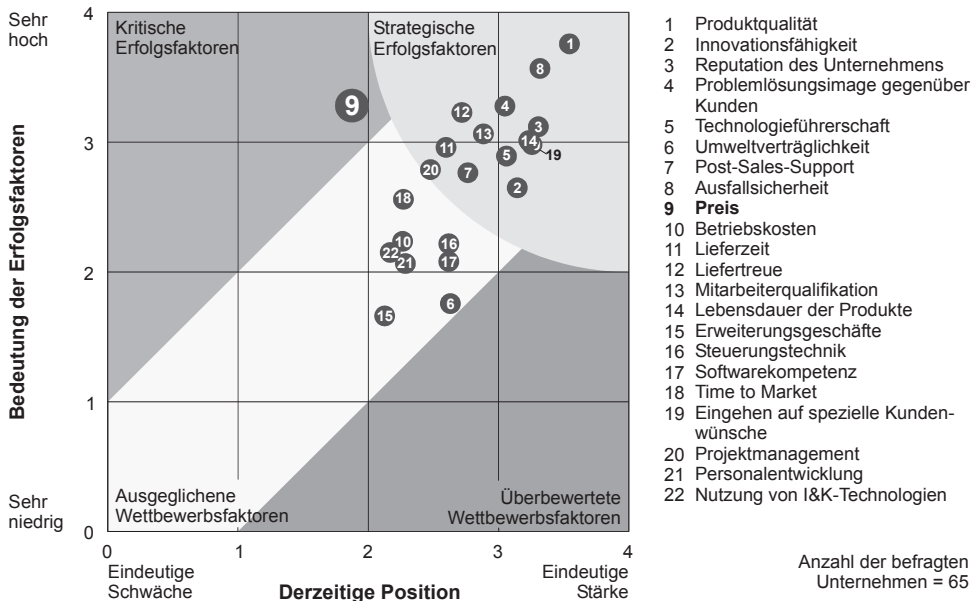


Abbildung 1.2: Erfolgsfaktoren des Wettbewerbs nach GAUSEMEIER U. A. (2000, S. 109)

Nach DANNER (1996, S. 2) kristallisieren sich im wesentlichen drei Erfolgsfaktoren heraus, die als strategisch und kritisch angesehen werden:

- Qualität, als hinreichende und aufwandsoptimale Erfüllung expliziter und impliziter Marktanforderungen und Kundenwünsche,
- Kosten, deren obere Grenze durch die Leistungen der Wettbewerber im Markt vorgegeben wird, und
- Zeit, als Kenngröße für die Reaktion auf geänderte und neue Marktbedingungen.

Diese Faktoren sind nicht unabhängig voneinander zu betrachten, sondern beeinflussen sich gegenseitig und werden in der Fachliteratur³ ferner als »magisches Dreieck« bezeichnet, deren gesamt optimale Berücksichtigung ein erfolgversprechendes Produkt hervorbringt.

Besonderes Interesse gilt dabei der Berücksichtigung der Kosten, da diese nach Abbildung 1.2 unter wettbewerbsstrategischer Sicht eine äußerst kritische Einflussgröße darstellen. Je nach Budgetierungsverfahren können durch den Faktor Kosten entweder der Unternehmenserfolg gemindert werden, oder es werden Verkaufspreise er-

³ Vgl. hierzu u. a. (EHRENSPIEL 2007, S. 23), (GAUBINGER U. A. 2009, S. 234) und (GIEBEL 2010, S. 29)

hört, was jedoch zu Einbußen an Marktanteilen und somit wiederum zu verminder-
tem Unternehmenserfolg führen kann.

Die Arbeiten von u. a. MEIER (2011, S. 84), JAHN (2009, S. 37), ZIRKLER (2010, S. 14),
TATARCZYK (2009, S. 26), NIßL (2006, S. 30), WEIß (2006, S. 155), sowie COENENBERG
U. A. (1997, S. 197), EHRENSPIEL (2007, S. 11), EIGNER UND STELZER (2009, S. 16)
und PMBOK (2008, S. 21) postulieren in ihren Ausführungen die Aktualität der Er-
kenntnisse erhobener Studien⁴ bezüglich verschiedener, über die Lebensphasen von
Produkten anfallender Kostenverläufe und den Grad der möglichen Beeinflussung
dieser. Bezogen auf die Produktlebensphasen verursachen die Planung und Entwick-
lung nur ca. 10-15%, legen aber bis zu 80% der Gesamtkosten fest und unterstreichen
somit die Forderung nach geeigneten Methoden zur Unterstützung in der planeri-
schen und konzeptionellen Phase. Zudem gilt die Faustregel⁵, dass die entstehenden
Kosten zur Fehlerkorrektur mit jeder weiteren Produktlebensphase um den Faktor 10
steigen (SCHMITT UND PFEIFER 2010, S. 5). Abbildung 1.3 verdeutlicht die Bedeutung
des Erfolgsfaktors Kosten und die Möglichkeit der Kostenbeeinflussung in Bezug auf
den zeitlichen Fortschritt im Produktleben.

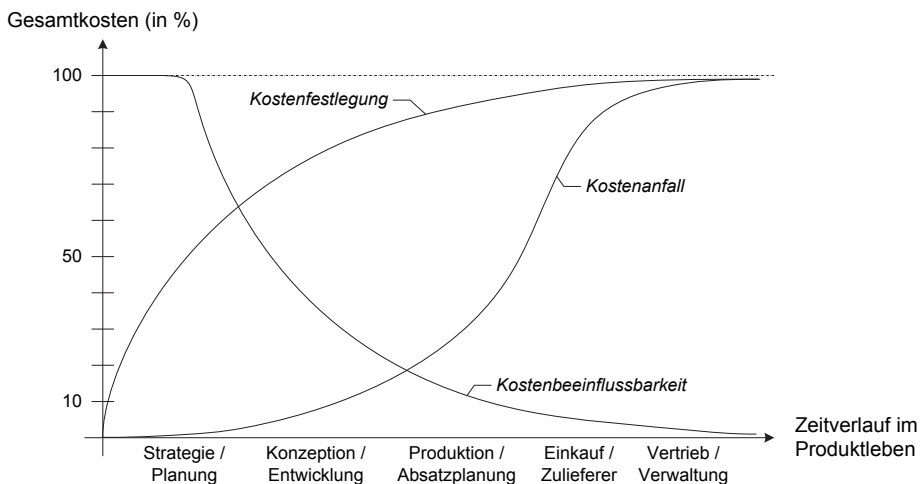


Abbildung 1.3: Festlegung, Entstehung und Beeinflussbarkeit von Produktkosten in An-
lehnung an SEIDEL (2005, S. 9)

⁴ Die prozentualen Angaben und charakteristischen Verläufe aus Abbildung 1.3 berufen sich im Wesentlichen auf die Analysen und Studien dreier Quellen: BRONNER (1968, S. 17) und BLANCHARD (1978, S. 15) zogen diese Erkenntnis aus Untersuchungen in Amerika. EHRENSPIEL (1980, S. 174) kam im Rahmen einer von der DFG geförderten Analyse deutscher Firmen auf diese Ergebnisse, die in der bis dato aktuellen VDI-Richtlinie VDI 2235 festgehalten wurden.

⁵ Dieser Faktor wird im Qualitätsmanagement auch »empirische Zehner-Regel« der Fehlerkosten genannt. Vgl. hierzu auch (VIERING U. A. 2007, S. 277ff.) für eine ausführliche Beschreibung.

Aus Abbildung 1.3 wird ferner ersichtlich, dass gerade die planerischen und konzeptionellen Aufgabengebiete in den frühen Phasen des Innovationsprozesses maßgeblichen Einfluss auf den Kostenverlauf nachgelagerter Phasen haben.

Dies gilt insbesondere für den Prozess der Produktkonzeption, der mit der Entscheidung für oder gegen die Entwicklung und Produktion den Grundstein für wirtschaftlichen Erfolg oder Misserfolg von zukünftigen Produkten legt. Daher wird die Produktkonzeption in vielen Unternehmen als die strategisch wichtigste Phase angesehen (GAUBINGER U. A. 2009, S. 103). So werden innerhalb der Produktkonzeption die Kosten, Qualität und Akzeptanz von Neuprodukten sowie auch der Aufwand für Forschung und Produktentstehung maßgeblich bestimmt.

Allerdings wird in vielen Unternehmen die Produktkonzeption vernachlässigt und bereits auf Basis erfolgsversprechend eingestufte Produktideen werden konkrete Entwicklungstätigkeiten begonnen. Diese übereilte und ungenügend geplante Entwicklung eines Produkts ist jedoch oft der Grund für dessen späteren Misserfolg (COOPER 2010, S. 215ff.). Nicht selten wird das Streben nach technischem Vorsprung mit dem Sichern von Marktanteilen oder der Erschließung neuer Märkte gleichgesetzt. Allerdings birgt diese Technikverliebtheit auch ein hohes Risiko. So kann es vorkommen, dass der Mehrpreis, den ein Konsument für eine gewollte oder ungewollte Funktion zu zahlen bereit wäre, die Kosten dieser Funktion nicht decken wird. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass Unternehmen diese Produkte unter Wert verkaufen müssen, um den Verlust des Unternehmenserfolgs zu mindern. Insbesondere gilt es bei potentiellen Produkten herauszufinden, welche Komponenten die Anforderungen und Kundenwünsche wie gut befriedigen und abzuschätzen, was deren Herstellung kostet. Letztere Problematik mündet ferner in make-or-buy Fragestellungen. Zum einen kann es vorkommen, dass ein Unternehmen nicht über die notwendigen Kompetenzen verfügt bestimmte Komponenten herzustellen. Andererseits könnte Fremdbezug dieser Komponenten aus wirtschaftlichen Gründen gewählt werden. Nicht zuletzt könnte auch die Möglichkeit einbezogen werden, unter zwei alternativen Produktkonzepten aus strategischen Gesichtspunkten trotzdem dasjenige mit dem etwas schlechteren Kosten/Nutzen Verhältnis zu wählen, da sich dessen Realisierung mit strategischen Unternehmenszielen deckt und somit Nachhaltigkeitsaspekte für die Unternehmensführung stellt.

All diese Probleme stellen insbesondere bei Kleinserienfertigern große Herausforderungen dar, da deren Erzeugnisse sich vorwiegend durch einen hohen Neuheitsgrad in der Produktinnovation kennzeichnen. Mangelnde Planung der Produktentscheide und kein integriertes marktorientiertes und leistungsbezogenes Kostenmanagement kann im schlechtesten Fall den Ruin bedeuten, denn entgangene Gewinne können

bei diesen Repetitionstypen aufgrund der geringen Absatzmengen nicht ausreichend kompensiert werden.

Zusammenfassung der Problemstellungen

- Der Preis eines Produktes am Markt nimmt durch den Wechsel vom Verkäufer zum Käufermarkt eine erfolgskritische Sonderstellung gemäß Abbildung 1.2 ein. Dies fordert von Unternehmen neue Ansätze eines lebenszyklus- und marktorientierten Kostenmanagements, das bei der Realisierung von Produktinnovationen Vorgaben und Prognosen für die Entwicklung, Konstruktion und Herstellung bietet.
- Die Planungsphasen und insbesondere die Produktkonzeption haben gemäß Abbildung 1.3 den größten Einfluss auf den späteren Kostenverlauf zukünftiger Produkte und damit direkten Einfluss auf den Unternehmenserfolg. Die Entscheidungsträger müssen daher in ihrem Entscheidungsfindungsprozess durch Methoden, Modelle und problembezogene Daten unterstützt werden. Problematisch ist, dass zu frühen Zeitpunkten je nach Neuheitsgrad einer Produktinnovation vorwiegend qualitative, vage geschätzte Daten vorliegen.
- Die Analyse der Wirtschaftlichkeit von Produktkonzepten darf nicht das alleinige Auswahlkriterium bilden. Vielmehr fließen weitere Kriterien in die Entscheidungsfindung ein.
- Die Entscheidungsunterstützung darf sich dabei nicht nur an den Kundenwünschen und der Produktentwicklung orientieren. Abhängigkeiten interner Leistungserstellung sollten nach Möglichkeit einbeziehbar sein, da diese dem kritischen Erfolgsfaktor Qualität zuzurechnen sind. Ebenso gilt es Faktoren zu berücksichtigen, um Produktentscheide hinsichtlich Chancen und Risiken zu messen.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass die Produktkonzeption als Bindeglied zwischen vorwiegend marktorientierter Produktplanung und ingenieurgetriebener Leistungserstellung den größten Handlungsspielraum für Produktentscheidungen bietet. Der Prozess der Entscheidungsfindung über zu entwickelnde und herzustellen- de Produkte muss daher methodisch unterstützt werden. Die dafür benötigten Informationen bedingen eine Ausrichtung des Unternehmens an den Anforderungen des Marktes und daher mitunter ein strategisches Kostenmanagement, um bereits in der Konzeptionsphase eine konsequente und kostenorientierte Umsetzung der Kundenwünsche im jeweiligen Zielmarkt sicherzustellen.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

In einem dynamischen Wettbewerbsumfeld stehen Unternehmen verstärkt vor der Aufgabe, bereits in frühen Phasen des Innovationsmanagements nutzenäquivalente Aussagen zu treffen. Diese beziehen sich einerseits auf den Zielmarkt hinsichtlich Produkten und Varianten mit unterschiedlichen Merkmalen und Ausprägungen, und andererseits auf die damit korrelierenden Kosten der Leistungserstellung. Gerade vor dem Hintergrund, dass die Produktkosten bereits in den frühen Phasen der Produktentwicklung maßgeblich festgelegt werden, ist eine aussagekräftige Methodik zur Auswahl erfolversprechender Produktkonzepte notwendig. Eine entscheidungsunterstützte Methodik zur Produktkonzeptauswahl ermöglicht es, die aus fehlerhaften Entscheidungen resultierenden, kostenintensiven Änderungszyklen in späteren Phasen, wie beispielsweise in der Produktion, zu vermeiden bzw. zu verringern.

Das Ziel der zu entwickelnden Methodik liegt darin, den Unternehmen eine methodische und formale Vorgehensweise zur Entscheidungsunterstützung für eine erfolversprechende Produktkonzeptauswahl zu bieten. Aus diesem Oberziel lassen sich nachfolgend aufgeführte Ziele ableiten:

1. Ein zur weiteren Umsetzung ausgewähltes Produktkonzept zeichnet sich nicht allein durch die Raffinesse seiner technischen Umsetzung aus. Vielmehr hängt der Erfolg seines Produktlebens von der Akzeptanz der Kunden bzw. des Marktes ab. Aus diesem Grund werden geeignete Konzepte des Kostenmanagements in die Methodik integriert, die bereits während der Produktplanung angewandt werden können.
2. Der Entscheidungsprozess zur Selektion eines geeigneten Produktkonzepts stellt gewisse Anforderungen an Methoden zur Lösung von Entscheidungsproblemen. Mit der Auswahl eines Produktkonzepts wird die Idee der technischen Umsetzung festgelegt und Vorgaben und Einflüsse auf den weiteren Verlauf ihrer Realisierung getroffen. Dies impliziert somit die Auswahl und Anpassung eines geeigneten entscheidungstheoretischen Verfahrens zur Modellierung und Lösung der komplexen Entscheidungssituationen der Produktkonzeptauswahl.
3. Die Entscheidung für oder gegen die Auswahl eines Produktkonzepts wird nicht ausschließlich an monetären Größen gemessen. Sie stellt vielmehr ein Entscheidungsproblem dar, in welchem die Auswahl über die Bewertung quantitativer und qualitativer Kriterien getroffen wird. Die Bewertung qualitativer Kriterien durch einen Experten ist immer subjektiv und mit Unsicherheiten behaftet. Um dem entgegen zu wirken wird im Rahmen dieser Arbeit die beschriebene Methodik um die Modellierung von Unschärfe erweitert. Damit ist es mög-

lich, die Unsicherheiten von Expertenbewertungen durch Abschwächung der Aussage und Eingrenzung auf ein festgelegtes Intervall zu quantifizieren, wobei die Tendenz der Expertenbewertung beibehalten wird.

1.3 Aufbau der Arbeit

Aus Abbildung 1.4 geht der gegliederte Aufbau und Ablauf dieser Arbeit hervor. Die abgerundeten Boxen skizzieren den Aufbau der Arbeit, die sich in sechs Kapitel gliedert. Innerhalb dieser Darstellung stellen die eckigen Boxen die (Haupt)abschnitte der jeweiligen Kapitel dar, wobei der logische Ablauf durch Pfeile dargestellt wurde.

Mit diesem einleitenden Kapitel gehen Motivation, Zielsetzung und Aufbau der Arbeit hervor. Das zweite Kapitel widmet sich Grundlagen, die dem Verständnis der Tragweite dieser Arbeit dienen. Der Stellenwert der Produktkonzeption in Bezug auf Innovations- und Produktlebenszyklusmanagement wird nachfolgend dargestellt und abgegrenzt. Mit der Vorstellung forschungskonzeptioneller Grundlagen, die im weiteren Verlauf dieser Arbeit aufgegriffen werden, endet das Grundlagenkapitel. Im Anschluss an die Grundlagen wird im darauffolgenden Kapitel der Stand in Wissenschaft und Technik in Bezug auf Verfahren zur Findung von Entscheidungen analysiert. Es werden Verfahren vorgestellt und klassifiziert, um sie in einem weiteren Schritt in Bezug auf spezielle, mit der Auswahl von Produktkonzepten verbundenen Eignungskriterien zu evaluieren. Die gewonnenen Erkenntnisse werden abschließend dargestellt. Das vierte Kapitel beschreibt den Aufbau der entscheidungsunterstützten Methodik, die in einem Folgekapitel anhand zweier Beispiele validiert wird. Das letzte Kapitel widmet sich der Präsentation der Ergebnisse und gibt Aufschluss über mögliche Anknüpfungspunkte für weitere Arbeiten.

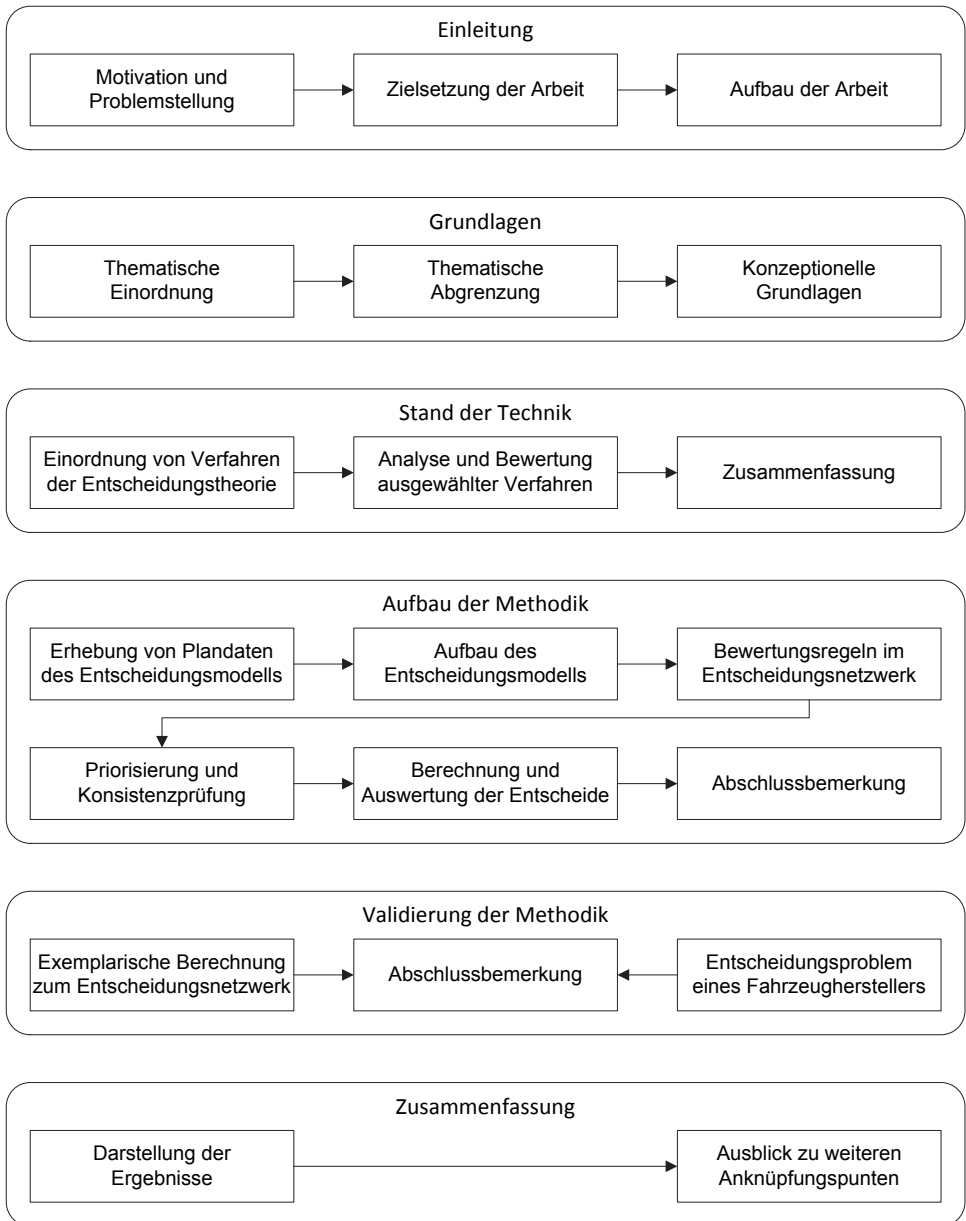


Abbildung 1.4: Aufbau und Ablauf der Arbeit

2 Grundlagen

Aufbauend auf den in Kapitel 1 vorgestellten Problemstellungen und den daraus abgeleiteten Zielsetzungen erfolgt in diesem Kapitel die thematische Einordnung und Abgrenzung der Arbeit. Die Zielsetzung dieses Kapitels ist somit der Aufbau eines grundlegenden Verständnisses von Wissenszweigen, die Anknüpfungspunkte mit dem in dieser Arbeit untersuchten Handlungsfeld der Produktkonzeption aufzuweisen. Die Erkenntnis dieser Zusammenhänge bildet die Basis für die thematische Einordnung und Abgrenzung der Arbeit. Abschließend werden terminologische und konzeptionelle Grundlagen vermittelt, die für die in späteren Kapiteln dieser Arbeit vorgestellte Modellbildung von Bedeutung sind. Innerhalb dieser Arbeit werden Begriffe verwendet, die sowohl in der wissenschaftlichen Literatur als auch im umgangssprachlichen Gebrauch zu unterschiedlichen Erwartungen und Interpretationen führen können. Erschwerend kommt hinzu, dass im Rahmen dieser Arbeit verschiedene Wissenschaftsgebiete mit jeweils eigenen Fachtermini in einem übergeordneten, interdisziplinären Ansatz vereint werden. Aus diesem Grund wird in den folgenden Unterkapiteln eine terminologische Basis für weitere Ausführungen geschaffen.

Produktkonzeption und -konzipierung stellen das Bindeglied zwischen der stark marktorientierten Produktplanung und der überwiegend unternehmensspezifischen Produktentwicklung dar. Um eine sorgfältige Entscheidung über herzustellende Produkte sicherzustellen, ist es zwingend erforderlich, die an die Produktkonzeption angrenzenden Aufgabengebiete unternehmerischen Handelns möglichst ganzheitlich zu betrachten. Vor diesem Hintergrund erfolgt zunächst eine grundlegende Einführung in ausgewählte Themenfelder, die einen direkten oder indirekten Einfluss auf die Produktkonzipierung aufweisen.

Die Aufgaben der Definition, Bewertung und Auswahl von Produktkonzepten stellen in Unternehmen eine wesentliche Herausforderung an eine übergreifende Zusammenarbeit verschiedener Unternehmensbereiche dar. Die neu zu entwickelnden Produkte müssen erhobene Marktbedürfnisse befriedigen, qualitative Ansprüche erfüllen und ressourcen- und kostenoptimal produziert werden.

Für ein besseres Verständnis der thematischen Einordnung werden in den nachfolgenden Unterkapiteln grundlegende Zusammenhänge und Instrumente der strategi-

schen Planung und des Innovationsmanagements dargestellt. Eine zeitbezogene Betrachtung führt zur Ableitung von phasen- und lebenszyklusorientierten Konzepten des Produktmanagements und zeigt somit den Stellenwert der Produktkonzeption aus Sicht des Produktlebenszyklusmanagements (PLM) auf.

2.1 Thematische Einordnung der Arbeit

In den folgenden Unterkapiteln wird die Einordnung der Arbeit über strategische Aufgaben des Unternehmensmanagements erklärt. Es wird gezeigt, dass PLM¹ als Management- und Organisationsstrategie anzusehen ist. Es wird gezeigt, dass die in den jeweiligen Aufgabengebieten eingesetzten Instrumente und Methoden mit zunehmender Fokussierung auf die Konzeptbewertung konkreter werden. Zunächst soll ein allgemeines Verständnis aufgebaut werden, wie die Überleitung von strategischem Management über Produktlebenszyklusmanagement zu dem Aufgabengebiet der Produktplanung überführt wird, die mit der Auswahl eines Produktkonzepts endet.

Unter einer *Unternehmensstrategie* wird jede Gesamtheit an Instrumenten und Methoden verstanden, die primär auf das Überleben des Unternehmens und damit nicht nur auf Gewinnerzielung ausgerichtet ist. Die Strategie ist daher im Gegensatz zur Taktik langfristig orientiert. Ihr Planungshorizont umfasst mehrere Geschäftsjahre und basiert auf qualitativen Konzepten (ZINGEL 2003, S. 2).

Die *Marktstrategie* (oder auch *Marketingstrategie*) ist derjenige Teilbereich der *Unternehmensstrategie*, der sich auf das strategische Marketing bezieht. Die *Marktstrategie* versucht das Nachfrageverhalten und die Denkweise der Konsumenten zu verstehen und somit Erkenntnisse über Märkte und Marktteilnehmer zu gewinnen. Aufbauend darauf werden Instrumente und Methoden zur Optimierung² des Faktoreinsatzes, also zur Minimierung des Ressourceneinsatzes sowie Maximierung des Nutzens, eingesetzt (ZINGEL 2003, S. 2).

Unter *Produktmanagement* (als produktbezogenes *Innovationsmanagement*) wird die Summe aller Strategien verstanden, die auf das Marketing von Produkten ausgerichtet sind. *Produktmanagement* stellt somit ein Teilgebiet des strategischen Marketings bzw. der *Marketingstrategie* als Teilgebiet der *Unternehmensstrategie* dar (ZINGEL 2003, S. 2).

¹ PLM ist das Akronym für Produktlebenszyklusmanagement (*engl.: Product Lifecycle Management*)

² Dabei ist das Ökonomische Prinzip zu beachten. Dieses besagt, dass entweder auf Basis gegebener Ressourcen der Output maximiert oder auf Basis gegebenen Outputs der Faktoreinsatz minimiert werden kann. Eine gleichzeitige Minimierung von Kosten und Maximierung von Umsatz bei gegebenen Ressourcen ist somit aus ökonomischer Sicht unmöglich (VARIAN (2011)).

2.1.1 Innovations- und Produktmanagement

Als Urvater (des Begriffs) der Innovation gilt Joseph A. SCHUMPETER (1911), der mit seiner Veröffentlichung zur „Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung“ die Gestaltung erfolgreicher Unternehmen aus wissenschaftstheoretischer Sicht entscheidend geprägt hat. Der Zusammenhang zwischen Innovation und Konjunkturzyklen wurde erstmalig durch die Forschungsarbeiten von Nikolai Dmitrijewitsch KONDRATIEFF (1926) beschrieben. Er erkannte, dass lang andauernde Wachstumsphasen regelmäßig durch Basisinnovationen ausgelöst werden. Den Kern seiner daraus abgeleiteten „Theorie der langen Wellen“ bilden sogenannte Kondratieff-Zyklen, mit Hilfe derer die zyklische Wirtschaftsentwicklung charakterisiert werden kann. Entwicklungen aus Forschung und wirtschaftlicher Praxis bestätigen ferner, dass das Innovationsmanagement integraler Bestandteil zeitgemäßer Unternehmensführung ist (HEISMANN UND MAUL 2012, S. 48f).

2.1.1.1 Begriffsklärungen

Sowohl in der Wissenschaft als auch der betrieblichen Praxis ist Innovation ein oft verwendeter Begriff, der einer präzisen Festlegung bedarf, um Missverständnisse auszuschließen. So wird beispielsweise Innovation sehr oft mit Invention gleichgesetzt. Eine Invention gilt als geplante Erfindung, wenn die ursprünglich gesetzten Ziele diverser Forschungsaktivitäten erreicht wurden (BROCKHOFF 1999, S. 35). Generell können Inventionen ein geplantes oder zufälliges Ergebnis dieser Aktivitäten sein. Abzugrenzen von der Invention ist die Innovation, deren Begriff in der Fachliteratur³ sehr unterschiedlich verwendet wird. Die Invention kann als Auslöser der Innovation verstanden werden. Sind Kundenbedürfnisse der Auslöser, so wird von nachfrageinduzierter „market-pull“ Innovation gesprochen. Wurde im Rahmen der Forschungsaktivitäten technischer Fortschritt erlangt, so spricht man von „technology-push“ getriebener Innovation. Ein berühmtes Zitat⁴ zu letzterer ist:

„If I had asked people what they wanted, they would have said faster horses.“
(HENRY FORD, *1863; †1947)

Eine allgemein anerkannte und eindeutige Definition des Innovationsbegriffs existiert zwar nicht, jedoch haben sämtliche Innovationsdefinitionen gemein, dass die Neuheit bzw. Neuartigkeit von Produkten und/oder Prozessen ein wesentliches Definitionsmerkmal darstellt (STIPPEL 1999, S. 7), (HAUSCHILDT 1997, S. 3f.). Ferner weist eine

³ Eine Gegenüberstellung unterschiedlicher Definition des Innovationsbegriffs findet sich u. a. bei HAUSCHILDT (1997, S. 4ff)

⁴ Ob Henry Ford das je direkt kommunizierte kann wissenschaftlich nicht eindeutig belegt werden. Erste Nennungen gehen auf DRU (2002) zurück.

Innovation ökonomische Nutzungs- und Verwertungsaspekte auf (VAHS UND BURMESTER 2005, S. 44) und grenzt sich gegenüber der Invention des weiteren dadurch ab, dass eine Innovation prozessbezogen ist (GAUBINGER U. A. 2009, S. 5f). In Anlehnung an PLESCHAK UND SABISCH (1996) kann Innovation wie folgt definiert werden:

Definition 2.1 *Innovationen sind prozessorientierte Lösungen in Form von Erneuerungen technischer, organisatorischer oder wirtschaftlicher Art, die sich auf Unternehmensleistungen wie beispielsweise Produkte und Dienstleistungen, Verfahren und Prozesse, aber auch Unternehmensorganisation und -kultur beziehen können.*

2.1.1.2 Ziele und Aufgaben

Das übergeordnete Ziel des Innovationsmanagements liegt in der Sicherung bzw. im Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens, um dadurch den wirtschaftlichen Erfolg und letztendlich den Fortbestand des Unternehmens zu sichern. Abgeleitet von der Unternehmensstrategie muss als Grundlage hierfür das gesamte Produktportfolio nach strategischen Gesichtspunkten analysiert werden, um im Anschluss Handlungsalternativen abzuleiten. Für das Produktmanagement bedeutet das die Gestaltung und Steuerung sämtlicher Aktivitäten des Innovationsprozesses, welche eine erfolgreiche Markteinführung und damit die weitere innerbetriebliche Nutzung einer Produktinnovation zum Ziel haben. Das Produktmanagement bzw. der Innovationsprozess für Produktinnovation umfasst somit alle Aktivitäten zur Planung und Steuerung der Produktpalette bzw. des Produktprogramms eines Unternehmens. Bezogen auf ein bestehendes Portfolio an Produkten und Dienstleistungen sind nach MEYER (2003, S. 5) folglich Entscheidungen zu treffen, hinsichtlich:

- der Entfernung eines aktuell am Markt angebotenen Produkts aus dem Unternehmensportfolio (*Produkteliminierung*),
- der Veränderung durch Hinzufügen oder Verbessern bestimmter Merkmale eines bereits am Markt etablierten Produkts (*Produktmodifizierung*), oder
- der Aufnahme einer neuen Produktart. Falls diese auf dem selben Markt angeboten wird wie bestehende Produkte, so wird von *Produktdifferenzierung* gesprochen, ansonsten von *Produktdiversifizierung*.

So kann beispielsweise in der Automobilindustrie im Speziellen unter einer Produktmodifizierung das sog. Face-Lift, unter einer Produktdifferenzierung eine neue Variante und unter Produktdiversifizierung eine neue Fahrzeugklasse verstanden wer-

den. Abbildung 2.1 veranschaulicht die verschiedenen Ausbringungen des Innovationsprozesses von Produktinnovationen.

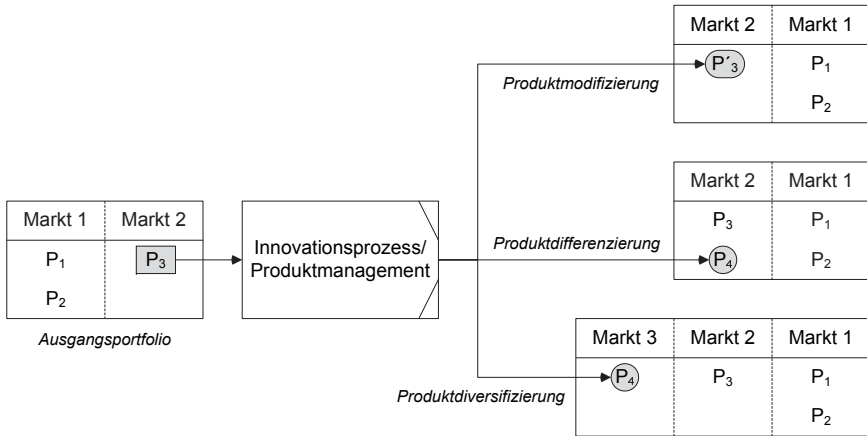


Abbildung 2.1: Arten von Produktinnovationen nach MEYER (2003, S. 6)

2.1.1.3 Merkmale von Produktinnovationen

Neben der Art der Zugehörigkeit zu bestehenden Produktprogrammen (strategische Sicht) lassen sich Produktinnovationen nach weiteren Merkmalen klassifizieren. Aus Sicht der Produktentwicklung ist insbesondere vor dem Hintergrund der Wiederverwendung von Teilen und Komponenten im Vergleich zur Neukonstruktion eine Typisierung nach dem unternehmensbezogenen Neuheitsgrad aufschlussreich (MEYER 2003, S. 7). Der Neuheitsgrad von Produktinnovationen lässt sich innerhalb der Grenzen Inkrementalinnovation und Radikalinnovation in fünf Stufen gemäß Abbildung 2.2 einordnen.

Ausprägungsstufe der Skala				
1	2	3	4	5
Inkremental- innovation	.....			Radikal- Innovation
Konstruktion nach festem Prinzip	Varianten- konstrktion	Anpassungs- konstruktion	Neu- konstruktion	<i>Experimentelle Produkt- entwicklung</i>
<i>Konstruktive Produktentwicklung</i>				

Abbildung 2.2: Typisierung von Produktinnovationen nach dem Neuheitsgrad aus Sicht der Entwicklung nach MEYER (2003, S. 8)

In korrelierendem Zusammenhang mit der Ausprägung des Neuheitsgrads steht das Merkmal der Komplexität. Die Komplexität bezieht sich dabei auf unterschiedliche Veränderungen in verschiedenen Bereichen des Unternehmens und resultiert primär aus vorhergegangenen Entscheidungen des Produktmanagements. Ein weiteres charakteristisches Merkmal von Produktinnovationen ist die Ungewissheit über den Innovationserfolg (ILIEVA U. A. 2009a, S. 931). Dies betrifft sowohl die Unsicherheit über das zu erwartende Ergebnis aus Hersteller- und Marktsicht als auch die Kalkulation von Risiken. Letztere liegen im Nichterreichen technologischer Ziele, aber auch in Image- und Marktanteilsverlusten.

2.1.1.4 Instrumente und Methoden

Die Ausgangsbasis zur Ableitung von Strategien bilden Situationsanalysen über das aktuelle Portfolio. Am häufigsten werden hierzu zweidimensionale Analysemethoden zur Erfassung und Bewertung der aktuellen Unternehmenssituation eingesetzt. Diese liefern Strategien zur Neuproduktplanung unter Berücksichtigung verschiedener intern und extern erhobener Unternehmens- und Umweltfaktoren. Die Darstellung erfolgt dabei in Form einer Matrix, die sich über zwei unabhängige Dimensionen aufspannt. Dabei ergeben sich die Ausprägungen der Dimensionen durch eine vordefinierte Abbildungsvorschrift, über die die Bewertung des aktuellen Portfolios hinsichtlich unterschiedlicher Faktoren aggregiert wird. Viele Portfolioanalysen haben gemein, dass eine Gegenüberstellung von internen, d.h. von der Unternehmung selbst direkt beeinflussbaren, und externen, von der Unternehmung nicht direkt beeinflussbaren Kriterien erfolgt.

Die Anfänge der Portfolioanalysen können auf MARKOWITZ (1952) zurückgeführt werden, der eine Planungsmethode zur Zusammenstellung von Wertpapierbündeln entwickelte. Anfang der 70er Jahre gelang es, die ursprünglich in der Finanzwirtschaft eingesetzten Portfoliomethoden auf Problemstellungen produzierender Unternehmen mit dem Ziel der Bestimmung einer ausgewogenen Produktstrategie anzuwenden. Seither wurde die Portfolioanalyse vielfach modifiziert und zählt zu den verbreitetsten Analyse- und Planungsinstrumenten des Innovations- und Produktmanagements (JAHN 2009, S. 16f), (GERST 2002, S. 28f), (GAUSEMEIER U. A. 2000, S. 106).

Die wichtigsten Vertreter werden nachfolgend kurz vorgestellt. Über diese Methoden lassen sich die Zusammenhänge der Unternehmensstrategie, der Marketingstrategie und der Produktstrategie erklären. Ferner lässt sich das Konzept der Produktlebenszyklusbetrachtung daraus phasenbezogen ableiten.

Die SWOT-Matrix

Die SWOT⁵-Matrix stellt ein grundlegendes Instrument des strategischen Managements dar. Innerhalb der SWOT-Matrix werden Stärken und Schwächen als Ergebnis der Analyse des internen Unternehmensumfelds, und Chancen und Bedrohungen als Resultat der externen Analyse klassifiziert. Diese Informationen lassen sich in Form einer Matrix veranschaulichen und bieten zudem die Möglichkeit der Ableitung unternehmensspezifischer Strategien. Abbildung 2.3 verdeutlicht die Zusammenhänge der SWOT-Analysedaten, ihrer Portfoliodarstellung und der Ableitung wesentlicher, nachfolgend aufgeführter Managementstrategien (vgl. hierzu ZINGEL 2003, S. 4ff).

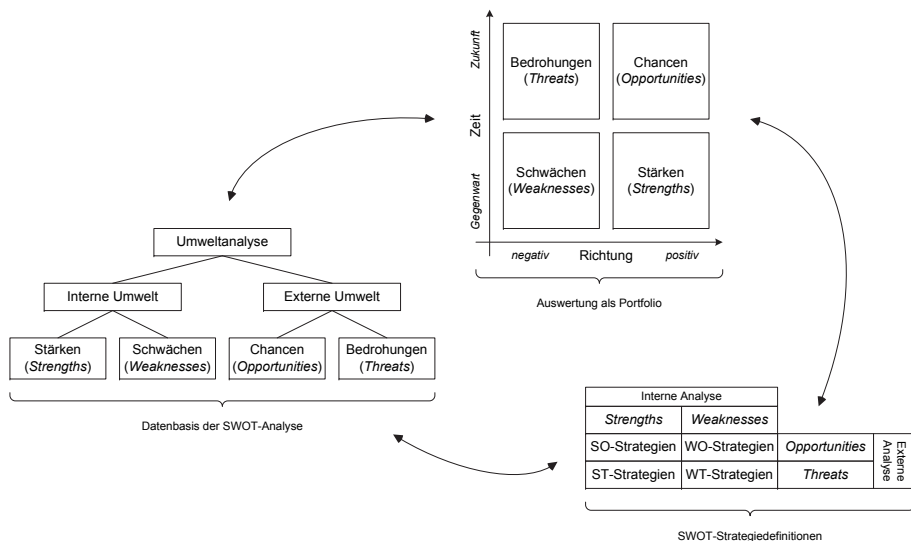


Abbildung 2.3: Die SWOT-Analyse in Erweiterung zu ZINGEL (2003, S. 4)

SO-Strategien um Chancen aufzudecken, die zu den Potentialen des Unternehmens passen,

WO-Strategien zur Überwindung von Schwächen und Nutzung resultierender Chancen,

ST-Strategien um die eigenen Stärken zu forcieren und sich gegen externe Risiken abzusichern,

WT-Strategien zur Abwehr interner Schwächen und externer Bedrohungen

⁵ Das Akronym SWOT (*englischer Begriff*) steht für Stärken (*Strengths*), Schwächen (*Weaknesses*), Chancen (*Opportunities*) und Risiken (*Threats*)

Die Ansoff-Matrix bzw. Produkt-Markt-Matrix

Eine der bekanntesten Portfoliomethoden für das Produktmanagement ist die Produkt-Markt-Matrix, auch nach ihrem Erfinder Ansoff-Matrix genannt (ANSOFF 1965). Im Gegensatz zur SWOT-Matrix werden in ihr gezielt Strategien für eine erfolgreiche produktbezogene Marktpositionierung aufgelistet. Abbildung 2.4 verdeutlicht die Ansoff-Matrix und ihre Normstrategien zur langfristigen Produktpositionierung.

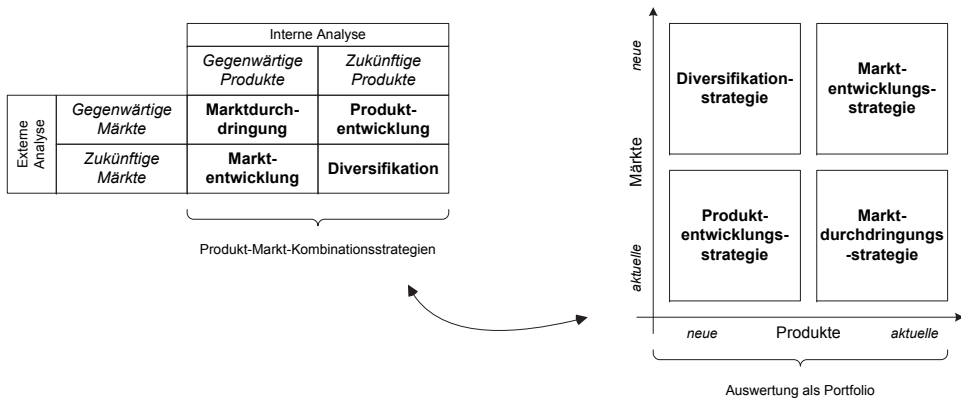


Abbildung 2.4: Die Produkt-Markt-Analyse in Erweiterung zu ZINGEL (2003, S. 13)

Die BCG-Matrix und die McKinsey-Matrix

Weitere bekannte Methoden der Portfolioanalysen sind die von Gründer Bruce HENDERSON (1970, 1998) der Unternehmensberatung Boston Consulting Group entwickelte BCG-Matrix und das von der Unternehmensberatung McKinsey in Zusammenarbeit mit General Electric entwickelte Neun-Felder-Portfolio, das auch unter McKinsey-Matrix benannt ist (siehe Abbildung 2.5). Die McKinsey-Matrix kann als Erweiterung zur BCG-Matrix angesehen werden, denn sie ermöglicht das Einbeziehen mehrerer qualitativer und quantitativer Erfolgsfaktoren und bietet somit differenziertere Managementstrategien.

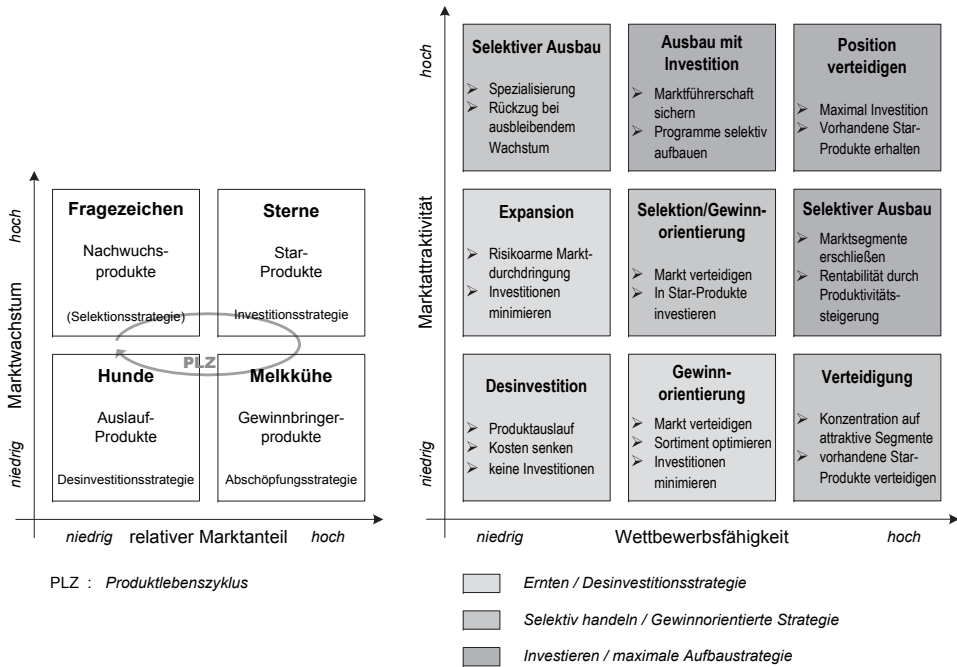


Abbildung 2.5: BCG- und McKinsey Matrix als bekannte Vertreter der Methoden des Portfoliomanagements nach ZINGEL (2003, S. 10f)

Der Vorteil der BCG-Matrix liegt in der Visualisierung des Zusammenhangs zwischen der Kostenerfahrungskurve und der Produktlebenszyklusbetrachtung. In ihr werden Produkte über die Dimensionen *relativer Marktanteil* und *Marktwachstum* abgebildet, wobei folgende Gleichung gilt:

$$\text{relativer Marktanteil} = \frac{\text{eigener Marktanteil}}{\text{Marktanteil des stärksten Konkurrenten}}$$

Der Vorteil der McKinsey-Matrix liegt in ihrer Variabilität, denn in ihr können durch Abbildungsvorschriften f mehrere interne Faktoren über die Dimension *Wettbewerbsfähigkeit* und mehrere externe Faktoren über die Dimension *Marktattraktivität* abgebildet werden. Dabei gelten folgende Beziehungen zur Vergleichbarkeit bei der Portfoliomanagement Methoden:

$$\text{Wettbewerbsfähigkeit} = f_I(\text{Marktanteil}, \text{Ressourcen}, \text{Kundenbindung}, \text{etc} \dots)$$

$$\text{Marktattraktivität} = f_E(\text{Wachstum}, \text{Konkurrenz}, \text{Nachfrage}, \text{etc} \dots)$$

2.1.1.5 Zusammenfassende Überleitung zu phasenorientiertem Produktmanagement

Sämtliche bisher vorgestellten Methoden haben gemein, dass sie zukünftige Strategien auf Basis aktuell erhobener Daten ableiten. Beispielsweise obliegt dem Produktmanagement dabei die Bewertung des aktuellen Produktprogramms bzw. -portfolios mit dem Ziel der Definition zukünftiger produktpolitischer Handlungsalternativen. Abbildung 2.6 verdeutlicht zusammenfassend das Grundprinzip von Portfolioanalysen und veranschaulicht die Zusammenhänge der jeweiligen Methoden aus unterschiedlichen Gesichtspunkten.

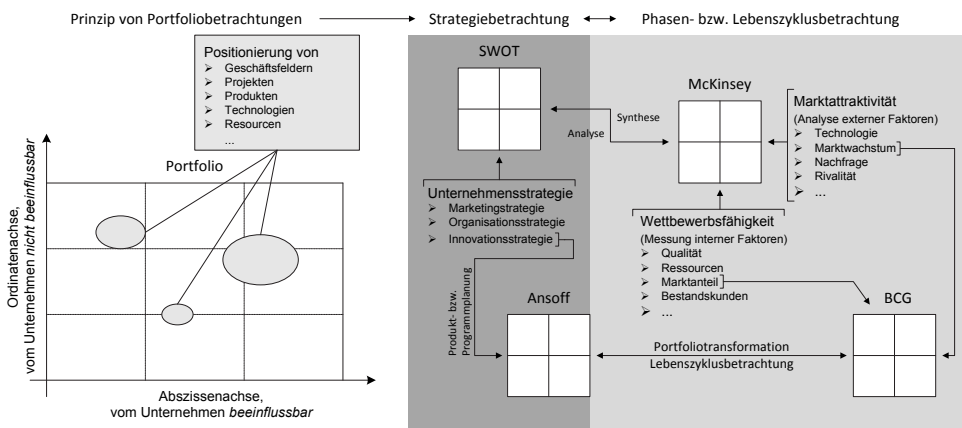


Abbildung 2.6: Modelltransformation unterschiedlicher Portfolioanalysen

Werden demzufolge die Ergebnisse der jeweiligen Methoden im Zeitverlauf betrachtet, so lassen sich charakteristische Muster erkennen, die in Phasenkonzepten zusammengefasst werden, beispielsweise die Lebensspanne eines Produkts im Markt. Bereits in Abbildung 2.5.1 wurde der Zusammenhang zwischen der Produktlebenszyklusbetrachtung und der BCG-Matrix skizziert. So sind beispielsweise Produkte der Klassifikation „Melkkühe“ in der „Sättigungsphase“ ihres Lebenszyklus. Das Lebenszyklusmodell stellt für das Produktmanagement ein wichtiges Konzept dar, da es insbesondere in der Planungsphase wichtige Hinweise für strategische Alternativen der Produktpolitik aufzeigt (KOTLER U. A. 2007, S. 1032). Der Übergang zum Produktlebenszyklusmanagement kann durch Modifikation der Ansoff-Matrix hergeleitet werden. Die Vertauschung der Merkmalsausprägungen der Abszisse führt zu einer modifizierten Matrix, deren Strategien sich mit den wesentlichen Produktlebensphasen decken (ZINGEL 2003, S. 14). Wie aus Abbildung 2.7 ersichtlich wird, weist daher die modifizierte Ansoff-Matrix Ähnlichkeiten mit der BCG-Matrix auf.

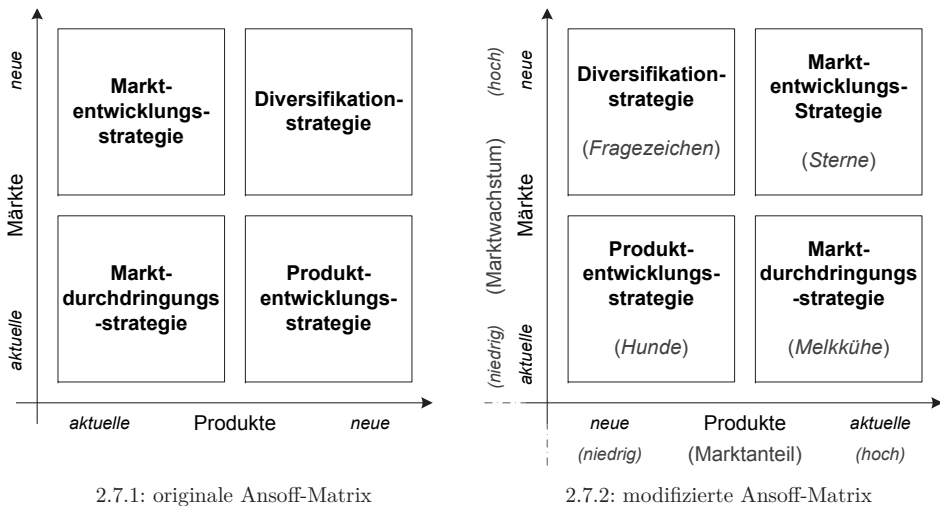


Abbildung 2.7: Die Produkt-Markt-Matrix und ihre Modifikation zum BCG-Portfolio in Anlehnung an ZINGEL (2003, S. 14)

Es kann somit festgehalten werden, dass sich das Konzept der Lebenszyklusbetrachtung von Wirtschaftsgütern (Produkten) implizit mit den Portfoliomatrizen des strategischen Managements deckt. Im folgenden Kapitel wird daher der Managementansatz des Produktlebenszyklusmanagements vorgestellt, der auf Basis dieser Betrachtungsweise die Lebenszyklen von Produkten unter ökonomischen, ökologischen und informationstechnischen Aspekten zu optimieren versucht.

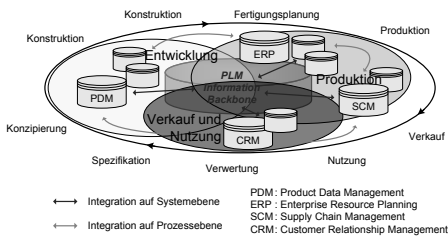
2.1.2 Produktlebenszyklusmanagement

2.1.2.1 Begriffsklärungen

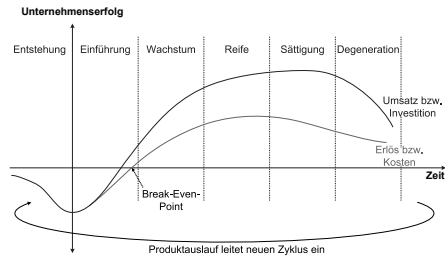
Unter dem Begriff Produktlebenszyklus wird ein theoretisches und abstrahierendes Konzept zur Erfassung der zeitlichen Entwicklung von Produkten⁶ verstanden. PAHL UND BEITZ (2007, S. 113) unterscheiden hinsichtlich dem inhaltlichen Bezug zwischen technologischen, intrinsischen und betriebswirtschaftlichen Produktlebenszyklen, wobei letztere Betrachtung nach Meinung des Autors eine Sichtweise auf eben technologische oder intrinsische Produktlebenszyklen darstellt. Darüber hinaus existieren in der Fachliteratur weitere Sichtweisen auf Produktlebenszyklen, wie bei-

⁶ Unter dem Begriff Produkt werden im folgenden auch Dienstleistungen (intangible Produkte) subsumiert. Ebenfalls wird das Wort stellvertretend für die Kombination aus Produkt und Dienstleistung, sogenannter hybrider Leistungsbündel, verwendet.

spielsweise die ökologische und die informationstechnische Sichtweise. Die im Kontext dieser Arbeit wichtigen Sichtweisen auf den Produktlebenszyklus sind in Abbildung 2.8 grob skizziert.



2.8.1: Informationstechnische Sicht



2.8.2: Ökonomische Sicht

Abbildung 2.8: Unterschiedliche Sichten auf den Produktlebenszyklus in Anlehnung an OVTCHAROVA (2012)

Zuvor beschriebene Managementkonzepte haben gemein, dass sie den Produktlebenszyklus primär aus betriebswirtschaftlicher Sicht betrachten und diesen daher in die Phasen Einführung, Wachstum, Reife, Sättigung und Degeneration unterteilen (vgl. Abbildung 2.8.2). Eine ganz andere Betrachtung kommt aus Sicht der Produktentwicklung, respektive aus Herstellungssicht entwickelnder und produzierender Unternehmen. Hier sind primär diejenigen Phasen von Interesse, die den Weg von der Produktidee über dessen Entstehung und Nutzung bis hin zur Verwertung beschreiben. Dabei kann der Lebenszyklus eines Produkts in verschiedene Phasen unterteilt werden, die in der ingenieurwissenschaftlichen Fachliteratur jedoch nicht einheitlich abgegrenzt werden. So versteht WESTKÄMPER (2006) unter dem Produktentstehungsprozess die Phasen der Forschung, Produktplanung und -entwicklung. PAHL UND BEITZ (2007) beschränken den Produktentstehungsprozess auf die Phasen der Konstruktion und Ausarbeitung. EIGNER UND STELZER (2009) ergänzen dazu die Produktionsplanung und nach VDI 2221 subsummieren sich unter dem Begriff Produktentstehungsprozess sämtliche Phasen von der Konstruktion bis zur Fertigstellung des Produkts. ANDERL UND PFEIFER-SILBERBACH (2003) schließen sich dem Verständnis der VDI 2221 an, wonach Produktentstehung der Überbegriff für Produktentwicklung und Produktherstellung ist, beziehen aber zusätzlich noch die Produktplanung ein. SPUR UND KRAUSE (1997) verstehen darüber hinaus unter Produktentstehung sämtliche Phasen von der Idee bis zum Recycling. Vor diesem Hintergrund werden die verschiedenen Fachtermini und Produktlebensphasen in dieser Arbeit gemäß Abbildung 2.9 einheitlich voneinander abgegrenzt.

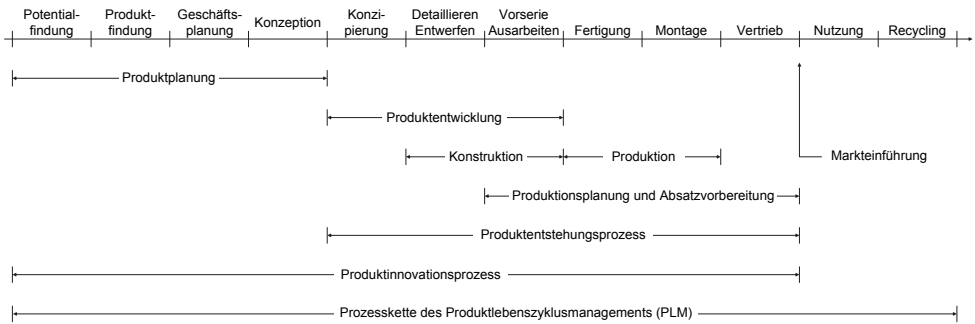


Abbildung 2.9: Fachtermini und Phasen im Produktleben aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht in Erweiterung zu MEYER (2003, S. 15)

Ein sämtliche Phasen des Produktlebenszyklus umfassendes Organisations- und Managementkonzept stellt der Ansatz des Produktlebenszyklusmanagements dar. Getrieben durch stetig wachsende Komplexität in der Produktentstehung und dem Drang eines produktbezogenen Informationsmanagements zur transparenten Handhabung dieser, entstand das Konzept des Produktlebenszyklusmanagements. Die Kernaufgabe bestand anfangs darin, sämtliche Produktdaten als Ergebnis der Produktentwicklung zu speichern, zu verwalten und nachgelagerten Phasen zur Verfügung zu stellen. Das Produktdatenmanagement (PDM) kann somit als Kern von PLM angesehen werden (vgl. Abbildung 2.10), wobei das Produktmodell die Datenbasis stellt, auf die im Idealfall alle Systeme in den verschiedenen Produktlebensphasen zurückgreifen und Daten produktbezogen ergänzen können. PLM umfasst somit das Management sämtlicher produkt- und prozessbezogener Daten, IT-Systeme, Methoden und Organisationsstrukturen.

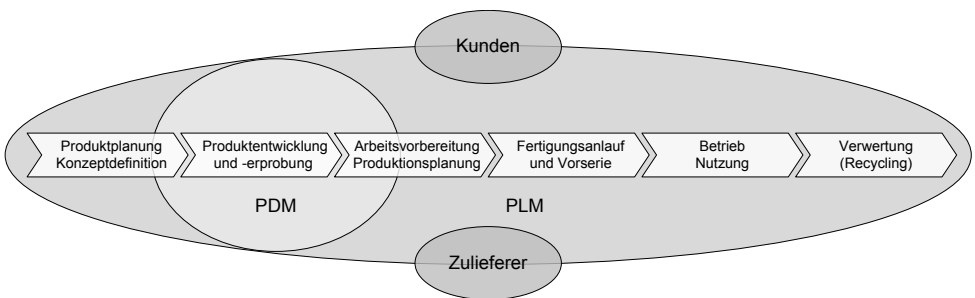


Abbildung 2.10: Erweiterte Integrationstiefe durch PLM nach EIGNER UND STELZER (2009, S. 37) und OVTCHAROVA (2012)

Eine terminologische Eingrenzung des Begriffs Produktlebenszyklusmanagement kann sowohl auf Marketingstrategien von Softwareherstellern zur Unterstützung

im Umfeld des Produktentstehungsprozesses als auch auf ingenieurwissenschaftliche Literatur zurückgeführt werden. Aus industrieller Sicht (vgl. auch Abbildung 2.8.1 auf Seite 22) wurde die Integration von Computer Aided Design (CAD) und Product Data Management (PDM) mit Enterprise Resource Planning (ERP), Customer Relationship Management (CRM) und Supply Chain Management (SCM) als definitorisch aufgegriffen und 2004 in einem dafür ausgerichteten Fachkongress unter den sogenannten „Liebensteiner Thesen“ veröffentlicht (SENDER 2009, S. 27).

Liebensteiner Thesen:

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

Aus wissenschaftlicher Perspektive kann in Anlehnung an SCHEER U. A. (2006, S. 8) und STARK (2005, S. 2), die den Fokus auf die Prozessunterstützung legen und ARNOLD U. A. (2005, S. 13) die informationstechnische Aspekte adressieren, der Begriff Produktlebenszyklusmanagement nach EIGNER UND STELZER (2009, S. 38f.) sowie nach OVTCHAROVA (2012)⁷ verallgemeinert wie folgt definiert werden:

Definition 2.2 *Product Lifecycle Management (PLM) bezeichnet das produktbezogene und unternehmensübergreifende Informationsmanagement und umfasst darüber hinaus die erforderlichen Prozesse zur Erzeugung und ganzheitlichen Verwaltung aller Daten, Dokumente und Ressourcen im gesamten Produktlebenszyklus. Dabei werden alle Personen, die gemeinsam zur Lösung von konkreten Aufgaben benötigt werden, unabhängig davon, wo sich diese Personen befinden und für welches Unternehmen sie tätig sind, einbezogen.*

⁷ Diese umfassende Definition entstand während des »Berliner Kreis Technology Monitoring«, einem Konsortium führender Wissenschaftler, die sich seit 2011 zur »Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktentwicklung WiGeP« neugründeten (mehr Informationen unter <http://www.wigep.de>).

2.1.2.2 Ziele und Aufgaben

Seitdem Softwaresysteme wie CAD, PDM und ERP elementare Werkzeuge innerhalb der Produktentstehung geworden sind, erfährt das PLM umfassenden Studien zufolge immer größere Bedeutung als strategischer und erfolgskritischer Management- und Organisationsansatz innerhalb der Unternehmensführung (TECHCONSULT 2003), (SENDLER 2009, S. 49ff).

Wesentliche Ziele einer PLM Lösung liegen in der Verkürzung der time-to-market, der Qualitätssicherung und Kostenkontrolle. Dies erfordert primär verbesserte Methoden, Prozesse und IT-Lösungen im Produktinnovationsprozess. Einen wesentlichen Beitrag innerhalb der Produktentwicklung leistet dabei das Informationsmanagement in seinem Bestreben, bestehende lokale Infrastrukturen und Geschäftsprozesse zu einem durchgehenden, transparenten Informationsfluss zu verknüpfen. So ist es möglich, im Rahmen der virtuellen Produktentstehung auf Basis digitaler Prototypen zukünftige Produkteigenschaften zu analysieren, modifizieren und konkretisieren. Diese Prototypen, auch Digital Mock-Up (DMU) genannt, entsprechen einer realistischen Repräsentation des Produkts (in virtueller Realität). Durch die Vorverlagerung ergebniskritischer Teilprozesse und Ressourcen in frühere Phasen der Entwicklung wird eine Zeitverkürzung und Kostensenkung erreicht. Als Beispiele hierfür können Tests physikalischer Eigenschaften oder die Fertigungssimulation auf Basis von DMUs aufgeführt werden, um Zeit und kostenintensive physische Prototypen zu vermeiden.

2.1.2.3 Methoden und Werkzeuge des PLM

Das Informationsmanagement nimmt im Rahmen des PLM zwar einen hohen Stellenwert ein, da es das Ziel verfolgt, sämtliche in allen Produktlebensphasen anfallenden Daten zu akquirieren, aufbereiten, strukturieren und für spätere Phasen und neue Entwicklungsprojekte zu Verfügung zu stellen. Aber auch Methoden der strategischen Planung, wie beispielsweise Portfolio-Techniken, werden neuerdings in PLM Lösungen integriert und können somit direkt auf die vorhandene Datenbasis zugreifen. Nach EIGNER UND STELZER (2009, S. 39) sollte eine idealtypische PLM Gesamtlösung aus den in Abbildung 2.11 dargestellten Komponenten bestehen.

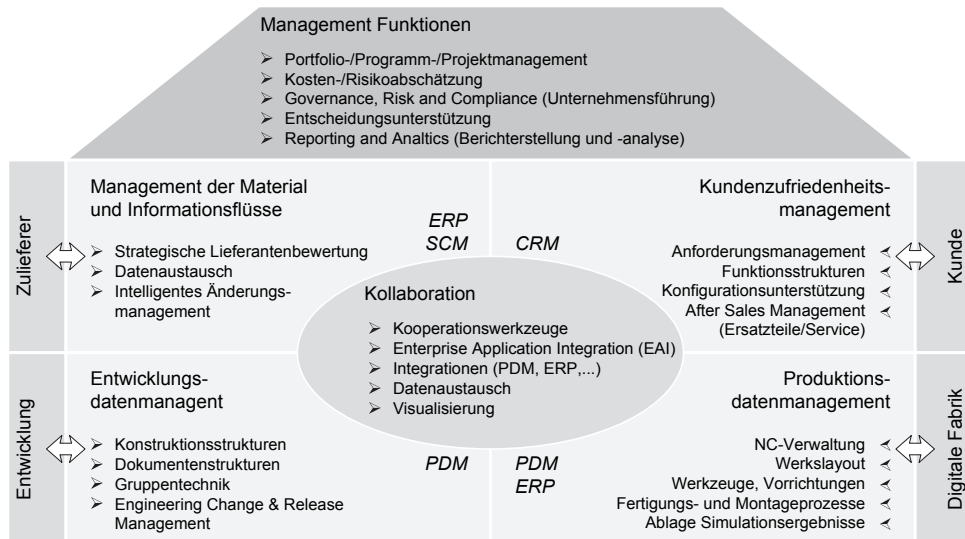


Abbildung 2.11: Idealtypische Komponenten einer PLM Lösung nach EIGNER UND STELZER (2009, S. 39)

Die idealtypischen Komponenten bzw. Systembausteine einer PLM Lösung beinhalten eine Vielzahl von Funktionen. Eine gängige Einteilung dieser Funktionen nach PDM und PLM Zugehörigkeit geht aus Tabelle 2.2 hervor.

Funktionen im Produktlebenszyklusmanagement	
typische PDM-Funktionen	typische PLM-Funktionen
Bauteilmanagement*	Portfoliomanagement*
Produktstrukturmanagement	Projektmanagement
Dokumentenmanagement	Governance und Compliance
Varianten- und Konfigurationsmanagement*	Zielkostenmanagement*
Berechtigungsmanagement	Integrated Product Service Systems
Workflowmanagement*	Feedbackmanagement*
Viewing and Redlining	Entscheidungsunterstützung*
Datenimport und -export	

* Funktionen, die im Rahmen dieser Arbeit direkt und indirekt adressiert werden

Tabelle 2.2: Auswahl idealtypischer Funktionen des PDM und PLM

2.1.2.4 Herausforderungen

Der Begriff *Frontloading* umschreibt nach EIGNER UND STELZER (2009, S. 40f) die „Nutzung von virtuellen Entwicklungspotenzialen und des Cross Enterprise Engineering, d. h. die Einbindung von Kunden und Zulieferern bereits in den frühen Entwicklungsphasen“. Abbildung 2.12 skizziert den Grundgedanken von Frontloading und die Herausforderung, dieses Aufgabengebiet auf die strategische Planung auszuweiten.

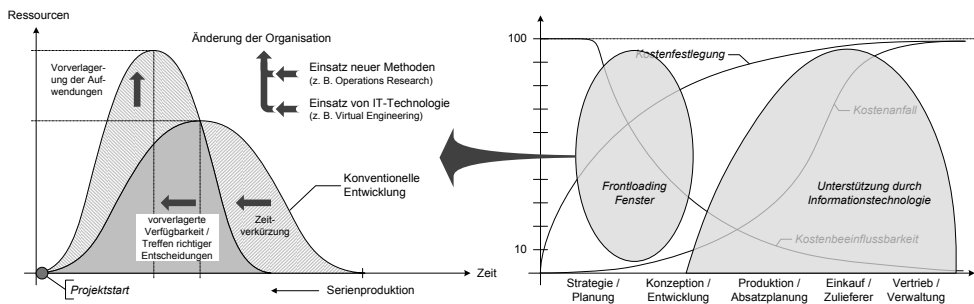


Abbildung 2.12: Frontloading in Erweiterung zu OVTCHAROVA (2012) und EIGNER UND STELZER (2009, S. 16)

Weitere, an ein durchgehendes Informationsmanagement angelehnte Aufgaben liegen in der Parallelisierung verschiedener Arbeitsschritte innerhalb der Prozesskette des Produktlebenszyklusmanagements. In der klassischen Produktentwicklung werden Arbeitsschritte zu Phasen zusammengefasst und sequentiell durchlaufen (vgl. Abbildung 2.9). Das Konzept des *Simultaneous Engineering* (SE)⁸ versucht, die klassische sequentielle Arbeitsweise durch ein simultan-integratives Vorgehen zu ersetzen und damit zur Optimierung des Erfolgsfaktors Zeit beizutragen. Simultaneous Engineering ist innerhalb der Produktentstehung bereits etabliert (EHRENSPIEL 2007, S. 217). Nach HERSTATT UND VERWORN (2009, S. 122) kann unter Simultaneous Engineering die Parallelisierung aller für eine Neuentwicklung benötigten Informationen und Prozesse auf Basis eines konsequenten Projekt- und Informationsmanagements verstanden werden. Die dadurch ermöglichte Zeiteinsparung hat mittelbare Auswirkung auf den Unternehmenserfolg durch Verkürzung der time-to-market, wie in Abbildung 2.13 dargestellt.

⁸ Im Amerikanischen auch Concurrent Engineering genannt.

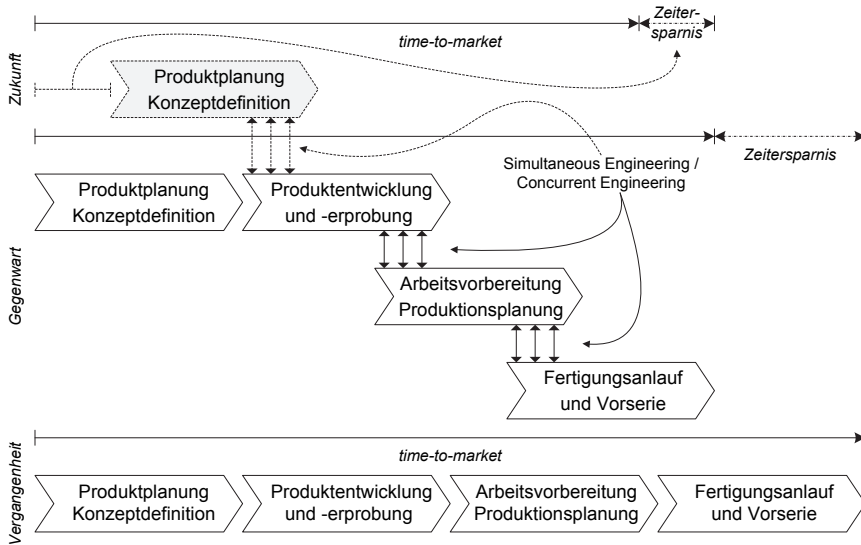


Abbildung 2.13: Potentiale des Simultaneous Engineering

Zukünftige Herausforderungen liegen beispielsweise darin, die Konzepte des Frontloadings und des Simultaneous Engineerings auf die Phasen der Produktplanung auszuweiten und dadurch einen wesentlichen Beitrag zur Unterstützung des Produktinnovationsprozesses zu liefern. Eine damit einhergehende Problematik liegt darin, dass in frühen Innovationsphasen, also in den Phasen der Produktplanung, kaum aussagekräftige, produktrepräsentative Daten vorliegen.

2.1.3 Produktplanung

2.1.3.1 Begriffsklärungen

Die Begriffe Produktplanung und strategische Produktplanung werden in der Fachliteratur oft synonym zueinander verwendet (EHRENSPIEL 2007, S. 10), (GAUSEMEIER U. A. 2006, S. 29) (PAHL UND BEITZ 2007, S. 99), (PONN UND LINDEMANN 2008, S. 14). Dies ist insofern berechtigt, als dass der Produktplanung auf grund ihrer Einordnung in die frühen Phasen des Produktlebenszyklusmanagements und ihrer Überschneidungen zu Marketing und Innovationsmanagement strategischer Charakter zugesprochen wird. In Anlehnung an SEIDEL (2005, S. 10) kann sie wie folgt definiert werden:

Definition 2.3 Die (strategische) Produktplanung umfasst diejenigen Tätigkeiten der frühen Phasen des Innovationsprozesses, die auf Basis strategischer Vorgaben die wesentlichen Eigenschaften eines zukünftigen Produkts festlegen.

Dabei beziehen sich die Eigenschaften auf die Erfüllung markt- und kundengegebener Anforderungen unter Berücksichtigung der erfolgskritischen Faktoren Kosten, Zeit und Qualität. Der Prozess der Produktplanung kann grob in die Phasen Potentialfindung, Produktfindung, Geschäftsplanung und Produktkonzeption unterteilt werden (GAUSEMEIER U. A. 2009, S. 39).

2.1.3.2 Ziele und Aufgaben

Die Zielsetzung der Produktplanung liegt in der Begründung der Auswahl derjenigen alternativen Produktkonzepte, die aus bestimmten unternehmensexternen und -internen Gründen zu entwickeln und produzieren sind. Diese Zielsetzung wird insbesondere im Rahmen der Produktkonzeption adressiert und bildet aus entscheidungstheoretischer Sicht den Modellkern der in dieser Arbeit entwickelten Methodik.

Gegenstand der Potentialfindung bilden die Analyse und Bewertung von Marktpotentialen, wie beispielsweise Open-Innovation oder der CO₂ Footprint, sowie die Technologie-Frühaufklärung. Die Ergebnisse der Potentialfindung werden im Rahmen der Produktfindung sukzessive zu Produktideen konkretisiert, die in Anlehnung an die Produktstrategie des Unternehmens bewertet werden. Innerhalb der Phase der Geschäftsplanung gilt es darauf aufbauend und unter Beobachtung des Wettbewerbs das Nutzenversprechen potentieller Neuprodukte durch lebenszyklusorientierte Geschäftsmodelle zu beschreiben. Abschließend erfolgt der Übergang in die Produktkonzeption, deren Aufgabe in der systematischen Ableitung und Definition des Entwicklungsauftrags liegt. Der Entwicklungsauftrag zeigt dabei auf, was innerhalb der Leistungserstellung getan werden muss, damit das zukünftige Produkt alle Anforderungen erfüllt, die im Lasten- und Pflichtenheft erfasst oder zu erfassen sind (BRONNER 2001, S. 118). Das Lastenheft beschreibt dabei nach DIN 69901 „die vom Auftraggeber festgelegte Gesamtheit der Forderungen an die Lieferungen und Leistungen eines Auftragnehmers innerhalb eines Auftrages“. Während das Lastenheft die Antwort auf die Frage: *was* und *wofür* etwas gemacht werden soll liefert, gibt das Pflichtenheft (welches das Lastenheft beinhaltet und konkretisiert) die Antwort auf die Frage: *wie* und *womit* es realisiert werden soll. Das Pflichtenheft enthält nach DIN 69901 die „vom Auftragnehmer erarbeiteten Realisierungsvorgaben aufgrund der Umsetzung des vom Auftraggeber vorgegebenen Lastenheftes“.

In Abbildung 2.14 wird der Zusammenhang zwischen Anforderungen, Lasten- und Pflichtenheft grafisch veranschaulicht.

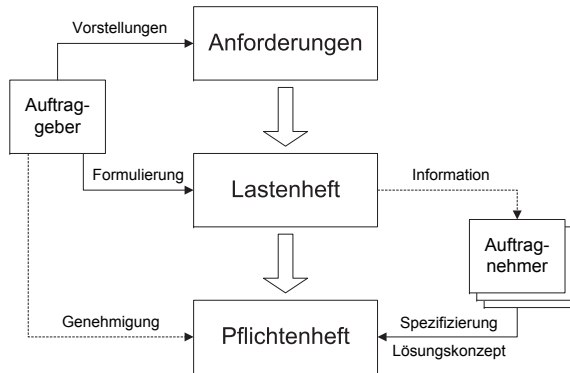


Abbildung 2.14: Anforderungen, Lasten- und Pflichtenheft

2.1.3.3 Produktkonzeption und Produktkonzipierung

Die Begriffe Produktkonzeption und Produktkonzipierung werden häufig synonym zueinander verwendet, teilweise wird die Konzeption als Phase innerhalb der Konzipierung angesehen. So sprechen EIGNER UND STELZER (2009) und EHRENSPIEL (2007) von Konzeption und Konzeptionierung in der Produktentwicklung wohingegen PAHL UND BEITZ (2007) und PONN UND LINDEMANN (2008) darunter die Produktkonzipierung verstehen. Auch in den Normen VDI 2206, VDI 2220 und VDI 2221 wird keine eindeutige Abgrenzung gegeben. Dies liegt unter Umständen an den unterschiedlichen Sichten von Planung und Entwicklung auf die Phasen im Produktleben.

Im Unterschied zur Produktidee, die eine vage Vorstellung des zukünftigen Produkts bietet und vorwiegend unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten bewertet wird, kennzeichnet sich die Produktkonzeption bzw. Produktkonzeptphase dadurch aus, dass erstmalig Kundennutzen stiftende Produktmerkmale erhoben werden. Die Produktkonzeption umfasst im Anschluss an die Auswahl bestimmter Produktideen die Schritte der Produktkonzeptdefinition und -auswahl (GAUBINGER U. A. 2009, S. 104ff). Mit der Auswahl des gewählten Konzeptes beginnt die Ausdetaillierung in der Produktentwicklung, die mit der Produktkonzipierung beginnt. Die Produktkonzeption steuert somit den Entwicklungsauftrag ein. Im Rahmen der Produktkonzipierung gilt es sodann die konstruktionsmethodische Funktionsstruktur und die

physikalische Wirkstruktur für die im Pflichtenheft formulierten Entwicklungsaufgaben zu entwickeln. Ausgehend von technischen Anforderungen werden allgemeine und spezielle Funktionsmodelle generiert, die das funktionale Verhalten des Produkts bzw. einer Komponente aus systemtechnischer Sicht beschreiben (SCHUBERT 2007, S. 21ff), (SCHUBERT U. A. 2008, S. 40). Im Anschluss erfolgt die Eingrenzung zu verwendender Werkstoffe und Vorgaben der Wirkbewegungen und Wirkflächen. Nach Abschluss der Konzipierung, also der Festlegung der prinzipiellen Lösung, erfolgt der Übergang in die Entwurfs- und Ausarbeitungsphase. Zu diesem Zeitpunkt wird das Produkt konstruktiv unter Verwendung moderner CAD Systeme ausgearbeitet, digital validiert und in einem PDM bzw. PLM System dokumentiert. Es sollte jedoch festgehalten werden, dass erste Konzepte bereits prototypisch ausgearbeitet wurden und sich die Konzipierung auf die Detaillierung bezieht. Sonst wäre es beispielsweise nicht möglich, geometrische Forderungen vertraglich festzusetzen, ohne ein Geometriemodell im Vorfeld zu bewerten.

In der industriellen Praxis wird häufig die Konzeption in die Konzipierung eingliedert und durch Leitung des Produktmanagements mit einem interdisziplinären Team aus u. a. Marketing und Entwicklung vorangetrieben. Auch lassen sich Lasten- und Pflichtenheft nicht wie in der Theorie abgrenzen. So gibt es Auftraggeber, die für den Auftragnehmer ein Pflichtenheft schreiben und andere, die erst ein Lastenheft und dannach interne Pflichtenhefte für die Lieferanten erstellen und weitere, die Lastenhefte schreiben, die die Realisierung bereits beinhalten. Erschwerend kommt bei international agierenden Unternehmen die Abgrenzung rund um die Begriffe der verschiedenen *requirements specifications*⁹ hinzu.

Abschließend kann angemerkt werden, dass die Konzeption das Ende der marktorientierten Produktplanung bildet, wohingegen die Konzipierung den Beginn der ingenieurbezogenen Leistungserstellung darstellt. Diese zwei Gebiete sollten nach Möglichkeit jedoch nicht disjunkt voneinander betrachtet werden, wenn die Zielsetzung die Herstellung erfolgversprechender Produktinnovationen ist.

2.1.4 Produktkonzeption

Den Ausgangspunkt der Produktkonzeption bilden Produktideen, die in der Regel noch sehr abstrakt vorliegen. Diese Ideen werden im Rahmen der Produktkonzeption in konkrete Produktvorstellungen übersetzt und bilden die Ausgangsbasis für die anschließende Produktentwicklung (MEYER 2003, S. 25ff). Dabei sind im wesentlichen

⁹ Sowohl Lasten- als auch Pflichtenheft werden im Englischen mit *requirements specification* übersetzt.

zwei Teilaufgaben zu bewerkstelligen. Die Produktkonzeptdefinition dient der Analyse des Zielmarktes und der Erstellung passender Produktkonzepte. Die anschließende Aufgabe der Produktkonzeptauswahl liegt in der Begründung der Auswahl eines zur weiteren Ausarbeitung geeigneten Produktkonzepts.

Bei der Produktkonzeptdefinition muss zunächst die Frage nach Markt- und Absatzpotential geklärt werden. Von zentraler Bedeutung sind dabei die Analyse von Anforderungen und die Identifikation potentieller Wettbewerbsprodukte. Auf dieser Basis werden sodann Konzepte erstellt, die sich aufgrund einer bestimmten oder einer Menge bestimmter Eigenschaften gegenüber dem Wettbewerb differenzieren, dem Kunden Nutzen stiften und somit Kaufrelevanz besitzen (GAUBINGER U. A. 2009, S. 107). Die Herausforderung innerhalb der Produktkonzeptdefinition ist folglich darin zu sehen, Anforderungen bestimmter Zielgruppen in konkrete Leistungsdaten zu transformieren. Bei Produktkonzepten handelt es sich um detaillierte Ausarbeitungen des Anforderungsprofils, wobei nach COOPER (2010, S. 154) folgende Punkte beinhaltet werden müssen:

- Definition und Beschreibung des Zielmarkts
- Anforderungen der Kunden
- wesentliche Leistungsdaten des Produkts
- zu berücksichtigende interne und externe Restriktionen (z.B. Wettbewerb, Gesetze, etc. . .)
- geschätzte Produktions- und Projektkosten
- zeitliche Zielsetzung und Projektmeilensteine

In Anlehnung an LENNERTZ (2010, S. 116) kann ein Produktkonzept verallgemeinert wie folgt definiert werden:

Definition 2.4 *Unter einem Produktkonzept versteht man die detaillierte Beschreibung – möglicherweise auch anhand von Skizzen und Geometriemodellen – des (noch nicht entwickelten) neuen Produktes, seiner Leistungsmerkmale, seines Kundennutzens und seiner technischen Anforderungen.*

Nachdem sämtliche Kenngrößen für Produktkonzepte definiert wurden, gilt es in einem nächsten Schritt diejenige Konzeptalternative auszuwählen, die die erfolgsrelevanten Kriterien bestmöglich erfüllt. Dazu werden die ausgearbeiteten Konzepte mittels geeigneter Methoden im Wesentlichen auf Marktakzeptanz, Anforderungserfüllung und Wirtschaftlichkeit überprüft. Die Produktkonzepte werden somit anhand

qualitativer und quantitativer Kenngrößen evaluiert. Die Problematik in der Bewertung und Auswahl potentieller Produktkonzepte liegt mitunter darin, dass diese Konzepte mit Unsicherheiten behaftet sind und die häufig eingesetzten Punktwertverfahren keine Konsistenz der Bewertenden hinsichtlich ihrer Präferenzstrukturen messen (MEYER 2003, S. 26). Im Anschluss an die Bewertung ist die Entscheidung zu treffen, welches Konzept zur weiteren Bearbeitung freigegeben wird. Mit der Freigabe wird die Phase der Produktkonzeption abgeschlossen, da sich alle Beteiligten auf die Umsetzung eines konzeptspezifischen Entwicklungsprojektes geeinigt haben. Häufig geht dieser Schritt mit der Erstellung eines Pflichtenheftes einher, in dem u. a. konkrete technische und kundenwichtige Produktmerkmale und Ausprägungen, sowie Zeit- und Kostenvorgaben für die einzelnen Entwicklungsaufgaben festgehalten und in der anschließenden Produktentstehung realisiert werden. Der Prozess der Produktkonzeption kann gemäß Abbildung 2.15 veranschaulicht werden.

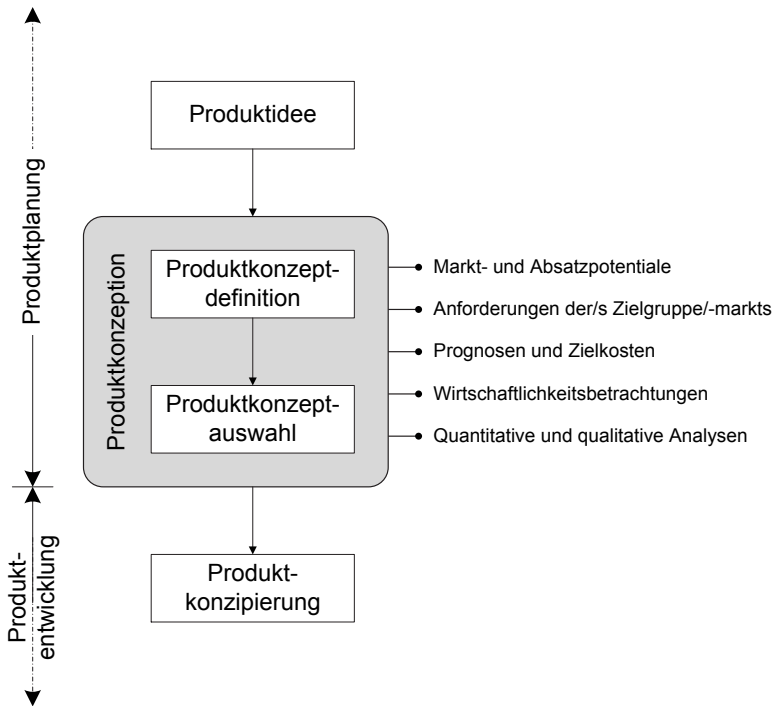


Abbildung 2.15: Prozess der Produktkonzeption in Anlehnung an GAUBINGER U. A. (2009, S. 104)

2.2 Abgrenzung der Arbeit

2.2.1 Abgrenzung nach Unternehmensfeld und Lebenszyklus

In vielen Unternehmen gilt die Produktkonzeption als eine der strategisch wichtigsten Aufgaben im Produktinnovationsprozess. Zugleich bildet sie die Schnittstelle zwischen marktorientierter Planung und industrieller Leistungserstellung. Die vom Management zu treffenden Entscheidungen haben weitreichenden Einfluss, denn mit ihnen werden Kosten, Qualität und Akzeptanz potentieller Neuprodukte sowie auch Aufwand für Forschung, Entwicklung und Produktion maßgeblich bestimmt (GAUBINGER U. A. 2009, S. 103). Industrielle Studien zeigen, dass viele Unternehmen die Produktkonzeption vernachlässigen oder übergehen und bereits auf Basis einer Produktidee mit der Umsetzung dieser beginnen. Die Tragweite ungenügend geplanter Entscheidungen birgt jedoch nicht nur das Risiko eines späteren Misserfolgs der Produkte am Markt, sondern hat weitreichenden Einfluss auf die gesamte Unternehmensstrategie (COOPER 2010, S. 215ff.). Fehlende Planung oder falsche Konzeptauswahl führen nicht selten zu wirtschaftlichem Konkurs. In der Literatur wird deswegen teilweise empfohlen, die Produktkonzeption als eigenen Prozess(schritt) getrennt von der Entwicklung zu führen, um spätere kostenintensive Korrekturen bis hin zu Projektabbrüchen aufgrund ungenügender Planung im Vorfeld zu verhindern (SCHMELZER UND SESSELMANN 2010, S. 146). Das in Abbildung 2.16 dargestellte Venn- bzw. Mengendiagramm veranschaulicht die Einflussbereiche der Produktkonzeption und -konzipierung im Unternehmensmanagement.

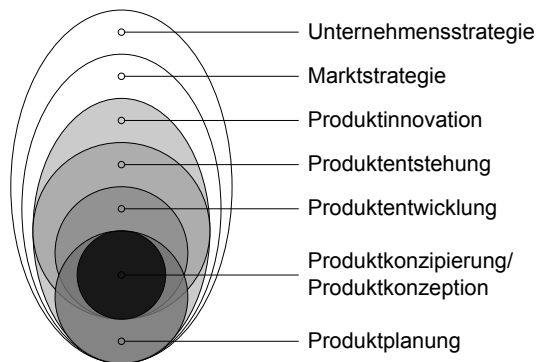


Abbildung 2.16: Systemgrenze aus strategischer Sicht

Von besonderem Interesse ist die Begründung der Auswahl für oder gegen Produktentwicklungsprojekte. Diese Entscheidung gilt es innerhalb der Produktkonzeption zu begründen. Der Prozess der Produktkonzeption wird im Rahmen dieser Arbeit

als Entscheidungsprozess verstanden. Vom Resultat der Entscheidung hängt der Verlauf des Produktlebens ab. Fehlentscheidungen bergen das Risiko entgangener Gewinne und können im schlimmsten Fall die Existenz des Unternehmens gefährden. Eine ausgewogene Entscheidung sollte internes Know-how berücksichtigen und die Möglichkeit des Aufbaus strategischer Wertschöpfungspartnerschaften durch make-or-buy Entscheidungen einbeziehen.

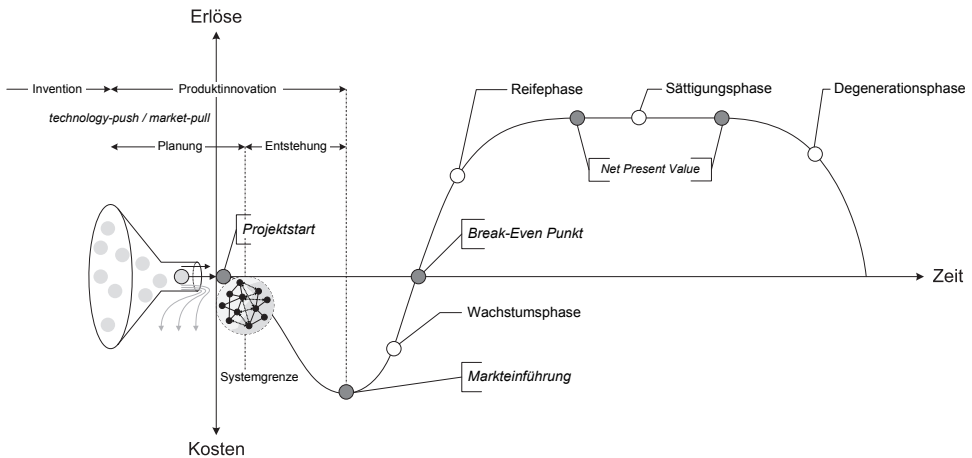


Abbildung 2.17: Systemgrenze aus Sicht des ökonomischen Produktlebenszyklus

In Abbildung 2.17 wird die Einordnung und Abgrenzung dieser Arbeit anhand eines idealtypischen Produktlebenszyklus visualisiert. Unter Berücksichtigung von Abbildung 1.3 (vgl. Kapitel 1.1 auf Seite 4) wird ferner ersichtlich, dass die Konzeptauswahl maßgeblichen Einfluss auf Kosten- und Umsatzverläufe für das weitere Produktleben hat. Höhere Aufwendungen in der Planungsphase sind vor diesem Hintergrund leicht begründbar.

2.2.2 Abgrenzung nach Art und Neuheitsgrad der Innovation

Innerhalb der Produktkonzeption werden Entscheidungen über Produktinnovationen getroffen. Das Innovations- bzw. Produktmanagement ist wiederum stark mit dem Marketing bzw. der Marktstrategie verknüpft. Es gilt auf Basis des bestehenden Produktportfolios Entscheidungen über Eliminierung oder Etablierung von Produkten am Markt zu treffen. Folglich ist klar, dass innerhalb der Produktkonzeption keine Entscheide über Eliminierung getroffen werden. Die in dieser Arbeit entwickelte Methodik umfasst jedoch gemäß Abbildung 2.1 auf Seite 15 alle Arten der zielgerichteten Positionierung von Produkten am Markt.

Bezogen auf die Klassifizierung nach Neuheitsgrad aus Sicht der Produktentwicklung, respektive der Produktentstehung beschränkt sich die Methodik in dieser Arbeit auf die ersten vier der insgesamt fünf Ausprägungsstufen im Klassifikationsschema aus Abbildung 2.2 auf Seite 15. Dies liegt vor allem darin begründet, dass Radikallinnovationen aufgrund ihres absoluten Neuheitsgrads nicht oder nur unzureichend von bestehenden Experten hinsichtlich diverser Kriterien zur Leistungserstellung bewertet werden können.

2.2.3 Abgrenzung aus Sicht des Informationsmanagements

In Zusammenhang mit dem Neuheitsgrad von Innovationen wird ersichtlich, dass auf Produktdaten bestehender Produkte am Markt zurückgegriffen werden kann und wird. Die Wiederverwendung diverser Produktmodelle innerhalb konstruktiver Produktentwicklung ist gängige Ingenieurpraxis. Die Basis hierfür bildet der PLM Ansatz als produktbezogenes Informationsmanagement mit Kernfunktionen des PDM zur Verwaltung konstruktiver Daten und Dokumente innerhalb der Produktentwicklung. Diese Daten bilden für den Entwicklungsingenieur entscheidungsrelevante Information im Kontext der Produktentwicklung zur Generierung neuen Wissens (BURR 2008, S. 20f.). Die terminologische Unterscheidung zwischen Daten, Information und Wissen liegt darin begründet, dass erst durch Interpretation in einem bestimmten Kontext aus einfachen Datenbeständen Information entsteht. Nach MÜLLER UND SCHAPPERT (1999) lassen sich die Begriffe Daten, Information und Wissen im sogenannten »semiotischen Dreieck« voneinander abgrenzen. Daten sind per se eine Sammlung bedeutungsloser Ziffern, Buchstaben und (Sonder)zeichen auf Basis eines vordefinierten Alphabets. Die Syntax stellt dabei die Menge an Regeln, nach welcher Zeichenketten aufgebaut werden. Erst die Semantik verleiht den Daten eine kontextabhängige Bedeutung und macht sie somit zu wertvoller Information. Durch Anwendung oder Transformation dieser Information auf einen bestimmten Bereich entsteht das Wissen, das die pragmatische Interpretation der Information darstellt. Dieser Zusammenhang wird in Abbildung 2.18 dargestellt.

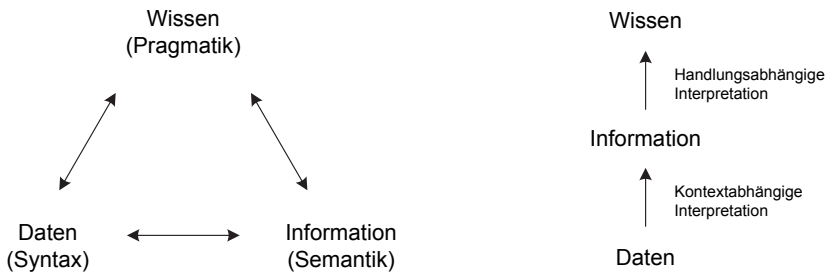


Abbildung 2.18: Semiotisches Dreieck im Informationsmanagement nach BURR (2008, S. 21)

Im Produktlebenszyklusmanagement unterscheidet man ferner zwischen Nutz- und Metadaten. Die Nutzdaten¹⁰ sind die eigentlichen Dokumente an denen gearbeitet wird. CAD-Modelle, Simulationsdaten oder auch Officedokumente sind Beispiele für Nutzdaten. Die Metadaten sind die beschreibenden Daten über Nutzdaten. Erstelldatum, Typ, Version und/oder Status sind Beispiele für Metadaten. Persistente Metadaten werden auch Stammdaten genannt. Die Identifikationsnummer ist ein typisches Beispiel eines Stammdatums. Sowohl Nutz- und Metadaten werden in verschiedenen Systemen generiert und auf verschiedenen Datenbanken abgelegt. Dem Informationsmanagement im PLM kommt dabei die Aufgabe zu, die verteilten Datenbestände zu einem integrierten Produktmodell zusammenzuführen.

DUFFY UND ANDREASEN (1995) entwickelten ein Vorgehensmodell zur Verbesserung der Rechnerunterstützung in Konstruktionsprozessen, dessen konzeptioneller Aufbau sich mit dem Verständnis der Abgrenzung dieser Arbeit aus informationstechnischer Sicht deckt. Das Vorgehensmodell untergliedert sich nach Abbildung 2.19 in unterschiedlichen Abstraktionsgraden.

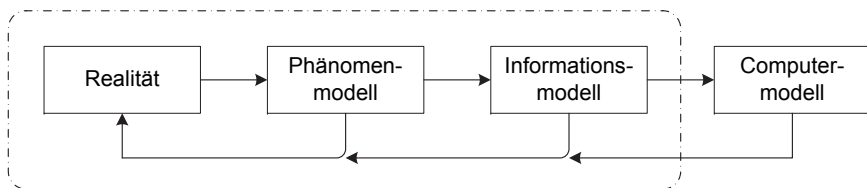


Abbildung 2.19: Abgrenzung der Arbeit gemäß dem Modell von DUFFY UND ANDREASEN nach BURR (2008, S. 30)

Die Beobachtung der Realität mündet im Aufbau eines abstrakten Modells als Ausgangsbasis für die Ableitung des Informationsmodells, welches die formale Be-

¹⁰ Nutzdaten werden in der Fachliteratur teilweise auch als Produktdaten bezeichnet (vgl. u. a. SCHÄPPI U. A. (2005, S. 615)).

schreibung der abstrahierten Realität darstellt, sämtliche inhärenten Zusammenhänge strukturiert und in sich konsistent abbildet. Das Informationsmodell bildet wiederum den Ausgangspunkt für das Computermodell, dessen Implementierung in einem speziellen Software-Werkzeug resultiert (BURR 2008, S. 30). Der gestrichelte Linienzug (siehe Abb. 2.19) bildet die Systemgrenze aus informationstechnischer Sicht. Die Implementierung der in dieser Arbeit entwickelten Methodik stellt programmieretechnischen Aufwand dar und ist aus forschungskonzeptioneller Sicht im Gegensatz zur informationellen, formalen Beschreibung des Bewertungsprozesses nicht Thema und Aufgabe dieser Arbeit.

2.3 Forschungskonzeptionelle Grundlagen

Die Bewertung und resultierende Entscheidung für oder gegen bestimmte Produktkonzepte muss unter verschiedenen Gesichtspunkten begründet werden, mitunter gilt es Produktkonzepte auf Wirtschaftlichkeit zu prüfen. Kosten sind somit im Kontext dieser Arbeit eine wichtige Bezugsgröße für die Bewertung von Konzepten. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Bewertung jedoch nicht ausschließlich aus ökonomischen Gründen vorgenommen, sondern vielmehr stellen Kosten ein wichtiges Entscheidungskriterium in einem übergeordneten Entscheidungsmodell dar. Aus diesem Grund werden in diesem Kapitel Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsanalysen, dem Zielkostenmanagement und der Entscheidungstheorie erklärt, die im späteren Verlauf dieser Arbeit in die Methodik einfließen. Ferner dienen einige der vorgestellten Grundlagen dem Verständnis der Analyse des Stands der Technik im anschließenden Hauptkapitel.

2.3.1 Wirtschaftlichkeitsanalysen von Produktkonzepten

Während die Investitionsrechnung die Wirtschaftlichkeit von Produktkonzepten prüft, wird innerhalb der betrieblichen Kostenrechnung die Frage der Zurechenbarkeit der damit verbundenen Herstellkosten beantwortet.

2.3.1.1 Systeme der Kostenrechnung

Zur Bestimmung der Kosten eines Produktes ist die Kenntnis über die Entstehung und Zuordnung wesentliche Voraussetzung für ein gezieltes Kostenmanagement (EHRENSPIEL 2007, S. 414). Die innerbetriebliche Kostenrechnung unterteilt sich in drei Bereiche *Kostenartenrechnung*, *Kostenstellenrechnung* und *Kostenträgerrechnung*

(MUMM 2008, S. 25), (VDI 2234), (DIN 32990). EHRENSPIEL (2007) untergliedert zusätzlich die Zurechenbarkeit auf Zurechnungsobjekte und die Abhängigkeit vom Beschäftigungsgrad, wobei diese beiden Unterpunkte letztlich nur eine Unterteilung der Zurechenbarkeit der Kostenträgerrechnung nach dem jeweilig gewählten System der Kostenrechnung darstellen.

Die Kostenartenrechnung dient der Erfassung aller in einer Abrechnungsperiode angefallenen Kosten. Dabei werden verschiedene Kostenarten, wie beispielsweise Personal oder Material erhoben. Die Kostenstellenrechnung verteilt diese Kosten auf Funktionsbereiche, beispielsweise die Entwicklung. Die Kostenträgerrechnung versucht im Anschluss die ermittelten Kosten auf einzelne Träger anteilmäßig zu verrechnen. Kostenträger sind beispielsweise Produkte oder Projekte. Kosten, die sich nicht direkt auf einen Kostenträger zurechnen lassen nennt man Gemeinkosten (RADKE 2009, S. 24ff), (WÖLTJE 2009, S. 25ff), (FRIEDL U. A. 2010, S. 117ff, 161ff).

In der Kostenrechnung gibt es die Systeme der *Vollkostenrechnung* und *Teilkostenrechnung*, die sich im Wesentlichen nur im Rahmen der Kostenträgerrechnung unterscheiden (MUMM 2008, S. 276). Angenommen der Kostenträger sei Produkt P_1 , so verursacht die Herstellung, also die Entwicklung und Produktion von P_1 insgesamt die Kosten $K(P_1)$, die hier grob „Selbstkosten“ von P_1 genannt werden. Bei der Vollkostenrechnung errechnen sich die Selbstkosten aus *Einzel-* und *Gemeinkosten*, während die Teilkostenrechnung mit *variablen Kosten* und *Fixkosten* rechnet. Im allgemeinen entsprechen die Einzelkosten den variablen Kosten und die Gemeinkosten einem hohen Fixkostenanteil und einem geringen Anteil variabler Kosten (MUMM 2008, S. 276). Abbildung 2.20 skizziert die unterschiedlichen Kostenrechnungssysteme.

Die Vollkostenrechnung unterscheidet sich von der Teilkostenrechnung insofern, dass bei ihrer Anwendung sämtliche Kosten auf das Produkt umgelegt werden, wohingegen bei der Teilkostenrechnung vorwiegend nur die variablen Kosten umgelegt und die Fixkosten gesondert kalkuliert werden (GÖTZE 2008b, S. 153f). Weitere Unterschiede liegen darin, dass die Teilkostenrechnung die Erlösseite einbezieht, während die Vollkostenrechnung ausschließlich die Kostenseite betrachtet (MUMM 2008, S. 276). Vor dem Hintergrund der Gesamtkostenbeurteilung mag die Vollkostenrechnung aus langfristiger Perspektive zunächst sinnvoll erscheinen, allerdings widerspricht ihr System der Zurechenbarkeit gemäß dem Verursacherprinzip und kann somit zur Verfälschung produktbezogener Kosten führen, da die Gemeinkosten bei Anwendung der Vollkostenrechnung indirekt mit Hilfe von Schlüsselkonzepten der Zuschlagskalkulation auf das Produkt umgelegt werden. Prozentuale Schlüssel zur Zuschlagskalkulation im Maschinenbau können beispielsweise dem VDMA KENNZAH-

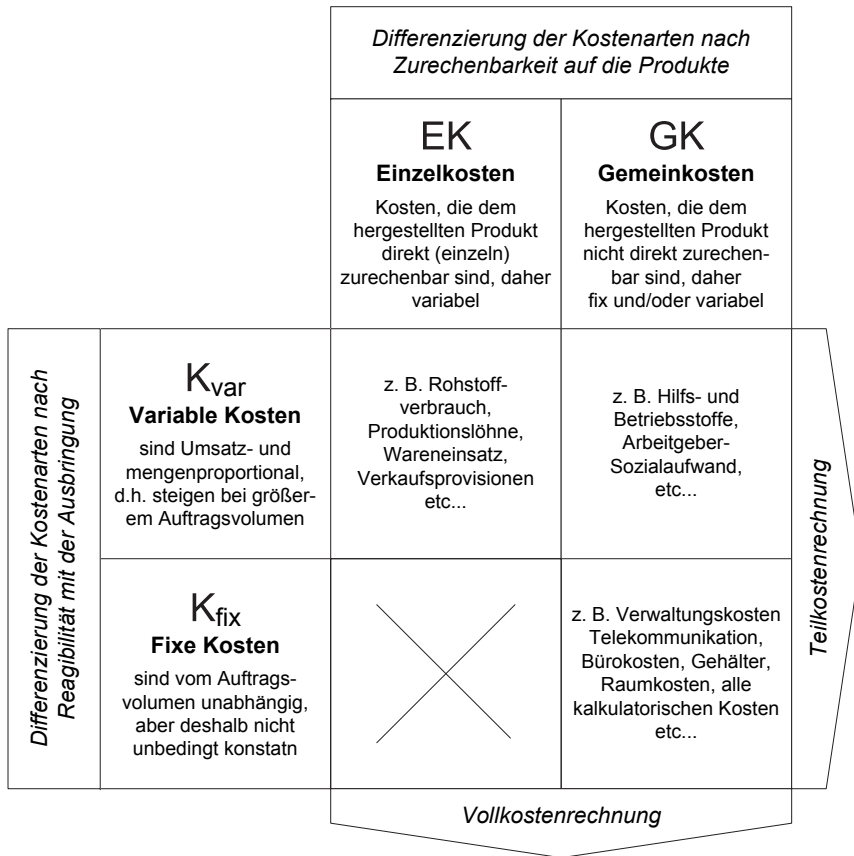


Abbildung 2.20: Unterscheidung der Kostenrechnungssysteme nach ZINGEL (2008, S. 90)

LENKOMPASS (2012) entnommen werden. Die Etablierung der Teilkostenrechnung ist auf die mangelnde Eignung der Vollkostenrechnung bei produktpolitischen Entscheidungen zurückzuführen. Letztendlich obliegt die Entscheidung der Systemwahl der Unternehmensführung, wobei sich die Teilkostenrechnung im Kontext dieser Arbeit aufgrund nachfolgend aufgeführter Merkmale besonders hervorhebt MUMM (2008, S. 276ff), (EHRENSPIEL 2007, S. 439f).

- Berücksichtigung von Marktdaten bei der Preisfindung
- Planung von Produkten und Programmen
- make-or-buy Entscheidungen

Neben oben genannten Autoren nennt MEIER (2011, S. 21ff) insbesondere in Verbindung mit dem Zielkostenmanagement weitere Vorteile der Teilkostenrechnung. Ab-

schließlich bleibt festzuhalten, dass die Vollkostenrechnung der weitaus bekanntere Bereich der Kostenrechnung ist, was mitunter daran liegt, dass der mathematische Schwerpunkt der Vollkostenrechnung die Prozentrechnung (in Form von Zuschlagskalkulationen) ist. Die Teilkostenrechnung gestaltet sich in ihrer Anwendung bei weitem komplexer, da sie auf Methoden des Operations Research und insbesondere der linearen Programmierung zurückgreift (ZINGEL 2008, S. 90).

Beispielhafte Anwendung einer Deckungsbeitragsrechnung

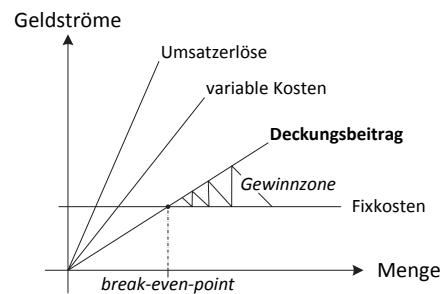
Der Deckungsbeitrag ist eine Kennzahl der Teilkostenrechnung zur Deckung der Fixkosten und ist zugleich Grundlage für die Preisgestaltung, da die Gewinnspanne eingeschlossen ist. Ein Produkt sollte demnach nur dann hergestellt werden, wenn die Erlöse aus dessen Verkauf (Umsatz) mindestens ausreichen um die Kosten zu decken.

Notationen:

- DB Deckungsbeitrag
 p Verkaufspreis pro Stück
 k_v variable Stückkosten
 m absetzbare Menge

Die Formel zur Berechnung des Deckungsbeitrags lautet dann:

$$DB = (p - k_v) \cdot m \quad (2.1)$$



Beispielsweise fallen für Anlagen insgesamt Fixkosten in Höhe von 4.500 € an. Der Verkaufspreis des Endprodukts sei 100 € und seine variablen Kosten belaufen sich auf 10 €. Der Deckungsbeitrag pro Stück berechnet sich zu $p - k_v = 90$ €. Um die Kosten zu decken müssten demnach mindestens $4.500/90 = 50$ Stück verkauft werden. Bei derjenigen Absatzmenge, bei der die Erlöse und Gesamtkosten gleich Null sind liegt die Gewinnschwelle. Ihr Schnittpunkt wird auch *break-even-point* genannt (GÖTZE 2008b, S. 172).

2.3.1.2 Methoden der Investitionsrechnung

Methoden der Investitionsrechnung werden vielversprechend zur Analyse der Wirtschaftlichkeit von Produktkonzepten eingesetzt. Genau wie im Beispiel zur Teilkostenrechnung wird in der Investitionsrechnung unterstellt, dass die Zahlungsströme in Verbindung mit dem Absatz der Produkte bereits im Vorfeld geschätzt

werden können (GAUBINGER U. A. 2009, S. 111), (GÖTZE 2008a, S. 49). Die Verfahren der Investitionsrechnung lassen sich in *statische* und *dynamische* Verfahren einteilen. Mit ihrer Anwendung soll überprüft werden, ob sich die mit der Herstellung eines neuen Produkts verbundenen Investitionen über den zuvor ermittelten Produktlebenszyklus lohnen. Folgende Verfahren werden exemplarisch unter der Investitionsrechnung subsummiert:

1. statische Verfahren

- Rentabilitätsrechnung
- Amortisationsrechnung
- Kosten- und Gewinnvergleichsrechnung

2. dynamische Verfahren

- Barwert- und Endwertmethode
- Kapitalwertmethode
- Methode des internen Zinsfuß

Statische Verfahren der Investitionsrechnung

Bei den statischen Verfahren handelt es sich um Einperiodenmodelle, da lediglich ein Zeitabschnitt explizit berücksichtigt wird. Entweder wird eine Periode, beispielsweise ein Verkaufsjahr, stellvertretend für den gesamten Nutzungszeitraum angesehen, oder es erfolgt eine Durchschnittsberechnung aus Schätzungen über den Lebenszyklus (GÖTZE 2008a, S. 50).

Bei der Rentabilitätsrechnung erfolgt für jedes potentielle Produktkonzept ein Abgleich von durchschnittlich zu erwartendem Gewinn und geschätztem Kapitaleinsatz (GAUBINGER U. A. 2009, S. 111). Die Gesamtverzinsung des durchschnittlichen Kapitals lässt sich somit gemäß folgender Formel bestimmen (GÖTZE 2008a, S. 60):

$$\text{Rentabilität} = \frac{\text{durchschnittlicher Gewinn} + \text{durchschnittliche Zinsen}}{\text{durchschnittliche Kapitalbildung}} \quad (2.2)$$

Angenommen ein Unternehmen könnte sein Kapital zu einer Mindestverzinsung von 6% am Markt anlegen, so sollte die Rentabilität eines Produktkonzepts diesen Wert deutlich übersteigen.

Bei der Amortisationsrechnung wird die Frage beantwortet, nach wie vielen Jahren sich die Investitionen für das potentielle Produkt amortisiert, also ausbezahlt haben.

Dabei muss das Unternehmen einen Grenzwert vorgeben, der nach Möglichkeit nicht überschritten werden soll. Gewählt wird dann diejenige Investition, die nach folgender Formel den geringeren Wert aufweist (GÖTZE 2008a, S. 64):

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{\text{eingesetztes Kapital}}{\text{durchschnittliche Rückflüsse}} \quad (2.3)$$

Bei der Kostenvergleichsrechnung stellt die Beurteilung der Gesamtkosten k_{ges} die relevante Zielgröße dar. Es ist diejenige Investitionsalternative zu wählen, bei der die Kosten für einen bestimmten Planungshorizont am Geringsten sind. Im Gegensatz dazu wird bei der Gewinnvergleichsrechnung nach höherem Gewinn selektiert (GÖTZE 2008a, S. 50ff). Die Entscheidungsbasis beider Verfahren ist die prognostizierte Absatzmenge. Auf ihrer Basis lässt sich durch die Verfahren ermitteln, welche Alternative zu favorisieren ist.

Bei der Kostenvergleichsrechnung ist folgende Gleichung nach der kritischen Ausbringungsmengen m^* aufzulösen:

$$\begin{aligned} k_{ges_A} &= k_{ges_B} \\ k_{fix_A} + k_{v_A} \cdot m^* &= k_{fix_B} + k_{v_B} \cdot m^* \end{aligned} \quad (2.4)$$

Bei der Gewinnvergleichsrechnung wird m^* mit nachfolgender Gleichung ermittelt:

$$\begin{aligned} \text{Gewinn}_A &= \text{Gewinn}_B \\ p_A \cdot m^* - (k_{fix_A} + k_{v_A} \cdot m^*) &= p_B \cdot m^* - (k_{fix_B} + k_{v_B} \cdot m^*) \end{aligned} \quad (2.5)$$

In Abbildung 2.21 werden diese beiden Verfahren als Vertreter der statischen Investitionsrechnung beispielhaft skizziert.

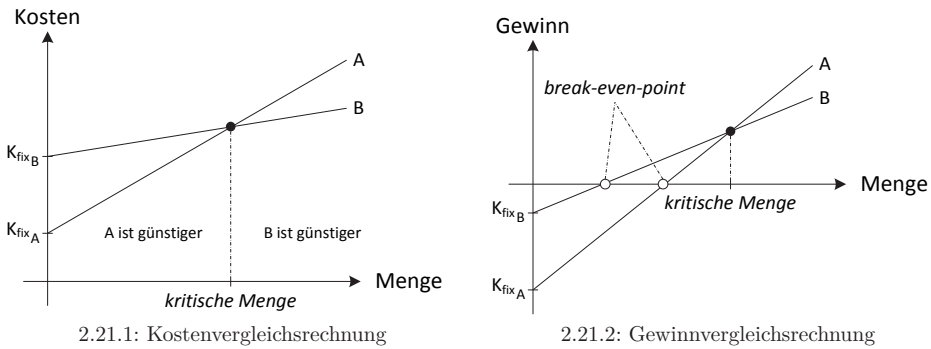


Abbildung 2.21: Veranschaulichung beispielhafter statischer Investitionsrechnungsverfahren

Der Vorteil der Anwendung statischer Investitionsrechnungsverfahren liegt darin, dass die Berechnung relativ einfach und der für sie benötigte Informationsgehalt relativ gering ist. Diese Verfahren eignen sich insbesondere für die Anwendung bei kurzfristigen Entscheidungen oder bei unsicheren Prognosewerten (VAHS UND BURMESTER 2005, S. 210f). Die Schwäche dieser Verfahren liegt in ihrer einperiodischen Durchschnittsbetrachtung, die keine zeitliche Differenzierung von Ein- und Auszahlungen vornimmt. Dieser Nachteil kann durch Rückgreifen auf dynamische Verfahren der Investitionsrechnung behoben werden.

Dynamische Verfahren der Investitionsrechnung

Kennzeichnung dynamischer Verfahren ist die explizite Berücksichtigung mehrerer Perioden. Sie sind somit keine Durchschnittsverfahren. Im Gegensatz zu den statischen Verfahren werden keine Kosten und Gewinne berechnet, sondern es werden Zahlungsströme, sogenannte *cash-flows* betrachtet. Es geht folglich um eine möglichst genaue Erfassung von Einzahlungen/Einnahmen und Auszahlungen/Ausgaben in einer Bezugsperiode, beispielsweise einem Jahr. Im folgenden werden die Kapitalwertmethode und die Methode des internen Zinsfuß als Vertreter dynamischer Investitionsrechnungsverfahren kurz beschrieben.

Bei der Kapitalwertmethode werden sämtliche Zahlungsströme, die mit einer Einführung eines potentiellen Produkts am Markt einhergehen unter Berücksichtigung eines geeigneten Kapitalzinssatzes auf die Gegenwart diskontiert (GAUBINGER U. A. 2009, S.). Es resultiert der Kapitalwert aus Differenz von Ertragswert und Investitionssumme, auch *Net Present Value* genannt, wie in Abbildung 2.22 dargestellt.

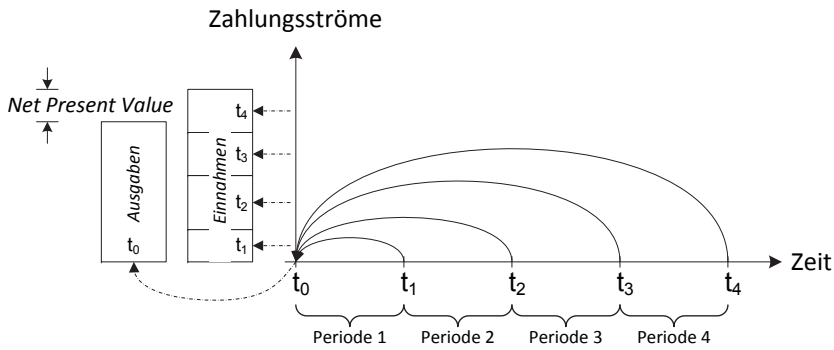


Abbildung 2.22: Modellskizze zur Kapitalwertmethode

Dabei wird der Kapitalwert wie folgt berechnet:

Notationen:

NPV Net Present Value (Kapitalwert)

t Zeitindex

T Ende der Nutzungsdauer (z.B. Lebenszyklus einer Modellreihe)

A_0 Anschaffungsauszahlung

L Liquidationserlös (Restwert)

p_t Verkaufspreis in Periode t

a_{vt} absatzabhängige Auszahlungen (vom Sinn ähnlich zu variablen Kosten)

A_{ft} absatzunabhängige Auszahlungen (vom Sinn ähnlich zu fixen Kosten)

m_t absetzbare Menge in t

i_t Abzinsungsfaktor in t (Kapitalzins)

E_t allg. Einzahlungen in t

A_t allg. Auszahlungen in t

$$\begin{aligned}
 NPV &= -A_0 \sum_{t=1}^T ((p_t - a_{vt}) \cdot m_t - A_{ft}) \cdot (1+i)^{-t} + L \cdot (1+i)^T \\
 &= \sum_{t=0}^T (E_t - A_t) \cdot (1+i)^{-t}
 \end{aligned} \tag{2.6}$$

Damit eine Investition aus rein ökonomischer Sicht erfolversprechend eingestuft werden kann, muss ihr Kapitalwert NPV größer Null sein. Bei konkurrierenden Investitionsalternativen ist folglich diejenige mit dem höheren NPV zu bevorzugen (HOMBURG 2012, S. 595).

Bei der Methode des internen Zinsfuß wird ebenfalls auf die Berechnungsformel der Kapitalwertmethode zurückgegriffen, wobei hier die Auflösung nach dem Zins-

fuß durch Nullsetzen der Gleichung erfolgt. Der interne Zinsfuß i lässt sich errechnen, indem folgende Gleichung nach i aufgelöst wird (GAUBINGER U. A. 2009, 112):

$$0 = \sum_{t=0}^T (E_t - A_t) \cdot (1 + i)^{-t} \quad (2.7)$$

Ein weiteres Verfahren beschreiben (COOPER U. A. 1998) mit ihrer Modifikation der Kapitalwertmethode um die Berücksichtigung von Risiken. In ihrem Verfahren werden Investitionen nach ihrem erwarteten wirtschaftliche Erfolg bewertet, der sich auf Grundlage des Kapitalwerts unter Berücksichtigung von technischem und wirtschaftlichem Risiko (COOPER U. A. 1998, S. 23ff) gemäß Abbildung 2.23 ergibt.

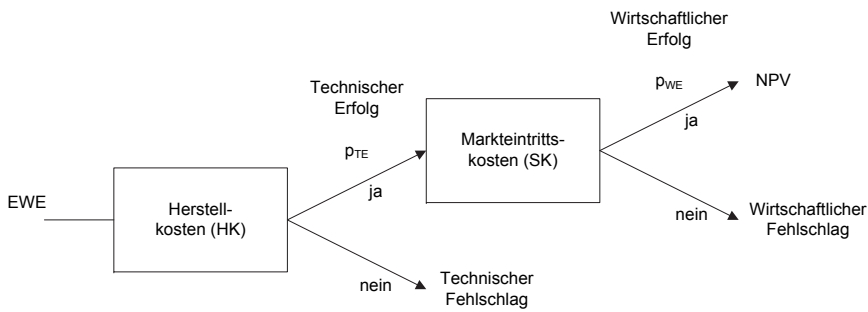


Abbildung 2.23: Bestimmung des erwarteten wirtschaftlichen Erfolgs nach COOPER U. A. (1998, S. 24)

Den Anwendern dieser Methode muss klar sein, dass es sich dabei um ein risikoaverses Verfahren handelt, dessen Berechnung wie folgt durchgeführt wird.

Notationen:

- EWE Erwarteter Wirtschaftlicher Erfolg
- p_{TE} Wahrscheinlichkeit des Technischen Erfolgs (Realisierbarkeit)
- p_{WE} Wahrscheinlichkeit des Wirtschaftlichen Erfolgs (Marktakzeptanz)
- HK Herstellungskosten
- SK Markteintrittskosten (inkl. Verwaltung, Marketing, etc... → Selbstkosten)
- NPV diskontierter Kapitalwert (Net Present Value)

$$EWE = ((NPV \cdot p_{WE} - SK) \cdot p_{TE} - HK) \quad (2.8)$$

Abschließend bleibt festzuhalten, dass zur Bewertung im Rahmen der Produktplanung die Daten für die Anwendung der hier vorgestellten Verfahren Schätzwerte darstellen. Erst nach Beginn der ersten Marktphase ist die Anwendung dynamischer

Verfahren von Vorteil, da sie Veränderungen über den Lebenszyklus berücksichtigen und somit den finanziellen Aspekt realitätsnaher abbilden (GAUBINGER U. A. 2009, S. 113). Sowohl statische als auch dynamische Investitionsrechnungsverfahren sind quantitative Berechnungsverfahren mit denen qualitative Bewertungen nicht abgebildet und berechnet werden können. VAHS UND BURMESTER (2005, S. 212f) empfehlen daher, diese Verfahren in Kombination mit geeigneten qualitativen Verfahren anzuwenden.

2.3.2 Zielkostenmanagement

Das Zielkostenmanagement¹¹ kann als produktbezogener, marktorientierter strategischer Ansatz zur erfolgsorientierten Kostenplanung und -kontrolle sich bereits in Entwicklung befindender oder noch zu entwickelnder bzw. zu planender Produkte aufgefasst werden (SCHWEITZER UND KÜPPER 2011, S. 723f). Im Gegensatz zu klassischen Ansätzen¹² der Kostenkalkulation, die die Planung und Kontrolle der Produktkosten auf Beschaffungs- und Produktionsbedingungen beziehen, impliziert die Anwendung des Zielkostenmanagements eine Ableitung von Kostenvorgaben aus vorangegangenen prognostizierten Absatzmarktbedingungen unter Abzug einer durch das Management festgelegten Gewinnspanne (GLASER 2002, S. 222). In folge dessen lautet die zentrale Frage im Zielkostenmanagement wie viel ein Produkt kosten *darf*, um am Markt erfolgreich nachgefragt und gewinnbringend hergestellt werden kann, anstelle der Fragestellung traditioneller Kostenrechnungssysteme, wie viel ein Produkt kosten *wird* (FRIEDL U. A. 2010, S. 490). Die erfolgsorientiert geplanten Kosten haben im Zielkostenmanagement den Charakter von Kostenobergrenzen, die die Herstellung eines Produkts mit allen Merkmalen und in festgelegter Qualität unter Beachtung der Absatzmarktbedingungen verursachen darf. Die Nichteinhaltung dieser Kostenvorgaben führt in der Regel zu Gewinnverlusten (HORVÁTH 1993, S. 11).

Dem Ansatz des Zielkostenmanagements folgend, müssen die Produktzielkosten bereits zu Beginn der Produktentwicklung ermittelt bzw. prognostiziert worden sein und auf einzelne Bauteile und Baugruppen heruntergebrochen bzw. gespaltet werden, um den Entwicklern und Konstrukteuren die jeweilige Kostenobergrenze vorzugeben. Dieser Ansatz hat in den letzten Jahren insofern an Bedeutung gewonnen, da gerade in den frühen Phasen ca. 80% der Produktkosten festgelegt werden¹³ (MEIER 2011, S. 11f).

¹¹ Im englischsprachigen Raum ist das Zielkostenmanagement unter Target Costing oder Target Cost Management bekannt

¹² Auch cost-plus-Verfahren genannt

¹³ Vgl. hierzu Abbildung 1.3 auf Seite 4

2.3.2.1 Begriffsklärung und Grundkonzept

Die Entstehung des Zielkostenmanagements lässt sich unter der japanischen Bezeichnung *Genka Kikaku* bis ins Jahr 1963 zurückverfolgen (ARNAOUT 2001, S. 19), (SCHULTE-HENKE 2007, S. 7). Die erste konzeptionelle Ausarbeitung erfolgte im Jahr 1965 durch Toyota und wurde bei weiteren Automobilherstellern wie Nissan aufgegriffen (HORVÁTH 1993, S. 3). Als Urväter¹⁴ eines methodisch unterstützten Zielkostenmanagements werden HIROMOTO (1988), SAKURAI (1989) und TANAKA (1989) durch ihre Veröffentlichungen zu marktorientierten, ingenieurorientierten und produktfunktionsorientierten Ansätzen genannt, die Ende der 80er Jahre das Zielkostenmanagement der wissenschaftlichen Diskussion in Europa und Amerika zugänglich machten. In der deutschsprachigen Literatur trugen vor allem die Arbeiten von HORVÁTH (1993), LAUK (1990) und SEIDENSCHWARZ (1993) zur Bekanntheit dieses Ansatzes bei.

In der Literatur finden sich verschiedene Definitionen des Zielkostenmanagements. EWERT UND WAGENHOFER (2008, S. 280) verstehen unter Zielkostenmanagement ein Verfahren zur Planung und Einführung neuer Produkte und Dienstleistungen. Nach HORVÁTH (1993, S. 3) kann unter Target Costing die Bündelung verschiedener Kostenplanungs-, -kontroll- und -managementinstrumenten verstanden werden, die bereits in den frühen Phasen im Innovationsprozess eingesetzt werden können. FREIDANK UND ZAEH (1997, S. 236) setzen beispielsweise Target Costing aufgrund seiner Lebenszyklusorientierung mit Lifecycle Costing gleich, und SAKURAI (1989) definiert Zielkostenmanagement als strategischen Managementansatz zur Planung und Senkung der Produktkosten über den gesamten Lebenszyklus. MEYER (2003, S. 127) ist der Auffassung, dass sich das Target Costing zwar am Produktlebenszyklus orientiert, sein Einsatz der Grundidee folgend jedoch auf den Produktinnovationsprozess beschränkt ist. Sämtliche Autoren stimmen dahingegen überein, dass sich das Zielkostenmanagement als strategisches Planungsinstrument insbesondere durch Anwendung in den frühen Innovationsphasen zur Sicherstellung des finanziellen Erfolgs von Produktinnovationen auszeichnet (MEYER 2003, S. 125f.). In dieser Arbeit wird Zielkostenmanagement wie folgt definiert:

Definition 2.5 *Zielkostenmanagement ist ein marktorientierter, produktbezogener, strategischer Managementansatz, unter dessen Anwendung die Kosten eines Produkts in seinem Innovationsprozess, unter Einbeziehung aller beteiligten Bereiche, über das gesamte Produktlebenszyklus geplant, überwacht und gesteuert werden können.*

¹⁴Die Grundidee des Zielkostenmanagements ist jedoch nicht neu. Bereits in den 1930er Jahren wurde diese durch die Festvorgabe von 990 Reichsmark als Obergrenze des Kaufpreises eines VW Käfers aufgegriffen. Es fehlte jedoch an einer strukturierten Einbettung des Target Costings in den Innovationsprozess (FRANZ 1993, S. 123).

2.3.2.2 Einsatzbereich und Ansätze des Zielkostenmanagements

Eine umfassende Studie über den Aufbau und Einsatz in der deutschen Industrie geht auf ARNAOUT (2001) zurück, der die unterschiedlichen Phasenmodelle des Zielkostenmanagements von einer Vielzahl an Autoren gegenüberstellte (ARNAOUT 2001, S. 44). In der einschlägigen deutschen und japanischen Fachliteratur wird das Zielkostenmanagement im Allgemeinen in drei Phasen unterteilt (BUGGERT UND WIELPÜTZ 1995, S. 58ff), (COENENBERG U. A. 1997, S. 199ff), (GLASER 2002, S. 223ff), (HORVÁTH 1993, S. 10ff), (NOLTEMEIER 2003, S. 7ff) (RÖSLER 1996, S. 158ff) (SEIDENSCHWARZ 1993, S. 115ff), (HIROMOTO 1988, S. 22ff), (KATO 1993, S. 33ff), (MONDEN 1989, S. 15ff), (SAKURAI 1989, S. 39ff), (TANAKA 1989, S. 49ff). Bezeichnet werden diese Phasen nach gängiger Meinung vorwiegend als *Zielkostenfestlegung*, *Zielkosten-spaltung* und *Zielkostenerreichung* (BUGGERT UND WIELPÜTZ 1995, S. 60ff), (DINGER 2000, S. 4ff), (GLASER 2002, S. 223ff), (MEIER 2011, S. 33ff), (NIßL 2006, S. 32ff) und (ZIRKLER 2010, S. 51ff). Abbildung 2.24 skizziert die Phasen des Zielkostenmanagements und verdeutlicht den inhaltlichen Bezug zu Themengebieten der Produktplanung und -entwicklung.

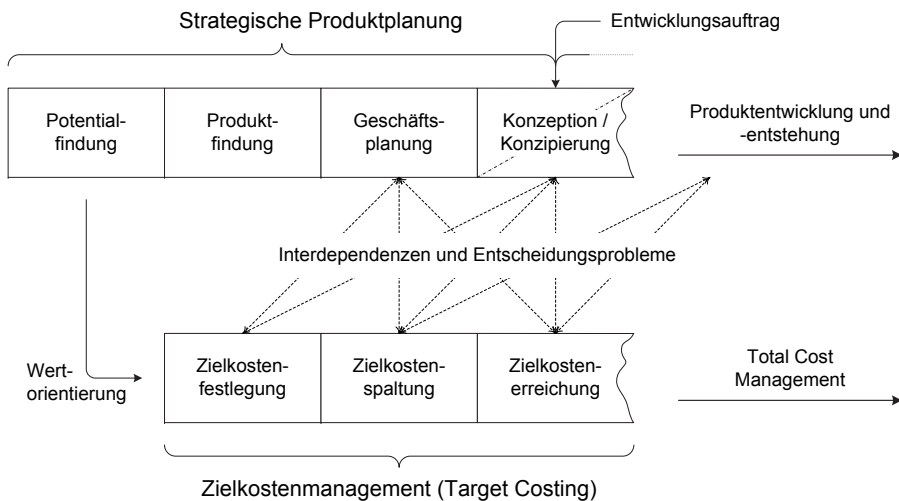


Abbildung 2.24: Phasen des Zielkostenmanagements mit Bezug zu Produktplanung und -entwicklung

Dabei sind die Phasen nicht unabhängig voneinander zu betrachten, sondern bilden einen Regelkreis, der in der Produktplanung und in der Produktentwicklung iterativ durchlaufen wird. In der ersten Phase gilt es über retrograde Kalkulation vorläufige Zielkosten festzulegen. Diese sind vorerst als obere Grenze der ge-

samten Produktherstellungskosten zu verstehen. Im Anschluss erfolgt eine unternehmensinterne Abschätzung, was das Produkt insgesamt kosten würde. Ein Vergleich dieser beiden Kostengrößen wird in der Regel in Kostenreduzierungsbedarfen münden. Daher wird im Anschluss an die bisher auf hohem Abstraktionsgrad ermittelten Kenngrößen eine detailliertere Planung auf Basis einzelner Produktelemente in der Phase der Zielkostenspaltung durchgeführt. Sollten im Anschluss an die Spaltungsphase die geschätzten bzw. errechneten Kosten der Produktelemente nicht mit Wertigkeit aus Markt- und Kundensicht korrelieren, werden geeignete Maßnahmen ergriffen dem entgegen zu wirken. So kann die Zielkostenfestlegung erneut durchgeführt werden und/oder Kostenreduktionsvorgaben im Rahmen der Zielkostenerreichung für die Entwicklung determiniert werden. Die endgültige Festlegung der Zielkosten obliegt dabei dem Management, dessen Handlungsspielraum die Spanne zwischen erlaubten und prognostizierten Kosten ist (BUGGERT UND WIELPÜTZ 1995, S. 40ff).

Während Ansätze im deutschsprachigen Raum dem grundlegenden Aufbau traditioneller japanischer Ansätze folgen, wurden im englischsprachigen Raum Modifikationen ausgearbeitet. So weisen CLIFTON U. A. (2004) die Phase der Produktkonzeption als eigenständige Phase noch vor der Festlegung dem Zielkostenmanagement zu, wie in Abbildung 2.25 dargestellt.

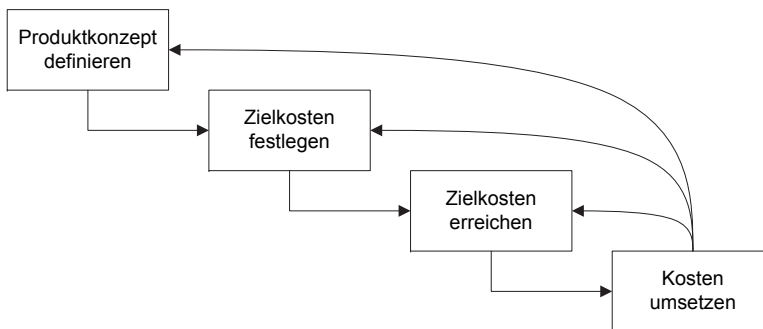


Abbildung 2.25: Vierstufiger Prozess des Zielkostenmanagements nach CLIFTON U. A. (2004, S. 5)

Da jedoch kundenorientierte Zielverkaufspreise im Wesentlichen auf Basis von Produktkonzepten abgeleitet werden, gliedert sich diese Betrachtung in das zuvor erläuterte Grundkonzept ein. Zu unterscheiden bleibt die die Nichtbetrachtung der Zielkostenspaltung als eigenständige Phase im Zielkostenmanagement (NIßL 2006, S. 42). Im Anschluss an endgültig festgelegte, zu erreichende Kostenziele erfolgt der Übergang zum Entwicklungsprojekt und der darin geforderten Umsetzung der Kosten. Es bleibt anzumerken, dass der Aufbau dieses Modells im Ge-

gensatz zum ursprünglichen, rein marktorientierten Ansatz des Zielkostenmanagements, die direkte Beeinflussung der Marktakzeptanz durch die Produktentwicklung unterstellt.

Ein weiteres Modell geht aus den Arbeiten von COOPER UND SLAGMULDER (1997, 1999) hervor, das in Abbildung 2.26 dargestellt wurde. Im Gegensatz zum Grundverständnis unterscheiden sie nicht nach Phasen der Zielkostenfestlegung, -spaltung und -erreichung, sondern nach markt-, produkt- und komponentenbezogener Kalkulation.

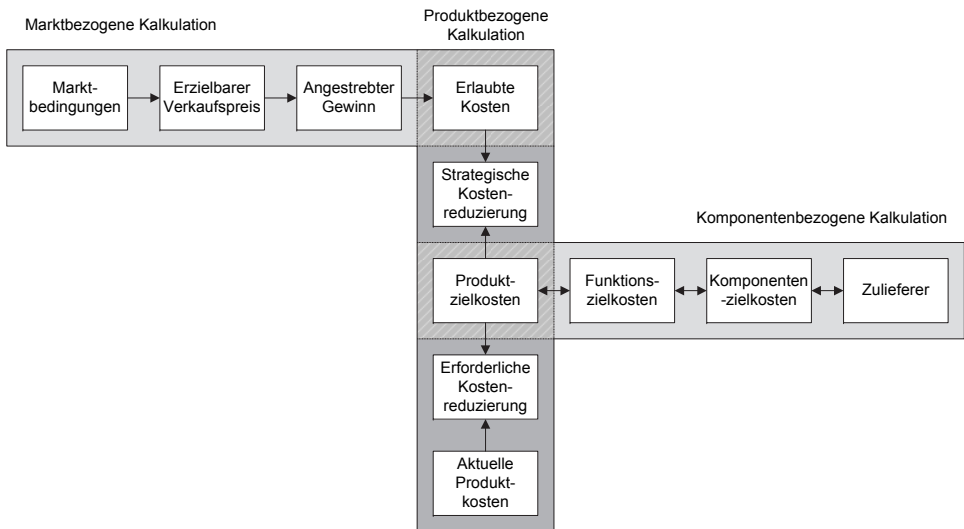


Abbildung 2.26: Modell des Zielkostenmanagements nach COOPER UND SLAGMOULDER (1999, S. 32)

Während die marktorientierte Kalkulation im Wesentlichen der Zielkostenfestlegung entspricht, erfolgt die Zielkostenspaltung und -festlegung über produkt- und komponentenbezogene Kalkulation. Kennzeichnend ist dabei, dass die Frage der Zielkostenerreichung im eigenen Unternehmen unter Einbeziehung des Lieferantenmanagements zu beantworten ist (COOPER UND SLAGMULDER 1997, S. 74f). Der Leitgedanke dieses Modells liegt darin begründet, dass die Unternehmen den Wettbewerbs- bzw. Kostendruck am Markt sowohl auf die interne Unternehmung im Bereich der Produktentwicklung als auch an zukünftige Lieferanten auslagern (horizontale Modellsicht). Voraussetzung dabei ist das Ausrichten der Entwicklung auf Marktanforderungen und auf Komponenten herunterbrechbare Zielkosten (vertikale Modellsicht). Die Aufgabe der Lieferanten besteht darin, die an sie in Auftrag gegebenen Komponenten unter Kostenvorgaben des Auftraggebers (OEM) und Anforder-

rungsmerkmalen des Zielmarkts (Kunde) herzustellen (COOPER UND SLAGMULDER 1999, S. 23ff). Der Vorteil dieses Modells liegt in der Einbeziehung von Kernkompetenzen der Lieferanten in Entwicklung und Produktion und möglicher weiterer Wertschöpfungspartnerschaften.

Beide vorgestellten Modelle weisen Übereinstimmung mit dem zuvor skizzierten Grundmodell auf. Während CLIFTON U. A. (2004) die Phase der Zielkostenfestlegung aufteilen und nicht explizit Ansätze zur Spaltung von Zielkosten erwähnen, weisen COOPER UND SLAGMULDER (1997) auf die Potentiale innerhalb der Zielkostenerreichung durch die Erweiterung um Zulieferintegration hin. Die Grundprinzipien der Zielkostenfestlegung und -spaltung werden im Rahmen dieser Arbeit adressiert und adaptiert. Zusammenfassend lässt sich das Zielkostenmanagement durch Abbildung 2.27 darstellen.

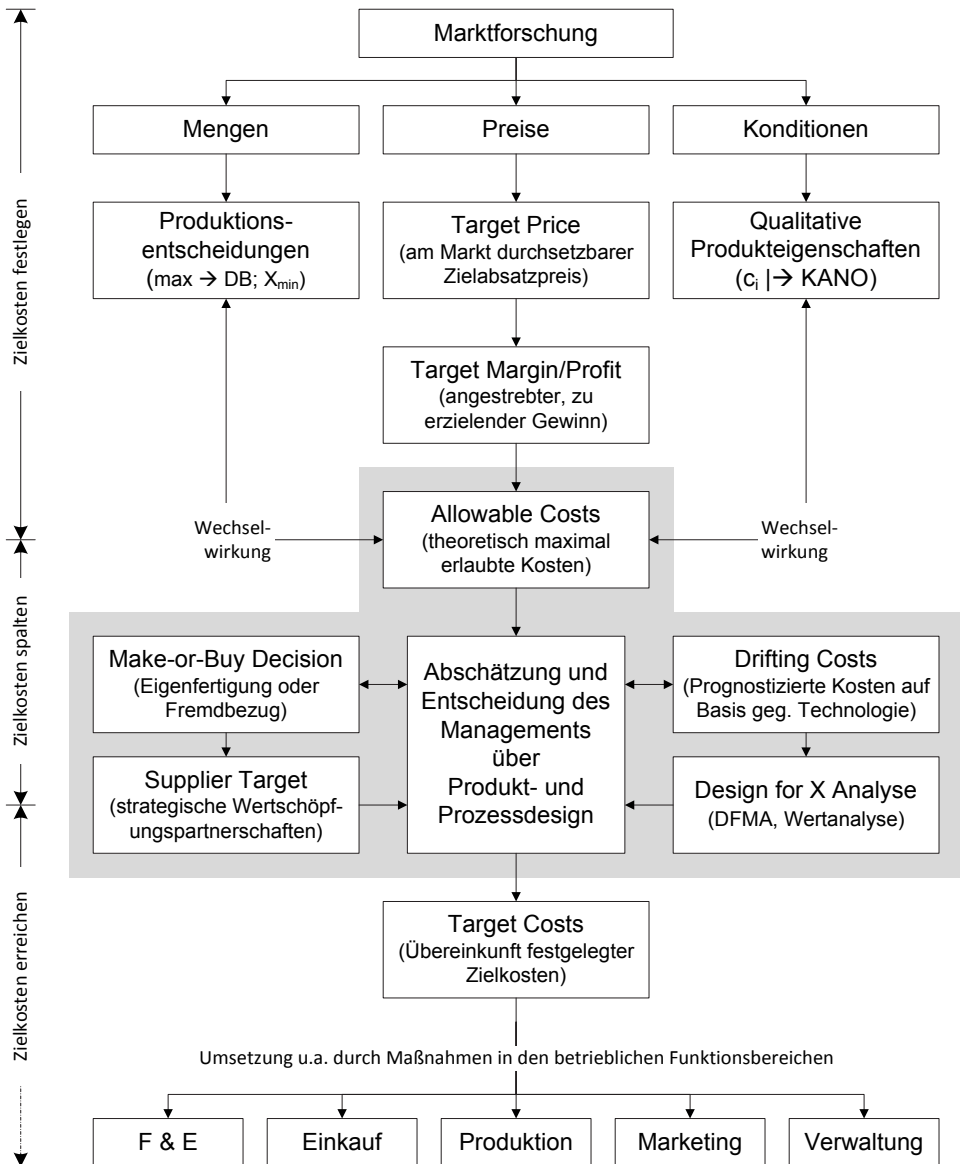


Abbildung 2.27: Allgemeine Phasen und Einflussbereiche des Zielkostenmanagements

2.3.3 Grundlagen der Entscheidungstheorie

2.3.3.1 Notwendigkeit und Begriff der Entscheidung

Gerade zu Beginn des Innovationsprozesses aber auch in den frühen Phasen der Produktentwicklung sind eine Vielzahl von Entscheidungen zu treffen, die gravierende Einflüsse auf die Marktakzeptanz, die Qualität und den Kostenverlauf zukünftiger Produkte haben. Nach SCHUH (2001, S. 183) kann unter einer Entscheidung „eine bewusste, für das Handeln bindende Wahl einer Handlungsalternative aus einer Menge von mindestens zwei verschiedenen, sich gegenseitig ausschließenden, zweckorientierten Möglichkeiten zur Lösung von Problemen“ verstanden werden. Die Auswahl einer optimalen Alternative unter Verwendung eines oder mehrerer zweckmäßiger Entscheidungskriterien wird ferner als *rationale Entscheidung* bezeichnet (SCHUH 2001, S. 159ff.).

Die Entscheidungstheorie ist derjenige Zweig der angewandten Wahrscheinlichkeitstheorie, der sich mit der Modellierung von Entscheidungsproblemen befasst. Es kann zwischen präskriptiver und deskriptiver Entscheidungstheorie unterschieden werden. Die präskriptive Entscheidungstheorie ist eine normative Entscheidungslogik zur Entwicklung von Strategien und Methoden um Menschen bei der Entscheidungsfindung analytisch zu unterstützen. Es werden folglich rationale Entscheidungsprobleme unter Berücksichtigung der kognitiven Fähigkeiten des Menschen behandelt. Die deskriptive Entscheidungstheorie hingegen versucht Entscheidungen durch statistische Methoden und empirische Beobachtung und Beschreibung des tatsächlichen Verhaltens herauszufinden (SCHUH 2001, S. 203f.).

Die übergeordnete Aufgabe der Entscheidungstheorie ist es, die Entscheidungsträger in ihrem Entscheidungsfindungsprozess durch Bereitstellung von Modellen, Methoden und problembezogenen Daten zu unterstützen. Abbildung 2.28 veranschaulicht einen allgemeinen Entscheidungsfindungsprozess.

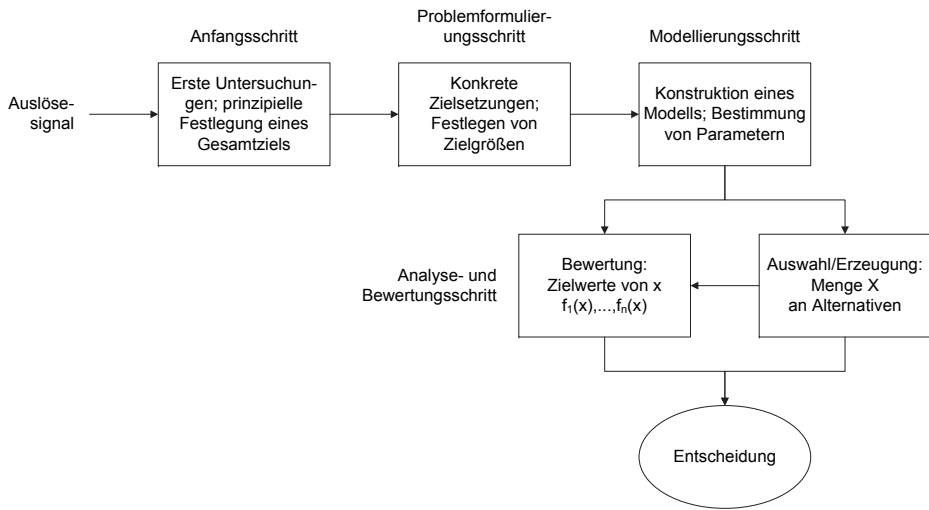


Abbildung 2.28: Entscheidung als fünfstufiger Prozess nach ZIMMERMANN UND GUTSCHE (1991, S. 24)

Da in der strategischen Produktplanung Entscheidungen hinsichtlich Machbarkeit, Nutzenversprechen, Produktkonzept und -umsetzung von Menschen als Einzel- oder Gruppenentscheid getroffen werden, sind die im Rahmen dieser Arbeit analysierten und angewandten Methoden vorwiegend präskriptiven Charakters. Grundsätzlich lassen sich gemäß Tabelle 2.3 Entscheidungsprobleme anhand unterschiedlicher Dimensionen typisieren.

Typisierung von Entscheidungsproblemen	
Zielsetzung	ein Ziel, mehrere Ziele
Informationsgehalt	Sicherheit, Risiko, Ungewissheit, Unschärfe
Umfang	einstufig, mehrstufig
Zeitbezug	statisch, dynamisch
Aktionsraum	diskret, stetig
Messbarkeit	nominal, ordinal, kardinal
Akteur	Einzelentscheid, Gruppenentscheid

Tabelle 2.3: Typisierung von Entscheidungsproblemen

Von besonderem Interesse ist der Informationsgehalt bzw. Umweltzustand der Entscheidungssituation. Er bildet den Zustandsraum für Bewertungen von potentiellen Entscheidungsträgern und kann gemäß Abbildung 2.29 dargestellt werden. Die Betrachtung von Unschärfe (Fuzzy-Sets) wurde ergänzend zur klassischen Entscheidungstheorie in das Klassifikationsschema integriert.

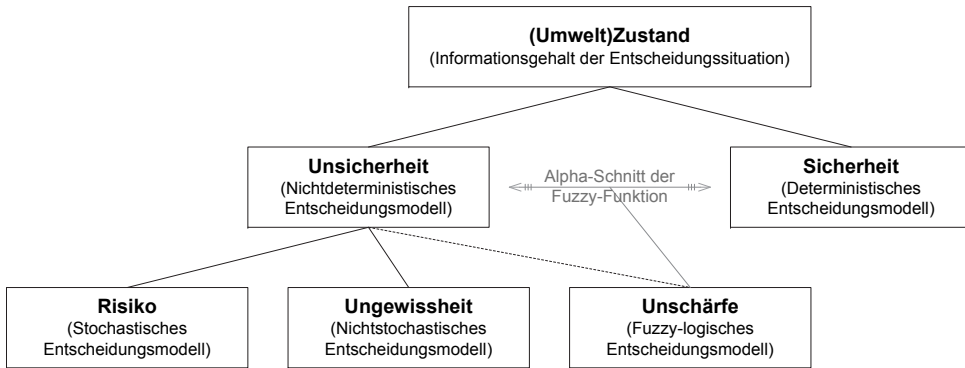


Abbildung 2.29: Informationsgehalt bzw. Umweltzustände von Entscheidungsproblemen

Das Ergebnis des Entscheidungsprozesses wird im Anschluss durch die Zuordnung eines Wertes für die Kombination von Zustandsraum mit möglichen Handlungsalternativen über eine Ergebnisfunktion abgebildet. Jedoch wird es oft vorkommen, dass der Umweltzustand des Entscheidungsproblems nicht sicher ist. Dies liegt zum einen daran, dass weder Erfahrungswerte noch Wahrscheinlichkeiten für Bewertungszustände bekannt sind. Andererseits werden beispielsweise bei der Auswahl von Produktkonzepten Entscheidungen getroffen, deren Ausmaß dann erst in wesentlich späteren Phasen zum tragen kommt.

Ferner werden verbale Ausdrücke genutzt, um qualitative Kriterien und Ausprägungen zu beschreiben und zu erklären. Um verbale Ausdrücke formal greifbar zu machen, wurde in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften an mathematischen Modellen geforscht, mit deren Hilfe Entscheidungen transparent dargestellt werden können. So stellt die Theorie der unscharfen Mengen ein mathematisches Verfahren dar, um das zumeist unsichere menschliche Urteilsvermögen, welches eine exakte numerische Bewertung kaum vermag, durch geeignete Konstrukte geschickt zu modellieren und prozessierbar zu machen (BOGASCHESKY U. A. 2010, S. 32). Grundsätzlich kann unter Verwendung der Theorie unscharfer Mengen die Prägnanz einer subjektiven Bewertung in abgeschwächter aber gleichbedeutender Weise formal ausgedrückt werden.

2.3.4 Modellierung von Unschärfe

Jeder Entscheider hat eine individuelle Vorstellung über die Beschreibung und Bewertung mit verbalen Aussagen – die Aussagen sind somit unscharf. Zur mathematischen Modellierung von Ungenauigkeiten und Unsicherheiten führte ZADEH (1965) das Modell der Fuzzy Mengen als Erweiterung der binärlogischen Mengenlehre ein

(BOGASCHEWSKY U. A. 2010, S. 33). Mit unscharfen Mengen bzw. Fuzzy Mengen können Ungenauigkeiten wie beispielsweise qualitative Wertungen mathematisch formuliert werden, indem Intervalle gebildet werden, mit deren Hilfe diese Ungenauigkeiten formal eingegrenzt und über Zugehörigkeitsfunktionen beschrieben werden können. Für ein einheitliches Verständnis wird zunächst die Definition einer unscharfen Menge nach ZADEH (1965, S. 339ff) und BOGASCHEWSKY U. A. (2010, S. 33) gegeben.

Definition 2.6 *Es sei X eine Grundmenge mit x Elementen, die in Bezug auf eine unscharfe Aussage auf Zugehörigkeit zu bewerten ist. So ist die Menge \tilde{a} der Wertepaare $(x; \mu_{\tilde{a}}(x))$ mit $\tilde{a} = \{(x; \mu_{\tilde{a}}(x)) \mid x \in X, \mu_{\tilde{a}}(x) \in [0, 1]\}$ eine unscharfe Menge auf X . Dabei gibt $\mu_{\tilde{a}}$ den Grad der Mitgliedschaft eines Elements $x \in X$ zur Menge \tilde{a} an und wird ferner als Zugehörigkeitsfunktion bezeichnet, die die Abbildung $\mu_{\tilde{a}} : X \rightarrow [0, 1]$ beschreibt.*

Bedeckt man den Definitionsbereich eines Elements mit Fuzzy Mengen, die eine umgangssprachliche Bedeutung besitzen (Semantik), erhält man eine linguistische Variable. Je nach gewählter Fuzzy Funktion wird die linguistische Variable durch einen transponierten Vektor mit unterschiedlicher Anzahl an Werten dargestellt. ZADEH (1965) und BUCKLEY (1985) beschreiben in ihren Ausführungen verschiedene Fuzzy Funktionen, die in Abbildung 2.30 graphisch dargestellt wurden.

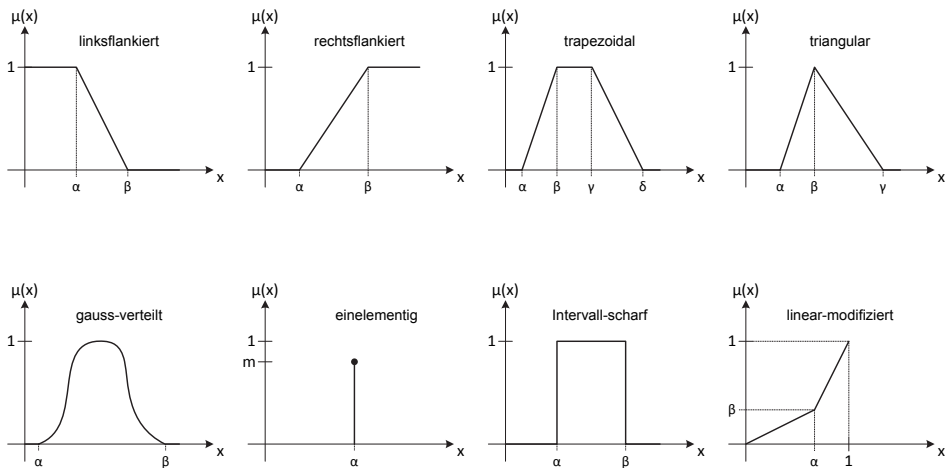


Abbildung 2.30: Grafische Veranschaulichung verschiedener Abbildungsvorschriften unscharfer Mengen

3 Stand in Forschung, Wissenschaft und Technik

In den vorherigen Kapiteln wurden Stellenwert und Einflussbereiche der Produktplanung sukzessive über grundlegende Aufgaben und Ziele im Innovations- und Produktlebenszyklusmanagement dargestellt. Ferner wurde der Prozess der Produktkonzeption erläutert und dabei insbesondere die Produktkonzeptauswahl als erfolgskritischer Entscheidungsprozess unterstrichen. Abschließend wurde das Zielkostenmanagement als moderner Managementrahmen für Produktinnovationen vorgestellt und konzeptionelle Grundlagen mit Bezug auf Entscheidungsprobleme gegeben. Die Vorstellung, Analyse und Bewertung von Methoden der Entscheidungstheorie, die sich für die Operationalisierung der Auswahl von Produktkonzepten für die anschließende Produktentstehung eignen, ist Gegenstand dieses Kapitels. Zunächst werden Verfahren der Entscheidungstheorie aus Praxis und Wissenschaft erläutert und Kriterien erhoben, anhand derer die Eignung der vorgestellten Methoden im Kontext der Produktkonzeptauswahl unterschieden werden kann. Den Abschluss bildet eine Bewertung selektiv vorgestellter Verfahren.

3.1 Einordnung von Verfahren zu Unterstützung von Entscheidungen

In der wissenschaftlichen Fachliteratur werden diverse Methoden vorgestellt, deren Einsatzgebiet und Klassifizierung in Anlehnung an die Typisierung von Entscheidungsproblemen aus Tabelle 2.3 auf Seite 55 beschrieben werden kann. Dabei wird zunächst zwischen einkriteriellen Verfahren und mehrkriteriellen Verfahren unterschieden. Im Gegensatz zu mehrkriterieller Entscheidungsfindung zielen einkriterielle Verfahren auf die Entscheidungsfindung unter Berücksichtigung eines einzelnen Aspekts, wie beispielsweise Kosten ab. Mehrkriterielle bzw. multikriterielle Verfahren berücksichtigen hingegen die Einbeziehung und Modellierung unterschiedlicher Kriterien und werden ferner in multiobjektive und multiattributive Verfahren unterteilt

(JAHN 2009, S. 53f). Während multiobjektive Verfahren die Ausrichtung einer Alternative auf bestmögliche Erfüllung eines vorgegebenen Satzes von mehreren Zielen beschreibt, befassen sich multiattributive Verfahren mit der Bewertung mehrerer Alternativen in Bezug auf verschiedene Kriterien mit dem Ziel, die beste Alternative auszuwählen.

Da Produktkonzepte nicht nur Kostenaspekte, sondern eine Vielzahl weiterer Kriterien wie beispielsweise funktionaler oder emotionaler Kundennutzen, Leistungsdaten und Zielmarktgegebenheiten beinhalten, kann die Produktkonzeptauswahl als mehrkriterielles Entscheidungsproblem aufgefasst werden (KATZ 2010, S. 80). Des Weiteren werden beispielsweise Mindestanforderungen aus Kundensicht, designspezifische Toleranzbereiche oder auch parallel entwickelte und miteinander konkurrierende Konzeptalternativen in Forschung und Entwicklung erarbeitet, so dass die Entscheidungssituation ferner auf multiattributive Verfahren eingegrenzt werden kann (ROHR 2004, S. 32).

Weiterhin lassen sich die Verfahren hinsichtlich der Anwendbarkeit in Bezug auf die Datenerhebung, -aggregation und -vergleichbarkeit in kompensatorische und nicht-kompensatorische Verfahren, sowie in Outranking bzw. Prävalenzverfahren unterteilen (JAHN 2009, S. 53ff). Grundlage hierfür ist das Verständnis der Existenz verschiedener Skalenniveaus.

Exkurs zu Skalenniveaus:

- Nominalskalen zeichnen sich dadurch aus, dass sich Daten bzw. Elemente zwar unterscheiden, sich jedoch in keine Rangfolge überführen lassen. Sie sind somit nicht vergleichbar im Sinne von Wertigkeit. Beispiele wären die Elemente *Mann* und *Frau* der Klasse *Mensch*, über die nominal keine wertende Rangfolge abbildbar ist.
- Auf Ordinalskalen können Präferenzen abgebildet werden. Präferenzen erlauben eine Rangfolge zwischen zwei oder mehreren Elementen durch definierte Präferenzrelationen. Die Rangfolge ist dabei qualitativer Natur und beschreibt beispielsweise, dass *schwarze* oder *silberne Autos* generell *orange* farbigen *Autos* bevorzugt werden könnten. Es gelten dabei folgende Operationen:
 - $e_1 \approx e_2$ beschreibt die Indifferenz¹ der Elemente e_1 und e_2
 - $e_2 \succ e_3$ beschreibt die schwache Präferenz von Element e_2 gegenüber e_3
 - $e_3 \succ e_4$ beschreibt die starke Präferenz von Element e_3 gegenüber e_4

¹ Die Indifferenzrelation beschreibt die Gleichwertigkeit zweier oder mehrerer Elemente und damit auch die potentielle Austauschbarkeit dieser.

Unter Berücksichtigung allgemein geltender Regeln der mathematischen Algebra folgt daher auch $e_1 \succ e_4$. Über Ordinalskalen kann zwar ausgedrückt werden dass z.B. der Autor *Äpfel* lieber mag als *Birnen*, aber es kann nicht gefolgert werden, dass für ihn dann ein *Apfel* doppelt so viel wert ist wie eine *Birne*.

- Kardinal mess- und skalierbare Daten lassen sich quantitativ miteinander vergleichen und exakt in eine Rangfolge setzen. Beispielsweise wäre in Bezug auf das Merkmal Motorleistung ein *Golf R36* mit Merkmalsausprägung 240 PS gegenüber einem *Golf 1.6* mit Merkmalsausprägung 120 PS exakt *doppelt* bzw. *2 mal* so leistungsstark.

Prävalenzverfahren basieren auf der Annahme, dass Entscheidungsträger aufgrund ihrer unterschiedlichen subjektiven Auffassung oft nicht in der Lage sind eine exakte Unterscheidung von Alternativen zu treffen. Daher wird bei dieser Klasse, wie bei allen Verfahren, die qualitative Bewertungen erlauben, auf die Modellierung von Präferenzrelationen zurückgegriffen. Sofern eine Alternative mindestens so gut wie im direkten Vergleich zu einer anderen Alternative angesehen werden kann, spricht man von einer schwachen Präferenz, die auch als Outranking-Beziehung bezeichnet wird. Zusätzlich erlauben diese Verfahren die Modellierung von Unvergleichbarkeit in denjenigen Fällen, in denen keine ordinal skalierte Beziehung angegeben werden kann (LIFKA 2009, S. 115f). Im Gegensatz zu kompensatorischen Verfahren existiert keine gewöhnliche Aggregationsfunktion, die den Entscheidungsträgern eine formal berechnete Rangfolge über Alternativen ausgibt. Vielmehr entsteht eine Menge an grob selektierten Alternativen, die teilweise untereinander in keine Rangfolge gesetzt werden können, jedoch alle anderen Alternativen gesamtheitlich dominieren. Kompensatorische Verfahren zeichnen sich hingegen dadurch aus, dass die Rangfolge von Alternativen über wertmäßige Ausgleiche in Bezug auf die Erfüllung einzelner Kriterien ausgedrückt werden kann. Dies wird über eine Aggregationsfunktion abgebildet, die es insgesamt betrachtet ermöglicht, dass besonders gut erfüllte Kriterien etwas schlechter erfüllte Kriterien kompensieren, d.h. aufwiegen können (KATZ 2010, S. 81f). Bei nicht-kompensatorischen Verfahren erfolgt kein derartiger Wertausgleich. Keine oder eine nur unzureichende Erfüllung eines Kriteriums von einer beliebigen Alternative führt sodann zur Eliminierung dieser. Insofern kann auch von K.O.²-Kriterien gesprochen werden. Aus Abbildung 3.1 geht ein Überblick und eine Klassifikation von Verfahren zur Unterstützung von Entscheidungen hervor.

² K.O. steht für Knock Out

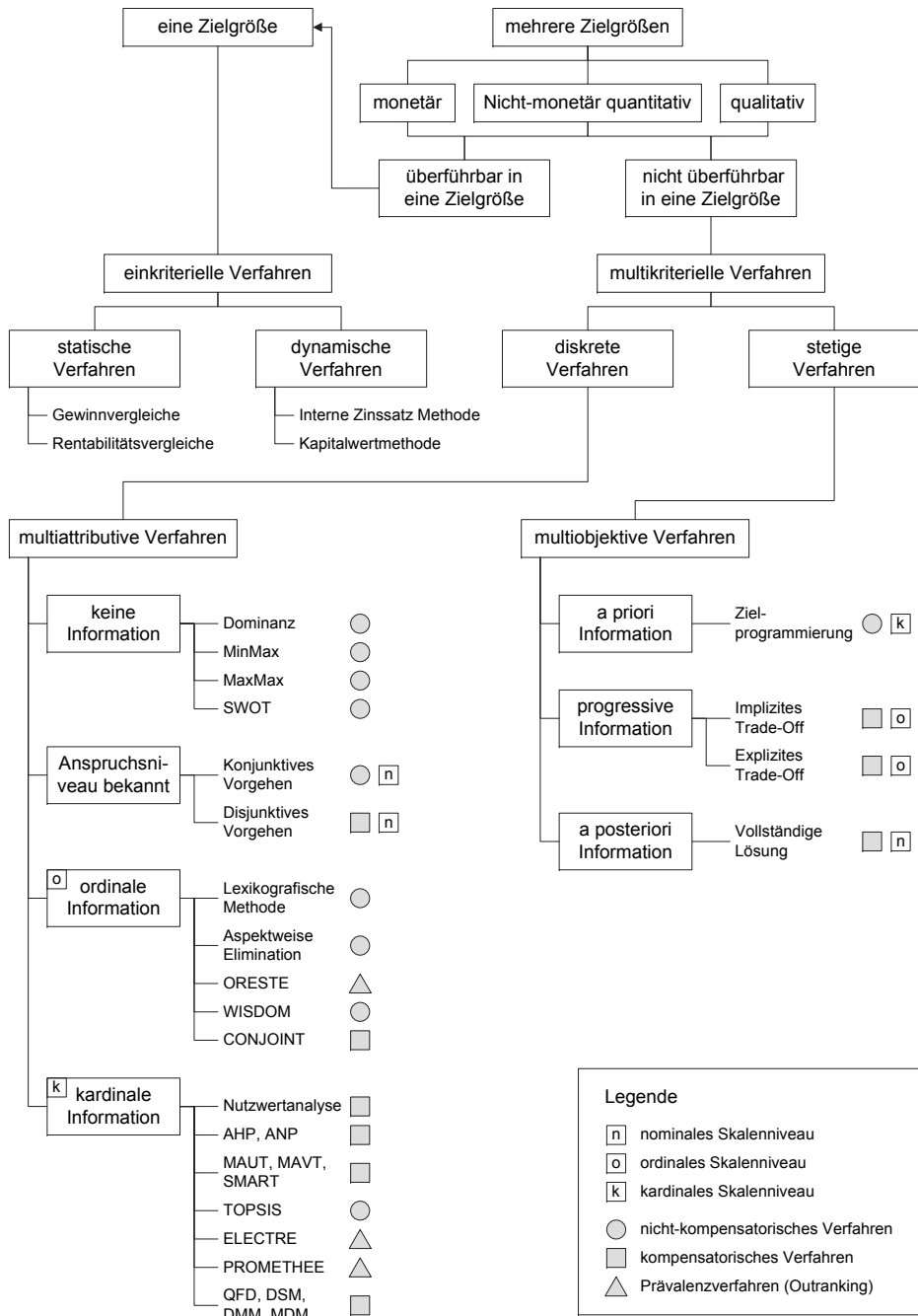


Abbildung 3.1: Verfahren zur Unterstützung von Entscheidungen in Erweiterung zu SCHUH (2001, S. 256)

3.2 Analyse und Bewertung ausgewählter Verfahren

Um dem Bedarf methodischer Unterstützung bei der strategischen Planung von Produkten gerecht zu werden, wurden in Wissenschaft und Industrie eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren zur Entscheidungsunterstützung diskutiert. Im vorherigen Kapitel erfolgte bereits eine Eingrenzung dieser auf multiattributive Verfahren (MADM³), da nur diese den Anforderungen im Kontext der Auswahl praxisrelevanter Produktkonzepte gerecht werden.

3.2.1 Eignungskriterien für die Auswahl von Produktkonzepten

Produktkonzepte müssen sich in Bezug auf eine Vielzahl unterschiedlicher Kriterien untereinander messen lassen. Beispielsweise müssen ökonomische Kriterien des Zielmarktes, Mindestanforderungen aus Kundensicht und Mindestanforderungen hinsichtlich der Prozesssicherheit in Bezug auf die Qualität der Herstellung modellierbar und über sämtliche Konzeptalternativen bewertbar sein. Da die Auswahl von Produktkonzepten ein komplexes Entscheidungsproblem darstellt, sind auch die Kriterien an multiattributive Verfahren der präskriptiven Entscheidungstheorie komplexer Natur. Nachfolgend werden diejenigen entscheidungsrelevanten Kriterien definiert, die zumindest ansatzweise erfüllt werden sollten, damit sich das Verfahren zur Auswahl von Produktkonzepten eignet.

1. Unterschiedlich hohe relative Bedeutung der Kriterien:

Diese Forderung zielt auf die Wertbarkeit von Kriterien ab. Es muss innerhalb eines Verfahrens die Möglichkeit gegeben sein, den Kriterien gemäß der Bewertung der Entscheidungsträger unterschiedlich hohe Bewertungen zuzusprechen. Sofern es möglich ist, Kriterien relativ in Bezug zu einander zu setzen, muss das entscheidungstheoretische Verfahren die durch den bewertenden Experten ausgedrückte Relation der Bewertungsobjekte (Kriterien) berücksichtigen können.

2. Modellierung eines gemischt quantitativ-qualitativen Problems:

Das Verfahren muss in der Lage sein, quantitative und qualitative Kriterien und -ausprägungen zu modellieren und zu bewerten. Da im Rahmen der Auswahl von Produktkonzepten sowohl qualitative als auch quantitative Kriterien einbezogen werden, gilt es darüber hinaus, eine einheitlich Basis zu finden um auf Grundlage dieser die Bewertungen in Relation zu setzen und somit gesamtlich hinsichtlich der Auswahl eines optimalen Konzeptes vergleichbar zu machen.

³ MADM steht für Multi-Attributive Decision Making

3. Berücksichtigung von Abhängigkeiten und Feedback:

Im Rahmen der Konzeption von Produkten können sowohl Abhängigkeiten zwischen domänenspezifischen Kriterien wie beispielsweise innerhalb der Entwicklung auftreten, als auch domänenübergreifend wie beispielsweise zwischen Entwicklung und Produktion. Ebenso können die Abhängigkeiten bidirektional sein, sodass Kriterien gegenseitig miteinander wechselwirken, was unter Feedback verstanden werden kann. Ein geeignetes Verfahren sollte daher Abhängigkeiten und Feedbackschleifen in der Modellbildung des Entscheidungsproblems erlauben.

4. Aggregation von Entscheidungen mehrerer unabhängiger Bewerter:

Produktkonzepte werden im allgemeinen von mehreren Experten aus verschiedenen organisatorischen Funktionsbereichen wie beispielsweise Forschung und Entwicklung, Fertigung und Marketing evaluiert. Das Verfahren muss einerseits die Möglichkeit bieten, die unterschiedlichen Expertenbewertungen zu einer Gesamtbewertung zu bündeln. Andererseits sollte den Experten auch die Möglichkeit gegeben werden keine Bewertung zu einem speziellen Kriterium abzugeben zu können. Die Bewertung eines technischen Kriteriums durch einen Marketingmitarbeiter wäre ein solches Szenario.

5. Berücksichtigung unscharfer Bewertungen:

Im Rahmen der Aggregation der bewerteten Kriterien müssen die relativen Bedeutungen quantifiziert werden. Produktkonzepte zeichnen sich durch ein gewisses Maß an Neuigkeit bzw. Innovation aus, weswegen bei der Bewertung von Unbekanntem immer unvollständiges Wissen vorliegt. Um daraus resultierende Ungewissheiten zu berücksichtigen muss das Entscheidungsverfahren unscharfe Bewertungen erlauben.

6. Prüfung konsistenter Bewertungen:

Getreu dem Motto »Irren ist menschlich« kann es vorkommen, dass Experten aufgrund einer Vielzahl unterschiedlicher Kriterien eine inkonsistente Bewertung abgeben. Um dies zu vermeiden muss das Verfahren zunächst überprüfen, ob die Bewertungen transitiv sind. Wenn beispielsweise bei der relativen Bedeutung der Kriterien K_i gilt, dass $K_1 \succ K_2$ und $K_2 \succ K_3$ so muss $K_1 \succ K_3$ gelten. Darüber hinaus muss das Verfahren Vergleichsoperationen bieten um qualitative Expertenbewertungen konsistent, d.h. in Relation zu weiteren Expertenbewertungen prüfen zu können.

3.2.2 Vorstellung von Verfahren aus Praxis und Wissenschaft

In der ingenieurwissenschaftlichen Literatur werden im Kontext der Bewertung und Auswahl von Produktkonzepten unterschiedliche Verfahren diskutiert. Am häufigsten werden Scoringmodelle, sogenannte Punktwertverfahren beschrieben, da ihre Anwendung relativ einfach ist (ZANGEMEISTER 1976, S. 45ff). Punktwertverfahren bieten eine systematische Vorgehensweise zum Bewerten von Alternativen, wobei diejenige Alternative gewählt wird, die über die Summe aller Kriterienbewertungen den höchsten Punktwert (*high-score*) erzielt. Werden die Gewichtungen der jeweiligen Kriterien und Subkriterien zueinander auf das Intervall $[0, 1]$ normiert, so entsprechen diese Verfahren der Nutzwertanalyse (NWA) (GELDERMANN 2006, S. 125). Weiterführende Informationen über die Anwendung in der ingenieurbetrieblichen Praxis, sowie vorgeschlagene Gewichtungen zur ökonomisch-technischen Konzeptbewertung mittels Scoringmodellen und Nutzwertanalysen gehen u.a. aus den Ausführungen von PONN UND LINDEMANN (2008, S. 113ff), GAUBINGER U. A. (2009, S. 109), LENNERTZ (2010, S. 88f), HERRMANN UND HUBER (2009, S. 160ff), ALBERS UND HERRMANN (2007, S. 402ff), EHRENSPIEL (2007, S. 73ff) sowie aus den Normen VDI 2220 und VDI 2225 hervor.

Neben diesen Verfahren werden auch die Conjoint Analyse, Quality Function Deployment (QFD) und der Analytische Hierarchie Prozess (AHP) als Bewertungsverfahren zur Entscheidungsfindung genannt, wobei die Autoren den Einsatz dieser Verfahren vorwiegend der Marktforschung unterstellen (PAHL UND BEITZ 2007, S. 118), (EHRENSPIEL 2007, S. 60). SEIDEL (2005, S. 89ff) hat die Anwendbarkeit eines dieser Verfahren erkannt und das Quality Function Deployment als Grundlage seiner Arbeit zu methodischer Produktplanung verwendet. Es muss jedoch kritisch angemerkt werden, dass die dem QFD zu Grunde liegende Bewertungslogik einer Nutzwertanalyse entspricht. Ferner stellt QFD eine Spezialfall einer Multi-Domain-Matrix (MDM) dar, die sich aus Design-Struktur-Matrizen (DSM) und Domain-Mapping-Matrizen (DMM) zusammensetzt und somit strukturelle Abhängigkeiten modellierbar macht (MAURER 2007, S.61).

Nach Meinungen von PAHL UND BEITZ (2007, S. 166) ist die Nutzwertanalyse das wichtigste Bewertungsverfahren für konkurrierende Konzepte in Produktplanung und -entwicklung. Der Autor dieser Arbeit stimmt der Aussage auf Basis seiner Projekterfahrung mit und bei Industrieunternehmen insofern zu, dass wenn in der betrieblichen Praxis eine systematische Entscheidungsfindung betrieben wird, diese fast ausschließlich auf Basis der Nutzwertanalyse durchgeführt wird. Darüber hinaus werden häufig unternehmensspezifische Modifikationen und Standardisierungen in der Bewertungslogik vorgenommen, wie beispielsweise bei einem großen namhaften

deutschen Automobilhersteller, der die Punktwerte (0 – 5 – 8 – 10) für Kriterienbewertungen intern eingeführt hat. Zusätzlich zu den bisher genannten Verfahren, die aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht und bei produzierenden Unternehmen bereits Anwendung finden, existieren eine Vielzahl weiterer Verfahren, deren wichtigste Vertreter nachfolgend ausführlicher beschrieben werden.

3.2.2.1 Nutzwertanalyse (NWA)

Die Nutzwertanalyse wurde ursprünglich in den Vereinigten Staaten konzipiert und im Rahmen seiner Dissertation von ZANGEMEISTER (1971) in Deutschland eingeführt. Ausgangspunkt ist der Aufbau eines Zielsystems zur Lösung eines Entscheidungsproblems, das aus einer definierten Anzahl von Bewertungskriterien besteht, anhand derer verschiedene Alternativen gemessen werden können (HARTH 2006, S. 49). Bei der Nutzwertanalyse werden somit Alternativen auf ein multidimensionales Kriteriensystem entsprechend der Präferenzen des Entscheidungsträgers abgebildet. Die einzelnen Kriterien werden mit einem Wert belegt, der aus Sicht des Entscheidungsträgers die Wichtigkeit der Kriterien zur Zielerreichung beschreibt (ZANGEMEISTER 1976, S. 45ff). Im Anschluss erfolgt die Beurteilung aller Alternativen für jedes Kriterium, wobei qualitative Beurteilungen über eine Skalentransformation kardinalisiert werden. Dabei ist es zweckmäßig, für qualitative Ausprägungen den Wert einer Alternative in Bezug auf die Erfüllung eines Kriteriums anhand eines festgelegten Wertebereichs vorzunehmen. Beispielhaft könnte für das Ziel *Autokauf* ein Beispielkriterium *Design* mit *sehr schön* bewertet werden, wobei dieser verbale Ausdruck auf einer 7 – Punkte – Skala mit dem Wert 6 belegt werden könnte. Bei einem weiteren Beispielkriterium *Kofferraumvolumen* kann direkt der quantitative Wert, z.B. 300 Liter eingetragen werden. Im Anschluss können partielle Teilnutzenwerte berechnet werden, die in ihrer Addition den Gesamtnutzen von Alternativen in Bezug auf den Kriterienkatalog ergeben (ROHR 2004, S. 38f).

Das Ziel der Nutzwertanalyse ist es, für jede Alternative a_i einen Gesamtnutzenwert $v(a_i)$ zu berechnen, wobei diejenige Alternative mit dem optimalen Gesamtnutzenwert auszuwählen ist (KATZ 2010, S. 82). Ferner muss bei der Kriterienbewertung darauf geachtet werden, ob die Kriterien positiv oder negativ miteinander korrelieren und sich dementsprechend die Bewertungslogik verändert. Als Beispiel dafür könnten für das Ziel eines Autokaufs die Kriterien *Leistung* (positiv) und *Verbrauch* (negativ) genannt werden.

$$v(a_i) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot k_j(a_i) \tag{3.1}$$

Notationen:

$A = a_1, \dots, a_m$ ist die Menge an Alternativen $a_i, \forall i = 1 \dots m$

$K = k_1, \dots, k_n$ ist die Menge an Kriterien bzw. Zielgrößen $k_j, \forall j = 1 \dots n$

w_j ist der Gewichtungsfaktor bzw. Skalenwert des Kriteriums j mit $w_j \geq 0$ und $\sum_{j=1}^n w_j = 1$

$k_j(a_i)$ ist der für die Alternative a_i ermittelte partielle Nutzwert bzw. Zielerfüllung in Bezug auf Kriterium k_j

$v(a_i)$ ist der additiv berechnete Gesamtnutzwert von Alternative a_i

Dieses Prinzip lässt sich beliebig ineinander verschachteln, so dass es möglich ist, Hierarchien über Subkriterien abzubilden. In diesem Fall werden ebenenweise die Subkriterien normiert und mit dem ihnen übergeordneten Kriteriengewicht multipliziert. Aus Tabelle 3.1 geht der prinzipielle Aufbau und die Bewertung einer einstufigen Nutzwertanalyse hervor.

		partielle Nutzwerte je Alternative a_i			
	Gewicht	Alternative a_1	Alternative a_2	...	Alternative a_m
Kriterium k_1	w_1	$w_1 \cdot k_1(a_1)$	$w_1 \cdot k_1(a_2)$	...	$w_1 \cdot k_1(a_m)$
Kriterium k_2	w_2	$w_2 \cdot k_2(a_1)$			
...
Kriterium k_n	w_n				$w_n \cdot k_n(a_m)$
	$\Sigma_j = 1$	$v(a_1) = \Sigma w_j k_j(a_1)$	$v(a_2) = \Sigma w_j k_j(a_2)$	...	$v(a_m) = \Sigma w_n k_n(a_m)$
		Gesamtnutzwerte je Alternative a_i			

Tabelle 3.1: Prinzipieller Aufbau und Berechnung im Rahmen der Nutzwertanalyse

Die einzelnen Ablaufschritte der Nutzwertanalyse nach PAHL UND BEITZ (2007) und ihre Unterschiede in der Anwendung zur Vorgehensweise nach VDI 2225 Richtlinie sind in Tabelle 3.2 zusammengefasst.

Reihen- folge	Teilschritt	Nutzwertanalyse	VDI-Richtlinie 2225
1	<i>Erkennen</i> der Ziele bzw. <i>Bewertungskriterien</i> , die zur Beurteilung der Lösungsvarianten herangezogen werden müssen unter Verwenden der Anforderungsliste und einer Leitlinie	Aufstellen eines hinsichtlich Abhängigkeiten und Komplexitäten abgestuften Zielsystems (Zielhierarchie) auf der Grundlage der Anforderungsliste und weiterer allgemeiner Bedingungen	Zusammenstellen wichtiger technischer Eigenschaften sowie von Wünschen und Mindestforderungen der Anforderungsliste
2	<i>Untersuchen</i> der Bewertungskriterien hinsichtlich ihrer <i>Bedeutung für den Gesamtwert</i> der Lösungen. Ggf. Festlegen von Gewichtungsfaktoren	Stufenweises Gewichten der Zielkriterien (Bewertungskriterien) und ggf. Ausscheiden unbedeutender Kriterien	Festlegen von Gewichtungsfaktoren nur bei stark unterschiedlicher Bedeutung der Bewertungskriterien
3	<i>Zusammenstellen</i> der für die einzelnen Lösungsvarianten zutreffenden <i>Eigenschaftsgrößen</i>	Aufstellen einer Zielgrößenmatrix	Nicht generell vorgesehen
4	<i>Beurteilung</i> der Eigenschaftsgrößen <i>nach Wertvorstellungen</i> (0–10 oder 0–4 Punkte)	Aufstellen einer Zielwertmatrix mit Hilfe einer Punktbewertung oder mit Wertfunktionen; 0–10 Punkte	Punktbewertung der Eigenschaften; 0–4 Punkte
5	<i>Bestimmen des Gesamtwerts</i> der einzelnen Lösungsvarianten, in der Regel unter Bezug auf eine Ideallösung (Wertigkeit)	Aufstellen einer Nutzwertmatrix mit Berücksichtigung von Gewichten; Ermitteln von Gesamtnutzwerten durch Summenbildung	Ermitteln einer Technischen Wertigkeit durch Summenbildung ohne oder mit Berücksichtigung von Gewichten unter Bezug auf eine Ideallösung; ggf. Ermitteln einer Wirtschaftlichen Wertigkeit aufgrund von Herstellkosten.
6	<i>Vergleichen der Lösungsvarianten</i>	Vergleichen der Gesamtnutzungswerten	Vergleichen der Technischen und Wirtschaftlichen Wertigkeiten; Aufstellen eines s-(Stärke)-Diagramms.
7	<i>Abschätzen von Beurteilungsunsicherheiten</i>	Abschätzung von Zielgrößensteuerungen und Nutzwertverteilungen	Nicht explizit vorgesehen
8	<i>Suchen nach Schwachstellen</i> zur Verbesserung ausgewählter Varianten	Aufstellung von Nutzwertprofilen	Feststellen der Eigenschaften mit geringer Punktzahl

Tabelle 3.2: Teilschritte und Unterschiede von Nutzwertanalyse und VDI-Richtlinie 2225 nach PAHL UND BEITZ (2007, S. 182)

3.2.2.2 Multiattributive Nutzentheorie (MAUT)

Die multiattributive Nutzentheorie (Multi Attributive Utility Theory) ist eine Erweiterung der Nutzwertanalyse, wobei im Unterschied zur NWA die partiellen Nutzwerte mit Hilfe von Wertefunktionen ermittelt werden. Im Gegensatz zur Bewertung durch einen festen Wert ermöglicht eine ordinale Transformationsfunktion die Bewertung anhand verschiedener Güteklassen (KATZ 2010, S. 83). Eine Güteklasse ist ein verbaler Ausdruck, der den Erfüllungsgrad eines Kriterium ordinal beschreibt. Das Entscheidungsproblem wird wie bei der NWA ebenfalls hierarchisch strukturiert, wobei die Aggregation über die Güteklassen durch kriterienspezifische, partielle Nutzenfunktionen erfolgt (ROHR 2004, S. 36f).

Die Voraussetzung bei der Anwendung der MAUT ist die Kenntnis der partiellen Nutzenfunktionen unter Berücksichtigung der jeweiligen Kriterienausprägungen. Da der MAUT eine Normierung der partiellen Nutzenfunktionen auf das Kardinalintervall $[0, 1]$ zu grunde liegt, kann eine Veränderung der Gewichtungen bei Variation der Güteklassen auftreten (ROHR 2004, S. 38). Die Berechnung des Gesamtnutzens bei Anwendung der multiattributiven Nutzentheorie unter Kenntnis der partiellen Nutzenfunktionen kann analog zu formalen Beschreibung der Nutzwertanalyse gemäß Gleichung 3.1 wie folgt angegeben werden:

$$v(a_i) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot v_j(k_j(a_i)) \quad (3.2)$$

Notationen:

$A = a_1, \dots, a_m$ ist die Menge an Alternativen $a_i, \forall i = 1 \dots m$

$K = k_1, \dots, k_n$ ist die Menge an Kriterien bzw. Zielgrößen $k_j, \forall j = 1 \dots n$

w_j ist der Gewichtungsfaktor bzw. Skalenwert des Kriteriums j mit $w_j \geq 0$ und $\sum_{j=1}^n w_j = 1$

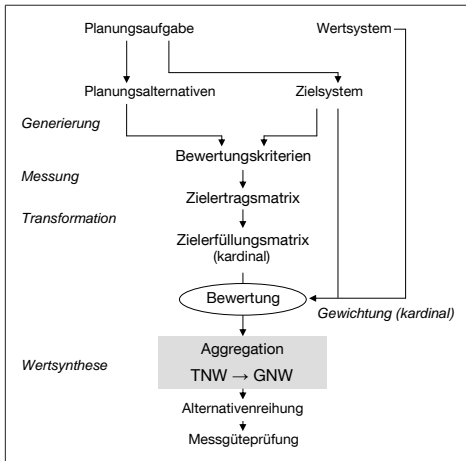
v_j ist die partielle Nutzenfunktion bzw. Wertfunktion, wobei auf Grund der Normierung gilt: $v_j(\min\{k_j(a_i)\}) = 0$ und $v_j(\max\{k_j(a_i)\}) = 1$

$k_j(a_i)$ ist der für die Alternative a_i ermittelte partielle Nutzwert bzw. Zielerfüllung in Bezug auf Kriterium k_j

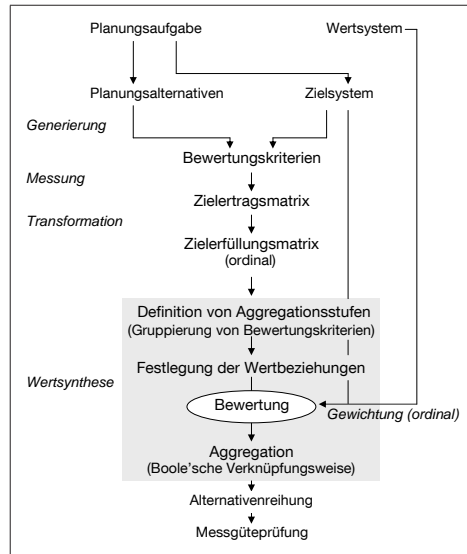
$v(a_i)$ ist der additiv berechnete Gesamtnutzwert von Alternative a_i

Abschließend wird darauf hingewiesen, dass die Überprüfung der Ergebnissgüte in Bezug auf die Variation bei Kriterienausprägungen mittels Sensitivitätsanalysen gemessen werden kann. Dies ist keine Besonderheit von NWA und MAUT und gilt ferner für alle in den folgenden Kapiteln vorgestellten Methoden. Abbildung 3.2 skizziert die Unterschiede im strukturellen Aufbau und in der Bewertungslogik zwischen

NWA und MAUT.



Legende: TNW = Teilnutzenwert; GNW = Gesamtnutzenwert



3.2.2: MAUT in Anlehnung an BECHMANN (1978, S. 19)

3.2.1: NWA in Anlehnung an BECHMANN (1978, S. 27)

Abbildung 3.2: Unterschiede von NWA und MAUT nach HARTH (2006, S. 49 & 54)

3.2.2.3 Conjoint Analyse

Die Conjoint Analyse gehört zu den multivariaten Analysemethoden und hat ihre Ursprünge in der mathematischen Psychologie, wobei sie dort unter dem Begriff *conjoint measurement* Mitte der 60er Jahre von LUCE UND TUCEY (1964) eingeführt wurde. Doch erst ihre Anwendung im Marketing durch GREEN UND RAO (1971) verhalf der Conjoint Analyse zu großer Bekanntheit (HARTH 2006, S. 87). Dass die Conjoint Analyse im Produktmanagement großes Interesse aufwarf ist einfach zu begründen, denn jedes Produkt charakterisiert sich über eine Kombination diverser Produktmerkmale mit spezifischen Merkmalsausprägungen. Auf das Produktmanagement bezogen ist das Ziel der Conjoint Analyse, die Bedeutung einzelner Merkmale für das Zustandekommen der Gesamtpräferenz zu ermitteln, um auf diese Weise die Präferenzen der Kunden für alternative Produktkonzepte zu erklären. Die Grundidee besteht also darin, verschiedene Produkte entsprechend der Präferenzen des Bewerter in eine Rangfolge zu überführen (HERRMANN UND HUBER 2009, S. 181).

Ausgehend von ganzheitlichen⁴ Produkt- bzw. Konzeptbeurteilungen werden Detailergebnisse ermittelt, d.h. dekomponiert. Die Gesamtpräferenz für ein Produkt setzt sich somit aus dessen Teilpräferenzen für die einzelnen Produktmerkmale zusammen (WINKELMANN 2013, S. 173f).

Wie bereits in Kapitel 3.2.2 beschrieben wurde, wird die Conjoint Analyse häufig im Marketing zur Bestimmung kaufrelevanter Produkteigenschaften verwendet, die über die Produktmerkmale samt Ausprägungen bestmöglich abzudecken sind. In ihrem klassischen Ansatz wird unter Verwendung dieser Methode primär untersucht, warum welches Produkt aus Kundensicht nachgefragt wurde (GREEN UND RAO 1971, S. 355). So könnte beispielsweise bei zwei baugleichen Autos eine höhere Nachfrage für das eine Auto über das Kriterium bzw. Merkmal *Farbe* mit Ausprägung *schwarz* gegenüber *grün* herausgefunden werden. Zwar eignet sich die Conjoint Analyse auch im Rahmen der Produktkonzeption, also vor der Einführung von Innovationen, jedoch muss angemerkt werden, dass die Conjoint Analyse in ihrem Ursprung ein strukturprüfendes, d.h. dekompositionelles Verfahren aus Sicht der multivariaten Statistik ist (BACKHAUS U. A. 2011, S. 13 und S. 457ff). Allerdings existieren Erweiterungen, wie die Adaptive Conjoint Analyse, bei der die Bewerter dazu befähigt werden, zunächst die Wichtigkeit der Bewertungskriterien anzugeben. Somit können auch Eigenschaftskompositionen, wie sie insbesondere bei technischen Bewertung von Produktkonzeption anzutreffen sind, berücksichtigt werden (HERRMANN UND HUBER 2009, S. 176).

Im folgenden wird der Ablauf der adaptiven Conjoint Analyse als Erweiterung der klassischen Conjoint Analyse beschrieben. Die Durchführung erfolgt dabei in zwei Stufen. Zunächst werden explizit die einzelnen Merkmale in Hinblick auf ihre Wichtigkeit nacheinander individuell bewertet, um eine Präferenzstruktur zu komponieren. Auf Basis dieser individuellen Präferenzstrukturen werden sodann Präferenzurteile für das gesamte Beurteilungsobjekt abgegeben, was dem dekompositionellen Schritt entspricht (BACKHAUS U. A. 2011, 462). Beurteilungsobjekte werden in der Literatur ferner als *Stimuli* bezeichnet, wobei darunter Produkte bzw. Produktkonzepte oder fiktive Produkte verstanden werden, die über ihre jeweiligen Merkmale und Merkmalsausprägungen differenziert werden können. Zusammenfassend sind nach GAUBINGER U. A. (2009, S. 123), BACKHAUS U. A. (2011, 462ff) und HERRMANN UND HUBER (2009, S. 176) folgende Schritte zu durchlaufen:

1. Festlegung der Stimuli:

Dieser Schritt entspricht der Definition von Kriterien und der Festlegung von Graden, die ein Konzept erfüllen sollte, um beispielsweise aus nutzenstiftender

⁴ Ganzheitlich zu betrachten und Kaufkriterien zu dekomponieren ist der klassische Ansatz des conjoint measurements, aus dem sich ferner die Namensgebung ableiten lässt: *conjoint* ist ein zusammengesetztes Wort aus den Wörtern *consider jointly*, zu deutsch: betrachte gesamtheitlich

Sicht eine möglichst hohe Nachfrage zu erzielen. Er ist insofern von zentraler Bedeutung, als dass die Festlegung dieser Eigenschaften die Validität der Untersuchungsergebnisse beeinflusst (SCHUBERT 1991, S. 176). Die Eigenschaften müssen ferner präferenzrelevant, unabhängig und realisierbar sein, müssen in einer kompensatorischen Beziehung zueinander stehen und dürfen keine KO-Kriterien darstellen (BACKHAUS U. A. 2011, S. 462f).

2. Festlegung des Erhebungsdesigns:

Bei der Festlegung des Erhebungsdesigns wird entschieden, welche Art von Stimuli in welcher Anzahl zur Beurteilung vorgelegt werden. Bei einem vollständigen Erhebungsdesign wird die Kombination sämtlicher Kriterien samt Ausprägung zur Bewertung vorgelegt (HARTH 2006, S. 93ff). Dies kann zu einer enormen Menge an Stimuli führen, da bereits bei *fünf* Kriterien mit jeweils *drei* Ausprägungen eine Anzahl von 243 Kombinationsmöglichkeiten⁵ entsteht. Durch die kompositionelle Erweiterung können daher bereits im Vorfeld diejenigen Stimuli eliminiert werden, die aus Bewertersicht irrelevant sind.

3. Bewertung der Stimuli:

Die Bewertung erfolgt analog zu den bisher vorgestellten Methoden, wobei moderne Conjoint Analysen das Konzept der paarweisen Vergleiche unterstützen (HARTH 2006, S. 101). Auf Basis der erstellten Bewertungen werden Teilnutzenwerte geschätzt, die darüber Auskunft geben, welche Stimuli welchen Beitrag zur Gesamtpräferenz leisten. Dabei wird oftmals auf Varianz- oder Regressionsalgorithmen zurückgegriffen (BACKHAUS U. A. 2011, S. 469f).

4. Aggregation der Teilnutzenwerte:

Die Aggregation der Teilnutzenwerte kann auf zwei alternativen Wegen erfolgen. Entweder werden die Teilnutzenwerte jedes einzelnen Bewerter ermittelt und anschließend durch Durchschnittsbildung⁶ aggregiert, oder es erfolgt eine gemeinsame Durchführung der Conjoint Analyse (GAUBINGER U. A. 2009, S. 124f).

3.2.2.4 ELECTRE

Dem Outranking-Verfahren ELECTRE⁷ liegt wie allen Prävalenzverfahren zu grunde, dass sie es nicht für zweckmäßig erachten, wenn eine schlechte (oder gute) Erfüllung

⁵ Wenn jede Ausprägung gültig ist (vollständiges Erhebungsdesign), so wird die Anzahl der Ausprägungen über alle Kriterien multipliziert. Bei fünf Kriterien mit je drei Ausprägungen existieren daher $3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 = 3^5 = 243$ Auswahlmöglichkeiten

⁶ Die Durchschnittsbildung impliziert ferner, dass das zu grunde liegende Präferenzmodell additiver oder multiplikativer Natur ist.

⁷ Elimination Et Choix Traduisant la Réalité

eines Kriteriums durch eine Alternative eine gute (oder schlechte) Erfüllung eines anderen Kriteriums derselben Alternative kompensiert.

Das Hauptziel von ELECTRE besteht daher in der Ermittlung von Outrankingbeziehungen, damit Alternativen anhand vorgegebener Schwellenwerte ausgeschlossen⁸ werden können. ELECTRE nutzt den paarweisen Vergleich von Alternativen, um fest zu stellen, inwieweit Präferenzaussagen über eine bestimmte Alternative gegenüber einer anderen Alternative zutreffen (ROHR 2004, S. 34). Zu diesem Zweck werden Schwellenwerte für sogenannte Konkordanz- und Diskordanzindizes festgelegt. Der Konkordanzindex $Conc$ ist ein Maß zur Abschätzung der Vorteilhaftigkeit einer Alternative a_1 im Verhältnis zu Alternative a_2 . Der Diskordanzwert $Disc$ repräsentiert hingegen den maximalen Wert, der sich durch das Verhältnis in Bezug auf die Kriterienanzahl ergibt, bei denen a_1 gegenüber a_2 unterlegen ist (LIFKA 2009, S. 117f).

$$Conc(a_1, a_2) = \frac{\sum_I (w^+ + 1/2w^-)}{\sum_I (w^+ + w^+ + w^-)} \quad (3.3)$$

$$Disc(a_1, a_2) = \max \frac{Z_{a_2k} - Z_{a_1k}}{Z_k^+ - Z_k^-} \quad (3.4)$$

Notationen:

$A = a_1, \dots, a_i$ ist die Menge an Bewertungsobjekten, hier Alternativen $a_i, \forall i \in I$

$Conc(a_i, a_j)$ ist der Konkordanzindex von a_i gegenüber a_j

$Disc(a_i, a_j)$ ist der Diskordanzindex von a_i gegenüber a_j

w^+ repräsentiert die Summe an Kriteriengewichten, bei denen a_1 gegenüber a_2 überlegen ist

$w^=$ entspricht der Summe aller Kriteriengewichte, bei denen die Alternativen gleichwertig einzustufen sind

w^- ist die Summe aller Kriteriengewichte, bei denen die Alternative a_2 überlegen ist

Z_k^+ ist die beste Ausprägung des Kriteriums k

Z_k^- ist die schlechteste Ausprägung des Kriteriums k

Nach Aufstellung der Paarvergleichsmatrizen für Konkordanz und Diskordanz über alle Kriterien erfolgt die Überprüfung der Outranking-Beziehung. Hierzu werden die Schwellenwerte s_c (für Konkordanz) und s_d (für Diskordanz) benötigt, wobei $s_c, s_d \in [0, 1]$. Eine Outranking-Beziehung⁹ von a_1 gegenüber a_2 liegt genau dann vor, wenn $Conc(a_1, a_2) \geq s_c$ und $Disc(a_1, a_2) \leq s_d$ (LIFKA 2009, S. 120).

Problematisch dabei ist, dass das Ergebnis von ELECTRE im wesentlichen von den gesetzten Schwellenwerten abhängt, die vom Bewerter willkürlich getroffen werden

⁸ Daher wird im Englischen die gebräuchliche Bezeichnung *outranking* für Prävalenzverfahren benutzt.

⁹ Outranking-Beziehung im Sinne von Dominanz bzw. Überlegenheit

können. Werden beispielsweise die Extrema $s_c = 1$ und $s_d = 0$ gesetzt, so lassen sich kaum Alternativen ausschließen. Ferner kann es vorkommen, dass selbst bei größtmöglicher Variation der Schwellenwerte keine eindeutig dominierende Alternative resultiert, sondern vielmehr eine Menge an Alternativen, die zwar alle anderen Alternativen dominieren, unter sich jedoch in keiner Outranking-Beziehung stehen (ZIMMERMANN UND GUTSCHE 1991, S. 212). Eine eindeutige Entscheidung im Kontext einer Produktkonzeptauswahl wird somit zusätzlich erschwert.

3.2.2.5 PROMETHEE

Die Methode PROMETHEE¹⁰ gehört wie ELECTRE zu den Outranking-Verfahren und basiert ebenfalls in ihrer Anwendung auf paarweisen Vergleichen. Im Mittelpunkt des von BRANS U. A. (1986) entwickelten Verfahrens steht der Gedanke, dass Entscheidungsträgern bzw. Bewertern eine Bewertungsvorschrift vorgegeben werden muss, da eine exakte Bewertung von Personen ohne Bewertungsvorschrift nicht bewältigt werden kann (HARTH 2006, S. 60f). Aus diesem Grund wird im Unterschied zu ELECTRE jedes Kriterium durch eine individuelle, reellwertige Präferenzfunktion Π_k repräsentiert, deren Werte im Intervall $[0, 1]$ liegen (ZIMMERMANN UND GUTSCHE 1991, S. 220ff). Dabei kann der Bewerter selbst für jedes Kriterium die für ihn repräsentative Präferenzfunktion aus einer abgeschlossenen Menge an Präferenzfunktionen auswählen (HARTH 2006, S. 61).

Die Bewertungsobjekte bzw. Alternativen $a_i \in A$ werden sodann kriterienbezogenen miteinander verglichen und über die gewählte Präferenzfunktion $\Pi_k : AxA \rightarrow [0, 1]$ abgebildet. Die Präferenzfunktion stellt die aus Sicht des Bewerter ermittelte Differenz d zweier Alternativen in Bezug auf ein Kriterium k somit wie folgt dar (LIFKA 2009, S. 121ff).

$$\Pi_k(a_1, a_2) = \Pi_k(a_1) - \Pi_k(a_2) = \Pi_k(d) \in [0, 1] \quad (3.5)$$

Ein Wert von $\Pi_k(a_1, a_2) = 0$ bedeutet Indifferenz bzw. Gleichwertigkeit von a_1 und a_2 . Schwache Präferenz wird über eine Wertzuordnung im Intervall¹¹ $]0, 1[$ ausgedrückt, wobei höhere Werte einer größeren (schwachen) Präferenz entsprechen. Demzufolge beschreibt der Wert $\Pi_k(a_1, a_2) = 1$ starke Präferenz von a_1 gegenüber a_2 (ROHR 2004, S. 35).

¹⁰ Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations

¹¹ Ein Intervall mit Grenzen $[0, 1]$ bedeutet, dass die Extrema 0 und 1 eingeschlossen sind. Liegen diese Grenzen nicht im Intervall, so sind in der Mathematik die Notationen $]0, 1[$ oder auch $(0, 1)$ dafür zulässig und vorgesehen.

In der Literatur werden verschiedene Typen diskutiert, die zur Auswahl als Präferenzfunktion geeignet sind. Für die Anwendung in der Praxis werden sechs verallgemeinerte Präferenzfunktionen vorgeschlagen, wobei die Gauß'sche Funktion einen hervorzuhebenden Stellenwert einnimmt, da sie auf grund ihrer glatten Kurve gute Stabilitätseigenschaften aufweist (BRANS U. A. 1986, S. 229ff), (ROHR 2004, S. 35).

Zusätzlich zur Auswahl der Präferenzfunktion muss analog zum ELECTRE Verfahren der Bewerter Schwellenwerte zur Überwindung des Indifferenzbereichs für jede Präferenzfunktion angeben. Auf Basis der kriterienspezifischen Präferenzfunktionen samt ihrer Schwellenwerte können folglich kriterienbezogenen Präferenzmatrizen durch Paarvergleiche erstellt werden. Die einzelnen Matrizen werden in einem weiteren Schritt zu einer Gesamtpräferenzmatrix aggregiert (HARTH 2006, S. 64ff). Die Zeilensummen der Bewertungsobjekte der Gesamtpräferenzmatrix werden bei PROMETHEE als Ausgangsflüsse bezeichnet und entsprechen der Konkordanz bei ELECTRE. Die Spaltensummen, auch Eingangsflüsse, entsprechen der Diskordanz. Zur Bestimmung einer endgültigen Rangfolge über die Bewertungsobjekte kann entweder die Gesamtpräferenzmatrix in einen Graphen überführt werden, oder durch die Differenz von Ausgangs- und Eingangsfluss direkt eine Rangfolge erstellt werden (HARTH 2006, S. 67), (LIFKA 2009, S. 125f).

Der Vorteil von PROMETHEE liegt in der Verwendung von reellwertigen Präferenzfunktionen und deren positiven Auswirkung auf die Stabilität der Ergebnisse. Im Gegensatz zu ELECTRE wird die Präferenzstärke besser erfasst, wobei die Anwendung deutlich aufwändiger ist (ROHR 2004, S. 35).

3.2.2.6 Analytischer Hierarchie Prozess (AHP)

Der Analytische Hierarchie Prozess¹² wurde Ende der 60er Jahre von SAATY (1980) konzipiert. Im Zentrum seiner Überlegungen stand die Annahme, dass Menschen aufgrund ihrer kognitiven Fähigkeiten eher in der Lage sind relative Einschätzungen abzugeben anstatt absolute Beurteilungen zu treffen (SAATY 1986, S. 841). Beim AHP werden qualitative Kriterien- und Alternativenbewertungen auf einer standardisierten Skala getroffen, wobei diese Methode ebenfalls Paarvergleiche durchführt, so dass der Bewerter immer nur zwei Bewertungsobjekte gleichzeitig betrachten muss (LIFKA 2009, S. 121).

Im Rahmen des AHP werden Entscheidungsprobleme in Form einer Hierarchie aufgebaut, die aus mindestens drei Ebenen besteht. Die oberste Ebene beschreibt die Zielsetzung, die auf einer weiteren Ebene in Merkmale bzw. Kriterien, die zur Zielerrei-

¹² Analytic Hierarchy Process

chung beitragen, ausdifferenziert wird. Die Merkmals- bzw. Kriterienebene lässt sich dabei beliebig weit untergliedern. Auf der untersten Ebene werden die Alternativen angeordnet, die in Hinblick auf die oberen Ebenen zu bewerten sind (MEIXNER UND HAAS 2002, S. 124). Abbildung 3.3 skizziert die Grundstruktur des Aufbaus eines Entscheidungsproblems im Analytischen Hierarchie Prozess.

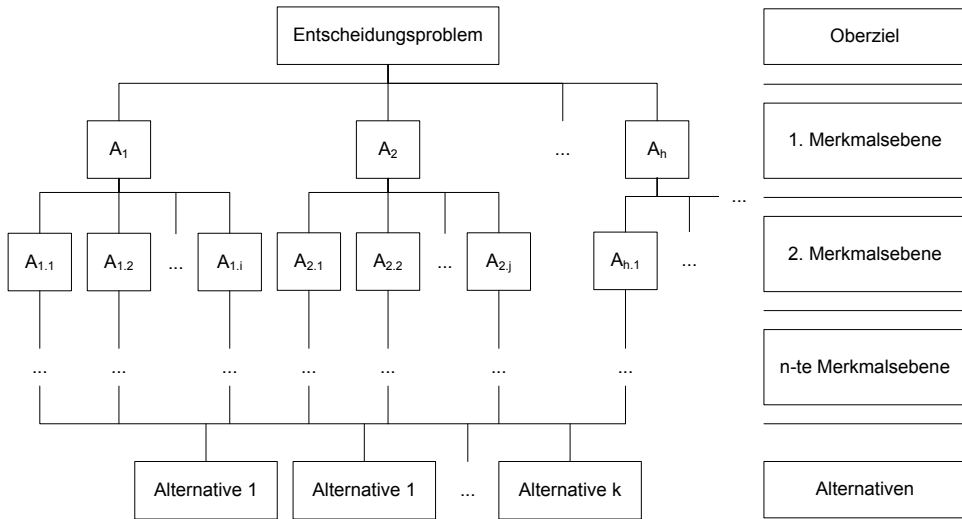


Abbildung 3.3: Aufbau eines Entscheidungsproblems im AHP nach MEIXNER UND HAAS (2002, S. 124)

Grundsätzlich werden beim AHP folgende Schritte durchlaufen (SCHUH 2001, S. 278), (ROHR 2004, S. 39ff), (LIFKA 2009, S. 104ff), (KATZ 2010, S. 92ff):

1. Bildung einer Zielhierarchie:

Der Entscheidungsträger muss im Stande sein, sein Entscheidungsproblem zu strukturieren und wesentliche Kriterien zu erarbeiten, an denen Alternativen beurteilt werden können (ROHR 2004, S. 40f).

2. Ermittlung der Prioritäten:

Zur Ermittlung von Prioritäten werden Paarvergleiche ebenenweise durchgeführt. Für qualitative Vergleiche hat SAATY (1980) eine 9-Punkte-Skala eingeführt, um verbale Ausdrücke in numerische Werte zu transformieren, wobei die Werte 1 = *gleich wichtig*, 3 = *etwas wichtiger*, 5 = *wichtiger*, 7 = *viel wichtiger* und 9 = *sehr viel wichtiger* bedeuten (LIFKA 2009, S. 105).

3. Ermittlung der Gewichtungsfaktoren:

Aus der Ermittlung der Prioritäten resultieren Paarvergleichsmatrizen, die zum Zweck der Vergleichbarkeit und weiteren Berechnung normiert werden. Durch den Einsatz mathematisch-statistischer Verfahren können Gewichtungsfaktoren für jede Ebene der Zielhierarchie berechnet werden. SAATY (2000) greift zu diesem Zweck auf die Berechnung von Eigenwerten zurück. Der Gewichtungsvektor, der in der Literatur auch als lokaler Prioritätenvektor bezeichnet wird, gibt die Bedeutung in Bezug auf das Kriterium der nächst höheren Ebene an (SCHUH 2001, S. 278).

4. Überprüfung der Konsistenz:

Eine Besonderheit des AHP liegt in der Möglichkeit zu überprüfen, ob die Bewerber bei ihren Paarvergleichen konsistente Prioritäten bestimmt haben (ROHR 2004, S. 46f). Zur Überprüfung von Inkonsistenzen führt SAATY (1980) das Konsistenzverhältnis $C.R.$ ¹³ ein, dass sich aus dem Verhältnis eines Vergleichsmaßes von Konsistenzindex $C.I.$ ¹⁴ zu reziproken Zufallsmatrizen $R.I.$ ¹⁵ berechnen lässt (SAATY 2000, S. 84). Bei Überschreiten der Konsistenzrate wird vorgeschlagen, dass der Bewerber an eben gefundenen Inkonsistenzen seine Bewertung überdenkt.

5. Gewichtung der gesamten Hierarchie:

Zur Normierung der Gewichtungen im Kontext der Gesamthierarchie werden die lokalen Prioritätenvektoren mit den Gewichten der jeweils übergeordneten Ebene multipliziert. Daraus ergeben sich die globalen Prioritätenvektoren der Gesamthierarchie. Durch die Summenbildung dieser Gewichte ergibt sich ein Präferenzindex, der die Gewichtungen der Alternativen für das gesamte Bewertungsergebnis darstellt (KATZ 2010, S. 106).

3.2.2.7 Analytischer Netzwerk Prozess (ANP)

Der Analytische Netzwerk Prozess¹⁶ wurde als Erweiterung des AHP ebenfalls von SAATY (2001) entwickelt und stellt das jüngste, eigenständige Verfahren dar¹⁷. Im Gegensatz zum AHP erlaubt der ANP die Strukturierung des Entscheidungsproblems in einem Netzwerk. Der Aufbau eines Entscheidungsproblems in hierarchischer Form stellt somit einen Spezialfall eines Entscheidungsnetzwerks dar.

¹³ Consistency Ratio

¹⁴ Consistency Index

¹⁵ Random Index

¹⁶ Analytic Network Process

¹⁷ Für seine Arbeiten auf dem Gebiet der Entscheidungstheorie wurde Saaty mit der höchsten Auszeichnung auf diesem Gebiet, der Goldmedaille der International Society for Multicriteria Decision Making geehrt.

Im Rahmen des ANP wird ein Entscheidungsnetzwerk über sogenannte Cluster bzw. Komponenten, Elementen innerhalb dieser Cluster und Abhängigkeiten zwischen Clustern und Elementen konstruiert. Jedes Cluster enthält Elemente. Diese Elemente stellen entweder Kriterien oder Alternativen dar (PETERS UND ZELEWSKI 2008, S. 475), (SAATY 2001, S. 85ff). Aus Abbildung 3.4 geht der grundlegende Aufbau eines Entscheidungsnetzwerks auf Element- und Komponentenebene hervor.

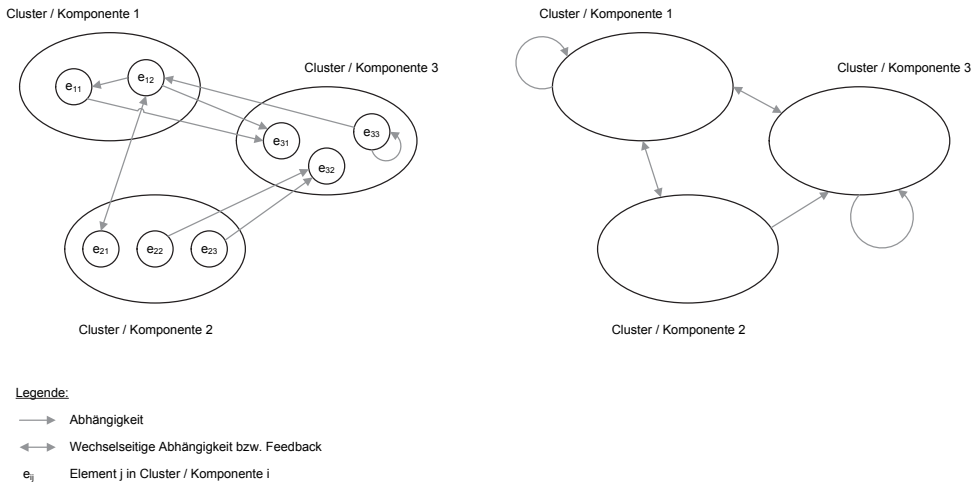


Abbildung 3.4: Aufbau eines ANP Entscheidungsnetzwerks in Anlehnung an SAATY (2001, S. 85)

Im Kontext des ANP wird von einer inneren Abhängigkeit gesprochen, wenn es Abhängigkeiten innerhalb einer Komponente gibt. Bei komponentenübergreifenden Interdependenzen wird von äußerer Abhängigkeit gesprochen. Beeinflussen sich Elemente gegenseitig, so kann diese Beziehung als Feedback verstanden werden. Am Beispiel des Autokaufs, könnte gemäß Abbildung 3.4 Komponente 1 die fahrbezogenen *Anforderungen* mit den Elementen e_{11} *Verbrauch* und e_{12} *Leistung* darstellen.

Die formale Bewertungslogik des ANP entspricht im Kern der Eigenvektormethode des AHP, mit dem Unterschied, dass nicht nur kriterienbezogene Alternativenevaluationen, sondern auch alternativenbezogene Kriterienevaluationen durchgeführt werden müssen, falls Abhängigkeiten vorhanden sind (OSSADIK 1998, S. 124).

3.2.3 Bewertung der Verfahren

Die Forderung, unterschiedlich hohe relative Bedeutungen der Kriterien zu berücksichtigen erfüllen alle Verfahren, die im vorangegangenen Kapitel diskutiert wurden. Die Conjoint Analyse erfüllt dieses Kriterium jedoch nur bedingt, und auch nur in ihrer hybriden, adaptiven Form, da ihr eigentliches Ziel darin besteht, aus der ganzheitlichen Sicht die Gewichtung der Kriterien abzuleiten. Da im Rahmen der Produktkonzeptauswahl ein Hauptaugenmerk neben der marktseitigen Akzeptanz auch auf der technischen Lösung liegt, ist es zweckmäßiger, die technischen Kriterien im Sinne eines kompositionellen Vorgehens durch Ingenieure bewerten zu lassen.

Das zweite Eignungskriterium wird von allen Verfahren erfüllt, wobei sich die Verfahren in Bezug auf die Transformation von qualitativen Daten auf einer Kardinalskala differenzieren. So existieren bei der NWA und der MAUT eine Vielzahl von Punktesystemen, über die verbale Ausdrücke quantifiziert werden können. Im Gegensatz zu ELECTRE schlägt das PROMETHEE Verfahren eine Eingrenzung auf sechs, vom Bewerter selbst auszuwählende Transformationsfunktionen vor. Bei den Verfahren AHP und ANP wurde aus Gründen der Einfachheit eine vordefinierte Skala bereitgestellt.

Mit dem Kriterium der Berücksichtigung präferenzierter Abhängigkeiten und Feedbacks wird bewertet, inwieweit ein Entscheidungsproblem mit Interdependenzen konstruiert werden kann. Bei der Auswahl von Produktkonzepten werden unter Umständen die dem zukünftigen Produkt zu Grunde liegenden Prinziplösungen einen Einfluss auf die anzuwendende Fertigungstechnologie haben¹⁸. Da alle Verfahren bis auf den Analytischen Netzwerk Prozess die Unabhängigkeit von Bewertungskriterien unterstellen, wird dieses Kriterium ausschließlich durch den ANP erfüllt. Die Wichtigkeit dieses Kriteriums in Hinblick auf die Abbildung realer Probleme kann beispielhaft an der Nutzwertanalyse für das Problem eines Autokaufs erklärt werden. Es seien z.B. zwanzig Kriterien für den Kauf wichtig. Diese werden in einer Tabelle untereinander aufgelistet. Drei der Kriterien seien K_1 : laufende Kosten, K_5 : schönes Design und K_{17} : Verbrauch. Da jedes Kriterium einzeln bewertet wird, kann nicht gewährleistet werden, dass der Bewerter den Zusammenhang von K_1 und K_{17} erkennt und dementsprechende Gewichtungen vornimmt.

Die Möglichkeit, Gruppenbewertungen unabhängiger Entscheider zu aggregieren, stellt ein weiteres Eignungskriterium dar. In der Praxis werden Entscheide für oder

¹⁸ Diese Idee greift den in Kapitel 2.1.2 beschriebenen Gedanken des *Simultaneous* bzw. *Concurrent Engineering* auf, um Entwicklung und Produktion zu parallelisieren und somit Produkt und Produktionssystem zeitnah zu operationalisieren.

gegen bestimmte Produktkonzepte in der Regel von mehreren Experten aus verschiedenen Funktionsbereichen diskutiert. Die Art der Aggregation der Einzelurteile hat dabei Einfluss auf die Eignung der vorgestellten Verfahren, so dass sich die multiattributive Nutzentheorie aufgrund einer fehlenden Aggregationsvorschrift über Güteklassen nur bedingt für Gruppenbewertungen eignet. Alle anderen Verfahren unterstützen dieses Kriterium, insbesondere vor dem Hintergrund, dass aus statistischer Sicht zur Aggregation der Einzelurteile vorwiegend auf die geometrische und die arithmetische Mittelwertbildung zurück gegriffen wird.

Die Berücksichtigung von unscharfen Bewertungen wird nur durch die multiattributive Nutzentheorie aufgrund ihrer Technik zur Nutzenmessung nicht erfüllt. Auch wenn die Berücksichtigung von unscharfen Bewertungen bei allen anderen Verfahren nicht standardmäßig konzipiert ist, so lassen sich diese zumindest für die Nutzung triangularer Fuzzy-Nummern¹⁹ erweitern.

Ein weiteres Eignungskriterium stellt die Überprüfung von Inkonsistenzen dar. Dieses Kriterium wird, zumindest vom Grundaufbau her, zunächst nur vom AHP und vom ANP unterstützt. Da weder die Outranking Verfahren ELECTRE und PROMETHEE noch die Conjoint Analyse kriterienbezogene Gewichte berechnen (Prioritätsvektoren), erfüllen sie per se dieses Kriterium nicht. Die adaptive Conjoint Analyse könnte aufgrund ihres kompositionellen Teils zur Überprüfung von Inkonsistenzen angepasst werden. Die NWA und die MAUT können dieses Kriterium nicht erfüllen.

In Tabelle 3.3 sind zusammenfassend die analysierten Verfahren und die Kriterien dargestellt, anhand derer die Verfahren in Hinblick auf die Anwendung im Rahmen der Produktkonzeptauswahl gemessen wurden. Die Bewertung erfolgte dabei mit Booz- bzw. Harvey-Balls.

¹⁹ Trianguläre Fuzzy-Nummern basieren auf einer speziellen, dreieckförmigen Ausprägung von Fuzzy-Funktionen, die sich insbesondere zur Modellierung von Aussagen von Personen eignet.

Bewertungskriterien	1.	2.	3.	4.	5.	6.
	Unterschiedlich hohe relative Bedeutung der Kriterien	Modellierung eines gemischt quantitativ-qualitativen Problems	Berücksichtigung von Abhängigkeiten und Feedback	Aggregation von Entscheidungen mehrerer unabhängiger Bewerter	Berücksichtigung unscharfer Bewertungen	Prüfung konsistenter Bewertungen
Verfahren						
Nutzwertanalyse (NWA)	●	●	○	●	●	○
Multiattributive Nutzentheorie (MAUT)	●	●	○	◐	○	○
Conjoint Analyse	◐	●	○	●	●	◐
ELECTRE	●	●	○	●	●	○
PROMETHEE	●	●	○	●	●	○
Analytischer Hierarchie Prozess (AHP)	●	●	○	●	●	●
Analytischer Netzwerk Prozess (ANP)	●	●	●	●	●	●

Legende:

- Kriterium wird erfüllt
- ◐ Kriterium wird nicht vollständig erfüllt
- Kriterium wird nicht erfüllt

Tabelle 3.3: Übersicht und Bewertung potentieller Verfahren zur Modellierung und Lösung von Entscheidungsproblemen

3.3 Zusammenfassung

Mit der Vorstellung und Bewertung einer Auswahl von repräsentativen Verfahren zur Lösung von Entscheidungsproblemen endet die Untersuchung zum Stand von Methoden der Entscheidungstheorie. Die bisher in der einschlägigen ingenieurwissenschaftlichen Literatur und Praxis angewandten Verfahren ermöglichen grundsätzlich die Modellierung und Lösung des Problems der Produktkonzeptauswahl. Insbesondere die Nutzwert- und Conjoint-Analyse finden in der betrieblichen Praxis große Anerkennung, was wohlmöglich an der Einfachheit ihrer Anwendbarkeit liegen mag. Mit der Analyse der in diesem Kapitel vorgestellten Verfahren konnte jedoch aufgezeigt werden, dass diese die Anforderungen an eine Entscheidungsunterstützung im Rahmen der Produktkonzeptauswahl nur unzureichend erfüllen. Es konnte ferner herausgestellt werden, dass der Analytische Netzwerk Prozess für eine Anwendung zur Produktkonzeptauswahl in Bezug auf die erhobenen Eignungskriterien das vorteilhafteste Verfahren aufgrund seines konzeptionellen Aufbaus ist.

Im Rahmen dieser Arbeit wird daher auf den Analytischen Netzwerk Prozess als formale Entscheidungslogik zurückgegriffen, wobei Aspekte des Zielkostenmanagements und die Modellierung von Unschärfe im weiteren Verlauf einfließen.

4 Entscheidungsunterstützte Methodik zur Produktkonzeptauswahl

Gegenstand dieses Kapitels ist der Aufbau eines Entscheidungsmodells zur Bewertung und Priorisierung alternativer Produktkonzepte. Neben den in Kapitel 2.3.1 vorgestellten Verfahren zu Wirtschaftlichkeitsanalysen von Produktkonzepten zeichnet sich die im folgenden entwickelte Methodik dadurch aus, dass nicht nur monetäre Größen zur Entscheidung beitragen. Da es sich bei der Produktkonzeptauswahl um ein multiattributives Entscheidungsproblem handelt, werden neben den monetären, quantitativen Daten auch qualitative Merkmale in einem integrierten Modell berücksichtigt. So kann es bei der Anwendung der hier vorgestellten Methodik vorkommen, dass Konzepte präferiert werden, obwohl es Alternativen gäbe, deren geschätzter Kapitalwert höher läge. Ein Grund dafür liegt daran, dass es mit dieser Methodik möglich ist, neben Nutzen- und Kostenaspekten auch Chancen und Risiken zu modellieren.

Die in dieser Arbeit vorgestellte Methodik zur Produktkonzeptauswahl basiert auf dem Analytischen Netzwerk Prozess, wobei die Vorgehensweise des ANP im Kontext der Auswahl von Produktkonzepten problemspezifisch modifiziert und erweitert wird. Einige Anforderungen und Erweiterungen für die Lösung von Konzeptentscheidungen wurden bereits in Kapitel 3.2.1 beschrieben. Der Aufbau der Methodik zur Unterstützung von Entscheidungen in Bezug auf die Auswahl geeigneter Produktkonzepte gliedert sich in fünf Schritte, die in den folgenden Kapiteln erklärt und beschrieben werden. Um die Anwendung dieser Methodik möglichst flexibel zu halten und einer großen Nutzerschicht zugänglich zu machen, werden so wenige Vorgaben wie möglich, aber so viele wie nötig getroffen. Abbildung 4.1 skizziert das schematische Vorgehen der nachfolgend entwickelten entscheidungsunterstützten Methodik zur Auswahl eines geeigneten Produktkonzepts für die weitere Konkretisierung im Rahmen der Produktentstehung.

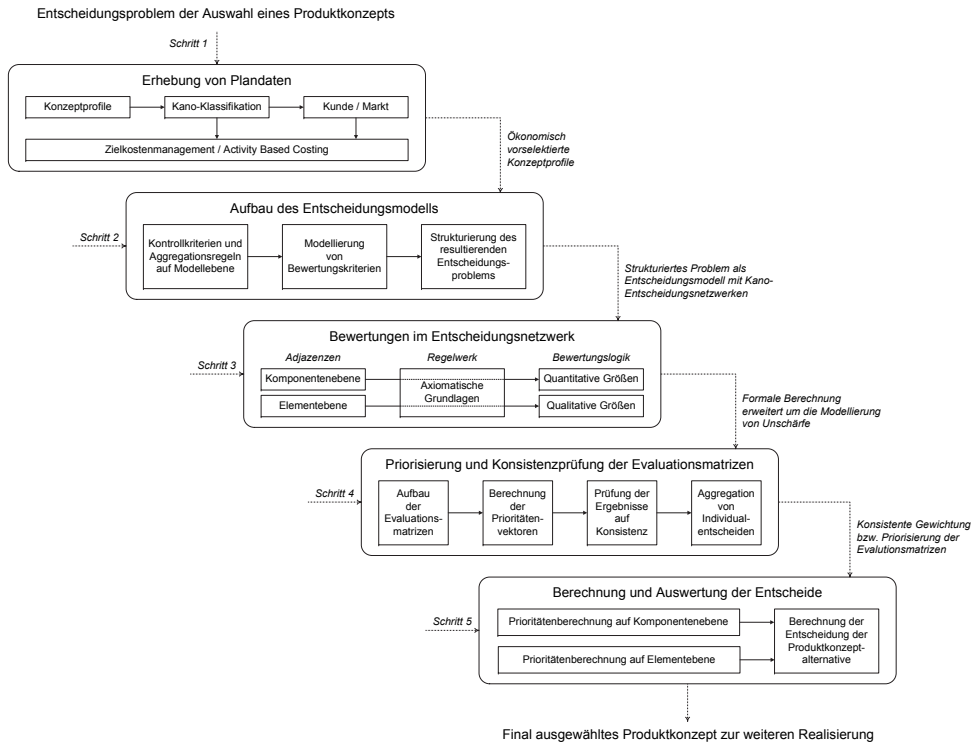


Abbildung 4.1: Vorgehensweise der entscheidungsunterstützten Methodik zur Produktkonzeptauswahl

4.1 Erhebung von Plandaten des Entscheidungsmodells

In diesem ersten Schritt werden sämtliche Daten, die in das nachfolgende Entscheidungsmodell einfließen, erhoben und klassifiziert. Auf Basis der Anforderungen an zukünftige Produkte werden zunächst Konzeptprofile definiert, deren Marktakzeptanz unter Anwendung von Techniken des Produktmarketings auf Absatzpreise und -mengen geprüft wird. Durch Adaption von Techniken des Zielkostenmanagements können sodann Kostenvorgaben für die Herstellung von Produkten auf Basis der Produktkonzepte errechnet werden. Je nach Innovationsgrad des zukünftigen Produkts werden produkt-, komponenten- oder teilebezogene Kostenvorgaben unter Berücksichtigung der zugeordneten Produkt-, Komponenten- oder Teileanforderungen erstellt werden. Den Ausgangspunkt dafür bildet die Phase der Produktkonzeptdefinition in der die Produktkonzepte bzw. Konzeptprofile ausdefiniert werden, wie in Kapitel 2.1.4 beschrieben wurde.

In den zwei folgenden Unterkapiteln werden die Klassifizierung von Anforderungen und die Bestimmung monetärer Größen vorgestellt, anhand derer die im Rahmen der Produktkonzeptdefinition erstellten Produktkonzepte bewertet werden. Die nachfolgend vorgestellten Methoden zur Erhebung der Plandaten sind insofern relevant für diese Arbeit, da sie zusätzlich zur Anwendung eines neuen entscheidungstheoretischen Verfahrens für die Produktkonzeptauswahl einen weiteren innovativen Beitrag im Rahmen dieser Arbeit stellen. So werden im Anschluss an die Klassifikation und das Zielkostenmanagement in Verbindung mit Activity Based Costing die vier Kontrollkriterien *Nutzen, Kosten, Chancen* und *Risiken* vorgeschlagen, anhand derer konkurrierende Produktkonzepte strukturiert und evaluiert werden können.

4.1.1 Klassifizierung von Anforderungsprofilen

Produktkonzepte sollten kundenbezogene und technische Anforderungen erfüllen. Dabei sind nicht alle Anforderungen von gleicher Wichtigkeit. Die Anforderungsanalyse ist ein zwingender Schritt, um Anforderungen durch eine Bewertung und Einordnung zu selektieren, zu priorisieren, zu konsolidieren oder auch zu konkretisieren (SEIDEL 2005, S. 83). Die Anforderungsanalyse greift dabei grundsätzlich auf Klassifizierungs- und Priorisierungsmethoden zurück. ZEHNTER U. A. (2012, S. 25ff) geben einen umfassenden Überblick über sämtliche in Praxis und Wissenschaft angewandten Methoden, wobei keine der dort beschriebenen Priorisierungsmethoden die Eignungskriterien dieser Arbeit in Hinblick auf die Priorisierung von Produktkonzepten erfüllt (vgl. hierzu Kapitel 3.2).

Im Rahmen dieser Arbeit werden Anforderungsprofile an zukünftige Produkte anhand des Kano-Modells klassifiziert. Das Kano-Modell ist insofern im Rahmen der Produktkonzeptauswahl prädestiniert anzuwenden, da es ursprünglich zur Klassifizierung von Produktmerkmalen bzgl. ihrer Marktwirkung konzipiert wurde (KANO U. A. 1984, S. 39ff). Übertragen auf Produktkonzepte können die zu erfüllenden Anforderungen an zukünftige Produkte nach dem Kano-Modell in die Klassen Basisanforderungen, Leistungsanforderungen und Begeisterungsanforderungen wie folgt untergliedert werden:

- **Basisanforderungen:**

Die Basisanforderungen bilden eine Klasse vom Kunden unbewusst unterstellt, nicht explizit erwähnter sondern vorausgesetzter Anforderungen.

- **Leistungsanforderungen:**

Unter Leistungsanforderungen werden explizit vom Kunden oder Markt geforderte Anforderungen subsummiert. Sie stellen den kaufrelevanten Mehrwert zukünftiger gegenüber heutiger Produkte dar.

- **Begeisterungsanforderungen:**

Begeisterungsanforderungen ergeben sich dadurch, dass gewisse Produkte mehr als die gewünschten Anforderungen erfüllen und diese durch den Kunden unterbewusst positiv wahrgenommen werden.

Die Klassifizierung erfolgt durch Fragebögen in funktionaler und dysfunktionaler Form in Bezug auf Reaktionen und Meinungen zu vorhandenen oder nicht vorhandenen Anforderungen. Diese werden über eine Punktwertskala ausgewertet und in das Kano-Modell wie in Abbildung 4.2 dargestellt übertragen.

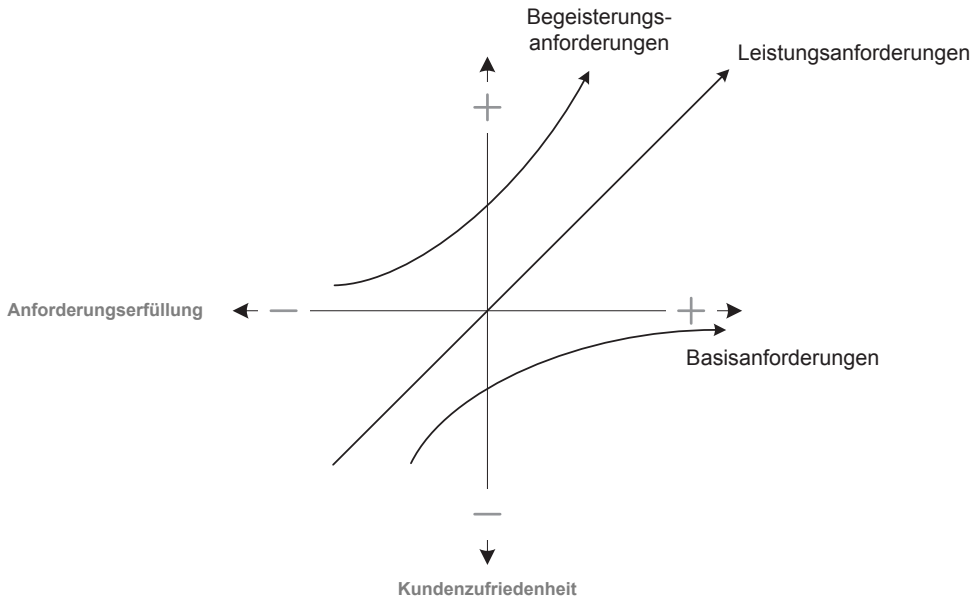


Abbildung 4.2: Kano-Modell in Anlehnung an POHL (2007, S. 534)

Das Nichtvorhandensein von Basisanforderungen kann und wird in der Regel zu Kundenunzufriedenheit führen, während das Vorhandensein von Leistungsanforderungen nicht zwangsläufig einen überproportionalen Anstieg der Kundenzufriedenheit bedeutet. Produkteigenschaften, die beim Kunden Begeisterung auslösen, können die Kundenzufriedenheit steigern und stehen nach dem Kano-Modell für die Klasse der Begeisterungsanforderungen. Über Produktlebenszyklen hinweg können die Begeisterungsanforderungen zu Leistungsanforderungen, und

heutige Leistungsanforderungen zu zukünftigen Basisanforderungen transformiert werden.

4.1.2 Ableitung eines produktbezogenen Kostenrahmens

In diesem Unterkapitel werden Methoden des Zielkostenmanagements vorgestellt, um die am Markt mit zukünftigen Produkten prognostizierten Absatzpreise unter Berücksichtigung unternehmensinterner, ökonomischer Zielsetzungen auf Zielkosten für Produktkonzepte herunter zu brechen. In Kapitel 2.3.2 wurde das Zielkostenmanagement als dreistufiger Prozess eines produktbezogenen Kostenmanagements vorgestellt. Innerhalb der Produktkonzeption sind dabei insbesondere die Zielkostenfestlegung auf Gesamtproduktebene und die Zielkostenspaltung für einzelne Komponenten und Teile relevant. Der Prozess der Zielkostenerreichung erfolgt im Anschluss an die Produktkonzeption innerhalb der Entwicklung und Produktion (vgl. auch Abbildungen 2.24 und 2.27) und wird somit im Rahmen dieser Arbeit nur am Rande betrachtet.

4.1.2.1 Zielkostenfestlegung

Die Festlegung der Zielkosten erfolgt in drei Teilschritten. Zunächst muss in Abhängigkeit des Innovationsgrads von Produktkonzepten eine methodische Basis für die Festlegung von Produktzielkosten bestimmt werden. Dieser Schritt dient grundsätzlich der Feststellung, was ein Produkt am Markt überhaupt kosten darf um nachgefragt zu werden. In einem weiteren Schritt wird der Gewinn, den das Unternehmen mit dem Verkauf des zukünftigen Produkts anstrebt, vom Marktpreis abgezogen. Dieser Schritt wird Festlegung der Gewinnspanne genannt. Der letzte Schritt ist die Festlegung der Zielkosten und resultiert aus den beiden ersten Schritten durch Subtraktion der Gewinnmarge vom Absatzpreis, wobei die aus dem Markt abgeleiteten Zielkosten mit den aus Unternehmenssicht geschätzten Herstellungskosten abgeglichen werden.

i) Methodische Basis zur Festlegung der Produktzielkosten

Es kann im allgemeinen zwischen der Zielkostenfestlegung über den Absatzmarkt (*market into company*), über Absatzmarkt und unternehmensintern (*into and out of company*), über Benchmarking bzw. Wettbewerbsvergleich (*out of competitor*), explizit aus

dem Unternehmen (*out of company*) und auf Basis derzeit prognostizierter Produktkosten (*out of standard costs*) unterschieden werden (ARNAOUT 2001, S. 47), (SEIDENSCHWARZ 1993, S. 115f), (ZIRKLER 2010, S. 51).

Die Reinform des Zielkostenmanagements bildet die *market into company* Methode, da sie sich ausschließlich am Absatzmarkt orientiert und damit der eigentlichen Zielsetzung des Target Costings entspricht. Die Methode des *into and out of company* stellt eine Kombination zwischen *market into company* und *out of company* dar. Neben der konsequenten Marktorientierung werden bei ihrer Anwendung auch die unternehmensinternen Kosten, die bei der Entwicklung und Herstellung auf Basis bestehender Technologien anfallen würden, in die Zielkostenfestlegung mit einbezogen. Aufgrund der Berücksichtigung externer und interner Restriktionen ist eine Anwendung dieser Methode nach Auffassung von FREIDANK UND ZAEH (1997, S. 238) und SCHULTE-HENKE (2007, S. 10) erfolversprechend, da bereits in der Produktplanung die Prognosesicherheit bezüglich der Zielkostenerreichung erhöht werden kann. Sie kann daher als Erweiterung der *market into company* Methode angesehen werden, die die Zielkostenfestlegung als Kompromiss aus (externen) Marktanforderungen und (internen) Umsetzungsmöglichkeiten unterstützt. Die *out of competitor* Methode legt die Zielkosten durch Beobachtung des Wettbewerbs am Absatzmarkt fest. Wenn davon ausgegangen wird, dass der Wettbewerb sich an Marktanforderungen orientiert, so könnte dieser Methode indirekte Marktorientierung unterstellt werden. Allerdings ist dieser Ansatz für die Neuproduktentwicklung ungeeignet, da die Auswahl potentieller Wettbewerber und die Bestimmung ihrer Kostenstrukturen als problematisch anzusehen ist (FREIDANK UND ZAEH 1997, S. 239). Bei der Methode *out of company* steht nicht der Markt sondern das Unternehmen im Vordergrund. Den Ausgangspunkt zur Festlegung der Zielkosten bilden somit die internen Fähigkeiten, Erfahrungen und Produktionsmöglichkeiten. Bei dieser Methode werden die Zielkosten gemäß dem „bottom-up“ Prinzip festgelegt und müssen daher ständig auf Durchsetzbarkeit am Absatzmarkt geprüft werden. Obwohl diese Methode aufgrund mangelnder Marktorientierung dem Grundgedanken des Zielkostenmanagements in Teilen widerspricht, wird ihr Einsatz dann empfohlen, wenn Marktpreise nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand ermittelt werden können (JOOS-SACHSE 2006, S. 300). Die von SEIDENSCHWARZ (1993) entwickelte Methode *out of standard costs* lässt sich gegenüber der *out of company* nicht zweckmäßig abgrenzen, da auch sie die Ableitung der Zielkosten auf Basis des vorhandenen Wissens und anwendbarer Technologien innerhalb des Unternehmens vorsieht (JOOS-SACHSE 2006, S. 301). Sie findet primär in indirekten Unternehmensbereichen Anwendung wobei sie auf Grund der fehlenden Marktorientierung und eingeschränkten Einsetzbarkeit im Zielkostenmanagement eine eher untergeordnete Bedeutung erlangt (FREIDANK UND ZAEH 1997, S. 239).

Ein Überblick über die Differenzierungsmerkmale der jeweiligen Methoden in der Zielkostenfestlegung geht nach SCHULTE-HENKE (2007, S. 12) aus Tabelle 4.1 hervor.

Einordnung von Methoden der Zielkostenfestlegung	Differenzierungsmerkmale in der Sichtweise des Zielkostenmanagements		
	(externe) Marktorientierung		(interne) Orientierung an Möglichkeiten des Unternehmens
	Kundenorientierung	Wettbewerbsorientierung	
market into company	●	○	○
into and out of company	●	○	●
out of competitor	○	●	○
out of company / out of standard costs	○	○	●

Legende:

- Methode eignet sich
- Methode eignet sich nicht

Tabelle 4.1: Differenzierungsmerkmale der Methoden der Zielkostenfestlegung in Anlehnung an SCHULTE-HENKE (2007, S. 12)

Je nach gewählter Methode werden somit die Produktzielkosten entweder ausschließlich vom Markt abgeleitet, ohne Marktbezug entwickelt oder beidseitig abgestimmt.

ii) Festlegung der Gewinnspanne (*target margin*)

Zunächst gilt es, gestützt durch Instrumente der Marktforschung, die Produktkonzepte über ihren Lebenszyklus auf unterschiedlichen Zielmärkten hinsichtlich ihrer Akzeptanz aus Käufersicht zu analysieren. Dies umfasst im wesentlichen die folgenden Aufgaben (FREIDANK UND ZAEH 1997, S. 239), (EWERT UND WAGENHOFER 2008, S. 304), (JOOS-SACHSE 2006, S. 238):

- Einsatz von Instrumenten zur Analyse des Produktprofils. Dies umfasst Methoden wie beispielsweise Interviewtechniken, Fragebögen und Prototypenpräsentationen, die in ihrer Gesamtheit letztendlich das Produktkonzept hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen des Zielmarkts überprüfen.
- Einsatz von Methoden, die auf Basis marktgerechter Produktkonzepte den korrespondierenden Zielverkaufspreis (*target price*) schätzen, und
- Methoden, um die zugehörigen Absatzmengen über den Lebenszyklus zu prognostizieren.

Wenn Produktkonzepte hinsichtlich ihrer Art der Innovation (vgl. Kap. 2.1.1 und ferner Abb. 2.1) als *Produktmodifizierung* oder *Produktdifferenzierung* eingestuft werden können, so kann für die Prognose von Absatzmengen und zugehörigen Absatzpreisen auf Prognosemethoden zurückgegriffen werden. In der Literatur werden drei klassische Fälle beschrieben, die in Abbildung 4.3 skizziert und von SCHWINDT UND TRAUTMANN (2005) ausführlich beschrieben wurden. Die Absatzprognosen werden auf produktbezogenen Zielmarktsegmenten für die in der Produktkonzeptdefinition ausgearbeiteten Produktkonzepte durchgeführt. Die Marktakzeptanz erlaubt Rückschlüsse auf die zuvor nach dem Kano-Modell klassifizierten Anforderungen, da das Nachfrageverhalten von Konsumenten mit der Befriedigung von Leistungs- und Basisanforderungen korreliert (KANO U. A. 1984, S. 39ff).

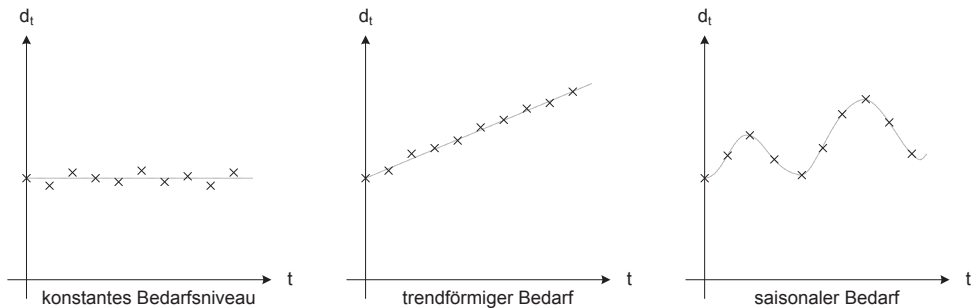


Abbildung 4.3: Klassische Verläufe von Produktnachfragen nach SCHWINDT UND TRAUTMANN (2005, S. 36)

Über fallbezogene Prognosemethoden lassen sich erwartungstreue Schätzungen ermitteln. Am Beispiel der Automobilindustrie wären beispielsweise Limousinen Stellvertreter konstanter Bedarfsplanungen. Autos mit alternativen Antrieben wären charakteristische Vertreter für trendförmige Bedarfe und der Absatz von Cabrios sollte saisonal geplant werden.

Zur weiteren Bestimmung der (vorläufigen) Zielkosten (*allowable costs*) ist eine festzulegende Gewinnmarge (*target margin* oder auch *target profit*) von den erhobenen Absatz(ziel)preisen (*target price*) abzuziehen. Es wird somit anstatt der klassischen Cost-Plus-Preiskalkulation eine retrograde Preiskalkulation durchgeführt (COOPER UND CHEW 1996, S. 88f). In der Literatur wird vorgeschlagen, die Gewinnmarge entweder durch Vorgabe einer Umsatzrentabilität (*return on sales* - ROS) oder einer Kapitalrentabilität (*return on investment* - ROI) zu spezifizieren (ARNAOUT 2001, S. 45), (FREIDANK UND ZAEH 1997, S. 240), (RÖSLER 1996, S. 29), (WEISS 2004, S. 160). Obwohl die Verwendung der Kapitalrentabilität als Kennzahl aus Sicht übergeordneter Unternehmensziele die zu bevorzugende Kennzahl darstellt, wird vor allem aus praktischen Gründen die Umsatzrendite bevorzugt (FRANZ 1993, S. 278), (GLASER 2002, S. 223ff), (NOLTEMEIER 2003, S. 8ff), (SCHULTE-HENKE 2007, S. 16), (SEIDENSCHWARZ 1993, S. 122). Die Ableitung der Zielkosten wird im weiteren Verlauf exemplarisch unter Berücksichtigung der Umsatzrendite vorgestellt.

iii) Festlegung der (vorläufigen) Zielkosten (*allowable costs*)

Die (vorläufigen) Zielkosten werden in der Fachliteratur oftmals als erlaubte Kosten bzw. *allowable costs* bezeichnet. Sie sind auf Basis der Zielmarktanforderungen¹ und damit qualitätsbezogenen Betrachtung der sondierten Produktkonzepte als höchstens zulässige Kosten zu verstehen, die insgesamt durch die Produktherstellung (theoretisch) entstehen dürfen (HORVÁTH 1993, S. 11). Die *allowable costs* beziehen sich nach dem Grundkonzept stets auf eine Einheit des Produkts und werden über die Differenz aus geschätztem Zielverkaufspreis und davon abzogener Gewinnmarge wie folgt errechnet:

$$ac = tp - tm \quad (4.1)$$

Notationen:

ac Erlaubte Kosten (*allowable costs*) pro Stück

tp Zielverkaufspreis (*target price*) pro Stück

tm Gewinnspanne bzw. Gewinnmarge (*target margin*) pro Stück

r_s Umsatzrentabilität (*return on sales*) [dimensionslose Größe, Angabe in Prozent]

tc Zielkosten (*target costs*) pro Stück

dc prognostizierte Standardkosten (*drifting costs*) pro Stück

¹ Der Zielmarkt steht stellvertretend für erhobene Kunden- und Marktanforderungen, wobei teilweise auch Wettbewerbsbedingungen hierunter begrifflich subsummiert werden (SEIDENSCHWARZ 1993, S. 116).

Im Anschluss an die Festlegung des Zielverkaufspreises ist die Gewinnspanne abzuziehen, um die erlaubten Kosten als Obergrenze zu bestimmen. Im Falle des Rückgreifens auf die Umsatzrendite ergibt sich eine Gewinnspanne in Höhe von:

$$tm = r_s \cdot tp \quad (4.2)$$

Die Höhe der Umsatzrendite variiert stark. Während in der japanischen Literatur Umsatzrenditen bis zu 20 Prozent ausgewiesen werden, sind in der deutschen Unternehmenspraxis Umsatzrenditen um die fünf Prozent als realistisch beziffert (FRANZ 1993, S. 127). Mit den Gleichungen 4.1 und 4.2 errechnen sich die erlaubten Kosten zu:

$$ac = (1 - r_s)tp \quad (4.3)$$

Die erlaubten Kosten stellen die aus dem Markt abgeleitete Obergrenze für die Herstellung des Produkts dar. Unter ausschließlicher Ableitung dieser Kosten vom Markt entsprechen die erlaubten Kosten somit den Zielkosten. Werden für die Bestimmung der Zielkosten die internen Unternehmensmöglichkeiten einbezogen, so sind die erlaubten Kosten zunächst mit den für die Herstellung „wahrscheinlich“ anfallenden Kosten zu vergleichen. Letztere werden als prognostizierte Standardkosten (*drifting costs*) bezeichnet und werden auf Basis vorhandener Produktionstechnologien und -verfahren geschätzt (WEIß 2006, S. 160). Dabei gilt im allgemeinen die Beziehung:

$$ac < tc < dc \quad (4.4)$$

Zur Schätzung der Standardkosten wird im Rahmen dieser Arbeit der Ansatz des Activity Based Costings integriert. Das Activity Based Costing² ist ein in den 80er Jahren von BRUNS UND KAPLAN (1987) in den USA entwickeltes Modellierungsverfahren zur transparenten Differenzierung und Ausrichtung der Kosten an Unternehmensprozessen (BRUNS UND KAPLAN 1987, S. 204ff). Beim Activity Based Costing werden sämtliche Aktivitäten im Innovationsprozess mit Aufwänden bzw. Kostensätzen belegt. Durch Aufsummierung dieser können produktbezogene Kosten nach FRIEDL U. A. (2010, S. 456) über vier Schritte determiniert werden.

1. Analyse der Tätigkeitsschritte und Bildung von Teilprozessen
2. Ermittlung der Teilprozesskostensätze
3. Aggregation der Teilprozesse zu Hauptprozessen
4. Bestimmung der Prozesskostensätze

² Die deutsche Bezeichnung ist Kostenprozessrechnung. Sie bildet den zentralen Baustein der Prozesskostenrechnung, sollte jedoch nicht mit ihr verwechselt werden.

Wird dieser Ansatz auf die Prognose von Standardkosten übertragen, so erlaubt Activity Based Costing eine spezifische, detaillierte Kostenabschätzung unterschiedlicher Produktkonzepte und deren Konzeptkomponenten und -teile. Voraussetzung dafür ist die Kenntnis und Definition unterschiedlicher Aktivitäten im Produktentstehungsprozess. In Abbildung 4.4 wird das Konzept des Activity Based Costing an einem Produkt(konzept)portfolio verdeutlicht.

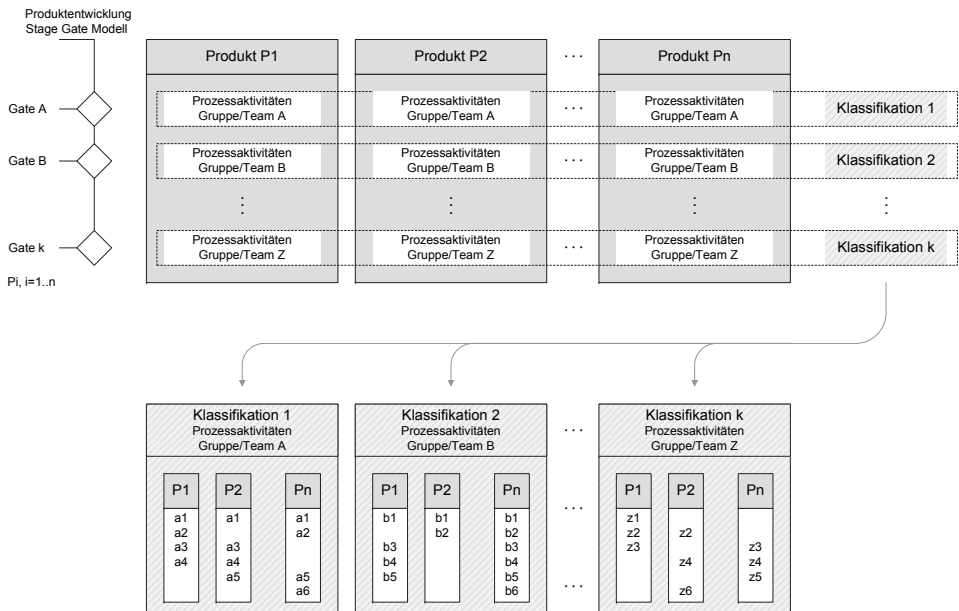


Abbildung 4.4: Beispielschema für Activity Based Costing im Innovationsprozess

Jedes zukünftige Produkt durchläuft gewisse Prozessschritte auf dem Weg seiner Entstehung. Diese Prozessschritte können nach dem Stage-Gate-Modell von Cooper zu teilkritischen Prozessen, wie beispielsweise die Produktentwicklung, aggregiert werden (COOPER 2010, S. 145ff). So kann das Portfolio an Produkten nach Prozessaktivitäten gruppiert bzw. klassifiziert werden, die im Rahmen des Produktentstehungsprozesses von der Entwicklung bis zur Auslieferung an den Kunden durchlaufen werden. Dabei werden ähnliche Aktivitäten zu Aktivitätsgruppen zusammengefasst. Wäre nach Abbildung 4.4 die Prozessgruppe bzw. Team A für die Entwicklung einer bestimmten Komponente zuständig und wäre Aktivität a_2 die Entwicklung der Elektrik, so könnte daraus geschlossen werden, dass es sich bei Produktkonzept $P2$ um eine rein mechanische Lösung handelt. Die zu erwartenden Gesamtkosten je Produktkonzept ergeben sich aus der Summe der aggregierten Kosten über alle Prozessgruppen.

Mit dem Konzept des Activity Based Costing wurde eine Methode vorgeschlagen, mit der eine produktkonzeptbezogene Kostenschätzung nach dem „bottom-up“ Prinzip möglich ist. Die endgültige Entscheidung der Festlegung der Zielkosten (*target costs*) obliegt jedoch dem Produktmanagement. Das Produktmanagement hat demnach die Aufgabe, einen Kompromiss zwischen den (extern) aus Markt- und Kundensicht hergeleiteten vorläufigen Zielkosten (*allowable costs*) und den (intern) mittels Activity Based Costing prognostizierten Standardkosten (*drifting costs*) zu finden.

4.1.2.2 Zielkostenspaltung

Unter der Zielkostenspaltung wird die Aufteilung der produktbezogenen, spaltbaren Zielkosten auf einzelne Spaltungsobjekte verstanden. Zwecksetzung der Spaltung ist das Herunterbrechen von Kostenstrukturen auf unternehmerische Funktionsbereiche (DINGER 2000, S. 6ff), (BUGGERT UND WIELPÜTZ 1995, S. 89ff). Da sowohl die vorläufigen erlaubten Zielkosten als auch die prognostizierten Standardkosten sehr abstrakte Größen darstellen, gilt es die einzelnen Kostenträger im Rahmen der Zielkostenspaltungsphase (*target cost breakdown*) näher zu analysieren. Zunächst muss spezifiziert werden, welche Kosten auf ein Produkt umgelegt werden können. In diesem Kontext wird von auf ein Produkt spaltbaren oder nicht spaltbaren Kosten gesprochen. Nach SCHULTE-HENKE (2007, S. 24) sind Kosten für Qualitätskontrollen oder Verwaltungskosten typische Beispiele nicht spaltbarer Kosten, wohingegen variable Gemeinkosten für Material und Fertigung typische Vertreter spaltbarer Kosten darstellen. Während die spaltbaren Kosten direkt mit der Produkterstellung verursacht und in der Zielkostenspaltungsphase näher spezifiziert werden, müssen die nicht-spaltbaren Kosten anders berücksichtigt werden (SCHULTE-HENKE 2007, S. 24f). Hierzu gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten. Entweder werden die nicht spaltbaren Kosten über die Gewinnspanne gedeckt, oder die Zielkosten werden durch Abzug der nicht-spaltbaren Kosten neu bestimmt. Letztere Möglichkeit ist im allgemeinen vorzuziehen (NOLTEMEIER 2003, S. 11f).

i) Geeignete Ansätze zur Zielkostenspaltung nach Innovationsgrad

In der Literatur werden verschiedene Ansätze zur Zielkostenspaltung vorgestellt. Die Kostenspaltung kann über die Bewertung des Kundennutzens oder durch Referenz auf Vorgängermodelle spezifiziert werden (BUGGERT UND WIELPÜTZ 1995, S. 90), (RÖSLER 1996, S. 35f) und (TANAKA 1989, S. 52f.). Die einfachste Vorgehensweise stellt

die *Komponentenmethode* dar (MEYER 2003, S. 203). Ihr Vorgehen sieht die direkte Zuordnung von Kosten auf einzelne Komponenten (Baugruppen und Teile) vor. Ihre Anwendung richtet sich an einem Vorgänger- oder Referenzprodukt aus und beschränkt sich im wesentlichen auf Anpassungskonstruktionen. Bei Produkten, die sich über einen hohen Grad an Innovation auszeichnen, sollte vor der Spaltung auf Komponentenebene eine Spaltung auf wertanalytische Funktionen bzw. kundenwichtige Produktmerkmale und -anforderungen durchgeführt werden (vgl. hierzu Abb. 2.2, S. 15). Nachfolgend werden geeignete Ansätze zur Zielkostenspaltung beschrieben, die in der Produktkonzeption allgemeine Anwendung finden.

- **Komponentenmethode:**

Die Komponentenmethode stellt eine Ableitung von Zielkosten auf Basis eines Referenzprodukts dar. Die komponentenbezogenen Zielkosten des zukünftigen Produkts werden durch Multiplikation der komponentenbezogenen Gewichtungen mit den spaltbaren Produktzielkosten ermittelt (SCHULTE-HENKE 2007, S. 37).

- **Funktionsmethode:**

Im Unterschied zur Komponentenmethode werden bei der Funktionsmethode kunden- und marktorientierte Anforderungen berücksichtigt. Sie stellt ein zweistufiges Verfahren dar, bei dem im ersten Schritt die Funktionszielkosten entsprechend der Wertschätzungen der Kunden gewichtet werden. Im Anschluss können die Zielkosten der technischen Komponenten ermittelt werden, die die Funktionen des zukünftigen Produkts erfüllen (FRIEDL U. A. 2010, S. 499f).

- **Functional Area Method:**

TANAKA (1989) hat eine Methode entwickelt, bei der zunächst nach harten und weichen Funktionen zu unterscheiden ist. Harte Funktionen entsprechen eher dem ingenieurwissenschaftlichen Verständnis, da sie sich direkt auf die Wirkweise des Produkts beziehen. Die weichen Funktionen repräsentieren viel mehr emotionale Werte, wie Imagegewinn durch den Kauf des Produkts (GLASER 2002, S. 225). Dieses Verfahren erweitert die Funktionsmethode um einen zusätzlichen, vorgelagerten Schritt zu einem dreistufigen Ansatz, bei dem die Kosten über Anforderungen auf Funktionen und dann auf Komponenten gespalten werden.

Zur Beschreibung von Produktfunktionen gibt es zwei unterschiedliche Auffassungen. Während in der Entwicklung die Funktionsstrukturentwicklung aus systemtechnischer Sicht geprägt ist, gibt es im Marketing keinen Bezugsrahmen zur Beschreibung von Funktionen. Ansätze zur Modellierung von Funktionsstrukturen finden sich beispielsweise bei KOLLER (1998, S. 39), PAHL UND BEITZ (2007, S. 242ff),

ROTH (2000, S. 25ff) oder RUDE (1998, S. 239) und SCHUBERT (2007, S. 21ff). Demgegenüber finden sich in der betriebswirtschaftlichen Literatur Funktionsbezeichnungen wie „Betriebskosten“ oder „Wartung“ (MEYER 2003, S. 202). Einig sind sich die unterschiedlichen Wissenschaftszweige darin, dass die Charakterisierung eines Produkts über Funktionen eine abstrakte und zunächst von konkreten technischen Lösungen unabhängige Beschreibung darstellt. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass es kein eindeutiges Verständnis im Zielkostenmanagement zur Beschreibung einer Produktfunktion gibt. Dies betreffende Analysen ergaben, dass der im Target Costing verwendete Funktionsbegriff eigentlich kundenrelevante Merkmale bzw. Anforderungen darstellt (NIEMAND 1996, S. 60).

Abbildung 4.5 veranschaulicht eine Einordnung der Methoden in Bezug auf ihre Anwendbarkeit in Abhängigkeit des Innovationsgrads eines zukünftigen Produkts. Eine ausführliche Beschreibung und exemplarische Anwendung der vorgestellten Methoden kann u.a. bei SCHULTE-HENKE (2007, S. 36ff) und FRIEDL U. A. (2010, S. 499ff) nachgelesen werden. Kritisch anzumerken bleibt, dass sich die Literatur zur Zielkostenspaltung bei der Priorisierung und Gewichtung der Kostenanteile mit den vorgestellten Methoden auf Conjoint Analysen und Punktwertverfahren bzw. Nutzwertanalysen implizit beschränkt³.

Einordnung von Methoden der Zielkostenspaltung	Typisierung nach Grad der Innovation			
	Variantenkonstruktion / entwicklung	Anpassungskonstruktion / entwicklung	Neukonstruktion / entwicklung	Radikalinnovation
Komponentenmethode	●	●	◐	○
Funktionsmethode	◐	●	●	◐
Functional Area Method	○	◐	●	●

Legende:

- Methode eignet sich
- ◐ Methode eignet sich bedingt
- Methode eignet sich nicht

Abbildung 4.5: Anwendungsbereiche der Methoden zur Zielkostenspaltung nach Innovationsgrad

³ Bereits an dieser Stelle wird daher vorgeschlagen, die Priorisierungen je nach gewählter Methode mit der in späteren Kapiteln dieser Arbeit vorgestellten Bewertungslogik durchzuführen.

Da die meisten innovativen Produktkonzepte auf Anpassungskonstruktionen und Neuproduktentwicklungen zurück zu führen sind, kann die Vorgehensweise der Zielkostenspaltung in Anlehnung an FRIEDL U. A. (2010, S. 499) gemäß Abbildung 4.6 dargestellt werden.

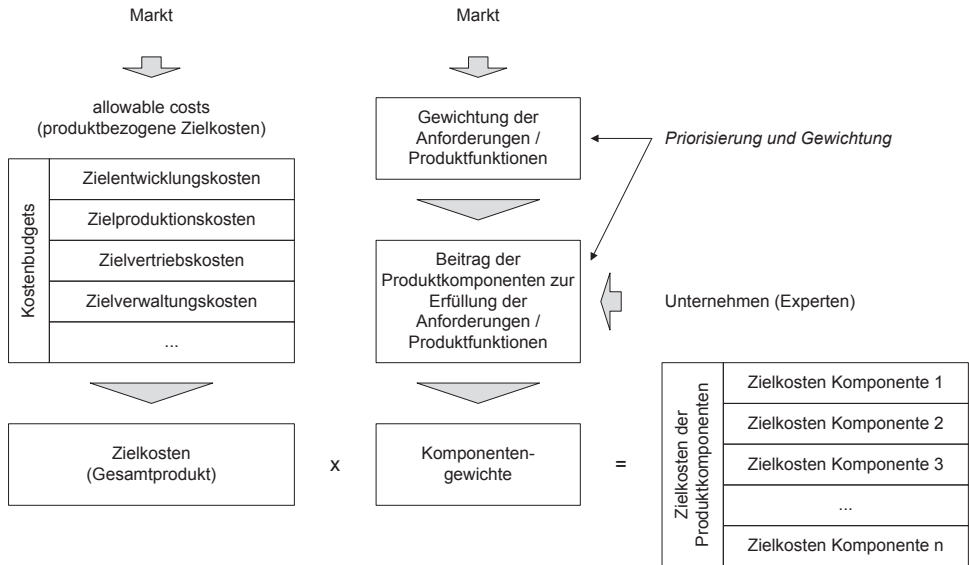


Abbildung 4.6: Erweiterte Vorgehensweise der Zielkostenspaltung nach FRIEDL U. A. (2010, S. 499)

Je nach gewählter Methode errechnen sich die einzelnen Komponentengewichte als mehrstufiger Prozess. So erfolgt die Priorisierung und Gewichtung bei der *Functional Area Method* auf Basis der Anforderungen, bei der *Funktionsmethode* auf Basis der Produktfunktionen und bei der *Komponentenmethode* komponentenbezogen (vgl. mittlere Spalte von Abb. 4.6). Die Zielkosten, die eine Komponente bzw. Baugruppe kosten darf, entsprechen ihrer Priorisierung nach exakt dem Anteil an den Gesamtproduktzielkosten, der über das Komponentengewicht errechnet wurde.

ii) Gegenüberstellung der Kostenspaltung aus Markt- bzw. Kunden- und Herstellersicht

Mit der Auswahl und Anwendung einer der zuvor genannten Methoden der Zielkostenspaltung können Nutzwengewichte und Kostenanteile auf Komponenten- bzw. Teileebene für Produktkonzepte errechnet werden. Im Idealfall sollte der Kostenanteil der Komponenten ihrer für den Kunden nutzestiftenden Priorisierung entsprechen

(BUGGERT UND WIELPÜTZ 1995, S. 96). Da dies in den seltensten Fällen der Realität entspricht, wird vom Produktmanagement ein Entscheidungsparameter festgelegt, über den eine Zielkostenzone definiert werden kann (FRIEDL U. A. 2010, S. 507f). Über ein sogenanntes Zielkostenkontrolldiagramm können die einzelnen Komponenten hinsichtlich ihrer Nutzen-/Kostenverhältnisse abgebildet werden. Die Visualisierung erfolgt auf Basis eines Zielkostenindex, der nach Gleichung 4.5 für jede Komponente (Baugruppe und/oder Teil) berechnet wird (SCHULTE-HENKE 2007, S. 48).

$$zki_j = \frac{x_j}{y_j} \quad (4.5)$$

Notationen:

- zki_j Zielkostenindex für Komponente j in [%]
- x_j Nutzteilgewicht der Komponente j in [%]
- y_j Kostenanteil der Komponente j
- j Komponentenindex aus einer abgeschlossenen Menge an Komponenten $j \in J$
- q Entscheidungsparameter zur Definition der Zielkostenzone

Über den Entscheidungsparameter q kann eine Zielkostenzone bestimmt werden, die in der Praxis üblicherweise durch folgende Funktionen eingegrenzt wird (SCHULTE-HENKE 2007, S. 49).

$$y^u = \sqrt{x^2 + q^2} \quad \text{und} \quad y^o = \sqrt{x^2 - q^2} \quad (4.6)$$

Notationen:

- y^u Untere Begrenzung der Zielkostenzone
- y^o Obere Begrenzung der Zielkostenzone

Die Zielkostenzone kann als Toleranzbereich für zulässig erachtete Abweichungen von der Ideallinie angesehen werden. Befindet sich eine Komponente oberhalb der Kostenzone, so wird sie in Bezug auf ihre Herstellkosten als relativ zu teuer angesehen. Komponenten unterhalb dieser Zone sind auf Erfüllung der Kundenanforderungen bzw. Produktfunktionen zu überprüfen und ggf. zu verbessern (GÖTZE 2008b, S. 288f). Aus Abbildung 4.7 geht ein mit $q = 15\%$ dargestelltes Zielkostenkontrolldiagramm hervor.

4.1.3 Resultierende Plandaten als Input für das Entscheidungsnetzwerk

Die Anforderungen, die die Produktkonzepte über ihre Merkmale und Eigenschaften abdecken, werden gemäß des in Kapitel 4.1.1 vorgestellten Kano-Modells klassifiziert und strukturiert. So zeichnen sich Produktkonzepte über *Leistungsanforde-*

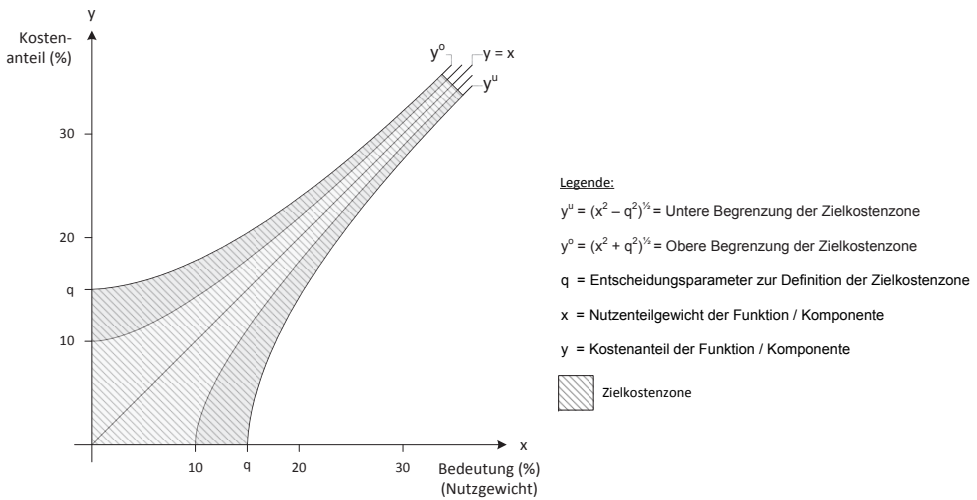


Abbildung 4.7: Zielkostenkontrolldiagramm in Anlehnung an BUGGERT UND WIELPÜTZ (1995, S. 97)

rungen, Begeisterungsanforderungen und Basisanforderungen aus, wobei sich die alternativen Produktkonzepte in Bezug auf die Anzahl und Erfüllung dieser Anforderungen unterscheiden können. Unter Verwendung von Techniken des Produktmarketing können alternative Produktkonzepte auf Marktakzeptanz überprüft werden, um mögliche Zielpreise für Produktkonzepte zu determinieren. Es resultieren somit Absatzpreise und -mengen je Produktkonzept, die am Markt über den Lebenszyklus des zukünftigen Produkts erzielt werden können. Dabei korrelieren die Resultate der Marktanalyse im Wesentlichen mit den klassifizierten Leistungsanforderungen nach Kano, da diese aus Marktsicht nutzenstiftend sind und Kaufanreize auslösen.

Mit den Instrumenten der *Kostenfestlegung* und *-spaltung* des Zielkostenmanagements in Kombination mit *Activity Based Costing* können sodann komponentenbezogene Kostengrenzen abgeleitet werden, wie in Kapitel 4.1.2 ausführlich beschrieben wurde. Bereits zu diesem Zeitpunkt lassen sich mögliche Produktkonzepte aus der Alternativenmenge für eine zukünftige Produktenstehung entfernen, wenn über die Visualisierung im Zielkostenkontrolldiagramm (vgl. Abb. 4.7) ersichtlich wird, dass Produktkonzepte oder deren Konzeptkomponenten nicht ökonomisch vertretbar sind. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass Entwicklungsingenieure vorwiegend dazu neigen, ihren Fokus auf Raffinesse und Innovativität bei der Konzeption einer technischen Lösung zu setzen, bietet das Zielkostenkontrolldiagramm aus ökonomischer Sicht ein praktikables Instrument, um diejenigen Produktkonzepte im Vorfeld auszumustern, bei denen entweder die Kosten zur Realisierung als Produkt dessen Ab-

satzpreis übersteigen, oder die vom Produktmanagement festgelegte Gewinnspanne (*target margin*) unterschreiten.

4.2 Aufbau des Entscheidungsmodells

In den folgenden Unterkapiteln wird ein Entscheidungsmodell konstruiert, das sich aus vier disjunkten Entscheidungsnetzwerken zusammensetzt. Ein Entscheidungsnetzwerk bildet dabei den formalen Rahmen für anschließende Priorisierungen von Produktkonzepten in Bezug auf die einzelnen Elemente des Entscheidungsnetzwerks unter Verwendung des Analytischen Netzwerk Prozesses. Innerhalb eines Entscheidungsnetzwerks werden sämtliche, dem Netzwerk zuzuordnende Entscheidungskriterien subsummiert, wie beispielsweise zu erfüllende Leistungsanforderungen. Alle diese Kriterien bilden die Elemente des Entscheidungsnetzwerks. Wenn innerhalb der Netzwerke Abhängigkeiten und Feedbacks zwischen den einzelnen Elementen bestehen, so werden diese während der Konstruktion des Netzwerks durch gerichtete Kanten bzw. Pfeile kenntlich gemacht. Der prinzipielle Aufbau eines solchen Entscheidungsnetzwerks wurde bereits in Kapitel 3.2.2.7, Abbildung 3.4 auf Seite 78 skizziert und kann am Beispiel eines mechanisch kommutierten Elektromotors nach Abbildung 4.8 verdeutlicht werden. Aus der Abbildung gehen zwei alternative Kraftstoffpumpenankerkonzepte eines deutschen Automobilzulieferers hervor (SCHUBERT 2007, S. 63ff).

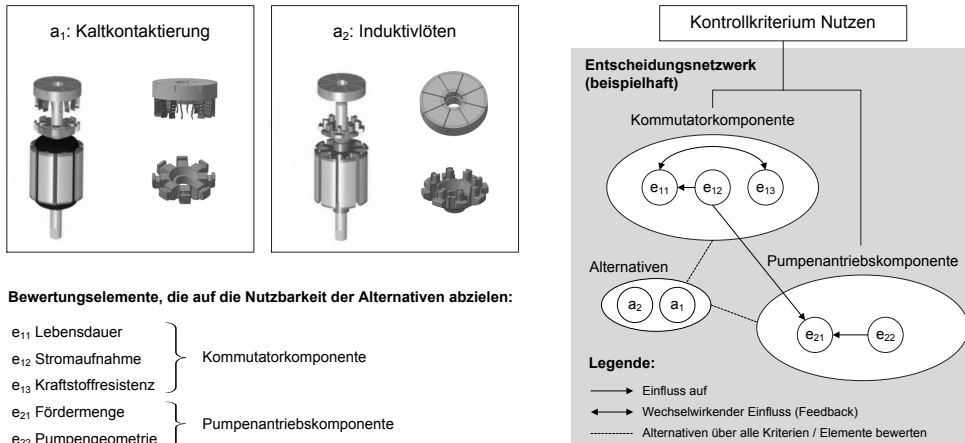


Abbildung 4.8: Beispiel eines Entscheidungsnetzwerks in Anlehnung an SCHUBERT (2007, S. 71), das unter einem Kontrollkriterium strukturiert ist

4.2.1 Bestimmung von Kontrollkriterien und Aggregationsregeln

Im Rahmen dieser Arbeit wird vorgeschlagen, die bisher ermittelten Eingangsgrößen⁴ über vier Kontrollkriterien zu strukturieren. In den vorherigen Kapiteln wurden *Nutzen*, *Kosten*, *Chancen* und *Risiken* als die wesentlichen Betrachtungsrichtungen für eine zielführende Produktkonzeptauswahl bestimmt. Sie bilden in dieser Arbeit als Kontrollkriterien die inhaltliche Vorgabe, welche Kriterien in die Struktur der zugehörigen Entscheidungsnetzwerke aufgenommen werden sollten.

- **Nutzen:**

Unter diesem Kontrollkriterium sind sämtliche Kriterien zu strukturieren die nutzenstiftend sind und den Kaufanreiz für ein bestimmtes Produkt erhöhen. Neben Kundenanforderungen werden hier beispielsweise auch Kriterien subsummiert, über die sich bestimmte Konzepte gegenüber dem Wettbewerb auszeichnen und somit marktattractiv sind.

- **Chancen:**

Dieses Kontrollkriterium zielt auf Kriterien ab, die im Wesentlichen strategischer Natur sind und dem Unternehmen durch Realisierung des gewählten Konzepts zusätzliche Vorteile bieten. Beispiele wären neue Anwendungsfelder und -märkte, aber auch unvorhersehbar gesteigerte Absätze durch zusätzliche Produkteigenschaften.

- **Kosten:**

Unter Kosten sind sämtliche prognostizierten Kosten, die mit der Realisierung von Produktkonzepten anfallen, zu strukturieren. Neben diesen quantitativen Daten werden weitere Kriterien, wie beispielsweise sonstige Aufwendungen, die durch die Konzeptselektion ausgelöst werden, strukturiert.

- **Risiken:**

Das Kontrollkriterium Risiken bietet die Möglichkeit, sämtliche Risiken, die in Verbindung mit Produktkonzepten stehen, zu erfassen und zu strukturieren. Ähnlich wie bei den Chancen können diese u.a. technischer, ökonomischer, ökologischer und politischer Natur sein.

Unter Berücksichtigung der zuvor ermittelten Eingangsgrößen wird in dieser Arbeit vorgeschlagen, die Struktur in Anlehnung an Abbildung 4.9 aufzustellen.

⁴ Die Eingangsgrößen für den Aufbau der Entscheidungsnetzwerke stellen die Kano-klassifizierten Anforderungen dar, die über die Produktkonzepte bestmöglich zu erfüllen sind, sowie die Komponente der Kosten, die über Zielkostenmanagement und Activity Based Costing determiniert wurde.

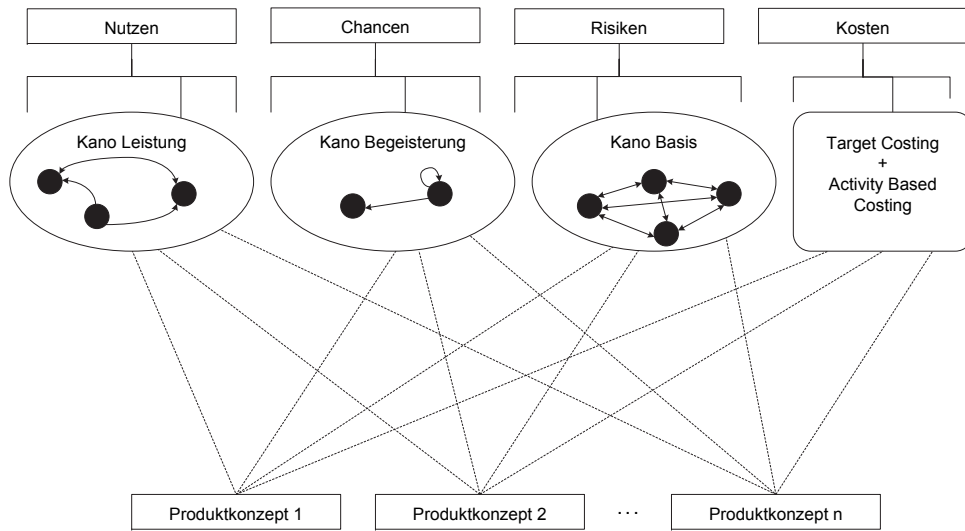


Abbildung 4.9: Beispielhafte Grundstruktur des Entscheidungsmodells

Die Klasse der Kano-Basisanforderungen wurde unter das Kontrollkriterium Risiken strukturiert. Basisanforderungen sollten realisiert werden, da eine Nichterfüllung dieser mittelbar zu Kundenunzufriedenheit und Imageverlust führt. Ihre Nichterfüllung birgt somit das Risiko, das Vertrauen der Kunden in die Produkte zu verlieren und somit zukünftig Marktanteile abzugeben. Die Kano-Klasse der Begeisterungsanforderungen wird unter dem Kontrollkriterium Chancen geführt, da ihr Vorhandensein zwar nicht vom Markt direkt gefordert, aber indirekt durchaus positive Produktwahrnehmung stiftet.

Die bewerteten Entscheidungsnetzwerke der jeweiligen Kontrollkriterien werden zu einer Gesamtpräferenz aggregiert. Aus Sicht der bewertenden Experten kann für jedes Netzwerk, beispielsweise für den Nutzen, angegeben werden, wie gut oder schlecht jede Konzeptalternative in Bezug auf die Netzwerkkomponenten priorisiert wurde. Nutzen und Chancen stehen dabei für positive Zusammenhänge während Kosten und Risiken negative Zusammenhänge darstellen. Bei positiven Zusammenhängen sind höhere und bei negativen Zusammenhängen niedrigere Werte optimaler. Die Aggregation positiver und negativer Zusammenhänge kann nach BORETTO UND FERRETI (2011, S. 76) grundsätzlich durch nachfolgende Regeln ausgedrückt werden, wobei die Parameter in Bezug auf die Aussagekraft in normierter Form vorliegen müssen. Normierung bedeutet, dass die Summe der Alternativenprioritäten für jedes Kontrollkriterium gleich Eins ist, wie in Tabelle 4.2 beispielhaft dargestellt ist.

Alternativen	Nutzen	Kontrollkriterien		
		Chancen	Risiken	Kosten
Alternative 1	0,30	0,42	0,50	0,40
Alternative 2	0,45	0,23	0,25	0,20
Alternative 3	0,25	0,35	0,25	0,40
	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$

Tabelle 4.2: Beispielergebnisse der jeweiligen Netzwerke

Mögliche Aggregationsregeln für das Entscheidungsmodell:

$$N + C - K - R \quad (4.7)$$

$$N + C + \frac{1}{K} + \frac{1}{R} \quad (4.8)$$

$$N + (1 - K) + C + (1 - R) \quad (4.9)$$

$$\frac{N \cdot C}{K \cdot R} \quad (4.10)$$

$$N^{1/2} \cdot K^{-1/2} \cdot C^{1/2} \cdot R^{-1/2} \quad (4.11)$$

Notationen:

N normierte Gewichtung des Nutzens

C normierte Gewichtung der Chancen

K normierte Gewichtung der Kosten

R normierte Gewichtung der Risiken

Unter Verwendung der Gleichungen von BORETTO UND FERRETI ergibt sich für das Beispiel aus Tabelle 4.2 nachfolgende Gesamtbewertung je Verknüpfungsregel:

Alternativen	Nutzen	Kontrollkriterien			Verknüpfungsregeln				
		Chancen	Risiken	Kosten	(4.7)	(4.8)	(4.9)	(4.10)	(4.11)
Alternative 1	0,30	0,42	0,50	0,40	-0,18	5,22	1,82	0,63	0,79
Alternative 2	0,45	0,23	0,25	0,20	0,23	9,68	2,23	2,07	1,44
Alternative 3	0,25	0,35	0,25	0,40	-0,05	7,10	1,95	0,88	0,94

Tabelle 4.3: Beispielergebnisse für das Entscheidungsmodell

So wird aus Tabelle 4.3 ersichtlich, dass die *Alternative 2* insgesamt zu bevorzugen ist. Ferner gilt in diesem Beispiel unabhängig der verwendeten Verknüpfungsregel die

Präferenzrelation *Alternative 2* \succ *Alternative 3* \succ *Alternative 1*. Der Antwort auf die Frage, welche Verknüpfungsregel am geeignetsten für welche Netzwerkberechnung ist, bleiben BORETTO UND FERRETI schuldig. An dieser Stelle wäre eine genauere Analyse, ob sich ggf. die Gesamtbewertung je nach Verknüpfungregel verändert, über grenzbetrachtende Berechnungen von n -Alternativenmengen auf den jeweiligen Kriterienintervallen $[0, 1]$ aufschlussreich. Dies würde jedoch den Rahmen dieser Arbeit sprengen, weswegen der Autor dieser Arbeit vor dem Hintergrund der Anwendung arithmetischer Mittel und approximativer Verfahren in nachfolgenden Kapiteln zur Priorisierung auf Komponenten- und Elementebene vorschlägt, die Verknüpfungsregel 4.8 zu nutzen.

4.2.2 Strukturierung von Bewertungskriterien

Unter den jeweiligen Kontrollkriterien werden problemspezifische Entscheidungsnetzwerke erstellt. Neben den bisher bestimmten Eingangsgrößen, die sich primär auf nutzenstiftende bzw. kaufrelevante Produkthanforderungen und Kostenschätzungen beziehen, gilt es in einem nächsten Schritt weitere Kriterien zu erheben, um das gesamte Entscheidungsmodell möglichst vollständig zu konstruieren. Da jedes Entwicklungs- bzw. Innovationsprojekt einzigartig ist, können keine allgemein gültigen Kriterien angegeben werden. Eine tabellarische Übersicht diverser Kriterien zur Auswahl von Produktkonzepten kann beispielsweise in PAHL UND BEITZ (2007, S. 118) oder in ALBERS UND HERRMANN (2007, S. 402) nachgelesen werden. Darüber hinaus finden sich weitere Anhaltspunkte in PONN UND LINDEMANN (2008) und den Richtlinien VDI 2206, VDI 2220, VDI 2221, VDI 2225 und VDI 2234. Nachfolgend sind wesentliche Kriterien aufgelistet, wie sie in der genannten Literatur zu finden sind:

- Marktpotential
- Vermarktung
- Finanzielle Aspekte
- Entwicklungsbedingungen
- Produktionsbedingungen
- Unternehmensziele
- Unternehmensstärken
- Gesetzliche Aspekte
- Umweltaspekte

Schon während der Erhebung von Kriterien ist es ratsam, diese nach Möglichkeit selektiv zu gruppieren. Eine Gruppe von Kriterien wird *Cluster* bzw. *Komponente*⁵ genannt, während die Kriterien an sich die jeweiligen *Elemente* innerhalb dieser *Komponenten* bilden. Dabei sind einelementige Komponenten durchaus denkbar. Beispielsweise könnten Produktionsbedingungen eine Entscheidungskomponente darstellen, in der fertigungstechnisches Know-How, Produktionskapazitäten, etc. . . die Entscheidungselemente bilden.

4.2.3 Strukturierung des Entscheidungsproblems

Die Strukturierung des Entscheidungsproblems obliegt in der Regel dem Produktmanagement. Das Produktmanagement hat damit die Aufgabe, einen Expertenkreis zu bilden. Dieser besteht aus sämtlichen, am Innovationsprozess für die Weiterverfolgung einer bestimmten Produktidee beteiligten Stakeholdern. Ihnen kommt sodann die Aufgabe zu, das Entscheidungsproblem zu strukturieren. Ferner werden Abhängigkeiten und wechselseitige Beeinflussungen zwischen den Komponenten und Elementen in der Struktur des Entscheidungsproblems kenntlich gemacht. Neben der Strukturierung des Entscheidungsproblems durch ein interdisziplinäres Team sollten zu diesem Zeitpunkt bereits make-or-buy Überlegungen angestrengt werden, um die Alternativenmenge an Produktkonzepten um weitere Möglichkeiten zu ergänzen. Make-or-buy Überlegungen können auf Bauteilebene, Komponenten-, Hauptbaugruppen- oder Produktkonzeptebene gemacht werden. So könnte sich beispielsweise eine neue Alternative ergeben, bei der eine Baugruppe zugekauft wird. Diese könnte durchaus besser in Bezug auf das Kontrollkriterium Kosten sein, jedoch ggf. auch schlechter in Bezug auf Risiken, da Liefertreue in Qualität und Menge in diesem Fall vom Lieferanten abhängig sind.

Unabhängig von der Anzahl der Alternativen muss zur Bewertung dieser das Entscheidungsmodell, bestehend aus den über die vier Kontrollkriterien zu strukturierenden Entscheidungsnetzwerken, aufgebaut werden. Ein Entscheidungsnetzwerk besteht immer aus Komponenten bzw. Clustern, Elementen und Abhängigkeiten. Abhängigkeiten werden als gerichtete Kanten modelliert. Eine gerichtete Kante, die von einer Komponente auf eine andere Komponente zeigt, bedeutet, dass mindestens ein Element der Komponente von der die Kante fortführt mindestens ein Element der Komponente beeinflusst, auf die die Kante zeigt. Gerichtete Kanten werden auch als Pfeile bezeichnet. Wenn also auf Elementebene das Element e_x auf das Element e_y mit einem Pfeil zeigt, bedeutet dies, dass e_y von e_x abhängig ist bzw. beeinflusst wird. Eine Kante, die in beide Richtungen zeigt, weist eine wechselseitige

⁵ Der Begriff Komponente entspricht der Originalbezeichnung nach SAATY (2001).

Abhängigkeit aus. In diesem Kontext wird auch von Feedback gesprochen (SAATY 2001, S. 85). Mit der Strukturierung resultieren unter Berücksichtigung der Kontrollkriterien vier Netzwerke, die in ihrer Gesamtheit das Entscheidungsmodell bilden.

4.3 Bewertungsregeln im Entscheidungsnetzwerk

Ausgangspunkt für eine Bewertung ist das Vorliegen eines Entscheidungsmodells, das aus verschiedenen Netzwerken besteht, die über die Kontrollkriterien abgebildet wurden. Die Bewertung wird dem ANP folgend über paarweise Vergleiche auf Komponenten- und Elementebene durchgeführt. Über Paarvergleiche lässt sich die relative Wichtigkeit eines Kriteriums in Bezug auf ein anderes Kriterium ermitteln. Ebenso lassen sich Alternativen in Bezug auf die Erfüllung von Kriterien bewerten. Die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Prozesse werden für alle Kontrollkriterien durchlaufen. Insgesamt entstehen demnach vier, für jedes Kontrollkriterium modellierte Entscheidungsnetzwerke, die es zu priorisieren und evaluieren, und in einem letzten Schritt über die bereits vorgestellten Aggregationsregeln zu verknüpfen gilt. Die folgenden Unterkapitel dienen der Vorbereitung der formalen Bewertung der jeweiligen Entscheidungsnetzwerke, wobei das Standardverfahren des ANP durch die Modellierung von Unschärfe und die Möglichkeit der Einbeziehung von Gruppenentscheidungen derart angepasst wird, dass die Eignungskriterien, die an Verfahren in Bezug auf die Produktkonzeptauswahl definiert wurden, vollständig erfüllt werden.

4.3.1 Bestimmung der Adjazenzmatrizen auf Komponenten- und Elementebene

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass jeder gerichtete Graph in eine Matrix überführt werden kann, werden zunächst Adjazenzmatrizen auf Komponenten- und Elementebene gebildet. Adjazenzmatrizen werden im Rahmen dieser Arbeit als sinnvoller Zwischenschritt erachtet, da ihre einfache Darstellung den Entscheidungsträgern eine Orientierungshilfe in Bezug auf die später zu erstellenden Bewertungsmatrizen gibt. Eine Adjazenzmatrix beinhaltet noch keine Bewertungen, sondern visualisiert nur die Abhängigkeiten, die im Rahmen des strukturellen Aufbaus des Entscheidungsproblems festgestellt wurden. Mit Hilfe von Adjazenzmatrizen werden die Abhängigkeiten und Feedbacks eines Entscheidungsnetzwerks in Matrixform geschrieben. Dabei werden die Einflüsse zeilenweise erstellt. Nach SAATY (2001, S. 87) können

für alle Elemente e_i und alle Komponenten C_j zwei Adjazenzmatrizen konstruiert werden, wie in Abbildung 4.10 schematisch dargestellt.

$$V = \begin{matrix} & & & C_1 & & C_2 & & \dots & & C_m \\ & & & e_{11}e_{12}\dots e_{1n_1} & & e_{21}e_{22}\dots e_{2n_2} & & \dots & & e_{m1}e_{m2}\dots e_{mn_m} \\ C_1 & e_{11} & & & & & & & & \\ & e_{12} & & & & & & & & \\ & \vdots & & & & & & & & \\ & e_{1n_1} & & & & & & & & \\ C_2 & e_{21} & & & & & & & & \\ & e_{22} & & & & & & & & \\ & \vdots & & & & & & & & \\ & e_{2n_2} & & & & & & & & \\ \vdots & \vdots & & & & & & & & \\ & e_{m1} & & & & & & & & \\ C_m & e_{m2} & & & & & & & & \\ & \vdots & & & & & & & & \\ & e_{mm} & & & & & & & & \end{matrix} \begin{pmatrix} & & & & & & & & & \\ & V_{11} & & V_{12} & & \dots & & & & V_{1m} \\ & & & & & & & & & \\ & & & V_{21} & & V_{22} & & \dots & & V_{2m} \\ & & & & & & & & & \\ & & & \vdots & & \vdots & & \ddots & & \vdots \\ & & & & & & & & & \\ & & & & & & & & & \\ & & & V_{m1} & & V_{m2} & & \dots & & V_{mm} \\ & & & & & & & & & \end{pmatrix} \quad B = \begin{matrix} & & & C_1 & & C_2 & & \dots & & C_m \\ C_1 & & & b_{11} & & b_{12} & & \dots & & b_{1m} \\ C_2 & & & b_{21} & & b_{22} & & \dots & & b_{2m} \\ \vdots & & & \vdots & & \vdots & & \ddots & & \vdots \\ C_m & & & b_{m1} & & b_{m2} & & \dots & & b_{mm} \end{matrix}$$

Abbildung 4.10: Adjazenzmatrizen der Elemente (V) und der Komponenten (B) nach SAATY (2001, S. 87)

Die Adjazenzmatrix V besteht aus einzelnen Blöcken V_{ij} . Dabei enthält jede Spalte in einem Block V_{ij} Informationen darüber, ob es eine Abhängigkeit zwischen den Elementen der i -ten Komponente C_i auf Elemente der j -ten Komponente C_j gibt. Ein Block V_{ij} kann nach SAATY (2001, S. 87) definiert werden zu:

$$V_{ij} = \begin{pmatrix} v_{i_1j_1} & v_{i_1j_2} & \dots & v_{i_1j_m} \\ v_{i_2j_1} & v_{i_2j_2} & \dots & v_{i_2j_m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{i_mj_1} & v_{i_mj_2} & \dots & v_{i_mj_m} \end{pmatrix} \quad (4.12)$$

Alle v_{ij} werden über nachfolgende Gleichung bestimmt:

$$v_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{falls } e_i \text{ Einfluss auf } e_j \text{ hat, und} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad (4.13)$$

Die Blöcke V_{ij} werden anschließend in die Adjazenzmatrix V der Elemente eingetragen. Die Adjazenzmatrix B der Komponenten kann aus der vorherigen Bestimmung der Blöcke V_{ij} über folgende Formel abgeleitet werden:

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{falls der Block } V_{ij} \text{ mindestens eine 1 enthält, und} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad (4.14)$$

4.3.2 Voraussetzungen für die formale Modellbildung

Um eine Vergleichbarkeit und Auswertbarkeit des Entscheidungsnetzwerks in Matrixform zu gewährleisten, müssen folgende Eigenschaften der Matrixelemente erfüllt sein⁶ (AHLERT 2003, S. 42), (FINK UND PLODER 2006, S. 102), (HARKER 1989, S. 14f), (SAATY 1980):

Axiom 1 – Reziprozität:

Bestimmt man bei einer Gewichtung im paarweisen Vergleich beispielsweise der Bewertung zu, dass ein Kriterium e_x doppelt so wichtig wie e_y ist, dann muss auch die reziproke Aussage bejaht werden, so dass e_y nur halb so wichtig wie e_x ist. Für die vollständige Bestimmung der Matrix mit m Kriterien müssen auf Grund der Reziprokeigenschaften nur $\frac{1}{2} m(m - 1)$ Paarvergleiche durchgeführt werden.

$$e_{ji} = \frac{1}{e_{ij}} \quad \forall i, j \quad (4.15)$$

Axiom 2 – Vergleichbarkeit/Homogenität:

Ein Kriterium kann nie unendlich viel besser als ein anderes Kriterium sein. Ebenso kann eine Alternative nie unendlich viel besser als eine andere Alternative in Bezug auf die Erfüllung eines Kriteriums sein, da sonst alle anderen Alternativen unberücksichtigt blieben und keine Wahlmöglichkeit mehr bestünde.

$$e_{ij} \neq \infty \quad \forall i, j \quad (4.16)$$

Axiom 3 – Vollständigkeit:

Alle Faktoren, die Einflüsse auf das Entscheidungsproblem haben sollten in Form von Kriterien und Alternativen im Entscheidungsmodell enthalten sein.

Axiom 4 – Konsistenz:

Wenn e_x zweimal wichtiger als e_y und e_y dreimal wichtiger als e_z ist, dann sollte e_x sechsmal wichtiger als e_z sein.

$$e_{ik} \cdot e_{kj} = e_{ij} \quad \forall i, j \quad (4.17)$$

Insbesondere Axiom 4 – Konsistenz wird in der Regel verletzt, da eine exakte Aussage darüber, wie viel wichtiger ein Kriterium ist oder wie viel besser eine Alternative dieses erfüllt, kaum durch einen Experten absolut bewertbar ist. Eine Besonderheit der Methode die im weiteren Verlauf dieser Arbeit vorgestellt wird, liegt in der Möglichkeit der Konsistenzprüfung.

⁶ Die Axiome gelten ferner für alle Bewertungsverfahren, deren Grundlage Paarvergleiche bilden.

4.3.3 Bewertung quantitativer Größen

Sofern ausschließlich quantitative Größen für eine Bewertung vorliegen, können die relativen Gewichte sehr einfach bestimmt werden. Ein Beispiel dafür wäre ein Vergleich von fünf LKWs in Bezug auf ihre Traglast $[kg]$ als einziges Kriterium. Die Gewichtung resultiert in einem Prioritätenvektor, der die relative Rangfolge der Bewertungsobjekte, in diesem Fall die Rangfolge der fünf LKWs, angibt.

Bei positiven Zusammenhängen (z.B. Traglast) werden die Gewichte w_i wie folgt bestimmt (FINK UND PLODER 2006, S. 109):

$$w_i = \frac{e_i}{e_1 + e_2 + \dots + e_m} = \frac{e_i}{\sum_{i=1}^m e_i} \quad i = 1, \dots, m \quad (4.18)$$

Bei negativen Zusammenhängen (z.B. Treibstoffverbrauch) werden die Gewichte w_i wie folgt bestimmt (FINK UND PLODER 2006, S. 109):

$$w_i = \frac{\frac{1}{e_i}}{\frac{1}{e_1} + \frac{1}{e_2} + \dots + \frac{1}{e_m}} = \frac{\frac{1}{e_i}}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{e_i}} \quad i = 1, \dots, m \quad (4.19)$$

Grundsätzlich könnten auch bei quantitativen Daten Paarvergleichsmatrizen erstellt und über die im Verlauf dieser Arbeit vorgestellten Methoden ausgewertet werden. Dieser Schritt ist insofern obsolet, da Matrizen, die ausschließlich objektiv messbare Daten enthalten zwei Eigenschaften erfüllen. Erstens können die Prioritätenvektoren direkt berechnet werden und zweitens sind diese Matrizen immer 100% konsistent.

4.3.4 Bewertung qualitativer Größen

Die Bewertung qualitativer Daten wird mit Hilfe von Skalen für Paarvergleiche durchgeführt. Dazu bietet das ANP Standardverfahren nach SAATY (2001) eine 9-Punkt-Skala an, die aus Tabelle 4.4 hervorgeht. Analog zu der Bewertung positiver und negativer Zusammenhänge werden bei der Bewertung qualitativer Kriterien entweder die in Tabelle 4.4 angegebenen Werte oder Reziprokwerte für einen Paarvergleich genommen. Dies gilt auch für die im weiteren Verlauf dieses Kapitels vorgestellten unscharfen Bewertungsskalen.

Unsicherheiten und Aussagegenauigkeit können unter Verwendung der saatyschen Skala nur bedingt ausgedrückt werden. Mit der Beschreibung der Anforderungen an

Mögliche Werte für Paarvergleichsurteile	Bedeutung der möglichen Werte für Paarvergleichsurteile e_{ij}	
	Beurteilung von Alternativen in Bezug auf ein Kriterium	Beurteilung der relativen Bedeutung zwischen Kriterien
1	Gleiche Präferenz für beide Alternativen i und j (Indifferenz)	Gleiche Bedeutung der beiden Kriterien i und j (Indifferenz)
3	Etwas höhere Präferenz für Alternative i	Etwas höhere Bedeutung des Kriteriums i
5	Deutlich höhere Präferenz für Alternative i	Deutlich höhere Bedeutung des Kriteriums i
7	Viel höhere Präferenz für Alternative i	Viel höhere Bedeutung des Kriteriums i
9	Sehr viel höhere Präferenz für Alternative i	Sehr viel höhere Bedeutung des Kriteriums i
2,4,6,8	Zwischenwerte	
$\frac{1}{1} \frac{1}{2} \frac{1}{3} \frac{1}{4} \frac{1}{5} \frac{1}{6} \frac{1}{7} \frac{1}{8} \frac{1}{9}$	Reziprokwerte	

Tabelle 4.4: Skala für Paarvergleichsurteile in Anlehnung an SAATY (2008, S. 86)

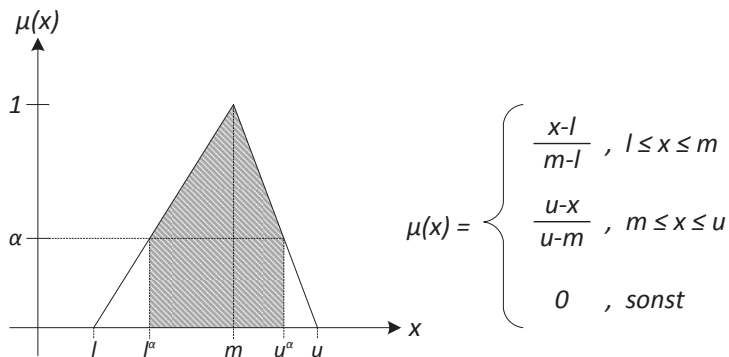
eine aussagekräftige methodische Vorgehensweise zur Bewertung von Produktkonzepten wurden die Schwächen subjektiver Bewertungen vorgestellt (vgl. hierzu ferner Kap. 2.3.3 und Kap. 2.3.4). Um die Unsicherheiten und Zweifel von Bewertern und Experten in bestimmten Entscheidungssituation bestmöglich handhaben zu können, werden nachfolgend linguistische Variablen definiert, die auf dem Konzept der Modellierung von Unschärfe nach ZADEH (1965) aufbauen.

Aufbau linguistischer Variablen

Im Rahmen dieser Arbeit werden linguistische Variablen über triangulare Fuzzy Nummern bzw. Mengen definiert. Am Beispiel der Temperatur könnte eine linguistische Variable als *kalt* definiert werden. Da das Kälteempfinden von Menschen un-

terschiedlich ist, wird ein Wertebereich für *kalt* über eine Fuzzy Nummer⁷ abgedeckt, die sich in diesem Fall über das Kälteempfinden möglichst vieler, unterschiedlicher Menschen zusammensetzt. Im Rahmen der Produktkonzeptauswahl müssen Experten teilweise qualitative Urteile fällen. Nun hat jedoch jeder Experte eine andere Vorstellung davon, was *besser* oder *viel besser* in Bezug auf qualitative Kriterienerfüllung von Konzeptalternativen bedeutet. Dies liegt an der Ungenauigkeit einer jeden natürlichen Sprache, weswegen die Aussagen in natürlicher Sprache „unscharf“ sind. Expertenurteile unter Verwendung linguistischer Variablen sind nach Meinung von BOGASCHEWSKY U. A. (2010, S. 33) vorteilhafter für Entscheidungsträger als die Festlegung auf Punktwertskalen.

Das Ziel des Aufbaus linguistischer Variablen ist es, Expertenbewertungen in ihrer Bewertungsrichtung als korrekt anzusehen aber die Aussagekraft der subjektiven Bewertung abzuschwächen. In Kapitel 2.3.4 wurden eine Vielzahl an unterschiedlichen Fuzzy Funktionen vorgestellt. Im Rahmen dieser Arbeit wird auf einen triangularen Aufbau zurückgegriffen, da dieser die Expertenaussagen bestmöglich fokussiert. Abbildung 4.11 skizziert den prinzipiellen Aufbau einer triangularen Fuzzy Menge.



Legende:

- $\mu(x)$ Fuzzy Funktion (Zugehörigkeitsfunktion)
- α Schnitt für das Maß der Unsicherheit
- l Untere Grenze (lower)
- m Ist der Punkt an dem $\mu(x)=1$ ist (mid)
- u Obere Grenze (upper)

Abbildung 4.11: Triangulare Fuzzy Menge nach BOGASCHEWSKY U. A. (2010, S. 34)

⁷ Korrekterweise müsste von Mengen gesprochen werden, die einen bestimmten Wertebereich definieren. In der Literatur wird häufig auch von Fuzzy Zahlen oder Fuzzy Nummern gesprochen, die einen solchen Wertebereich über eine festgelegte Fuzzy Funktion abdecken (vgl. Kap. 2.3.4).

Nach BOGASCHEWSKY U. A. (2010, S. 33f) wird eine triangulare Fuzzy Menge $\tilde{a}^\alpha = (l^\alpha; m; u^\alpha)$ durch die charakteristischen Abszissenwerte l, m und u bestimmt. Der α -Schnitt grenzt die Zugehörigkeit ein und steht als Maß dafür, wie sicher sich ein Experte bei seiner Bewertung fühlt. Mit $\alpha = 1$ wird vollkommene Sicherheit und mit $\alpha = 0$ vollkommene Unsicherheit unterstellt. Neben dem problemspezifischen Aufbau linguistischer Variablen wird den Entscheidungsträgern mit dem α -Schnitt eine weitere Möglichkeit gegeben, das Entscheidungsmodell flexibler zu gestalten. Für jede linguistische Variable muss eine triangulare Menge bestimmt werden, deren Instanzierungen nachfolgend als triangulare Fuzzy Nummern bezeichnet werden. Im Falle eines α -Schnitts zur Anpassung der Unsicherheit, werden die Grenzen des Intervalls $[l^\alpha; u^\alpha]$ mit $\alpha \in [0, 1]$ nach BOGASCHEWSKY U. A. (2010, S. 34) wie folgt berechnet:

$$l^\alpha = (m - l)\alpha + l \tag{4.20}$$

$$u^\alpha = u - (u - m)\alpha \tag{4.21}$$

In Anlehnung an die saaty'schen Skala geben BOGASCHEWSKY U. A. (2010) einen Vorschlag für Bewertungen mit triangularen Fuzzy Nummern, wie in Tabelle 4.5 dargestellt.

Einsatzgebiet	Linguistische Ausprägung	(l;m;u)
Kriterienvergleich	Gleiche Bedeutung (GG)	(1;1;2)
	Geringfügig größere Bedeutung (GGB)	(1,5;2,5;3,5)
	Wesentlich größere Bedeutung (WGB)	(3;4;5)
	Erheblich größere Bedeutung (EGB)	(4;5;6)
	Viel größere Bedeutung (VGB)	(5;6;7)
	Sehr viel größere Bedeutung (SVGB)	(6,5;7,5;8,5)
	Absolut dominierend (AD)	(8;9;9)
Alternativenvergleich	Gleich gut (GG)	(1;1;2)
	Geringfügig besser (GB)	(1,5;2,5;3,5)
	Wesentlich besser (WB)	(3;4;5)
	Erheblich besser (EB)	(4;5;6)
	Viel besser (VB)	(5;6;7)
	Sehr viel besser (SVB)	(6,5;7,5;8,5)
	Absolut dominierend (AD)	(8;9;9)

Tabelle 4.5: Triangulare Fuzzy Nummern für Paarvergleichsurteile in Anlehnung an BOGASCHEWSKY U. A. (2010, S. 36)

Für die Auswahl von Produktkonzepten muss nicht zwangsläufig auf die in diesem Unterkapitel präsentierten Skalen zurückgegriffen werden. Vielmehr obliegt es dem

Produktmanagement unternehmensinterne Skalen festzulegen, oder bereits existierende Skalen in triangulare Fuzzy Nummern zu erweitern. Durch die Verwendung von Fuzzy Nummern sind die bekannten algebraischen Verknüpfungsregeln nicht anwendbar. Für triangulare Fuzzy Nummern werden nachfolgend Basisoperatoren vorgestellt, die im Rahmen der Operationalisierung dieser Methodik Anwendung finden.

In Ergänzung zu BOGASCHEWSKY U. A. (2010, S. 35) werden folgende Operatoren eingeführt und mit Hilfe von zwei Fuzzy Nummern⁸ $\tilde{a}_1 = (l_1; m_1; u_1)$ und $\tilde{a}_2 = (l_2; m_2; u_2)$ erklärt:

1. Fuzzy-Addition:

$$\tilde{a}_1 \oplus \tilde{a}_2 = (l_1 + l_2; m_1 + m_2; u_1 + u_2)$$

2. Fuzzy-Multiplikation:

$$\tilde{a}_1 \otimes \alpha = (l_1 \cdot \alpha; m_1 \cdot \alpha; u_1 \cdot \alpha)$$

$$\tilde{a}_1 \otimes \tilde{a}_2 = (l_1 \cdot l_2; m_1 \cdot m_2; u_1 \cdot u_2)$$

3. Fuzzy-Division (Reziprozität):

$$\tilde{a}_1^{-1} = (l_1; m_1; u_1)^{-1} = \left(\frac{1}{u_1}; \frac{1}{m_1}; \frac{1}{l_1}\right)$$

4. Fuzzy-Negation:

$$-\tilde{a}_1 = (-l_1; -m_1; -u_1)$$

Nachdem linguistische Variablen definiert wurden, ist es möglich, die Komponenten und Elemente eines Entscheidungsnetzwerks untereinander zu vergleichen. Neben der quantitativen Bewertung wird durch die beschriebenen Verfahren ferner jeder Entscheidungsträger bzw. Experte dazu befähigt, unter Verwendung definierter linguistischer Variablen eine qualitative Bewertung durchzuführen. Überall dort, wo in der Adjazenzmatrix eine Eins steht, muss eine Bewertung abgegeben werden, wobei diese entweder qualitativ über linguistische Variablen oder quantitativ erfolgt. Werden Bewertungen abgegeben, so wird aus der Adjazenzmatrix eine Bewertungsmatrix bzw. Evaluationsmatrix. Eine Evaluationsmatrix gibt somit die Wichtigkeit (Kriterien bzw. Element- und Komponentenebene) und die Erfüllung (Alternativen in Bezug auf Kriterien) aus Sicht des bewertenden Experten an.

Würden beispielsweise zwei *Kugelschreiber* in Bezug auf ihr *Schriftbild* bewertet werden, und würde der Beispielbewerter das Schriftbild von Kugelschreiber 1 als *viel besser* wie Schriftbild von Kugelschreiber 2 empfinden, so würde der Bewerter auf die linguistische Variable *viel besser* bei seiner Wertung zurück greifen, die in Tabelle 4.5 angegeben wurde. Der Paarvergleich von Kugelschreiber 1 zu 2 würde sodann mit

⁸ Fuzzy Nummern werden üblicherweise durch eine Tilde über der Variable gekennzeichnet.

(5; 6; 7) bewertet werden und über das Axiom der Reziprozität unter Berücksichtigung der eingeführten Fuzzy-Operatoren folgt als Bewertung von Kugelschreiber 2 zu 1 folglich $(1/7; 1/6; 1/5;)$.

4.4 Priorisierung und Konsistenzprüfung von Evaluationsmatrizen

Mit der Vorstellung der Regeln zur Bewertung quantitativer und qualitativer Elemente des Entscheidungsnetzwerks werden in diesem Schritt die Berechnung der Gewichtungen von Bewertungskriterien auf Komponenten- und Elementebene vorgestellt. Die Grundlage dafür bildet der Aufbau von Paarvergleichs- bzw. Evaluationsmatrizen. Im Anschluss an die Berechnung der Gewichtungen bzw. Prioritäten erfolgt eine Konsistenzprüfung, die es dem Experten ermöglicht, seine Bewertungsurteile im Falle bestehender Inkonsistenz zu überarbeiten. Die Vorstellung von Verfahren zur Aggregation von Expertenbewertungen schließt diesen Schritt der Methodik ab.

4.4.1 Aufbau von Evaluationsmatrizen

Eine Evaluationsmatrix E ist eine Paarvergleichsmatrix. Jedes Element e_i wird paarweise mit jedem Element e_j für alle i, j zeilenweise verglichen und bewertet. Nachfolgend sind die Evaluationsmatrizen E für Bewertungen ohne Unschärfe und \tilde{E} für Bewertungen mit Unschärfe unter Verwendung triangulärer Fuzzy Nummern schematisch dargestellt:

$$E = \begin{pmatrix} 1 & e_{12} & \cdots & e_{1m} \\ e_{21} & 1 & \cdots & e_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{m1} & e_{m2} & \cdots & e_{mm} \end{pmatrix} \quad \tilde{E} = \begin{pmatrix} (1; 1; 1) & \tilde{e}_{12} & \cdots & \tilde{e}_{1m} \\ \tilde{e}_{21} & (1; 1; 1) & \cdots & \tilde{e}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{e}_{m1} & \tilde{e}_{m2} & \cdots & \tilde{e}_{mm} \end{pmatrix}$$

4.4.2 Berechnung der Prioritätenvektoren

Nachdem die Paarvergleichsmatrizen erstellt wurden, gilt es die Prioritätenvektoren der jeweiligen Matrizen zu berechnen. Über die Prioritätenvektoren werden die relativen Gewichte der jeweiligen Paarvergleichsmatrizen angegeben. Diese geben Aufschluss darüber, wie wichtig Kriterien und wie viel besser Alternativen innerhalb eines Entscheidungsnetzwerks durch den bewertenden Experten beurteilt wurden. So

fern es sich ausschließlich um die Bewertung quantitativer Größen handelt, kann auf die Formeln 4.18 und 4.19 aus Kapitel 4.3.3 zurück gegriffen werden. Für qualitative und gemischt quantitativ-qualitative Bewertungen werden im folgenden Verfahren vorgestellt. Eine Bewertung in Bezug auf die Anwendbarkeit, den Aufwand ihrer Berechnung und die Aussagegüte von Verfahren zur Priorisierung von Evaluationsmatrizen ist in Tabelle 4.6 zusammengefasst und kann ferner detailliert in PETERS (2008, S. 506ff) nachgelesen werden.

Art der Berechnung	Verfahren zur Berechnung der Prioritäten	Aufwand	Güte	Scharfe Matrizen	Unscharfe Matrizen
Approximative Verfahren	Standardverfahren des AHP und ANP	●	◐	●	●
	Verfahren der geometrischen Mittelwertbildung	●	○	●	◐
	Priorisierung durch Zeilensummennormierung	●	○	●	◐
	Priorisierung durch Normierung reziproker Spaltenwerte	●	○	●	◐
	Verfahren nach Chang zur Matrixpriorisierung	●	◐	○	●
Exakte Verfahren	Verfahren des charakteristischen Polynoms (Eigenvektormethode)	○	●	●	○
	Priorisierung durch Erhöhung der Matrixpotenz (Power Methode)	◐	●	●	◐

Legende:

- Das Verfahren wird in Bezug auf das Kriterium als gut bzw. geeignet beurteilt
- ◐ Das Verfahren wird in Bezug auf das Kriterium als ausreichend bzw. geeignet beurteilt
- Das Verfahren wird in Bezug auf das Kriterium als schlecht bzw. nicht geeignet beurteilt

Tabelle 4.6: Beurteilung von Verfahren zur Berechnung der Prioritäten in Erweiterung zu PETERS (2008, S. 514)

In dieser Arbeit werden das Standardverfahren und die Priorisierung nach CHANG (1996) vorgestellt, da die Verhältnisse zwischen Aussagegüte, Aufwand und Anwendung bei diesen bestmöglich erfüllt sind. Das Verfahren nach Chang stellt eine einfache Methode dar, wobei dieses Verfahren ausschließlich auf unscharfe Matrizen anwendbar ist. Im Rahmen einer anschließenden Konsistenzprüfung ist es daher zweckmäßig, auf die Priorisierung nach dem Standardverfahren zurück zu greifen.

4.4.2.1 Standardverfahren des AHP und ANP

Das Standardverfahren zur Berechnung der Prioritätenvektoren hat in der Fachliteratur die weiteste Akzeptanz und Verbreitung gefunden (PETERS 2008, S. 506). Bei einer

scharfen Evaluations- bzw. Paarvergleichsmatrix E werden in einem ersten Schritt die Spaltensummen c_i gebildet. Danach erfolgt die Normierung von E durch Division der Paarvergleiche e_{ij} von E durch c_i . Durch die Normierung der Vergleichspaare wird die Vergleichbarkeit gewährleistet (ROHR 2004, S. 44). In einem weiteren Schritt werden die normierten Vergleichspaare e_{ij}/c_i zeilenweise addiert und führen zu den Reihensummen r_i . Die Berechnung der finalen Gewichte w_i erfolgt durch Division der r_i durch die Ordnung m der Matrix E (ROHR 2004, S. 44f). Diese Gewichte bilden den finalen Gewichtungsvektor für die Evaluationsmatrix, der auch als Eigenvektor oder Prioritätenvektor bezeichnet wird. In Tabelle 4.7 sind die Schritte in allgemeiner Matrixschreibweise zusammengefasst dargestellt.

	Evaluationsmatrix E				Normierung				\sum_{Reihe}	Gewicht
	e_1	e_2	\dots	e_m	e_1	e_2	\dots	e_m	r_i	w_i
e_1	$e_{11} = 1$	e_{12}	\dots	e_{1m}	e_{11}/c_1	e_{12}/c_2	\dots	e_{1m}/c_m	r_1	$w_1 = r_1/m$
e_2	$e_{21} = 1/e_{12}$	1	\dots	e_{2m}	e_{21}/c_1	e_{22}/c_2	\dots	e_{2m}/c_m	r_2	$w_2 = r_2/m$
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\vdots	\vdots
e_m	$e_{m1} = 1/e_{1m}$	e_{m2}	\dots	$e_{mm} = 1$	e_{m1}/c_1	e_{m2}/c_2	\dots	e_{mm}/c_m	r_m	$w_m = r_m/m$
c_i	$c_1 = \sum_{i=1}^m e_{i1}$	$c_2 = \sum_{i=1}^m e_{i2}$	\dots	$c_m = \sum_{i=1}^m e_{im}$	1	1	\dots	m	1	

Tabelle 4.7: Berechnung der Prioritäten w_i mit dem Standardverfahren nach MEIXNER UND HAAS (2002, S. 146)

Für unscharfe Matrizen \tilde{E} wird im Rahmen dieser Arbeit das Standardverfahren modifiziert, indem für die charakteristischen Werte der unscharfen Bewertungen je eine scharfe Matrix konstruiert wird. Eine unscharfe Bewertung $\tilde{e} = (e^l; e^m; e^u)$ wird durch drei Werte beschrieben. Aus der Matrix \tilde{E} werden also die Matrizen E^l , E^m und E^u konstruiert. Die Berechnung der Prioritäten erfolgt analog zum Standardverfahren unter Anwendung von Gleichungen 4.22 bzw. 4.23 durch Normierung des arithmetischen Zeilenmittels (BOGASCHEWSKY U. A. 2010, S. 39).

$$\tilde{w}_i = \sum_{j=1}^m \tilde{e}_{ij} \otimes \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \tilde{e}_{ij} \right]^{-1} \quad \forall i, j = \{1, \dots, m\} \quad (4.22)$$

$$\tilde{w}_i = (w^l; w^m; w^u) = \left(\frac{\sum_{j=1}^m e_{ij}^l}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m e_{ij}^u}; \frac{\sum_{j=1}^m e_{ij}^m}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m e_{ij}^m}; \frac{\sum_{j=1}^m e_{ij}^u}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m e_{ij}^l} \right) \quad \forall i, j = \{1, \dots, m\} \quad (4.23)$$

Defuzzifizierung

Die Rangbildung von unscharfen Gewichten erfolgt durch Umwandlung des Fuzzy Prioritätenvektors \tilde{w} in einen Vektor mit scharfen Werten (BOGASCHEWSKY U. A. 2010, S. 39). Grundsätzlich erfolgt bei triangularen Fuzzy Nummern die Defuzzifizierung durch die Berechnung des Flächenschwerpunkts, die aus Gleichung 4.24 hervorgeht. Die Herleitung dieser Gleichung ist in Anhang A beschrieben.

$$\begin{aligned} \tilde{w} &= (w^l; w^m; w^u) \\ defuzz(\tilde{w}) &= \frac{w^l + w^m + w^u}{3} \end{aligned} \quad (4.24)$$

4.4.2.2 Verfahren nach Chang

Changs Verfahren berechnet die Prioritäten in zwei Schritten. In einem ersten Schritt werden die unscharfen Paarvergleiche synthetisch erweitert. Auf Basis der synthetischen Erweiterungen s_i erfolgt die Berechnung der Gewichte. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass die errechneten Prioritätenvektoren bereits defuzzifiziert werden (YAZGAN 2011, S. 657), (CHANG 1996, S. 651).

1. Schritt:

Für alle unscharfen Bewertungen \tilde{e}_i mit $i = \{1, \dots, m\}$ werden synthetische Erweiterungen s_i unter Berücksichtigung algebraischer Verknüpfungsregeln für unscharfe Mengen gemäß Gleichung 4.25 berechnet (CHANG 1996, S. 651f):

$$\begin{aligned} s_i &= (s_i^l; s_i^m; s_i^u) = \sum_{i=1}^m \tilde{e}_i \otimes \left[\sum_{i=1}^m \tilde{e}_i \right]^{-1} \quad (4.25) \\ \text{mit } \sum_{i=1}^m \tilde{e}_i &= \left(\sum_{i=1}^m e_{ij}^l; \sum_{i=1}^m e_{ij}^m; \sum_{i=1}^m e_{ij}^u \right) \\ \text{und } \left[\sum_{i=1}^m \tilde{e}_i \right]^{-1} &= \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^m e_{ij}^u}; \frac{1}{\sum_{i=1}^m e_{ij}^m}; \frac{1}{\sum_{i=1}^m e_{ij}^l} \right) \end{aligned}$$

2. Schritt:

Zunächst wird der Grad der Wahrscheinlichkeit der Überschneidung p von Aussagen errechnet, die durch triangulare Fuzzy Nummern ausgedrückt wurden (CHANG 1996, S. 651). Vereinfacht beschrieben wird für alle s_i überprüft, ob $p(s_i \geq s_j)$ ist. Dadurch

entstehen Bewertungsvektoren, deren Minima durch Normierung zu dem defuzzifizierten Prioritätenvektor w zusammengefügt werden. Der defuzzifizierte Prioritätenvektor w , der die finale Bewertung der Evaluationsmatrix durch Experten ausdrückt, kann unter Verwendung der mittels Gleichung 4.25 errechneten s_i wie folgt bestimmt werden:

$$\begin{aligned}
 w &= (w_i), i = \{1, \dots, m\} \\
 w_i &= \min [p(s_i \geq s_j)], \forall j = \{1, \dots, m\}; i \neq j \quad (4.26)
 \end{aligned}$$

mit $p(s_i \geq s_j) = \begin{cases} 1 & s_i^m \geq s_j^m \\ 0 & s_j^l \geq s_i^l \\ \frac{s_j^l - s_i^u}{(s_i^m - s_i^u) - (s_j^m - s_j^l)} & \text{sonst} \end{cases}$

4.4.3 Prüfung auf Konsistenz

Eine Besonderheit des Verfahrens, das im Rahmen dieser Arbeit vorgestellt wird, liegt in der Messung von Inkonsistenzen. Eine Inkonsistenz beschreibt einen ungewollten Bewertungsfehler, der bei Paarvergleichen auftreten kann, sobald mehr als zwei Objekte bewertet werden.

Würden am Beispiel eines *Überraschungseis* die Kriterien *Spannung*, *Spiel* und *Schokolade* auf ihre relative Wichtigkeit bewertet werden (vgl. Abb. 4.12), und wäre *Schokolade* doppelt so wichtig wie *Spiel* und *Spiel* dreimal so wichtig wie *Spannung*, so müsste folgen, dass *Schokolade* sechs mal wichtiger als *Spannung* ist. Nun hat der Beispielbewerter aber in besagtem Bewertungsfeld das Urteil abgegeben, dass *Schokolade* vier mal wichtiger als *Spannung* ist. Die Bewertung ist zwar transitiv, jedoch nicht 100% konsistent. In diesem Kapitel wird daher ein Verfahren vorgestellt, um Evaluationsmatrizen auf Konsistenz zu prüfen, wobei nach SAATY (1980) kleine Inkonsistenzen tolerierbar sind.

	Schokolade	Spiel	Spannung
Schokolade	1	2	4 ← 4 ≠ 2×3
Spiel	1/2	1	3
Spannung	1/4	1/3	1

Abbildung 4.12: Inkonsistenz

Die Aufdeckung von Inkonsistenzen bei der Bewertung von Kriterien oder Alternativen kann dazu beitragen, Fehlentscheiden vorzubeugen. Werden inkonsistente Bewertungen in der Evaluationsmatrix aufgedeckt, so wird dem bewertenden Experten empfohlen, seine Bewertungen problemspezifisch zu überdenken.

Mögliche Ursachen für Inkonsistenzen gehen nach FORMAN UND SALLY (2002, S. 47ff) auf folgende Punkte zurück:

- Fehlende Information zu oder Vorstellung von Kriterien führen zu zufälliger Bewertung.
- Konzentrationsfehler durch Ermüdung oder Desinteresse können während der Bewertung auftreten.
- Fehlbewertungen können durch eine inadäquate Strukturierung des Entscheidungsproblems entstehen.
- Ein Entscheidungsmodell ist ein Abbild einer realen Entscheidungssituation. Die reale Welt ist jedoch so gut wie nie perfekt konsistent.

Die Konsistenzprüfung erfolgt über die Berechnung der Eigenwerte λ der Evaluationsmatrizen. Auf Basis des maximalen Eigenwerts λ_{max} kann ein sogenannter Konsistenzindex⁹ *C.I.* errechnet werden, der als Messgröße für die Konsistenz der Paarvergleichsurteile angesehen werden kann. Dabei gibt der *C.I.* das Verhältnis des tatsächlichen Eigenwerts zu dem Eigenwert einer konsistenten Zufallsmatrix an (SAATY 1980, S. 21). Für eine Evaluationsmatrix der Ordnung¹⁰ m errechnet sich der Konsistenzindex unter Verwendung von Gleichung 4.27.

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - m}{m - 1} \quad (4.27)$$

Der Zufallsindex¹¹ *R.I.* ist ein zufälliger Konsistenzindex, der aus einer großen Anzahl zufällig erstellter, reziproker Evaluationsmatrizen errechnet wird. Er dient der nachfolgenden Bestimmung der Konsistenzraten der Evaluationsmatrizen (SAATY 1980, S. 21). Aus Tabelle 4.8 lassen sich matrixspezifische *R.I.*-Werte zur Berechnung der Konsistenzraten entnehmen.

Ordnung der Matrix	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I. Werte nach Saaty	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,4	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,58
R.I. Werte nach Donegan & Dodd	0,4887	0,8045	1,0591	1,1797	1,2519	1,3171	1,3733	1,4055	1,4213	1,4497	1,4643	1,4822	1,4969

Tabelle 4.8: Gegenüberstellung von Zufallsindizes nach OSSADIK (1998, S. 108)

⁹ consistency index

¹⁰ Eine Evaluationsmatrix ist eine quadratische Paarvergleichsmatrix. Die Ordnung m dieser Matrix entspricht der Anzahl der zu bewertenden Matrixelemente.

¹¹ random index

Evaluationsmatrizen, deren Paarvergleiche ausschließlich quantitativer Natur sind oder nur zwei Elemente besitzen, sind immer vollständig konsistent. Nach matrixspezifischer Auswahl des *R.I.* lässt sich abschließend die Konsistenzrate¹² *C.R.* bestimmen. Die Konsistenzrate dient der Entscheidungsunterstützung, ob Paarvergleichsurteile überarbeitet werden müssen (ROHR 2004, S. 46) und wird nach Gleichung 4.28 errechnet.

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \tag{4.28}$$

Die Überarbeitung der Matrizen empfiehlt sich nach AHLERT (2003, S. 47) für folgende Wertungen:

- Ordnung *m* der Matrix = 3 → *C.R.* < 0.05
- Ordnung *m* der Matrix = 4 → *C.R.* < 0.09
- Ordnung *m* der Matrix ≥ 5 → *C.R.* < 0.11

4.4.3.1 Verfahren zur Berechnung des maximalen Eigenwerts λ_{max}

In der Fachliteratur werden verschiedene Verfahren zur Berechnung des maximalen Eigenwerts einer quadratischen Matrix angegeben. Tabelle 4.9 gibt einen Überblick der am häufigsten diskutierten Verfahren.

Art der Berechnung	Verfahren zur Berechnung der Eigenwerte	Aufwand	Güte	Anwendbarkeit
Approximative Verfahren	Verfahren der Durchschnittsmatrix	●	◐	●
	Divisionale Berechnung	●	◐	●
	Multiplikative Berechnung Anm: Approximativ oder exakt, je nach Berechnung des Prioritätenvektors	●	◐	●
Exakte Verfahren	Verfahren zur Lösung des charakteristischen Polynoms über die Einheitsmatrix	◐	●	○

Legende:

- Das Verfahren wird in Bezug auf das Kriterium als gut bzw. geeignet beurteilt
- ◐ Das Verfahren wird in Bezug auf das Kriterium als ausreichend bzw. geeignet beurteilt
- Das Verfahren wird in Bezug auf das Kriterium als schlecht bzw. nicht geeignet beurteilt

Tabelle 4.9: Beurteilung von Verfahren zur Berechnung der Eigenwerte in Anlehnung an PETERS (2008, S. 524)

¹² consistency ratio

Eine exemplarische Anwendung dieser Verfahren kann beispielsweise in PETERS (2008, S. 521ff) nachgelesen werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird aus zwei Gründen vorgeschlagen, die Berechnung des maximalen Eigenwerts über das Verfahren der Durchschnittsmatrix zu bestimmen. Erstens wurde das Standardverfahren zur Berechnung der Prioritäten der Evaluationsmatrizen vorgeschlagen. Zweitens können beispielsweise mit dem Verfahren zur Lösung des charakteristischen Polynoms die Eigenwerte nicht mehr analytisch bestimmt werden, wenn die Ordnung der Matrix $m > 4$ ist (MERZIGER UND WIRTH 2006, S. 60).

Unschärfe Evaluationsmatrizen \tilde{E} werden zunächst in die drei scharfen Evaluationsmatrizen E^l , E^m und E^u wie in vorherigen Kapiteln beschrieben aufgeteilt. Zur weiteren Berechnung dienen die mittleren Eigenwerte λ^m der scharfen Matrix E^m als Grundlage (BOGASCHEWSKY U. A. 2010, S. 46). Daher ist die zuvor vorgestellte Methode nach Chang nur dann sehr effektiv, wenn auf die Konsistenzprüfung verzichtet werden kann.

4.4.3.2 Eigenwertberechnung mittels der Durchschnittsmatrix

Die Basis bildet die Berechnung der Prioritäten w_i mit dem Standardverfahren, wie sie in Tabelle 4.7 auf Seite 116 ausführlich beschrieben wurde. Sodann kann eine Durchschnittsmatrix gebildet werden, deren Zeilensummen \bar{r}_i zur Bestimmung der Eigenwerte dienen. Für eine Evaluationsmatrix der Ordnung m errechnet sich der maximale Eigenwert λ_{max} nach MEIXNER UND HAAS (2002, S. 170) über Gleichung 4.29.

$$\lambda_i = \frac{\bar{r}_i}{w_i} \quad i = \{1, \dots, m\}$$
$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i}{m} \quad (4.29)$$

Die Tabelle 4.7 (siehe S. 116) zur Berechnung der Prioritäten nach dem Standardverfahren kann demnach um die Spalten ergänzt werden, die aus Tabelle 4.10 hervorgehen.

	Durchschnittsmatrix				$\sum_{Reihe} \bar{r}_i$
	e_1	e_2	\dots	e_m	
e_1	$w_1 \cdot e_{11}$	$w_2 \cdot e_{12}$	\dots	$w_m \cdot e_{1m}$	$\bar{r}_1 = \sum_{i=1}^m w_i \cdot e_{1i}$
e_2	$w_1 \cdot e_{21}$	$w_2 \cdot e_{22}$	\dots	$w_m \cdot e_{2m}$	$\bar{r}_2 = \sum_{i=1}^m w_i \cdot e_{2i}$
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\vdots
e_m	$w_1 \cdot e_{m1}$	$w_2 \cdot e_{m2}$	\dots	$w_m \cdot e_{mm}$	$\bar{r}_m = \sum_{i=1}^m w_i \cdot e_{mi}$

Tabelle 4.10: Aufbau der Durchschnittsmatrix in Anlehnung an KATZ (2010, S. 101)

4.4.4 Aggregation von Individualbewertungen

Nach der Priorisierung und Konsistenzprüfung aller Evaluationsmatrizen des Entscheidungsnetzwerks können die Bewertungen einzelner Experten aggregiert werden, um ein Gesamturteil zu bestimmen. Grundsätzlich ist es möglich, dass alle Beteiligten die Bewertungen gemeinsam in ihrem Team durchführen. Unter dieser Annahme ist das Urteil schon eine Gruppenentscheidung und die hier vorgestellten Verfahren sind obsolet.

Die Aggregation von Individualbewertungen zu einem Gruppenentscheid kann zu verschiedenen Zeitpunkten erfolgen. So können bereits Bewertungen auf Basis linguistischer Variablen der Paarvergleichsurteile aggregiert werden. Die Aggregation der Prioritäten der Netzwerkkomponenten sowie die Aggregation auf Gesamtnetzebene sind ebenfalls möglich. Eine Übersicht in der Fachliteratur diskutierter Verfahren zur Aggregation von Einzelurteilen kann ausführlich in GELDERMANN (2006, S. 122ff) und AHLERT (2003, S. 50ff) nachgelesen werden und geht aus Tabelle 4.11 hervor.

Im Rahmen dieser Arbeit, wird abhängig vom Aggregationszeitpunkt aus Gründen der einfachen Berechnung empfohlen, entweder den gewichteten arithmetischen oder geometrischen Mittelwert zu bilden. Erfolgt die Aggregation der Individualurteile jedoch bereits auf Basis der Paarvergleichsurteile wird nur der geometrische Mittelwert als zulässiges Verfahren angesehen SAATY (2001, S. 61ff). Den Ausgangspunkt zur Aggregation bilden die zuvor berechneten, individuellen Prioritätenvektoren w .

Ansatzpunkte zur Aggregation	Aggregation Paarvergleiche	Kriterien- und komponentenbezogene Aggregation	Aggregation auf Netzwerkebene
Verfahren			
Median	●	●	●
Modalwert	●	○	○
Ungewichteter arithmetischer Mittelwert	○	●	●
Ungewichteter geometrischer Mittelwert	●	●	●
Gewichteter arithmetischer Mittelwert	○	●	●
Gewichteter geometrischer Mittelwert	●	●	●

Legende:

- Verfahren ist anwendbar
- ◐ Verfahren ist eingeschränkt anwendbar
- Verfahren ist nicht anwendbar

Tabelle 4.11: Beurteilung von Verfahren zur Aggregation von Individualentscheiden nach PETERS (2008, S. 688)

Für eine Anzahl von k individuellen Bewertern liegen somit k Einzelurteile vor, die über Gleichung 4.30 zu einem Gesamturteil aggregiert werden können.

$$w_{arit} = \frac{\sum_{i=1}^k w_i \cdot g_i}{\sum_{i=1}^k g_i} \quad \text{oder} \quad w_{geom} = \sqrt[k]{\prod_{i=1}^k w_i^{g_i}} \quad (4.30)$$

Notationen:

w_i Resultierende Gewichte bzw. Prioritäten der Evaluationsmatrix

g_i Personenbezogener Gewichtungsfaktor

Der personenbezogene Gewichtungsfaktor gibt dabei an, wie stark die Gewichtungen eines Bewerter gegenüber einem anderen Bewerber als besser beurteilt werden. Die g_i werden im Fall der Produktkonzeptauswahl individuell durch das Produktmanagement festgelegt.

4.5 Berechnung und Auswertung der Entscheide

Mit den im vorherigen Kapitel vorgestellten Operationen ist es möglich, Paarvergleichsurteile auf Komponenten- und Elementebene des Entscheidungsnetzwerks durchzuführen. Qualitative Paarvergleichsurteile erfolgen auf Basis der zuvor für jede Entscheidungssituation individuell definierbaren, linguistischen Variablen. Werden qualitative und quantitative Beurteilungsobjekte untereinander verglichen, so wird aus quantitativen Werten eine triangulare Fuzzy Nummer konstruiert, deren drei Werte ($l; m; u$) dem quantitativen Wert¹³ entsprechen (vgl. Abb. 2.30, S. 57).

4.5.1 Bestimmung der Prioritäten auf Komponentenebene

Für jede Komponente des Netzwerks werden unter Verwendung der Verfahren des vorherigen Kapitels Evaluationsmatrizen konstruiert, die Prioritäten, d.h. die relativen Gewichte bestimmt und die Konsistenz überprüft. Durch Paarvergleichsurteile auf Komponentenebene wird dabei angegeben, wie bedeutend der Einfluss einer Komponente C_i auf eine andere Komponente C_j innerhalb des Entscheidungsnetzwerks ist. Die Komponenteneinflussmatrix C setzt sich entsprechend aus den Prioritätenvektoren zusammen und geht nach (SAATY 2001, S. 168) aus Abbildung 4.13 hervor.

$$C = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_m \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1m} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mm} \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Abbildung 4.13: Komponenteneinflussmatrix (C) nach PETERS UND ZELEWSKI (2008, S. 476)

¹³ Der Aufbau einer intervall-scharfen Fuzzy Nummer wird auch unter der Bezeichnung *crisp value* geführt.

Falls eine Komponente keinen Einfluss auf eine andere Komponente hat, so wird an die entsprechende Stelle des Prioritätenvektors eine Null eingetragen (SAATY 2001, S. 95). Dies kann auch direkt aus der zuvor erstellten Adjazenzmatrix B abgelesen und in die Komponenteneinflussmatrix C an entsprechender Stelle eingetragen werden. Sofern alle Komponenten gleich bedeutend sind, kann die Komponenteneinflussmatrix direkt aus der Adjazenzmatrix B durch Normierung der Blöcke b_{ij} abgeleitet werden.

4.5.2 Bestimmung der Prioritäten auf Elementebene

Analog zur Bestimmung der Wichtigkeit der Komponenten zueinander, werden die Einflüsse der Elemente untereinander priorisiert. Diese werden in einer ungewichteten bzw. initialen Supermatrix W erfasst. Die einzelnen Blöcke W_{ij} der Supermatrix setzen sich analog zur Komponenteneinflussmatrix aus Prioritätenvektoren zusammen (PETERS UND ZELEWSKI 2008, S. 477). Der Aufbau einer solchen Supermatrix geht aus Abbildung 4.14 hervor.

$$W = \begin{matrix} & & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_m \\ e_{11}e_{12} \cdots e_{1n_1} & e_{21}e_{22} \cdots e_{2n_2} & \dots & e_{m1}e_{m2} \cdots e_{mn_m} \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ C_m \end{matrix} & \begin{matrix} e_{11} \\ e_{12} \\ \vdots \\ e_{1n_1} \\ e_{21} \\ e_{22} \\ \vdots \\ e_{2n_2} \\ \vdots \\ e_{m1} \\ e_{m2} \\ \vdots \\ e_{mn_m} \end{matrix} & \left(\begin{array}{cccc} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1m} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{m1} & W_{m2} & \dots & W_{mm} \end{array} \right) \end{matrix}$$

Abbildung 4.14: Initiale Supermatrix (W) nach SAATY (2001, S. 87)

Die Blöcke der W_{ii} auf der Diagonalen des Supermatrix enthalten Informationen über die inneren Abhängigkeiten der Komponentenelemente. Die Blöcke, die nicht auf der Diagonalen liegen geben Aufschluss darüber, ob es Abhängigkeiten zwischen Elementen verschiedener Komponenten gibt (SAATY 2001, S. 88). Ein sogenannter Block

W_{ij} kann nach SAATY (2001, S. 87) und PETERS UND ZELEWSKI (2008, S. 477) wie folgt dargestellt werden.

$$W_{ij} = \begin{pmatrix} w_{i_1j_1} & w_{i_1j_2} & \cdots & w_{i_1j_m} \\ w_{i_2j_1} & w_{i_2j_2} & \cdots & w_{i_2j_m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{i_mj_1} & w_{i_mj_2} & \cdots & w_{i_mj_m} \end{pmatrix}$$

Jede Spalte des Blocks stellt einen Prioritätenvektor dar. Jeder Prioritätenvektor in einem Block W_{ij} enthält Informationen darüber, wie stark der Einfluss der Elemente der i -ten Komponente des Entscheidungsnetzwerks auf ein Element in der j -ten Komponente ist (SAATY 2001, S. 88f). Die Berechnung der Prioritäten erfolgt analog zur Komponentengewichtung durch Erstellung von Paarvergleichsmatrizen.

Für Elemente der i -ten Komponente, die keinen Einfluss auf ein Element der j -ten Komponente ausüben wird an entsprechender Stelle eine Null in den Prioritätenvektor eingetragen (PETERS UND ZELEWSKI 2008, S. 479). Dieser Schritt kann ferner mit Hilfe der Adjazenzmatrix erfolgen, indem die Blöcke V_{ij} der Adjazenzmatrix mit den Blöcken W_{ij} der Supermatrix auf Nullen verglichen werden. Wenn es keine Abhängigkeiten zwischen Elementen zweier Komponenten C_i und C_j gibt, so ist der entsprechende Block W_{ij} eine Nullmatrix.

4.5.3 Berechnung der Entscheidung für eine Alternative

Mit der Erstellung der Komponenteneinflussmatrix C und der ungewichteten, initialen Supermatrix der Elementeneinflüsse W erfolgt die finale Auswertung. Zunächst wird eine gewichtete Supermatrix W_{gew} gebildet, indem jeder Block w_{ij} der Supermatrix W mit dem korrespondierenden Matrixelement c_{ij} der Komponenteneinflussmatrix C multipliziert wird (SAATY 2001, S. 167f), (PETERS UND ZELEWSKI 2008, S. 480). Die Berechnung geht aus Gleichung 4.31 hervor.

$$\begin{aligned}
 W_{gew} &= \begin{pmatrix} W_{11} \cdot c_{11} & W_{12} \cdot c_{12} & \cdots & W_{1m} \cdot c_{1m} \\ W_{21} \cdot c_{21} & W_{22} \cdot c_{22} & \cdots & W_{2m} \cdot c_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{m1} \cdot c_{m1} & W_{m2} \cdot c_{m2} & \cdots & W_{mm} \cdot c_{mm} \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} W_{gew,11} & W_{gew,12} & \cdots & W_{gew,1m} \\ W_{gew,21} & W_{gew,22} & \cdots & W_{gew,2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{gew,m1} & W_{gew,m2} & \cdots & W_{gew,mm} \end{pmatrix}
 \end{aligned} \tag{4.31}$$

Mit der gewichteten Supermatrix werden die direkten Einflüsse und Abhängigkeiten der Matrixelemente eines Entscheidungsnetzwerks berücksichtigt (SAATY 2001, S. 96). Um die Vergleichbarkeit der Matrixelemente zu gewährleisten, wird in einem weiteren Schritt die gewichtete Supermatrix normiert, so dass die Spaltensummen der Matrixelemente gleich Eins sind (PETERS UND ZELEWSKI 2008, S. 477). Es resultiert die normierte, gewichtete Supermatrix W_{norm} , die sich unter Verwendung der Matrix aus Gleichung 4.31 mit Gleichung 4.32 wie folgt berechnet.

$$W_{norm} = \begin{pmatrix} \frac{W_{gew,11}}{\sum_{i=1}^m W_{gew,i1}} & \frac{W_{gew,12}}{\sum_{i=1}^m W_{gew,i2}} & \cdots & \frac{W_{gew,1m}}{\sum_{i=1}^m W_{gew,im}} \\ \frac{W_{gew,21}}{\sum_{i=1}^m W_{gew,i1}} & \frac{W_{gew,22}}{\sum_{i=1}^m W_{gew,i2}} & \cdots & \frac{W_{gew,2m}}{\sum_{i=1}^m W_{gew,im}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{W_{gew,m1}}{\sum_{i=1}^m W_{gew,i1}} & \frac{W_{gew,m2}}{\sum_{i=1}^m W_{gew,i2}} & \cdots & \frac{W_{gew,mm}}{\sum_{i=1}^m W_{gew,im}} \end{pmatrix} \tag{4.32}$$

Da die Möglichkeit besteht, dass ein Kriterium durch seine direkten Einflüsse auf andere Kriterien auch indirekten Einfluss auf Kriterien ausübt, die wiederum von anderen Kriterien abhängen, wird in einem weiteren Schritt eine Matrixpotenzierung durchgeführt. Sinn und Zweck der Potenzierung ist Bestimmung einer wertstabilen Matrix, d.h. einer Matrix, deren Elemente sich bei erneuter Matrixmultiplikation nur infinitesimal ändern. Übertragen auf die Supermatrix der Elementeinflüsse bedeutet dies, dass durch Potenzierung die „wirklichen“ Einflüsse der Elemente zueinander bestimmt werden können. Die potenzierte Supermatrix wird ferner auch als Limiting Matrix oder Limit Supermatrix bezeichnet (SAATY 2001, S. 96). Um zu gewähr-

leisten, dass alle Interdependenzen (Abhängigkeiten, Feedback) in ihren Wertungen formal korrekt dargestellt werden, wird demnach die normierte, gewichtete Supermatrix W_{norm} solange potenziert, d.h. mit sich selbst multipliziert, bis ihre Matrixwerte annähernd wertstabil sind (OSSADIK 1998, S. 125).

Die Limit Supermatrix W_{limit} wird mit Gleichung 4.33 bestimmt.

$$W_{limit} = \lim_{k \rightarrow \infty} W_{norm}^k \quad (4.33)$$

Aus W_{limit} lassen sich sodann die Prioritäten der Alternativen in Bezug auf das Entscheidungsnetzwerk entnehmen. Im Rahmen der Produktkonzeptauswahl entstehen somit für jede Konzeptalternative vier Priorisierungen, d.h. Werte im Intervall $[0, 1]$, für die jeweiligen Entscheidungsnetzwerke *Nutzen*, *Chancen*, *Kosten* und *Risiken*. Dabei kann die Reihenfolge, welche Alternative aus Sicht welches Kontrollkriteriums zu bevorzugen wäre, unterschiedlich sein. Die endgültige Entscheidung für eine Konzeptalternative geht aus den in Kapitel 4.2.1 vorgestellten, möglichen Aggregationsregeln unter Verwendung einer der Gleichungen 4.7 bis 4.11 hervor. Die Priorisierungen, die aus W_{limit} ersichtlich werden, sind im allgemeinen nicht normiert, so dass vor der Anwendung einer Verknüpfungsregel die Alternativengewichte normiert werden sollten, um die finale Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Da die Priorisierungen der jeweiligen Alternativen für die vier Entscheidungsnetzwerke in W_{limit} in Matrixform vorliegen, erfolgt die Normierung analog zu den bisherigen Normierungen durch Division. Es wird demnach die Spaltensumme über alle Alternativengewichte je Entscheidungsnetzwerk gebildet und die Priorisierung einer jeden Alternative im korrespondierenden Entscheidungsnetzwerk durch eben diese Spaltensumme dividiert. Somit resultieren für die vier Entscheidungsnetzwerke normierte Alternativengewichte bzw. -prioritäten.

Durch Anwendung einer der vorgestellten Verknüpfungsregeln resultiert für jede Konzeptalternative ein Wert, der die Priorität jeder Alternative im gesamten Entscheidungsmodell angibt. Das Entscheidungsmodell besteht gemäß dem Aufbau der in dieser Arbeit beschriebenen Vorgehensweise aus vier disjunkten Entscheidungsnetzwerken, deren Bewertungsergebnisse die Prioritäten der Alternativen aus Sicht der vier Kontrollkriterien *Nutzen*, *Chancen*, *Kosten* und *Risiken* repräsentieren. Durch den Aggregationsschritt erfolgt die Bildung der finalen Rangfolge der Alternativen in Bezug auf die Problemstellung einer bestmöglichen Auswahl eines, für die weitere Realisierung im Rahmen der Produktentstehung, geeigneten Produktkonzepts. Es ist somit diejenige Konzeptalternative auszuwählen, die nach dem Aggregationsschritt den höchsten Wert aufweist.

4.6 Abschlussbemerkung

Mit der in diesem Kapitel vorgestellten Vorgehensweise wurde ein methodischer Rahmen geschaffen, der die Erhebung und Strukturierung von Kriterien zur Entscheidungsfindung der Produktkonzeptauswahl unterstützt. Unter Berücksichtigung der Anforderungen an geeignete Bewertungsverfahren zur Produktkonzeptauswahl wurde der Analytische Netzwerk Prozess als Basisverfahren gewählt, problemspezifisch angepasst und erweitert. Die Strukturierung und Transformation Kano-klassifizierter Anforderungen auf Kontrollkriterien bietet den Vorteil, Produktkonzepte nach vier entscheidungsrelevanten Oberkriterien zu evaluieren. Mit der Integration von Ansätzen des Zielkostenmanagements wurde ein Konzept für lebenszyklusorientiertes Kostenmanagement in diese Arbeit aufgenommen, um den Erfolgsfaktor Kosten innerhalb der Entscheidungssituation bestmöglich zu adressieren. Die Bewertung qualitativer Kriterien unter Verwendung linguistischer Variablen zielt im Wesentlichen darauf ab, die Beurteilung für die Experten zu erleichtern, da eine Wertung in natürlicher Sprache schwer für einen Bewerter als Punktwert abgegeben werden kann. Die Aussagegüte der Ergebnisse, die unter Anwendung dieser Methodik zu interpretieren ist, hängt wie bei allen Entscheidungssituationen von der Strukturierung des Entscheidungsproblems ab. Eine genaue Analyse der Entscheidungssituation, die Auswahl entscheidungsrelevanter Kriterien und der Aufbau des Entscheidungsmodells sollten daher bestmöglich ausgearbeitet werden.

5 Validierung der Methodik

In diesem Kapitel erfolgt die Validierung der im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten Vorgehensweise zur Strukturierung, Bewertung und Lösung von Entscheidungsproblemen. Die Operationalisierung der Methodik wird aus Gründen der Übersichtlichkeit in zwei Abschnitte aufgeteilt. Der erste Abschnitt dient der Nachvollziehbarkeit der formalen Berechnung der Prioritäten von Alternativen in einem Entscheidungsnetzwerk. Der zweite Abschnitt erklärt die grundsätzliche Anwendung der Methodik am Beispiel der Konzeptauswahl als Problem eines Automobilherstellers.

5.1 Exemplarische Berechnung von Prioritäten in einem Entscheidungsnetzwerk

Nachfolgend wird die Strukturierung und die Bewertung eines Entscheidungsnetzwerks exemplarisch an einer vom Autor fiktiv erfundenen Entscheidungssituation vorgestellt. Mit dem Entscheidungsproblem des Kaufs eines Supersportwagens werden die einzelnen Schritte zur Lösungsfindung in Anlehnung an den Aufbau der Methodik durchlaufen.

5.1.1 Aufbau des exemplarischen Entscheidungsnetzwerks

Als Beispiel steht der potentielle Käufer eines Supersportwagens vor der Situation, dass ihm grundsätzlich zwei Sportwagen gefallen, er jedoch abwägen möchte, welcher Sportwagen aus seiner Sicht am besten zu ihm passt, d.h. die Kriterien, die er als wichtig ansieht, bestmöglich erfüllt. Ihm sind insgesamt sechs Kriterien wichtig, die er der Anwendung dieser Arbeit nach definiert und dabei ähnliche Kriterien zu Clustern bzw. Komponenten zusammenfasst. Auf Basis seiner Kriterien resultiert ein gemischt quantitativ-qualitatives Entscheidungsproblem, welches ferner Abhängigkeiten zwischen den aufgestellten Kriterien beinhaltet. Aus Tabelle 5.1 gehen die Kom-

ponenten und Elemente der Entscheidungssituation hervor, wie sie vom potentiellen Autokäufer formuliert wurden.

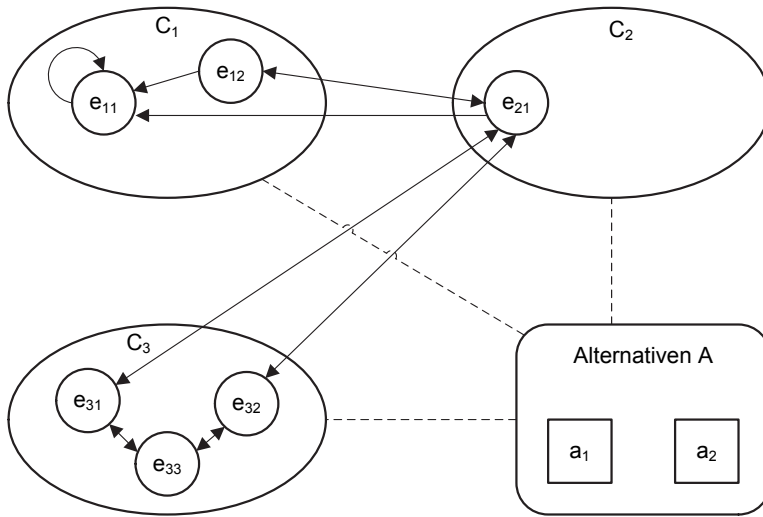
Komponente / Cluster	Symbol der Komponente	Element und Einheit	Symbol des Elements	Beeinflusste Elemente
Prestige	C_1	Image [subjektiv]	e_{11}	e_{11}
		Design [subjektiv]	e_{12}	e_{11}, e_{21}
Anschaffung	C_2	Preis [€]	e_{21}	$e_{11}, e_{12}, e_{31}, e_{32}, e_{33}$
Fahrleistung	C_3	Beschleunigung 0-100 km/h [s]	e_{31}	e_{21}, e_{33}
		Höchstgeschwindigkeit [km/h]	e_{32}	e_{21}, e_{33}
		Handling / Feeling [subjektiv]	e_{32}	e_{31}, e_{32}
Alternativen	A	Supersportwagen 1	a_1	C und e
		Supersportwagen 2	a_2	

Tabelle 5.1: Beschreibung der beispielhaften Entscheidungssituation

5.1.2 Bestimmung der Adjazenzmatrizen auf Komponenten- und Elementebene

Um Adjazenzmatrizen abzuleiten empfiehlt sich die Darstellung der in Tabelle 5.1 skizzierten Entscheidungssituation als Entscheidungsnetzwerk. Dabei werden zunächst die einzelnen Kriterien bzw. Elemente innerhalb ihres Clusters bzw. ihrer Komponente skizziert um anschließend die zuvor definierten Abhängigkeiten der Elemente untereinander mit Pfeilen zu visualisieren. Für dieses exemplarische Beispiel des Autokaufs ergibt sich unter Berücksichtigung der Definitionen aus Tabelle 5.1 ein Entscheidungsnetzwerk, das als Graph in Abbildung 5.1 dargestellt ist.

Aus Gründen der übersichtlicheren Darstellung wurden in Abbildung 5.1 nur die Notationen bzw. die Symbole der zuvor geschilderten Entscheidungssituation übernommen.



Legende:

- ▶ Beeinflussung bzw. Abhängigkeit
- ◄— Wechselseitige Abhängigkeit bzw. Feedback
- Beziehung zwischen Alternativen und Kriterien
- e_{ij} Element j in Cluster / Komponente i
- C_i Kriterien-Cluster / -komponente i
- a_k Alternative k
- A Alternativen-Cluster / -komponente

Abbildung 5.1: Entscheidungsnetzwerk am fiktiven Beispiel des Autokaufs

Da sich ein Entscheidungsnetzwerk als gerichteter Graph darstellt, können Adjazenzmatrizen erstellt werden. Die Komponenten und Elemente entsprechen jeweils den Matrixelementen und eine Abhängigkeit bzw. ein Einfluss wird an entsprechender Stelle durch eine Eins in die Adjazenzmatrizen eingetragen. Falls keine Beeinflussung bzw. Abhängigkeit für bestimmte Elemente aus der Entscheidungssituation hervorgeht, so wird an diese Stellen eine Null eingetragen. Für das zuvor beschriebene Beispiel ergeben sich gemäß Kapitel 4.3.1 unter Verwendung der Gleichung 4.14 die Adjazenzmatrix B der Komponenten und unter Verwendung der Gleichung 4.13 die Adjazenzmatrix V der Elemente.

Abbildung 5.2 skizziert die Adjazenzmatrizen V und B für das exemplarische Beispiel der Entscheidungssituation des Autokaufs (vgl. auch Abbildung 5.1 und Tabelle 5.1).

V	e_{11}	e_{12}	e_{21}	e_{31}	e_{32}	e_{33}	a_1	a_2
e_{11}	1	0	0	0	0	0	1	1
e_{12}	1	0	1	0	0	0	1	1
e_{21}	1	1	0	1	1	1	1	1
e_{31}	0	0	1	0	0	1	1	1
e_{32}	0	0	1	0	0	1	1	1
e_{33}	0	0	0	0	1	1	1	1
a_1	1	1	1	1	1	1	0	0
a_2	1	1	1	1	1	1	0	0

B	C_1	C_2	C_3	A
C_1	1	1	0	1
C_2	1	0	1	1
C_3	0	1	1	1
A	1	1	1	0

Block V_{32} -----

Abbildung 5.2: Adjazenzmatrizen V und B des exemplarischen Beispiels

5.1.3 Bestimmung der Prioritäten auf Komponentenebene

Zunächst müssen die Einflüsse der Komponenten bzw. ihre Abhängigkeiten zueinander bewertet werden. Da unter anderem der *Preis* Einfluss auf z.B. die *Höchstgeschwindigkeit* hat aber auch in umgekehrter Weise von ihr beeinflusst wird bzw. abhängig ist, stehen die Komponenten *Anschaffung* und *Fahrleistung* in einer wechselseitigen Feedback-Beziehung. Für den potentiellen Autokäufer könnte unter Berücksichtigung seiner in Tabelle 5.1 beschriebenen und in Abbildung 5.1 dargestellten Entscheidungssituation, und unter Verwendung der Fuzzy Paarvergleichsskala aus Tabelle 4.5, Seite 112, folgende Bewertung hervorgehen:

- C_1 wird von sich selbst und von C_2 beeinflusst. Von C_3 ist C_1 nicht abhängig. C_1 wird zu C_2 als *gleich bedeutend* eingestuft.
- C_2 wird von C_1 und C_3 beeinflusst, wobei der Einfluss von C_1 im Vergleich zu C_3 *geringfügig bedeutender* bewertet wird.
- C_3 wird von C_2 und sich selbst beeinflusst. Die innere Abhängigkeit von sich selbst wird im Vergleich zu C_2 als *wesentlich größer* bewertet.
- Die Auswahl der Alternativen A wird von allen Komponenten $C_i, \forall i = \{1, 2, 3\}$ gleich bedeutend beeinflusst.

Unter Verwendung der in Kapitel 4.3.4 vorgeschlagenen Fuzzy Paarvergleichsskala aus Tabelle 4.5 werden für jede Komponente die Paarvergleichsmatrizen bzw. Evaluationsmatrizen erstellt und die Prioritäten errechnet. In Tabelle 5.2 sind die Evaluationsmatrizen und deren Prioritätenvektoren angegeben. Der Aufbau ist in Anlehnung an das Standardverfahren (vgl. Tabelle 4.7, S. 116) dargestellt, wobei die Prioritätenvektoren auf zwei Nachkommastellen gerundet wurden. In Anhang B.1 findet sich die exakte, schrittweise Berechnung inklusive der Konsistenzprüfung und Defuzzifizierung der jeweiligen Matrizen¹.

C₁	<i>C₁</i>	<i>C₂</i>	<i>A</i>	<i>w^{defuzz}</i>	C₃	<i>C₂</i>	<i>C₃</i>	<i>A</i>	<i>w^{defuzz}</i>
<i>C₁</i>	(1; 1; 1)	(1; 1; 2)	(1; 1; 1)	0,36	<i>C₂</i>	(1; 1; 1)	($\frac{1}{5}; \frac{1}{4}; \frac{1}{3}$)	(1; 1; 1)	0,20
<i>C₂</i>	($\frac{1}{2}; 1; 1$)	(1; 1; 1)	(1; 1; 1)	0,31	<i>C₃</i>	(3; 4; 5)	(1; 1; 1)	(1; 1; 1)	0,53
<i>A</i>	(1; 1; 1)	(1; 1; 1)	(1; 1; 1)	0,33	<i>A</i>	(1; 1; 1)	(1; 1; 1)	(1; 1; 1)	0,27

C₂	<i>C₁</i>	<i>C₃</i>	<i>A</i>	<i>w^{defuzz}</i>	A	<i>C₁</i>	<i>C₂</i>	<i>C₃</i>	<i>w^{defuzz}</i>
<i>C₁</i>	(1; 1; 1)	(1, 5; 2, 5; 3, 5)	(1; 1; 1)	0,45	<i>C₁</i>	(1; 1; 1)	(1; 1; 1)	(1; 1; 1)	0,33
<i>C₃</i>	($\frac{1}{3,5}; \frac{1}{2,5}; \frac{1}{1,5}$)	(1; 1; 1)	(1; 1; 1)	0,25	<i>C₂</i>	(1; 1; 1)	(1; 1; 1)	(1; 1; 1)	0,33
<i>A</i>	(1; 1; 1)	(1; 1; 1)	(1; 1; 1)	0,30	<i>C₃</i>	(1; 1; 1)	(1; 1; 1)	(1; 1; 1)	0,33

Tabelle 5.2: Prioritäten auf Komponentenebene

Aus den Prioritätenvektoren (w^{defuzz}) aus Tabelle 5.2 lässt sich sodann die Komponenteneinflussmatrix C des exemplarischen Beispiels aufbauen, wobei die Nuller in C entweder aus besagter Tabelle ersichtlich werden, oder aus der im vorherigen Unterkapitel abgeleiteten Adjazenzmatrix B abgelesen werden können (vgl. Abbildung 5.2).

$$C = \begin{pmatrix} 0,36 & 0,45 & 0 & 0,33 \\ 0,31 & 0 & 0,20 & 0,33 \\ 0 & 0,25 & 0,53 & 0,33 \\ 0,33 & 0,30 & 0,27 & 0 \end{pmatrix}$$

5.1.4 Bestimmung der Prioritäten auf Elementebene

Analog wie bei der Komponenteneinflussmatrix können aus der Adjazenzmatrix der Elemente V aus Abbildung 5.2 bereits diejenigen Blöcke W_{ij} in die Supermatrix W als Nullmatrix eingetragen werden, bei denen kein Element der Blöcke W_{ij} eine Eins ist. Für alle anderen Elemente wird die Supermatrix wie nachfolgend beschrieben erstellt.

¹ Die Darstellung der Matrizen im Anhang entspricht nicht der mathematischen Darstellung wie sie innerhalb dieser Methodik angegeben wurde. Dies liegt daran, dass die Berechnungen mit Microsoft Excel durchgeführt wurden und auf die Darstellung einer linguistischen Variable als transponierter Vektor verzichtet wurde.

Die Elemente der Komponente *Prestige* C_1 weisen innere Abhängigkeiten auf. Ihre Priorisierung wird durch den Block W_{11} ausgedrückt. Für den Beispielbewerter hat *Design* e_{12} wesentlich größeren Einfluss auf das *Image* e_{11} , als das sich das *Image* als Premium-Automarke selbst beeinflusst. Unter Verwendung der Fuzzy Paarvergleichsskala aus Tabelle 4.5 bedeutet dies, dass die Bewertung von e_{12} zu e_{11} mit der linguistischen Variable *wesentlich größer* demnach mit (3; 4; 5) ausgedrückt wird. Da die Matrizen reziprok sind muss somit gelten, dass $e_{11} \rightarrow e_{12} = (1/5; 1/4; 1/3)$ gilt, wie in nachfolgender Matrix dargestellt wurde.

$$\tilde{E}_{C_1(e_{11})} = \begin{pmatrix} (1; 1; 1) & (\frac{1}{5}; \frac{1}{4}; \frac{1}{3}) \\ (3; 4; 5) & (1; 1; 1) \end{pmatrix}$$

In der Paarvergleichs- bzw. Evaluationsmatrix $\tilde{E}_{C_1(e_{11})}$ wurden die Einflüsse aller Elemente der Komponente C_1 auf das Element e_{11} ausgedrückt. Eine Überprüfung der Konsistenz erübrigt sich, da 2×2 Matrizen immer konsistent sind. Aus Tabelle 5.3 geht die Berechnung der Prioritäten hervor. Die zu Grunde liegende Berechnung wurde wie für alle weiteren Prioritätenberechnungen mit Microsoft Excel durchgeführt und ist in Anhang B.2 schrittweise aufgeführt.

$W_{11}(e_{11})$	e_{11}	e_{12}	w^{defuzz}
e_{11}	(1; 1; 1)	$(\frac{1}{5}; \frac{1}{4}; \frac{1}{3})$	0,20
e_{12}	(3; 4; 5)	(1; 1; 1)	0,80

Tabelle 5.3: Prioritätenvektor $W_{11}(e_{11})$

Der Prioritätenvektor für e_{12} des Blocks W_{11} ist ein Nullvektor (vgl. Adjazenzmatrix), da aus dem Aufbau der Entscheidungssituation durch den Beispielkäufer eines Sportwagens kein Einfluss auf das *Design* e_{12} innerhalb der Komponente *Prestige* C_1 ausgeübt wird (vgl. Tab. 5.1). Somit resultiert der Block W_{11} wie folgt, wobei der zuvor berechnete Prioritätenvektor für e_{11} des Blocks W_{11} auf zwei Kommastellen gerundet wurde (vgl. Tab. 5.3).

$$W_{11} = \begin{pmatrix} 0,20 & 0 \\ 0,80 & 0 \end{pmatrix}$$

Der Block W_{12} kann direkt aus der Adjazenzmatrix (vgl. Abb. 5.2) übernommen werden, da nur e_{12} Einfluss ausübt. Der Block W_{13} ist eine Nullmatrix, sodass die Bewertung mit W_{14} fortgesetzt wird. Für W_{14} wird bewertet, wie hoch Design und Image die Auswahl der beiden Alternativen beeinflussen. Für Supersportwagen a_1 wird Design *wesentlich wichtiger* bewertet als der Imagegewinn, für a_2 gilt dies nur *geringfügig*. Analog zu den ausführlich zuvor beschriebenen Evaluationsmatrizen gehen somit

unter Verwendung der numerischen Abbildung genannter linguistischer Ausdrücke aus Tabelle 4.5 die in den Tabellen 5.4 und 5.5 ausgewiesenen Paarvergleiche und Prioritäten für W_{14} hervor.

$\mathbf{W}_{14}(\mathbf{a}_1)$	e_{11}	e_{12}	w^{defuzz}
e_{11}	(1; 1; 1)	$(\frac{1}{5}; \frac{1}{4}; \frac{1}{3})$	0, 20
e_{12}	(3; 4; 5)	(1; 1; 1)	0, 80

Tabelle 5.4: Prioritätenvektor $W_{14}(a_1)$

$\mathbf{W}_{14}(\mathbf{a}_2)$	e_{11}	e_{12}	w^{defuzz}
e_{11}	(1; 1; 1)	$(\frac{1}{3,5}; \frac{1}{2,5}; \frac{1}{1,5})$	0, 29
e_{12}	(1, 5; 2, 5; 3, 5)	(1; 1; 1)	0, 71

Tabelle 5.5: Prioritätenvektor $W_{14}(a_2)$

Die Blöcke W_{21} , W_{22} , W_{23} und W_{24} können wiederum aus der Adjazenzmatrix V übernommen werden, da die Komponente C_2 nur aus einem Element e_{21} besteht und ein Vergleich von e_{21} mit sich selbst in Bezug auf die Beeinflussung anderer Elemente unnötig ist. Der Block W_{31} stellt eine Nullmatrix dar, da kein Element aus C_3 Einfluss auf ein Element aus C_1 hat.

Für den Block W_{32} bewertet der Beispielperte aus seiner Sicht die Einflüsse von Beschleunigung e_{31} und Geschwindigkeit e_{32} in Bezug auf den Anschaffungspreis e_{21} . Aus seiner Sicht hat Beschleunigung wesentlich bedeutenderen Einfluss auf den Preis als Geschwindigkeit. Die korrespondierenden Paarvergleichsurteile und der Prioritätenvektor gehen aus Tabelle 5.6 hervor.

$\mathbf{W}_{32}(\mathbf{e}_{21})$	e_{11}	e_{12}	w^{defuzz}
e_{11}	(1; 1; 1)	(3; 4; 5)	0, 80
e_{12}	$(\frac{1}{5}; \frac{1}{4}; \frac{1}{3})$	(1; 1; 1)	0, 20

Tabelle 5.6: Prioritätenvektor $W_{32}(e_{21})$

Für den Block W_{33} müssen nur Bewertungsmatrizen hinsichtlich dem Handling erstellt werden. Die Prioritätenvektoren, die den Einfluss auf Geschwindigkeit und Beschleunigung angeben, können direkt aus der Adjazenzmatrix entnommen werden. Dem fiktiven Beispiel des Autokaufs folgend, misst der potentielle Käufer dem Einfluss von Beschleunigung auf Handling eine geringfügig größere Bedeutung zu,

als dem Einfluss von Geschwindigkeit auf Handling. Ferner ist ihm die Beschleunigung geringfügig wichtiger als das Handling. Die korrespondierenden Paarvergleicheurteile und der Prioritätenvektor für Handling gehen aus Tabelle 5.7 hervor.

$W_{33}(e_{33})$	e_{31}	e_{32}	e_{33}	w^{defuzz}
e_{31}	(1; 1; 1)	(3; 4; 5)	(1, 5; 2, 5; 3, 5)	0, 52
e_{32}	$(\frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3})$	(1; 1; 1)	$(\frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3})$	0, 10
e_{33}	$(\frac{1}{3,5}, \frac{1}{2,5}, \frac{1}{1,5})$	(3; 4; 5)	(1; 1; 1)	0, 38

Tabelle 5.7: Prioritätenvektor $W_{33}(e_{33})$

Für den Block W_{34} bewertet der Beispielperte alle Einflüsse als ungefähr gleich, wie aus den Tabellen 5.8 und 5.9 exemplarisch hervorgeht.

$W_{34}(a_1)$	e_{31}	e_{32}	e_{33}	w^{defuzz}
e_{31}	(1; 1; 1)	$(\frac{1}{2}; 1; 1)$	$(\frac{1}{2}; 1; 1)$	0, 28
e_{32}	(1; 1; 2)	(1; 1; 1)	$(\frac{1}{2}; 1; 1)$	0, 33
e_{33}	(1; 1; 2)	(1; 1; 2)	(1; 1; 1)	0, 39

Tabelle 5.8: Prioritätenvektor $W_{34}(a_1)$

$W_{34}(a_2)$	e_{31}	e_{32}	e_{33}	w^{defuzz}
e_{31}	(1; 1; 1)	(2; 1; 1)	(2; 1; 1)	0, 39
e_{32}	$(1; 1; \frac{1}{2})$	(1; 1; 1)	(2; 1; 1)	0, 33
e_{33}	$(1; 1; \frac{1}{2})$	$(1; 1; \frac{1}{2})$	(1; 1; 1)	0, 28

Tabelle 5.9: Prioritätenvektor $W_{34}(a_2)$

Zu guter letzt werden die Alternativen in Bezug auf ihre Kriterienerfüllung bewertet. Die Alternativen unterscheiden sich in Bezug auf ihre quantitativen Daten, die der potentielle Autokäufer aus der technischen Spezifikation der jeweiligen Produktbeschreibungen entnehmen kann, wie in Tabelle 5.10 exemplarisch dargestellt.

Kriterium	Supersportwagen a_1	Supersportwagen a_2
e_{21} Listenpreis in Euro	350.000	250.000
e_{31} Beschleunigung [0-100] in Sekunden	2,8	3,2
e_{32} Geschwindigkeit in km/h	365	350

Tabelle 5.10: Beispieldaten der Alternativen

Für den Block W_{41} wird in Bezug auf das Element Image e_{11} Auto a_1 als wesentlich besser wie a_2 empfunden. In Bezug auf Design e_{12} wird a_2 geringfügig besser als a_1 bewertet. Die Paarvergleichsurteile und der Prioritätenvektor gehen aus den Tabellen 5.11 und 5.12 hervor.

$W_{41}(e_{11})$	a_1	a_2	w^{defuzz}
a_1	(1; 1; 1)	(3; 4; 5)	0, 80
a_2	$(\frac{1}{5}; \frac{1}{4}; \frac{1}{3})$	(1; 1; 1)	0, 20

Tabelle 5.11: Prioritätenvektor $W_{41}(e_{11})$

$W_{41}(e_{12})$	a_1	a_2	w^{defuzz}
a_1	(1; 1; 1)	$(\frac{1}{3,5}; \frac{1}{2,5}; \frac{1}{1,5})$	0, 29
a_2	(1, 5; 2, 5; 3, 5)	(1; 1; 1)	0, 71

Tabelle 5.12: Prioritätenvektor $W_{41}(e_{12})$

Der Block W_{42} enthält ausschließlich ein quantitatives Kriterium. Der Prioritätenvektor lässt sich unter Anwendung von Gleichung 4.19 wie folgt berechnen, da Anschaffungspreise in negativem Zusammenhang stehen.

$$w_{a_1} = \frac{\frac{1}{a_1}}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2}} = \frac{\frac{1}{350.000}}{\frac{1}{350.000} + \frac{1}{250.000}} \approx 0, 42 \quad \text{und} \quad w_{a_2} = \frac{\frac{1}{a_2}}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2}} \approx 0, 58$$

Innerhalb des Blocks W_{43} werden die Alternativen sowohl anhand quantitativer und qualitativer Kriterien gemessen. Für das Kriterium Beschleunigung sind kleinere Werte und für Geschwindigkeit größere Werte von Vorteil. Die Beschleunigung wird analog zur Preiswertung über Gleichung 4.19 errechnet. Für die Beschleunigung e_{31} ergibt sich der Prioritätenvektor $[0, 53; 0, 47]^T$. Für die Geschwindigkeit wird Gleichung 4.18 wie folgt angewendet.

$$w_{a_1} = \frac{a_1}{a_1 + a_2} = \frac{365}{365 + 350} \approx 0, 51 \quad \text{und} \quad w_{a_2} = \frac{a_2}{a_1 + a_2} \approx 0, 49$$

In Bezug auf das Handling wird nach einer Probefahrt a_2 gegenüber a_1 als geringfügig besser bewertet. Die Paarvergleichsurteile und der Prioritätenvektor dieser Bewertung gehen aus Tabelle 5.13 hervor.

$W_{43}(e_{33})$	a_1	a_2	w^{defuzz}
a_1	(1; 1; 1)	$(\frac{1}{3,5}; \frac{1}{2,5}; \frac{1}{1,5})$	0,29
a_2	(1, 5; 2, 5; 3, 5)	(1; 1; 1)	0,71

Tabelle 5.13: Prioritätenvektor $W_{43}(e_{33})$

Der Block W_{44} ist eine Nullmatrix, da die Alternativen nicht voneinander abhängig sind bzw. sich nicht gegenseitig beeinflussen.

Mit den bisher schrittweise vorgestellten Berechnungen bzw. den Übertragungen von Nullmatrizen auf Basis der Adjazenzmatrix V konnten für alle Blöcke W_{11} bis W_{44} die Prioritätenvektoren bestimmt werden. Das Zusammenfassen dieser Blöcke mündet, wie in Kapitel 4.5.2 beschrieben und in Abbildung 4.14 schematisch dargestellt, in der initialen, ungewichteten Supermatrix W , die sich für dieses exemplarische Beispiel wie folgt ergibt:

$$W = \begin{pmatrix} 0,20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,20 & 0,29 \\ 0,80 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0,80 & 0,71 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0,80 & 0 & 0 & 0,52 & 0,28 & 0,39 \\ 0 & 0 & 0,20 & 0 & 0 & 0,10 & 0,33 & 0,33 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0,38 & 0,39 & 0,28 \\ 0,80 & 0,29 & 0,42 & 0,53 & 0,51 & 0,29 & 0 & 0 \\ 0,20 & 0,71 & 0,58 & 0,47 & 0,49 & 0,71 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Sämtliche Evaluationsmatrizen, die schrittweise Berechnung der Prioritätenvektoren und die Konsistenzprüfung im Rahmen der Erstellung der Supermatrix W sind in Anhang B.2 beschrieben.

5.1.5 Berechnung der Entscheidung für eine Alternative des Entscheidungsnetzwerks

Mit der Erstellung der Komponenteneinflussmatrix C und der initialen Supermatrix W kann die gewichtete Supermatrix W_{gew} unter Verwendung von Gleichung 4.31 erstellt werden, indem jeder Block aus W mit dem korrespondierenden Wert aus C multipliziert wird.

$$W_{gew} = \begin{pmatrix} 0,072 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,066 & 0,096 \\ 0,288 & 0 & 0,450 & 0 & 0 & 0 & 0,264 & 0,234 \\ 0,310 & 0,310 & 0 & 0,200 & 0,200 & 0,200 & 0,333 & 0,333 \\ 0 & 0 & 0,200 & 0 & 0 & 0,276 & 0,092 & 0,129 \\ 0 & 0 & 0,050 & 0 & 0 & 0,053 & 0,109 & 0,109 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,530 & 0,201 & 0,129 & 0,092 \\ 0,264 & 0,096 & 0,126 & 0,143 & 0,138 & 0,078 & 0 & 0 \\ 0,066 & 0,234 & 0,174 & 0,127 & 0,132 & 0,192 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Durch Normierung von W_{gew} entsteht die normierte, gewichtete Supermatrix W_{norm} .

$$W_{norm} = \begin{pmatrix} 0,072 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,067 & 0,097 \\ 0,288 & 0 & 0,450 & 0 & 0 & 0 & 0,267 & 0,237 \\ 0,310 & 0,484 & 0 & 0,426 & 0,200 & 0,200 & 0,333 & 0,333 \\ 0 & 0 & 0,200 & 0 & 0 & 0,276 & 0,093 & 0,130 \\ 0 & 0 & 0,050 & 0 & 0 & 0,053 & 0,110 & 0,110 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,530 & 0,201 & 0,130 & 0,093 \\ 0,264 & 0,150 & 0,126 & 0,304 & 0,138 & 0,078 & 0 & 0 \\ 0,066 & 0,366 & 0,174 & 0,270 & 0,132 & 0,192 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

In einem letzten Schritt wird die normierte, gewichtete Supermatrix so oft potenziert (d.h. mit sich selbst multipliziert), bis ihre Matrixelemente wertstabil sind. Die über Gleichung 4.33 erstellte Limit Supermatrix W_{limit} weist für $k = 8$ eine Wertstabilität bis auf die 17te Nachkommastelle aus und ergibt sich zu:

$$W_{limit} = \begin{pmatrix} 0,026 & 0,026 & 0,026 & 0,026 & 0,026 & 0,026 & 0,026 & 0,026 \\ 0,198 & 0,198 & 0,198 & 0,198 & 0,198 & 0,198 & 0,198 & 0,198 \\ 0,267 & 0,267 & 0,267 & 0,267 & 0,267 & 0,267 & 0,267 & 0,267 \\ 0,106 & 0,106 & 0,106 & 0,106 & 0,106 & 0,106 & 0,106 & 0,106 \\ 0,048 & 0,048 & 0,048 & 0,048 & 0,048 & 0,048 & 0,048 & 0,048 \\ 0,071 & 0,071 & 0,071 & 0,071 & 0,071 & 0,071 & 0,071 & 0,071 \\ 0,115 & 0,115 & 0,115 & 0,115 & 0,115 & 0,115 & 0,115 & 0,115 \\ 0,169 & 0,169 & 0,169 & 0,169 & 0,169 & 0,169 & 0,169 & 0,169 \end{pmatrix}$$

Aus den beiden letzten Zeilen (Alternativenkomponente A mit den beiden Supersportwagen a_1 und a_2) geht hervor, dass Supersportwagen a_2 in Bezug auf das Entscheidungsnetzwerk die höhere Gesamtpriorität aufweist und somit für eine Kauf-

entscheidung die bessere Option darstellt. Tabelle 5.14 fasst die finalen Ergebnisse zusammen.

Alternativen	W_{limit} Prioritäten	Normierung
a_1 Supersportwagen1	0,115	0,404
a_2 Supersportwagen2	0,169	0,596
		$\Sigma = 1$

Tabelle 5.14: Ergebnisse der exemplarischen Entscheidungssituation

5.2 Entscheidungsproblem eines Fahrzeugherstellers

Die Basis für die weitgehende Operationalisierung und damit Validierung der Methodik stellt die in Kapitel 4 beschriebene Vorgehensweise dar. Die Anwendbarkeit dieser Methodik wurde in Kooperation mit einem Industrieunternehmen validiert, wobei die Ergebnisse ferner insoweit aufbereitet wurden, wie dies ohne Nennung unternehmensinterner Kennzahlen, Randbedingungen und Geheimhaltungserklärungen möglich ist. Mitunter wird aus diesen Gründen der Fahrzeughersteller im folgenden als das Unternehmen OEM gekennzeichnet. Abbildung 5.3 stellt das Anwendungsgebiet und die Tragweite des Entscheidungsproblems des Fahrzeugherstellers entlang eines für die Automobilindustrie idealtypischen Innovationsprozesses dar (vgl. hierzu den Ausschnitt des Innovationsprozesses von OEM in Anhang C.1).

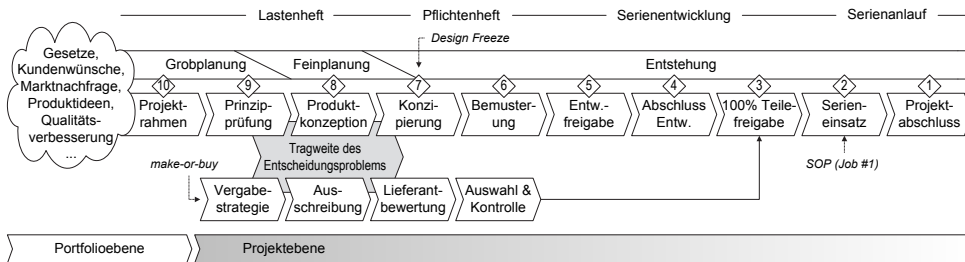


Abbildung 5.3: Tragweite des Entscheidungsproblems in einem idealtypischen Innovationsprozess der Automobilindustrie

5.2.1 Allgemeines

Mit der Entscheidung der Ergänzung seines Produktportfolios um die Aufnahme eines weiteren Produkts hat das Unternehmen OEM eine Grundvoraussetzung für die

Anwendung dieser Methodik geschaffen. Dabei ist eine produktartbezogene Marktrecherche vorangegangen, die ferner durch einen direkten Kundenauftrag konkretisiert werden konnte. Bei diesem konkreten Anwendungsfall handelt es sich um ein Sonderfahrzeuggestell für spezielle Aufbauten mit Schwerlasten bis zu 20 Tonnen. Keines der im Produktportfolio des OEM vorhandenen Sonderfahrzeuggestelle erfüllt diese Schwerlastanforderung und weitere Anforderungen in Bezug auf die Aufbauten für Sonderfahrzeuggestelle, die Ähnlichkeiten mit einem Produkt eines bestimmten Produktprogramms aufweisen sollen. Unter Berücksichtigung eben dieser Anforderungen, die auf Basis eines bestehenden und im selben Zielmarkt angebotenen Fahrzeugs weiterhin erfüllt werden müssen, bleibt nur die Möglichkeit, das Produkt $X44^2$ das im derzeitigen Produktportfolio angeboten wird, rudimentär zu verändern. $X44$ ist ein Sonderfahrzeuggestell mit $4x4$ Allradantrieb³. Aufgrund der geforderten Schwerlast und der geforderten Beibehaltung des Allradantriebs hat sich das Produktmanagement auf die Entwicklung eines $6x6$ Sonderfahrzeuggestells festgelegt.

Der Zielmarkt für Sonderfahrzeuggestelle bezeichnet Fahrzeuggestelle für besondere Aufbauten und Anwendungen. Unter dem Fahrzeuggestell selbst werden alle tragenden Komponenten eines Fahrzeugs verstanden. Ein Fahrzeuggestell ist somit auch ohne Karosserie fahrbar. Die Aufbauten werden in diesem Marktsegment vom Kunden selbst vorgenommen. Produkte auf diesem Zielmarkt differenzieren sich im Wesentlichen über Möglichkeiten ihrer Lastaufnahme und Einschränkungen hinsichtlich ihrer Mobilität. Die nachfolgend grob ausformulierten Marktanforderungen stehen repräsentativ für ein zukunftsorientiertes Produkt in diesem Zielmarkt.

- hohe Lastaufnahme
- hohe Mobilität, d.h. Einsatz auf unweglichem Terrain
- segmentspezifische Fahreigenschaften

Die Ableitung eines $6x6$ Sonderfahrzeuggestells auf Basis des $X44$ stellt aus Sicht des Innovationsmanagements zwar keine Radikalinnovation dar, beinhaltet jedoch neben der Direktübernahme einiger Komponenten und Baugruppen verschiedene Anpassungskonstruktionen und Neuentwicklungen, deren Aufwand je nach gewähltem Antriebskonzept variieren kann. Die Zielsetzung der Anwendung der Methodik dieser Arbeit liegt somit darin, die Auswahl einer der zuvor konzeptionell möglichen Alternativen unter Berücksichtigung sämtlicher zu definierender Kriterien zu begründen.

² Die Bezeichnung $X44$ ist willkürlich gewählt und erlaubt außer der Annahme des Allradkonzepts keine Rückschlüsse auf das Referenzprodukt.

³ Die Bezeichnung AxB Allradantrieb bedeutet A Räder, von denen B angetrieben sind. Weiterführende Informationen zu Antriebskonzepten und Leistungsübertragungen finden sich in APPEL U. A. (2010) und in KIRCHNER (2007).

5.2.2 Erhebung von Plandaten zur Erstellung des Entscheidungsmodells

Grundsätzlich erfolgt im Rahmen der Anwendung der Methodik zunächst die Bestimmung eines möglichen Zielverkaufspreises auf Gesamtproduktebene auf Basis möglicher Produktkonzepte, deren kaufrelevanten Anforderungen über die Klasse der Leistungsanforderungen im Kano-Modell beschrieben werden. Dieser Schritt wurde wie zuvor beschrieben bereits durchgeführt bzw. durch einen Direktauftrag obsolet, so dass unter Abzug einer vom Unternehmensmanagement definierten Gewinnspanne vorläufige Zielkosten bereits abgeleitet und auf Gesamtproduktebene umgelegt werden konnten.

5.2.2.1 Ableitung der Zielkosten für die Konzeptalternativen

In Kapitel 4.1.2.1 wurden generell anwendbare Methoden der Zielkostenfestlegung nach unterschiedlichen Gesichtspunkten differenziert. Da es sich bei dem zu entwickelten Fahrgestell aus Sicht des Innovationsmanagements um eine *Produktdifferenzierung* handelt (vgl. Abb. 2.1), wurden die Kosten gemäß der Methoden *out of the company* bzw. *out of the standard costs* festgelegt. Für die anschließende Zielkostenspaltung wurde daher die Komponentenmethode angewendet, so dass ausgehend vom Gesamtprodukt die Kosten auf die einzelnen Baugruppen bzw. Komponenten des Sonderfahrgestells herunter gebrochen werden konnten. Das generelle Vorgehen unter Verwendung der Methoden dieser Arbeit geht aus Anhang C.2.1 und Anhang C.2.2 hervor.

Der grundsätzliche Aufbau des Sonderfahrgestells ist in Abbildung 5.4 dargestellt. Aus Abbildung 5.4 wird ferner ersichtlich, dass sich das Unternehmensmanagement in sämtlichen Entscheidungen bis auf die Entwicklung der zweiten Hinterachse einig war. Die Auswahl eines geeigneten Antriebskonzepts bildete somit das zu lösende Entscheidungsproblem von OEM.

Im Unternehmen wurden bereits mögliche Konzepte diskutiert und die Anzahl an Konzeptalternativen eingegrenzt. Unter Berücksichtigung der erhobenen Anforderungen von OEM wurden zunächst zwei Alternativen ausgearbeitet, die sich in Bezug auf ihre technische Umsetzung voneinander unterscheiden. Während der hydrostatische Achsantrieb mit hydraulischen Komponenten für den Vortrieb sorgt, stellt die Durchtriebsachse eine mechanische Lösung dar, mit deren Umsetzung das Unternehmen OEM projektbezogene Erfahrungen hat. Aus diesem Grund wurden Vorüberlegungen im Rahmen einer make-or-buy Strategie getroffen und eine dritte

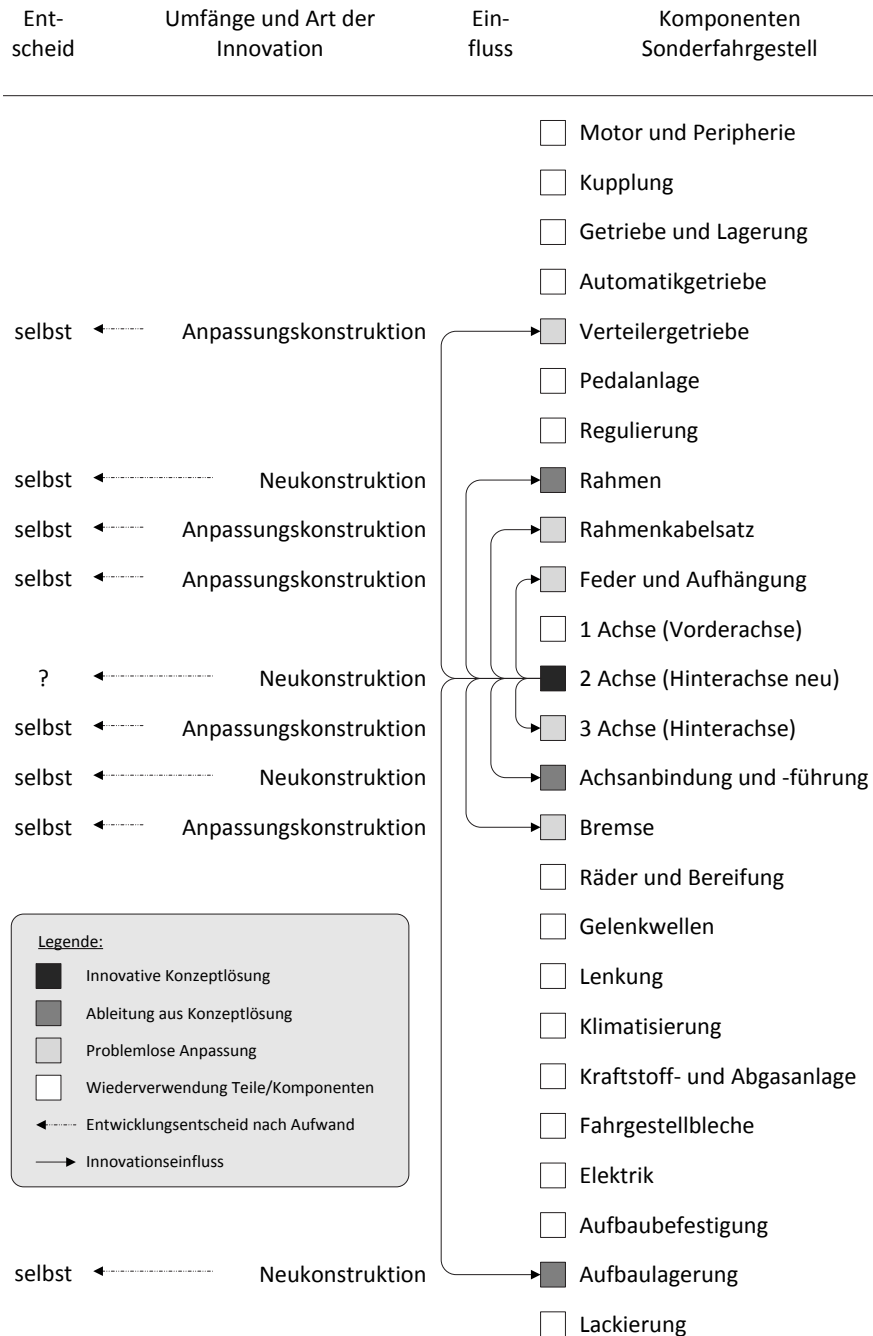


Abbildung 5.4: Wesentliche Baugruppen des Fahrgestells

Alternative aufgenommen. Diese unterscheidet sich von der mechanischen Durchtriebsachse in Bezug auf Kosten und Umsetzungsaspekte, da das Unternehmen OEM für eine zukünftige Projektabwicklung mit Zulieferern geänderte Bewertungen, beispielsweise zu Aspekten des Qualitäts- und Projektmanagements, abgeben konnte.

Die eingangs abgeleiteten Zielkosten für den Achsantrieb wurden in einem nächsten Schritt mit den prognostizierten Kosten jeder einzelnen Konzeptalternative verglichen. Die Prognose der Standardkosten erfolgte über die Anwendung des vorgestellten Activity Based Costings. Voraussetzung dafür ist die Kenntnis der Funktionsbereiche, die im Rahmen der Produktentstehung des Achsantriebs mitwirken. So lassen sich für alle Aktivitäten, Teilprozesse und Prozesse die Kosten schätzen, aggregieren und konzeptspezifisch determinieren. Abbildung 5.5 skizziert grob den Aufbau der Unternehmensfunktionen von OEM.

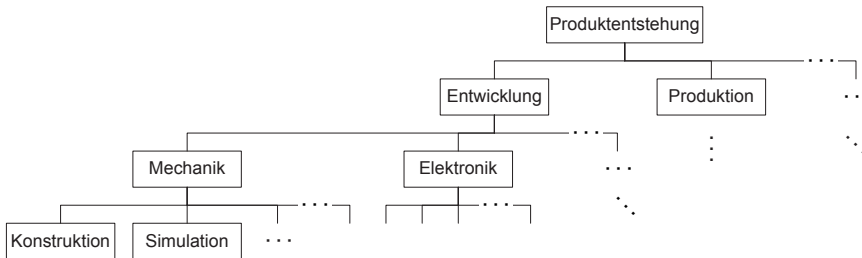


Abbildung 5.5: Bereiche der Produktentstehung des OEM

Die Gegenüberstellung der vorläufigen Zielkosten (*allowable costs*) und der prognostizierten Standardkosten (*drifting costs*) dient einerseits der Festlegung einzuhalten-der Kostenobergrenzen. Andererseits stellt sie ein Instrument der Konzeptselektion dar, wenn zu diesem Zeitpunkt bereits ersichtlich wird, dass mögliche Konzepte den Kostenrahmen weit übersteigen und für ein weiteres Vorgehen ausgegrenzt werden sollten. Abschließend resultiert eine Menge an Konzeptalternativen mit zugehörigen Kostenschätzungen, die direkt in das Entscheidungsnetzwerk *Kosten* übernommen werden. In diesem konkreten Anwendungsfall blieben die drei zuvor genannten Konzeptalternativen für eine weitere Evaluierung bestehen.

5.2.2.2 Klassifikation von Anforderungen

Neben direkten Kundenanforderungen, die in Relation mit der Neuentwicklung des Achsantriebs stehen, wurden aus den Anforderungen auf Gesamtproduktebene weitere Anforderungen abgeleitet und spezifiziert. Die Spezifikation sämtlicher Anfor-

derungen wird aus den allgemeinen Gründen, die zu Beginn dieses Kapitels genannt wurden, nicht ausformuliert. Vielmehr werden die Kriterien im Rahmen dieser Validierung zwar eindeutig aber allgemein beschrieben. Den Mitarbeitern von OEM, die dem Produktmanagement als Experten für die Bewertungen dienen, lag neben den allgemeinen Kriterienbeschreibungen eine detaillierte Ausarbeitung in Form von Beiblättern vor. Mit Anwendung der Kano-Klassifikation ergaben sich nachfolgend aufgeführte Anforderungskriterien an die Auswahl des Produktkonzepts. Unter Anwendung der Methodik dieser Arbeit ergab sich die Kriterienkomponente der Leistungsanforderungen wie in Tabelle 5.15 dargestellt.

N1: Kano-Leistung	
Element	Bezeichnung
n_{11}	Gesamtgewicht der zu entwickelnden Antriebsachse möglichst gering
n_{12}	Abstand zu Rahmen möglichst groß
n_{13}	Gelenkwellenwinkel möglichst klein bei Straßen- und bei Extremfahrt
n_{14}	Übersetzung der Antriebsachse möglichst nah an definiertem Verhältnis
n_{15}	Wartfähigkeit idealerweise sehr tief
n_{16}	Lastschaltbarkeit der Sperren muss erfüllt sein
n_{17}	Gute Schmierung bei hoher Längs- und Seitenneigung
n_{18}	Möglichst geringes Geräuschverhalten

Tabelle 5.15: Leistungsanforderungen

Begeisterungsanforderungen, wie sie in der Methodik dieser Arbeit beschrieben und nach Kano dargestellt wurden, sind im Rahmen der Konzeptauswahl einer technischen Lösung kaum zu bestimmen. Für das Unternehmen OEM wurde daher, wie aus Tabelle 5.16 ersichtlich ist, nur ein Kriterium ausgearbeitet, anhand dessen die Alternativkonzepte in Bezug auf zukünftige Marktnachfragen evaluiert werden konnten. Dieses geht aus Tabelle 5.16 hervor.

C1: Kano-Begeisterung	
Element	Bezeichnung
c_{11}	Bessere Erfüllung der geforderten Leistungsmerkmale

Tabelle 5.16: Begeisterungsanforderungen

Die Basisanforderungen, deren Nichterfüllung das Risiko birgt, dass das zukünftige Produkt am Markt scheitert, sind in Tabelle 5.17 aufgeführt.

<i>R1: Kano-Basis</i>	
Element	Bezeichnung
r_{11}	[Schlechtere] Fahreigenschaften wie X44 (Referenzprodukt)
r_{12}	[Schlechterer] Service und Ersatzteile über den Produktlebenszyklus

Tabelle 5.17: Basisanforderungen

5.2.3 Aufbau des Entscheidungsmodells

5.2.3.1 Modellierung entscheidungsnetzwerkspezifischer Komponenten

Neben den Kano-klassifizierten Anforderungen können in Hinblick auf die Konzeptauswahl weitere Entscheidungskriterien erstellt und in Komponenten gruppiert werden. Insbesondere werden diejenigen Anforderungen erfasst, die zwar erhoben, aber bisher nicht unter der Kano-Klassifizierung den Kontrollkriterien zugeschrieben wurden. Neben den im vorherigen Unterkapitel klassifizierten Anforderungen wurden für den Aufbau des Entscheidungsmodells die Komponenten der jeweiligen Entscheidungsnetzwerke gemäß der vier entscheidungsrelevanten Kontrollkriterien strukturiert.

Kontrollkriterium Nutzen

Komponenten, die in unmittelbarem Zusammenhang mit der Erfüllung nutzenstiftender Leistungsanforderungen stehen, stellen die Herstellbarkeit und Kriterien der Produktnutzung dar. Die Komponente der Herstellbarkeit zielt auf Kriterien ab, von denen die Markteinführung bzw. Auslieferung des Produkts an den Kunden abhängt. Ebenso werden über die Komponente Betriebsverhalten die Erfüllung von Kriterien evaluiert, die mit der zweckgebundenen Nutzung des Produkts einhergehen und auf Achsantriebe heruntergebrochen wurden. Die Komponenten inklusive ihrer jeweiligen Elemente sind nachfolgend tabellarisch dargestellt.

N2: Herstellbarkeit	
Element	Bezeichnung
n_{21}	Entwicklungsprozesse
n_{22}	Fertigungsprozesse
n_{23}	Einsatz Serienkomponenten
n_{24}	Flexibilität in Bezug auf Änderungen
n_{25}	Eingesetzte Materialien

Tabelle 5.18: Kriterien im Rahmen der Herstellung

N3: Betriebsverhalten	
Element	Bezeichnung
n_{31}	Wartung, Inspektion und Instandsetzung
n_{32}	Robustheit der Bauweise

Tabelle 5.19: Kriterien in Bezug auf die Nutzung

Kontrollkriterium Chancen

Bei der Erhebung von Kriterien, deren bestmögliche Erfüllung von Produktkonzepten dem Unternehmen zukünftig Chancen bietet, besteht eine ähnliche Schwierigkeit wie bei den zuvor beschriebenen Begeisterungsanforderungen. Für die Auswahl von technischen Konzepten wird daher nur eine zusätzliche Komponente eingeführt, die aus strategischer Sicht die mit der technischen Kompetenz verbundenen Chancen des Unternehmens in Bezug auf das Produktkonzept beschreibt.

C2: Strategie	
Element	Bezeichnung
c_{21}	Anlehnung an Unternehmensphilosophie
c_{21}	Ausbaufähigkeit der Konzeptlösung

Tabelle 5.20: Strategische Kriterien

Kontrollkriterium Kosten

Unter dieses Kontrollkriterium wurden die zuvor bestimmten Zielkosten untergliedert. Eine weitere Komponente, die unter das Kontrollkriterium der Kosten einzuordnen ist, stellen Anpassungsaufwendungen dar, die mit der Auswahl eines Konzepts auf andere Baugruppen einwirken, wobei in diesem Kontext ausschließlich Anpassungsaufwendungen auf die Neukonstruktionen betrachtet wurden (vgl. Abb. 5.4).

Aufwendungen auf Anpassungskonstruktionen konnten nach Abstimmung vernachlässigt werden. Die Komponenten und Kriterien für das Kontrollkriterium Kosten werden nachfolgend vorgestellt.

<i>K1</i> : Zielkosten	
Element	Bezeichnung
k_{11}	Prognostizierte Standardkosten

Tabelle 5.21: Prognostizierte Standardkosten

<i>K2</i> : Anpassungsaufwand	
Element	Bezeichnung
k_{21}	Rahmen
k_{22}	Achsanbindung und Führung
k_{23}	Aufbaulagerung

Tabelle 5.22: Anpassungsaufwendungen

Kontrollkriterium Risiken

Unter diesem Kontrollkriterium werden zwei weitere Komponenten geführt. Eine Komponente beschreibt die Erfüllung projektspezifischer Planungsaufgaben, insbesondere in Hinblick auf die Einhaltung zeitbezogener Kriterien. Eine weitere Komponente untergliedert externe und interne Vorgaben, deren Nicht-Einhaltung risikobehaftet ist. Die Komponenten sind nachfolgend aufgeführt.

<i>R2</i> : Qualität und Vorschriften	
Element	Bezeichnung
r_{21}	[Schlechte] Ausfallsicherheit (bzw. -wahrscheinlichkeit)
r_{22}	[Schlechte] Einhaltung von Qualitätsstandards
r_{23}	[Schlechte] Einhaltung von Gesetzen, Normen und Vorschriften

Tabelle 5.23: Risiken in Bezug auf Unternehmensstandards

R3: Projektmanagement	
Element	Bezeichnung
r_{31}	[Mögliche] Verletzung von Projektplan und -zeiten

Tabelle 5.24: Risiken durch Mis-Management

5.2.3.2 Strukturierung der Entscheidungsnetzwerke

Im Anschluss an die Erhebung und Strukturierung der Komponenten und ihrer Elemente erfolgte in diesem Schritt der Aufbau der Entscheidungsnetzwerke des Entscheidungsmodells. Dieser Schritt dient somit unmittelbar der Vorbereitung der Berechnung und Auswertung der Ergebnisse. Für jedes Kontrollkriterium wurde ein separates Entscheidungsnetzwerk aufgebaut und die Abhängigkeiten bzw. Einflüsse aller Komponenten und Elemente untereinander festgeschrieben.

Die Vorgehensweise zum Aufbau von Entscheidungsnetzwerken wurde im Rahmen der Methodik ausführlich beschrieben und anhand des exemplarischen Beispiels schrittweise erklärt. Die Berechnungsschritte, die anhand des exemplarischen Beispiels durchlaufen wurden decken in ihrer Gesamtheit die Komplexität der Berechnung qualitativer und quantitativer Vergleichsurteile ab, wie sie auch im Rahmen dieses Entscheidungsproblems Anwendung fanden. Ferner lassen sich aus dem Aufbau der Entscheidungsnetzwerke bzw. deren Adjazenzmatrizen die logischen Zusammenhänge des unternehmerischen Entscheidungsproblems entnehmen. Aus eben diesen Gründen wurde auf die Darstellung der Netzwerke und darauf aufbauender Berechnungen im Rahmen der weiteren Validierung verzichtet.

5.2.4 Priorisierung einer Konzeptalternative

Zunächst erfolgte in diesem Schritt die unternehmensspezifische Festlegung der Bewertungsskala. Die meisten Unternehmen greifen bereits auf intern definierte Punktbewertungen zurück, die im Falle qualitativer Kriterien in linguistische Variablen überführt werden können. Für das Unternehmen OEM wurde die bestehende Vier-Punkt-Skala beibehalten, und deren Punktwert als mittlerer Wert einer triangularen Fuzzy Nummer bestimmt. Die unteren und oberen Grenzen wurden durch den Produktmanager determiniert, wobei auch in diesem Fall die Distanzmaße der bestehenden Vier-Punkt-Skala für den Aufbau der triangularen Fuzzy Nummern ausschlaggebend war. Die Transformation der Vier-Punkt-Skala (1–4–7–9) zu triangularen Fuzzy Nummern mit korrespondierenden linguistischen Ausdrücken geht aus Abbildung 5.6 hervor.

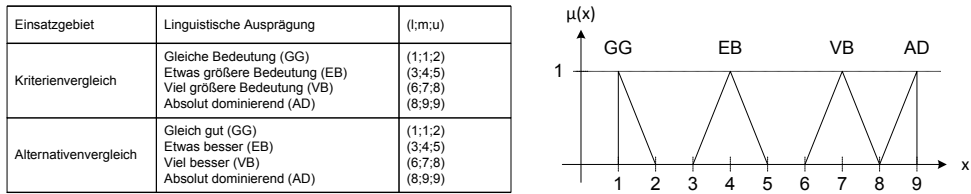


Abbildung 5.6: Linguistische Variablen und Darstellung als trianguläre Fuzzy Nummer

Im Anschluss an die Festlegung der Bewertungslogik erfolgte die Durchführung der Bewertung von Paarvergleichsurteilen auf Basis der innerhalb der Methodik vorgestellten Evaluationsmatrizen, wobei die Bewertung in einem Team durchgeführt wurde, so dass die Möglichkeit der Aggregation von Individualentscheidungen unberücksichtigt blieb. Nach Durchführung der Berechnung resultierten die vier Limit Supermatrizen, d. h. für jedes Kontrollkriterium eine Limit Supermatrix, aus der die Prioritäten der Alternativen in Bezug auf Nutzen, Chancen, Kosten und Risiken hervorgingen. Im Rahmen der Methodik wurden fünf Aggregationsregeln beschrieben, mit Hilfe derer die Prioritäten der Entscheidungsnetzwerke zu einer Gesamtpriorität des Entscheidungsmodells verknüpft werden können. Der Anwendung der Methodik folgend wurde dasjenige Konzept mit dem höchsten, finalen Wert für eine weitere Verfolgung im Rahmen der Produktentwicklung vorgeschlagen, wobei die in Kapitel 4.2.1 vom Autor vorgeschlagene Verknüpfungsregel angewandt wurde.

Die prototypischen Darstellungen des Sonderfahrzeugstells und des final ausgewählten Produktkonzepts, welches nachfolgend in Entwicklung und Produktion weiter ausdetailliert wird, sind in Anhang C.3.1 sowie Anhang C.3.2 aufgeführt.

5.3 Anmerkungen

Die Validierung der Methodik konnte durch die beiden vorgestellten Validierungsobjekte aufgezeigt werden. Entscheidungen über die Auswahl von Produktkonzepten, die mit der Realisierung zukünftiger, erfolgversprechender Produkte einhergehen, unterliegen bei Anwendung auf konkrete, unternehmerische Innovationen tendenziell der Geheimhaltung. Obwohl die innerhalb dieser Arbeit vorgeschlagene Methodik eine umfassende Vorgehensweise zur Bewertung und Priorisierung von Produktkonzepten unter markt- und unternehmensspezifischen Aspekten aufzeigt, ist eine durchgängige Anwendung an praxisrelevanten Entscheidungsproblemen kaum

möglich (vgl. hierzu SEIDEL (2005, S. 107ff)). Dies ist mitunter der Tatsache geschuldet, dass in vielen Unternehmen meistens vordefinierte Prozesse herrschen, die die Anwendung dieser Methodik in ihrer Gesamtheit einschränken, so dass nur partielle Erfolge erzielt werden können. Aus diesen Gründen wurde die Validierung der Methodik auf zwei Anwendungen zu Entscheidungsproblemen unterteilt. Dadurch konnten sowohl die eher strukturellen, planerischen und zielkostenbezogenen Aufgaben zur Modellierung und Bewertung des Entscheidungsmodells und dessen vier Entscheidungsnetzwerke, als auch die formale Berechnung zur Priorisierung eines Entscheidungsnetzwerks aufgezeigt werden, um eine praxistaugliche Anwendung der Methodik zu demonstrieren.

6 Zusammenfassung

6.1 Darstellung der Ergebnisse

Der Erfolg von Produkten am Markt ist mitunter darauf zurück zu führen, dass Unternehmen bereits in sehr frühen Produktlebensphasen eine entscheidungsunterstützte Auswahl und die damit einhergehende Realisierung optimaler Produktkonzepte treffen. Die Auswahl eines optimalen Produktkonzepts bedingt eine Vielzahl zu berücksichtigender Kriterien und stellt, insbesondere vor dem Hintergrund der damit verbundenen Komplexität, ein nicht trivial zu lösendes Entscheidungsproblem dar.

Die in dieser Arbeit vorgestellte methodische Entscheidungsunterstützung zur Produktkonzeptauswahl wirkt dieser Komplexität entgegen. Es wurde ein Entscheidungsmodell erstellt, das Entscheidungssituationen über vier verschiedene Perspektiven analysiert, darunter strukturiert und informationstechnisch auswertbar macht. Vor dem Hintergrund, dass auch strategische Aspekte einzubeziehen und Risiken abzuschätzen sind, gliedert sich das Entscheidungsmodell über die vier Kontrollkriterien Nutzen, Kosten, Chancen und Risiken, die die perspektivische Sicht widerspiegeln.

Ökonomische Kennzahlen stellen eine wichtige Bezugsgröße dar, anhand derer Produktkonzepte evaluiert werden können. Aus unternehmerischer Sicht wird folglich analysiert, welche Anforderungen ein zukünftiges Produkt implizit erfüllen muss, um am Markt einen geeigneten Absatzpreis zu erzielen. Aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht sind dies vorwiegend die Kosten, die auf die Herstellung eines Produktes umgelegt werden bzw. komponentenbezogen anfallen dürfen. Mit der Kano-Klassifizierung wurde eine spezielle Methode in diese Arbeit integriert, um Anforderungen an zukünftige Produkte mit Bezug auf die vier Kontrollkriterien Nutzen, Chancen, Kosten und Risiken einzuordnen. Zunächst wurde ein Hauptaugenmerk auf geeignete Verfahren des Kostenmanagements gelegt und Methoden der Zielkostenfestlegung und -spaltung vorgestellt, um marktakzeptable Kostenvorgaben abzuleiten. Durch eine Gegenüberstellung geschätzter Kosten mit dem Ansatz des Activity

Based Costings ist es bereits in frühen Produktlebensphasen möglich, diejenigen Konzeptalternativen zu eliminieren, deren Realisierung einen abgeleiteten Kostenrahmen in nicht vertretbarem Maße sprengen würden. Die den Alternativen korrespondierenden Kostenschätzungen werden folglich in das Entscheidungsnetzwerk des Kontrollkriteriums Kosten übertragen.

Neben der Fokussierung auf ökonomische Aspekte war die Bestimmung eines entscheidungstheoretischen Verfahrens zur Modellierung und Bewertung quantitativer und qualitativer Größen eine wesentliche Zielsetzung dieser Arbeit. Es konnte aufgezeigt werden, dass die gängigen Verfahren, die in industriellem Umfeld zur Lösung des Entscheidungsproblems der Auswahl von Produktkonzepten angewendet werden, den Anforderungen, die mit dieser Entscheidungssituation verbunden sind, nicht ausreichend gerecht werden. Eine umfassende Analyse resultierte mit der Auswahl und problemspezifischen Erweiterung des Analytischen Netzwerk Prozesses zur Lösung des Entscheidungsmodells dieser Arbeit. Mit der Modellierung linguistischer Variablen in Form triangularer Fuzzy Nummern konnte die Forderung in Bezug auf die Erweiterung des Entscheidungsmodells zur Berücksichtigung von Unschärfe erfüllt werden.

Die innovativen Ideen, die dieser Arbeit zu Grunde liegen lassen sich im Wesentlichen wie nachfolgend beschrieben zusammenfassen.

- Anforderungen, die vom Markt oder von Kunden explizit an zukünftige Produkte gestellt und durch Marketingaktivitäten des Produktmanagement erhoben werden, charakterisieren sich implizit über die Merkmale und deren Ausprägungen zukünftiger Produkte. Wenn also Produktkonzepte anhand unterschiedlicher Kriterien gemessen werden, so beschreiben diese, stellvertretend für den Informationsgehalt der frühen Lebensphasen, die Merkmale, und die Priorisierung der Produktkonzepte zielt dabei auf den Erfüllungsgrad der Ausprägung ab. Zur Handhabung produktbezogener und kundenwichtiger Produkteigenschaften wurde daher das Kano-Modell aufgegriffen. Über das Kano-Modell lassen sich sämtliche Anforderungen strukturieren, die aus Kunden- oder Marktsicht den Erfolg von Produkten auf Zielmärkten ausdrücken. Da die Auswahl von Produktkonzepten im Rahmen dieser Arbeit über die vier Gesichtspunkte Nutzen, Kosten, Chancen und Risiken getroffen wird, wurden die mittels dem Kano-Modell klassifizierten Anforderungen unterhalb dieser Oberkriterien strukturiert.
- Neben der Transformation originärer Kano-Klassen auf die Oberkriterien bzw. Kontrollkriterien Nutzen, Chancen und Risiken wurden Methoden des Zielkostenmanagements als lebenszyklusorientiertes Kostenmanagement in diese Arbeit integriert. Das Zielkostenmanagement als retrograder Ansatz ist für die

Anwendung in frühen Phasen des Innovationsprozesses prädestiniert, da es im Gegensatz zu Cost-plus-Ansätzen nicht erst ab den Phasen der Produktentwicklung greift, sondern die früheren Planungsphasen adressiert. Kosten spielen bei allen Produktinnovationen eine wesentliche Bemessungsgröße, weswegen geeignete Methoden der Zielkostenfestlegung und -spaltung zur Determinierung von Zielkosten vorgeschlagen und ferner unter dem Kontrollkriterium der Kosten geführt wurden. Mit dem Kano-Modell und dem Target Costing wurden daher die Plandaten erhoben, die unter den vier Kontrollkriterien Nutzen, Kosten, Chancen und Risiken geführt werden.

- Die Auswahl und Adaption eines geeigneten entscheidungstheoretischen Verfahrens, das die im Rahmen dieser Arbeit aufgestellten Eignungskriterien erfüllt, war ein weiterer, wesentlicher Baustein zur Konzeption einer entscheidungsunterstützten Methodik zur Produktkonzeptauswahl. Mit der Auswahl des Analytischen Netzwerk Prozesses wurde ein Verfahren der präskriptiven Entscheidungstheorie auf die Problemstellung der Produktkonzeptauswahl im Ingenieurwesen adaptiert. Die komplexe Entscheidungssituation der Auswahl eines geeigneten Produktkonzepts für die weitere Verfolgung in Entwicklung und Produktion konnte somit formal ausgedrückt und bewertet werden.
- Diese komplexe Entscheidungssituation zeichnet sich ferner über qualitative und quantitative Kriterien aus, anhand derer alternative Produktkonzepte gemessen werden. Aus sozialwissenschaftlichen Forschungen geht hervor, dass qualitative Kriterien unter Verwendung kardinaler Größen nur schwer zu bewerten sind. Um den Experten die Bewertung qualitativer Kriterien zu erleichtern, wurde die Theorie unscharfer Mengen in diese Arbeit integriert und die Bewertung qualitativer Kriterien über linguistische Variablen durchgeführt. So wurden Bewertungen, die in natürlicher Sprache getroffen wurden, auf ein definiertes Intervall unter der Abbildungsvorschrift triangularer Fuzzy Mengen übertragen und informationstechnisch prozessierbar gemacht.

Die Anwendung der in dieser Arbeit konzipierten entscheidungsunterstützten Methodik zur Produktkonzeptauswahl konnte anhand zweier Validierungsobjekte partiell demonstriert werden.

6.2 Ausblick zu weiteren Anknüpfungspunkten

Die praktische Anwendung der Vorgehensweise der Methodik dieser Arbeit konnte zwar prinzipiell demonstriert und validiert werden, sie ist jedoch auf Grund ihres formalen Aufbaus in ihrer Anwendbarkeit mit vergleichbar hohem Aufwand verbunden. Dies bezieht sich insbesondere auf die Bewertung und formale Berechnung, die zudem durch die Erweiterung um die Modellierung von Unschärfe erschwert wird. Um die Anwendung einer breiten Nutzerschicht möglichst einfach zu präsentieren, empfiehlt es sich daher, die in dieser Arbeit schrittweise vorgestellten Rechenoperationen zu implementieren und in einer Software (prototypisch) umzusetzen. Dies hätte ferner den weiteren Vorteil, dass auf Basis der Modellberechnung Sensitivitätsanalysen einfacher durchgeführt werden könnten, um aufzuzeigen, welche Kriterien und welche Bewertungsurteile bei der Auswahl dominiert haben.

Zudem bietet die Entwicklung der Software weitere Anknüpfungspunkte im Kontext des Produktlebenszyklusmanagements. PLM Systemlösungen entfalten ihr Potential bisher vorwiegend ab der Phase der Konstruktion, um beispielsweise produktbezogene Daten zu dokumentieren und zu verwalten. Mit zunehmender Konkretisierung in Produktentwicklung und -produktion setzt sich das Management produktbezogener Daten in dieser Richtung über den Lebenszyklus fort. Ein möglicher Anknüpfungspunkt wäre das Hinzufügen von Metadaten aus vorgelagerten Lebensphasen, im speziellen Daten der Auswertung alternativer Produktkonzepte aus der Phase der Produktkonzeption. Durch Anwendung des Verfahrens dieser Arbeit geht transparent hervor, warum sich das Produktmanagement für dasjenige Konzept entschieden hat, das in späteren Phasen im PLM bzw. PDM System geführt wird. Die aus der Produktplanung stammenden Informationen der zuvor getroffenen Entscheidung der Auswahl des in PLM weiter geführten Produktkonzepts werden bisher nicht dokumentiert. Wenn sich beispielsweise die Unternehmensstrategie oder Gesetze und Vorgaben ändern würden, könnte dies Einfluss auf die Kriterien und somit die Bewertungen haben, und so könnte eine schlechter bewertete Konzeptalternative bei erneuter Bewertung interessant für eine zukünftige Umsetzung werden. Mit dem Zurückgreifen auf die Auswertungsdaten wird folglich die Möglichkeit geboten, Vergangenheitsdaten alternativer Produktkonzepte erneut auf Akzeptanz für zukünftige Innovationen zu prüfen.

Ein weiterer Anknüpfungspunkt liegt in der produktentstehungsbegleitenden Kostenkontrolle. Die Phasen der Zielkostenfestlegung und -spaltung mit der Vorstellung des Zielkostenkontrolldiagramms wurden in dieser Arbeit bereits aufgegriffen. Es bietet sich somit an, die Phase der Zielkostenerreichung, die sich mit der Produktentstehung zeitlich deckt, methodisch aufzugreifen, um ein ganzheitliches Zielkostenmanagement zu gewährleisten. Somit könnten Diskrepanzen visualisiert

und dokumentiert werden, die sich auf prognostizierte Standardkosten und reale, innerhalb der Produktentstehung angefallene Kosten beziehen. Mit dieser Information könnten beispielsweise Fertigungsplaner sukzessive bessere Bewertungen zu den aktivitätsbezogenen Prozesskosten zukünftiger Produktinnovationen abgeben.

Anhang A

Herleitung zur Defuzzifizierung

Eine als trianguläre Fuzzy Nummer modellierte linguistische Variable kann prinzipiell über die Berechnung des Flächenschwerpunkts¹ defuzzifiziert werden. Abbildung A.1 skizziert den allgemeinen Aufbau einer triangulären Fuzzy Nummer.

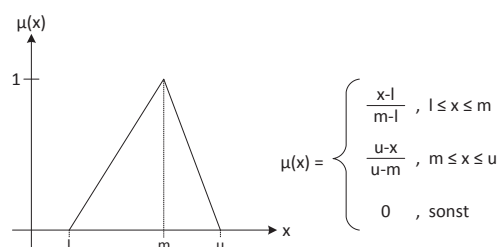


Abbildung A.1: Aufbau einer triangulären Fuzzy Nummer

A.1 Defuzzifizierung mit der Methode des Flächenschwerpunkts

Es sei $\tilde{a} = (l, m, u)$ eine trianguläre Fuzzy Nummer und x_{res} sei die resultierende Defuzzifizierung. Nach der Methode des Flächenschwerpunkts gilt es folgende Gleichung zu lösen.

$$x_{res} = \frac{\int_0^{\infty} x \mu_{res}(x) dx}{\int_0^{\infty} \mu_{res}(x) dx} \quad \leftarrow \begin{array}{l} \text{Schritt 1: Zähler} \\ \text{Schritt 2: Nenner} \end{array} \quad (\text{A.1})$$

¹ Dieser Ansatz ist auch unter *center-of-area* oder *center-of-gravity* bekannt.

Schritt 1:

$$\begin{aligned}
 \int_0^{\infty} x\mu_{res}(x)dx &= \int_l^m x \frac{(x-l)}{(m-l)} dx + \int_m^u x \frac{(u-x)}{(u-m)} dx = \\
 &= \int_l^m \frac{x^2}{m-l} - \frac{xl}{m-l} dx + \int_m^u \frac{xu}{u-m} - \frac{x^2}{u-m} dx = \\
 &= \left(\frac{1}{3} \frac{x^3}{m-l} - \frac{1}{2} \frac{x^2 l}{m-l} \right) \Big|_l^m + \left(\frac{1}{2} \frac{x^2 u}{u-m} - \frac{1}{3} \frac{x^3}{u-m} \right) \Big|_m^u = \\
 &= \frac{1}{6} \left(\frac{2x^3 - 3x^2 l}{m-l} \Big|_l^m + \frac{3x^2 u - 2x^3}{u-m} \Big|_m^u \right) = \\
 &= \frac{1}{6} \left(\left(\frac{2m^3 - 3m^2 l}{m-l} - \frac{2l^3 - 3l^3}{m-l} \right) + \left(\frac{3u^3 - 2m^3}{u-m} - \frac{3m^2 u - 2m^3}{u-m} \right) \right) = \\
 &= \frac{1}{6} \left(\frac{2m^3 - 3m^2 l + l^3}{m-l} + \frac{u^3 - 3m^2 u + 2m^2}{u-m} \right) = \\
 &= \frac{1}{6} \left((m-l)(2m+l) + (u-m)(u+2m) \right) = \\
 &= \frac{1}{6} (u^2 + mu - lm - l^2) = \\
 &= \frac{1}{6} (u-l)(u+m+l)
 \end{aligned}$$

Schritt 2:

$$\begin{aligned}
 \int_0^{\infty} \mu_{res}(x)dx &= \int_l^m \frac{x}{m-x} - \frac{l}{m-l} dx + \int_m^u \frac{u}{u-m} - \frac{x}{u-m} dx = \\
 &= \frac{1}{2} \left(\frac{x^2 - 2lx}{m-l} \Big|_l^m + \frac{2ux - x^2}{u-m} \Big|_m^u \right) = \\
 &= \frac{1}{2} \left(\frac{m^2 - 2lm + l^2}{m-l} + \frac{u^2 - 2mu + m^2}{u-m} \right) = \frac{1}{2} \left((m-l) + (u-m) \right) = \\
 &= \frac{1}{2} (u-l)
 \end{aligned}$$

Resultierender scharfer Wert:

Nach Gleichung A.1 berechnet sich ferner der defuzzifizierte Wert für x_{res} zu:

$$\Rightarrow x_{res} = \frac{\frac{1}{6}(u-l)(u+m+l)}{\frac{1}{2}(u-l)} = \frac{u+m+l}{3} \tag{A.2}$$

A.2 Modifikation der Methode des Flächenschwerpunkts

Einige Autoren haben die Defuzzifizierung nach der Methode des Flächenschwerpunkts insofern verändert, dass sie bei der Defuzzifizierung einer triangularen Fuzzy Nummer dem mittleren Wert m eine höhere Bedeutung bzw. doppeltes Gewicht zusprechen. Dies kann damit begründet werden, dass der mittlere Wert die Tendenz einer Aussage beschreibt, z.B. eine subjektive Expertenmeinung, die dann über die Grenzen u und l relativiert wird. Vor diesem Hintergrund modifizieren TRAPPEY U. A. (2009, S. 265) die Defuzzifizierung zu:

$$x_{res} = \frac{u + 2m + l}{4}$$

Abschließend kann angemerkt werden, dass bei vollkommener Sicherheit² einer Expertenbewertung mit einem α -Schnitt von 1 die Defuzzifizierung immer dem Wert m gleicht. Dies gilt für sämtliche Modifikationen der Flächenschwerpunktmethod, da in diesem Fall $u = m = l$ gilt.

² Davon kann bei subjektiven Bewertungen eigtl. nicht ausgegangen werden. Daher wurde das Konzept triangulärer Fuzzy Nummern eingeführt, die bei einem α -Schnitt von 0 maximale Interpretation erlauben.

Anhang B

Berechnungen des exemplarischen Beispiels

In diesem Kapitel sind die Berechnungen zum exemplarischen Beispiel angegeben. Analog zum Aufbau und der Anwendung des Verfahrens, wie es im Rahmen dieser Arbeit gegliedert ist, wurden die einzelnen Berechnungen in Unterkapitel gegliedert.

Die Berechnungen wurden allesamt mit Microsoft Excel durchgeführt. Aus den nachfolgenden Kapiteln geht im Rahmen der Berechnung hervor, dass

- der Aufbau der Evaluationsmatrix unter Verwendung von Excel vereinfacht dargestellt wurde. So wurde eine triangulare Fuzzy Nummer beispielsweise nicht korrekt als $(1; 1; 1)$ dargestellt, sondern als $1 \ 1 \ 1$, um die Berechnung zu erleichtern.
- die unscharfen Evaluationsmatrizen \tilde{E} wie in Kapitel 4.4.3 beschrieben zum Zwecke der Konsistenzprüfung in die drei scharfen Matrizen E^l , E^m und E^u aufgeteilt wurden, wobei die Konsistenzprüfung unter Verwendung von E^m erfolgt.
- die Berechnung der Prioritätenvektoren mit anschließender Defuzzifizierung unter Verwendung des Standardverfahrens durchgeführt wurde, das in Kapitel 4.4.2 ausführlich vorgestellt wurde.

B.1 Berechnungen zur Komponenteneinflussmatrix

C1		C1			C2			A		
C1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	
C2	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	
A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

E^m	Bewertung			Normierung			Σ_{Zeile}	Gew.	Eig.	Konsistenz
nach von	C1	C2	A	C1	C2	A	r	w	λ	
C1	1	1	1	0,333	0,333	0,333	1	0,333	1	$\lambda_{\max} = 3$
C2	1	1	1	0,333	0,333	0,333	1	0,333	1	C.I. = 0
A	1	1	1	0,333	0,333	0,333	1	0,333	1	C.R. = 0
Σ_{Spalte}	3	3	3	1	1	1	3	1		

	E ^l -Bewertung			E ^m -Bewertung			E ^u -Bewertung			Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	Fuzzy-Gewichte			Def.
nach von	C1	C2	A	C1	C2	A	C1	C1	A	r ^l	r ^m	r ^u	w ^l	w ^m	w ^u	w ^{Defuzz}
C1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	3	3	4	0,3	0,333	0,471	0,365
C2	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	2,5	3	3	0,25	0,333	0,353	0,309
A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	0,3	0,333	0,353	0,326
Σ_{Spalte}	2,5	3	3	3	3	3	3	4	3	8,5	9	10				1

C2		C1			C3			A		
C1	1	1	1	1,5	2,5	3,5	1	1	1	
C3	0,286	0,4	0,667	1	1	1	1	1	1	
A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

E^m	Bewertung			Normierung			Σ_{Zeile}	Gew.	Eig.	Konsistenz
nach von	C1	C3	A	C1	C3	A	r	w	λ	
C1	1	2,5	1	0,417	0,556	0,333	1,306	0,435	1,361	$\lambda_{\max} = 3,094$
C3	0,4	1	1	0,167	0,222	0,333	0,722	0,241	0,739	C.I. = 0,047
A	1	1	1	0,417	0,222	0,333	0,972	0,324	1	C.R. = 0,081
Σ_{Spalte}	2,4	4,5	3	1	1	1	3	1		

	E ^l -Bewertung			E ^m -Bewertung			E ^u -Bewertung			Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	Fuzzy-Gewichte			Def.
nach von	C1	C3	A	C1	C3	A	C1	C1	A	r ^l	r ^m	r ^u	w ^l	w ^m	w ^u	w ^{Defuzz}
C1	1	1,5	1	1	2,5	1	1	3,5	1	3,5	4,5	5,5	0,35	0,5	0,647	0,455
C3	0,286	1	1	0,4	1	1	0,667	1	1	2,286	2,4	2,667	0,229	0,267	0,314	0,246
A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	0,3	0,333	0,353	0,3
Σ_{Spalte}	2,286	3,5	3	2,4	4,5	3	2,667	5,5	3	8,786	9,9	11,17				1

Tabelle B.1: Berechnungen zur Komponenteneinflussmatrix

B.1 Berechnungen zur Komponenteneinflussmatrix

C3		C2			C3			A	
C2	1	1	1	0,2	0,25	0,333	1	1	1
C3	3	4	5	1	1	1	1	1	1
A	1	1	1	1	1	1	1	1	1

nach von	Bewertung			Normierung			Σ_{Zeile}	Gew.	Eig.	Konsistenz
	C2	C3	A	C2	C3	A	r	w	λ	
C2	1	0,25	1	0,167	0,111	0,333	0,611	0,204	0,639	$\lambda_{\max} = 3,22$ C.I. = 0,11 C.R. = 0,189
C3	4	1	1	0,667	0,444	0,333	1,444	0,481	1,611	
A	1	1	1	0,167	0,444	0,333	0,944	0,315	1	
Σ_{Spalte}	6	2,25	3	1	1	1	3	1		

nach von	E ^l -Bewertung			E ^m -Bewertung			E ^u -Bewertung			Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	Fuzzy-Gewichte			Def.
	C2	C3	A	C2	C3	A	C2	C2	A	r ^l	r ^m	r ^u	w ^l	w ^m	w ^u	w ^{defuzz}
C2	1	0,2	1	1	0,25	1	1	0,333	1	2,2	2,25	2,333	0,22	0,25	0,275	0,2
C3	3	1	1	4	1	1	5	1	1	5	6	7	0,5	0,667	0,824	0,535
A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	0,3	0,333	0,353	0,265
Σ_{Spalte}	5	2,2	3	6	2,25	3	7	2,333	3	10,2	11,25	12,33				1

A		C1			C2			C3	
C1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C3	1	1	1	1	1	1	1	1	1

nach von	Bewertung			Normierung			Σ_{Zeile}	Gew.	Eig.	Konsistenz
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	r	w	λ	
C1	1	1	1	0,333	0,333	0,333	1	0,333	1	$\lambda_{\max} = 3$ C.I. = 0 C.R. = 0
C2	1	1	1	0,333	0,333	0,333	1	0,333	1	
C3	1	1	1	0,333	0,333	0,333	1	0,333	1	
Σ_{Spalte}	3	3	3	1	1	1	3	1		

nach von	E ^l -Bewertung			E ^m -Bewertung			E ^u -Bewertung			Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	Fuzzy-Gewichte			Def.
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C1	C3	r ^l	r ^m	r ^u	w ^l	w ^m	w ^u	w ^{defuzz}
C1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	0,3	0,333	0,353	0,333
C2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	0,3	0,333	0,353	0,333
C3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	0,3	0,333	0,353	0,333
Σ_{Spalte}	3	3	3	3	3	3	3	3	3	9	9	9				1

Tabelle B.2: Berechnungen zur Komponenteneinflussmatrix

B.2 Berechnungen zur Supermatrix der Elementeinflüsse

W11(e11)	e11			e12			w^{defuzz}
e11	1	1	1	0,2	0,25	0,333	0,199
e12	3	4	5	1	1	1	0,801

E^m	Bewertung		Normierung		Σ_{Zeile}	Gew.	Eig.
nach von	e11	e12	e11	e12	r	w	λ
e11	1	0,25	0,2	0,2	0,4	0,2	0,4
e12	4	1	0,8	0,8	1,6	0,8	1,6
Σ_{Spalte}	5	1,25	1	1	2	1	

W11(e11)	l		m		u		Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	y-Gewichte			Def.
nach von	e11	e12	e11	e12	e11	e12	r^l	r^m	r^u	w^l	w^m	w^u	w^{defuzz}
e11	1	0,2	1	0,25	1	0,333	1,2	1,25	1,333	0,164	0,2	0,256	0,199
e12	3	1	4	1	5	1	4	5	6	0,545	0,8	1,154	0,801
Σ_{Spalte}							5,2	6,25	7,333				1

W14(a1)	e11			e12			w^{defuzz}
e11	1	1	1	0,2	0,25	0,333	0,199
e12	3	4	5	1	1	1	0,801

E^m	Bewertung		Normierung		Σ_{Zeile}	Gew.	Eig.
nach von	e11	e12	e11	e12	r	w	λ
e11	1	0,25	0,2	0,2	0,4	0,2	0,4
e12	4	1	0,8	0,8	1,6	0,8	1,6
Σ_{Spalte}	5	1,25	1	1	2	1	

W14(a1)	l		m		u		Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	y-Gewichte			Def.
nach von	e11	e12	e11	e12	e11	e12	r^l	r^m	r^u	w^l	w^m	w^u	w^{defuzz}
e11	1	0,2	1	0,25	1	0,333	1,2	1,25	1,333	0,164	0,2	0,256	0,199
e12	3	1	4	1	5	1	4	5	6	0,545	0,8	1,154	0,801
Σ_{Spalte}							5,2	6,25	7,333				1

Tabelle B.3: Berechnungen zur Supermatrix

W14(a2)	e11			e12			w^{defuzz}
e11	1	1	1	0,286	0,4	0,667	0,288
e12	1,5	2,5	3,5	1	1	1	0,712

E^m	Bewertung		Normierung		Σ_{Zeile}	Gew.	Eig.
nach von	e11	e12	e11	e12	r	w	λ
e11	1	0,4	0,286	0,286	0,571	0,286	0,571
e12	2,5	1	0,714	0,714	1,429	0,714	1,429
Σ_{Spalte}	3,5	1,4	1	1	2	1	

W14(a2)	l		m		u		Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	ty-Gewichte			Def.
nach von	e11	e12	e11	e12	e11	e12	r^l	r^m	r^u	w^l	w^m	w^u	w^{defuzz}
e11	1	0,286	1	0,4	1	0,667	1,286	1,4	1,667	0,208	0,286	0,44	0,288
e12	1,5	1	2,5	1	3,5	1	2,5	3,5	4,5	0,405	0,714	1,189	0,712
Σ_{Spalte}							3,786	4,9	6,167				1

W32(e21)	e11			e12			w^{defuzz}
e11	1	1	1	3	4	5	0,801
e12	0,2	0,25	0,333	1	1	1	0,199

E^m	Bewertung		Normierung		Σ_{Zeile}	Gew.	Eig.
nach von	e11	e12	e11	e12	r	w	λ
e11	1	4	0,8	0,8	1,6	0,8	1,6
e12	0,25	1	0,2	0,2	0,4	0,2	0,4
Σ_{Spalte}	1,25	5	1	1	2	1	

W32(e21)	l		m		u		Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	ty-Gewichte			Def.
nach von	e11	e12	e11	e12	e11	e12	r^l	r^m	r^u	w^l	w^m	w^u	w^{defuzz}
e11	1	3	1	4	1	5	4	5	6	0,545	0,8	1,154	0,801
e12	0,2	1	0,25	1	0,333	1	1,2	1,25	1,333	0,164	0,2	0,256	0,199
Σ_{Spalte}							5,2	6,25	7,333				1

Tabelle B.4: Berechnungen zur Supermatrix

W33(e33)	e31			e32			e33			w^{defuzz}
e31	1	1	1	3	4	5	1,5	2,5	3,5	0,519
e32	0,2	0,25	0,333	1	1	1	0,2	0,25	0,333	0,104
e33	0,286	0,4	0,667	3	4	5	1	1	1	0,376

E^m	Bewertung			Normierung			Σ_{Zeile}	Gew.	Eig.	Konsistenz
von nach	e31	e32	e33	e31	e32	e33	r	w	λ	
e31	1	4	2,5	0,606	0,444	0,667	1,717	0,572	1,806	$\lambda_{max} = 3,095$
e32	0,25	1	0,25	0,152	0,111	0,067	0,329	0,11	0,332	C.I. = 0,047
e33	0,4	4	1	0,242	0,444	0,267	0,954	0,318	0,986	C.R. = 0,082
Σ_{Spalte}	1,65	9	3,75	1	1	1	3	1		

W33(e33)	l			m			u			Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	Fuzzy-Gewichte	Def.		
von nach	e31	e32	e33	e31	e32	e33	e31	e31	e33	r^l	r^m	r^u	w^l	w^m	w^u	w^{defuzz}
e31	1	3	1,5	1	4	2,5	1	5	3,5	5,5	7,5	9,5	0,55	0,833	1,118	0,519
e32	0,2	1	0,2	0,25	1	0,25	0,333	1	0,333	1,4	1,5	1,667	0,14	0,167	0,196	0,104
e33	0,286	3	1	0,4	4	1	0,667	5	1	4,286	5,4	6,667	0,429	0,6	0,784	0,376
Σ_{Spalte}										11,19	14,4	17,83				1

W34(a1)	e31			e32			e33			w^{defuzz}
e31	1	1	1	0,5	1	1	0,5	1	1	0,28
e32	1	1	2	1	1	1	0,5	1	1	0,333
e33	1	1	2	1	1	2	1	1	1	0,386

E^m	Bewertung			Normierung			Σ_{Zeile}	Gew.	Eig.	Konsistenz
von nach	e31	e32	e33	e31	e32	e33	r	w	λ	
e31	1	1	1	0,333	0,333	0,333	1	0,333	1	$\lambda_{max} = 3$
e32	1	1	1	0,333	0,333	0,333	1	0,333	1	C.I. = 0
e33	1	1	1	0,333	0,333	0,333	1	0,333	1	C.R. = 0
Σ_{Spalte}	3	3	3	1	1	1	3	1		

W34(a1)	l			m			u			Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	Fuzzy-Gewichte	Def.		
von nach	e31	e32	e33	e31	e32	e33	e31	e31	e33	r^l	r^m	r^u	w^l	w^m	w^u	w^{defuzz}
e31	1	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	2	3	3	0,2	0,333	0,353	0,28
e32	1	1	0,5	1	1	1	2	1	1	2,5	3	4	0,25	0,333	0,471	0,333
e33	1	1	1	1	1	1	2	2	1	3	3	5	0,3	0,333	0,588	0,386
Σ_{Spalte}										7,5	9	12				1

Tabelle B.5: Berechnungen zur Supermatrix

W34(a2)		e31			e32			e33			w^{defuzz}
e31	1	1	1	2	1	1	2	1	1	0,385	
e32	1	1	0,5	1	1	1	2	1	1	0,333	
e33	1	1	0,5	1	1	0,5	1	1	1	0,282	

E^m	Bewertung			Normierung			Σ_{Zelle}	Gew.	Eig.	Konsistenz
von/nach	e31	e32	e33	e31	e32	e33	r	w	λ	
e31	1	1	1	0,333	0,333	0,333	1	0,333	1	$\lambda_{max} = 3$
e32	1	1	1	0,333	0,333	0,333	1	0,333	1	C.I. = 0
e33	1	1	1	0,333	0,333	0,333	1	0,333	1	C.R. = 0
Σ_{Spalte}	3	3	3	1	1	1	3	1		

W34(a2)	l			m			u			Σ_{Zelle}	Σ_{Zelle}	Σ_{Zelle}	Fuzzy-Gewichte			Def.	
von/nach	e31	e32	e33	e31	e32	e33	e31	e31	e33	r^l	r^m	r^u	w^l	w^m	w^u	w^{defuzz}	
e31	1	2	2	1	1	1	1	1	1	5	3	3	0,5	0,333	0,353	0,385	
e32	1	1	2	1	1	1	0,5	1	1	4	3	2,5	0,4	0,333	0,294	0,333	
e33	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	1	3	3	2	0,3	0,333	0,235	0,282	
Σ_{Spalte}										12	9	7,5					1

W41(e11)	a1			a2			w^{defuzz}
a1	1	1	1	3	4	5	0,801
a2	0,2	0,25	0,333	1	1	1	0,199

E^m	Bewertung		Normierung		Σ_{Zelle}	Gew.	Eig.
von/nach	a1	a2	a1	a2	r	w	λ
a1	1	4	0,8	0,8	1,6	0,8	1,6
a2	0,25	1	0,2	0,2	0,4	0,2	0,4
Σ_{Spalte}	1,25	5	1	1	2	1	

W41(e11)	l		m		u		Σ_{Zelle}	Σ_{Zelle}	Σ_{Zelle}	Fuzzy-Gewichte			Def.
von/nach	a1	a2	a1	a2	a1	a2	r^l	r^m	r^u	w^l	w^m	w^u	w^{defuzz}
a1	1	3	1	4	1	5	4	5	6	0,545	0,8	1,154	0,801
a2	0,2	1	0,25	1	0,333	1	1,2	1,25	1,333	0,164	0,2	0,256	0,199
Σ_{Spalte}							5,2	6,25	7,333				1

Tabelle B.6: Berechnungen zur Supermatrix

W41(e12)	a1			a2			w^{defuzz}
a1	1	1	1	0,286	0,4	0,667	0,288
a2	1,5	2,5	3,5	1	1	1	0,712

E^m	Bewertung		Normierung		Σ_{Zeile}	Gew.	Eig.
nach von	a1	a2	a1	a2	r	w	λ
a1	1	0,4	0,286	0,286	0,571	0,286	0,571
a2	2,5	1	0,714	0,714	1,429	0,714	1,429
Σ_{Spalte}	3,5	1,4	1	1	2	1	

W41(e12)	l		m		u		Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	y-Gewichte			Def.
nach von	a1	a2	a1	a2	a1	a2	r^l	r^m	r^u	w^l	w^m	w^u	w^{defuzz}
a1	1	0,286	1	0,4	1	0,667	1,286	1,4	1,667	0,208	0,286	0,44	0,288
a2	1,5	1	2,5	1	3,5	1	2,5	3,5	4,5	0,405	0,714	1,189	0,712
Σ_{Spalte}							3,786	4,9	6,167				1

W43(e33)	a1			a2			w^{defuzz}
a1	1	1	1	0,286	0,4	0,667	0,288
a2	1,5	2,5	3,5	1	1	1	0,712

E^m	Bewertung		Normierung		Σ_{Zeile}	Gew.	Eig.
nach von	a1	a2	a1	a2	r	w	λ
a1	1	0,4	0,286	0,286	0,571	0,286	0,571
a2	2,5	1	0,714	0,714	1,429	0,714	1,429
Σ_{Spalte}	3,5	1,4	1	1	2	1	

W43(e33)	l		m		u		Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	Σ_{Zeile}	y-Gewichte			Def.
nach von	a1	a2	a1	a2	a1	a2	r^l	r^m	r^u	w^l	w^m	w^u	w^{defuzz}
a1	1	0,286	1	0,4	1	0,667	1,286	1,4	1,667	0,208	0,286	0,44	0,288
a2	1,5	1	2,5	1	3,5	1	2,5	3,5	4,5	0,405	0,714	1,189	0,712
Σ_{Spalte}							3,786	4,9	6,167				1

Tabelle B.7: Berechnungen zur Supermatrix

Anhang C

Anhänge zur Validierung am Beispiel des OEM

C.1 Ausschnitt des OEM spezifischen Innovationsprozesses

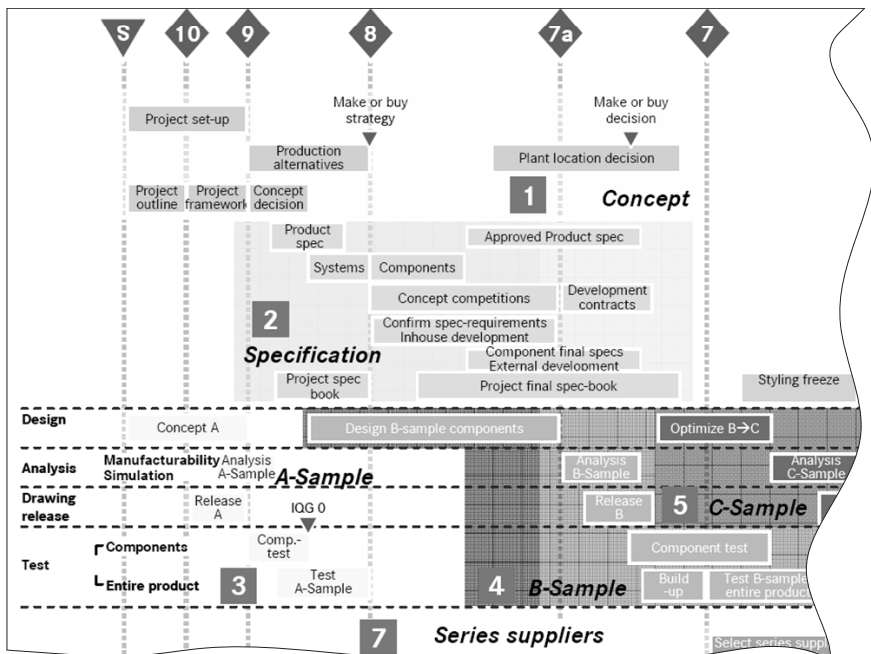


Abbildung C.1: Ausschnitt des Innovationsprozesses von Unternehmen OEM
 [Quelle: Scan von Unternehmen OEM]

C.2 Zielkostenspaltung (target cost breakdown)

C.2.1 Zielkostenspaltung auf Gesamtproduktebene

Anforderungen $\Sigma=100\%$		(kaufrelevante) Kundenanforderungen												
		zul. Gesamtgewicht 20 Tonnen	Allradkonzept	Lastschaltbarkeit	max. 7,5 Tonnen SFG Leergewicht	Waffähigkeit bis 1,5 m	min. Geräuschverhalten	hohe Wartbarkeit	15 Jahre Erstatzteile + Service	Aufbautenmaße und Lagerung	...	Fahreigenschaften wie Vorgänger	Anforderungen nach GFF Klasse 4	
		?	?	?	?	?	?	?	?	?	...	?	?	
Komponenten der PBS (Product Breakdown Structure)	Motor und Peripherie	x		x	x	x	x	x	x		...	x	x	
	Kupplung	x	x	x	x	x	x	x	x			x		
	Getriebe und Lagerung	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	
	Automatikgetriebe	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	
	Verteilergetriebe	x	x	x	x	x	x	x	x			x		
	Pedalanlage	x		x	x	x		x	x			x	x	
	Regulierung	x		x	x	x		x	x			x		
	Rahmen	x			x	x		x	x	x			x	
	Rahmenkabelsatz					x		x	x	x			x	
	Feder und Aufhängung	x			x	x	x	x	x	x			x	x
	1 Achse (Vorderachse)	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	
	2 Achse (Hinterachse neu)	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	
	3 Achse (Hinterachse)	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	
	Achsanbindung und -führung	x	x	x	x	x		x	x		...	x	x	
	Bremse	x			x	x	x	x	x		...	x	x	
	Räder und Bereifung	x			x	x	x	x	x			x	x	
	Gelenkwellen	x	x	x	x	x		x	x			x	x	
	Lenkung	x			x	x		x	x			x	x	
	Klimatisierung	x			x	x	x	x	x					
	Kraftstoff- und Abgasanlage	x			x	x	x	x	x			x	x	
Fahrgestellbleche	x			x	x		x	x	x		x	x		
Elektrik	x			x			x	x	x		x	x		
Aufbaubefestigung	x			x	x	x	x	x	x			x		
...		
Aufbaulagerung	x			x	x	x	x	x	x				x	
Lackierung	x			x						...			x	
Komponentenbeitrag Σ	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %			100 %	100 %	
Zielkostenspaltungsmatrix														

Tabelle C.1: Zielkostenspaltung auf Produktebene

C.2.2 Zielkostenspaltung auf Konzeptebene

		Leistungsanforderungen							
Komponenten	Mechanische Durchtriebsachse	Gewicht <800kg	Bauraumfreiheit mind. 11mm	Gelenkwinkel < 6° Straße und < 44° Extremsituationen	Übersetzung idealerweise 23/9	Wartfähigkeit bis ideal 1,5 m	Lastschaltbarkeit der Sperren	Schmierung sicher bis 45° Längs- und 38° Seitenneigung	Minimales Geräuschverhalten
	Anforderungen $\Sigma=100\%$?	?	?	?	?	?	?	?
	Durchtrieb								
	Getriebe (Portale mit Vorgelege)								
	Schubrohr								
Achsrohr									
Komponentenbeitrag Σ		100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
		Zielkostenspaltungsmatrix							
								
Komponenten	Hydrostatische Antriebsachse	Leistungsanforderungen							
	Anforderungen $\Sigma=100\%$?	?	?	?	?	?	?	?
	Hydraulischer Radnabenmotor								
	Planetengetriebe mit Bremse								
	Hochdruckpumpe								
Achsrohr									
Komponentenbeitrag Σ		100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
		Zielkostenspaltungsmatrix							

Tabelle C.2: Zielkostenspaltung auf Konzeptebene

C.3 Fahrgestell und Produktkonzeptauswahl des Achsantriebs

C.3.1 Prototypische Darstellung des Sonderfahrgestells

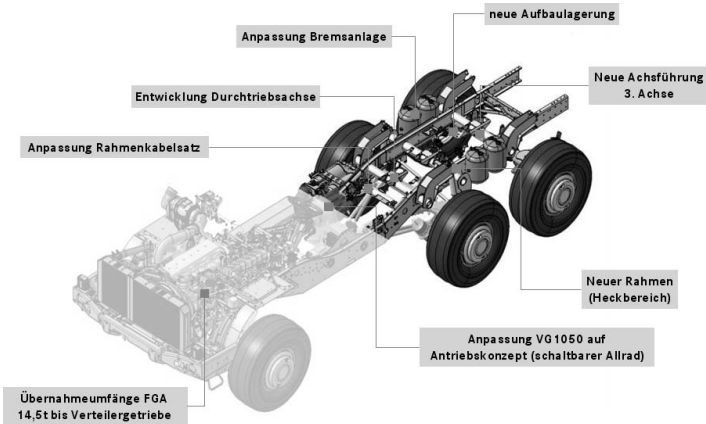


Abbildung C.2: Sonderfahrgestell

C.3.2 Prototypische Darstellung des Achsantriebs

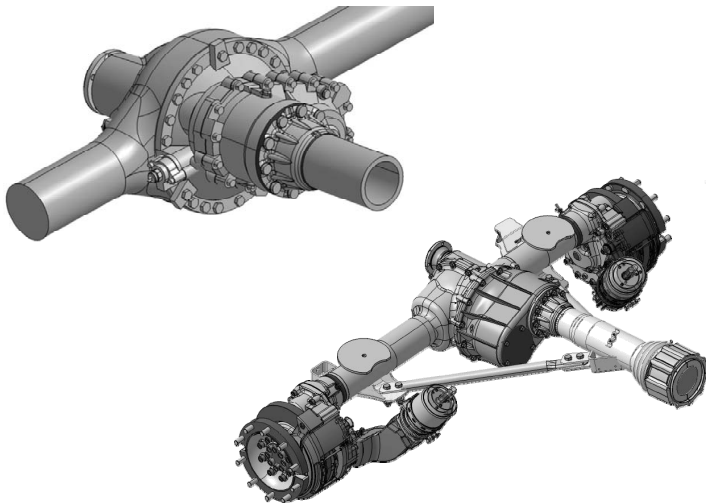


Abbildung C.3: Achsantrieb

Literaturverzeichnis

Die Typografie der Literaturangaben entspricht den Normen DIN 1422, DIN 1505 bzw. DIN ISO 690, ebenso die zugehörige Zitierweise.

Ahlert 2003

AHLERT, Martin: *Einsatz des Analytisch Hierarchy Process im Relationship Marketing*. 1. Aufl. Wiesbaden : GWV Fachverlage GmbH, 2003. – ISBN 3-409-12457-8

Albers und Herrmann 2007

ALBERS, Sönke ; HERRMANN, Andreas: *Handbuch Produktmanagement – Strategieentwicklung, Produktplanung, Organisation, Kontrolle*. 3. überarb. Aufl. Wiesbaden : Gabler, 2007. – ISBN 978-3-8349-0268-9

Anderl und Pfeifer-Silberbach 2003

ANDERL, Reiner ; PFEIFER-SILBERBACH, Ullrich: *Konzepte zur Informationsfortschreibung in kooperativen Produktentwicklungsprozessen*. In: *ProduktDaten Journal* 2 (2003). – ISSN 1436-0403

Ansoff 1965

ANSOFF, Igor H.: *Corporate strategy – An analytic approach to business policy for growth and expansion*. New York : MacGraw-Hill, 1965. – ISBN 0-070-02111-2

Appel u. a. 2010

APPEL, Wolfgang ; BRÄHLER, Hermann ; DAHLHAUS, Ulrich ; ESCH, Thomas ; KOPP, Stephan ; RHEIN, Bernd ; HOEPKE, Erich (Hrsg.) ; BREUER, Stefan (Hrsg.): *Nutzfahrzeugtechnik – Grundlagen, Systeme, Komponenten*. 6. überarb. Aufl. Wiesbaden : Vieweg+Teubner, 2010. – ISBN 978-3-8348-0995-7

Arnaut 2001

ARNAOUT, Ali: *Target Costing in der deutschen Unternehmenspraxis – eine empirische Untersuchung*, Stuttgart, Dissertation, 2001

Arnold u. a. 2005

ARNOLD, Volker ; DETTMERING, Hendrik ; ENGEL, Torsten ; KARCHER, Andreas: *Product Lifecycle Management beherrschen*. 1. Aufl. Berlin : Springer, 2005. – ISBN 3-540-22997-3

Backhaus u. a. 2011

BACKHAUS, Klaus ; ERICHSON, Bernd ; PLINKE, Wulff ; WEIBER, Rolf: *Multivariate Analysemethoden*. 13. überarb. Aufl. Berlin : Springer, 2011. – ISBN 978-3-642-16490-3

Bechmann 1978

BECHMANN, Arnim: *Nutzwertanalyse, Bewertungstheorie und Planung*. Beiträge zur Wirtschaftspolitik : Bd. 29, Technische Universität Hannover, Habilitation, 1978

Blanchard 1978

BLANCHARD, Benjamin S.: *Design and manage to life cycle cost*. Portland, Or. : M/A Pr., 1978. – ISBN 978-0930206000

Bogaschewsky u. a. 2010

BOGASCHEWSKY, Ronald ; ESSIG, Michael ; LASCH, Rainer ; STÖLZLE, Wolfgang ; STÖLZLE, Wolfgang (Hrsg.): *Advanced Studies in Supply Management*. Bd. 3: *Supply Management Research – Aktuelle Forschungsergebnisse 2010*. 1. Aufl. Wiesbaden : Gabler, 2010. – ISBN 978-3-8349-2262-5

Boretto und Ferreti 2011

BORETTO, Marta ; FERRETI, Valentina: An Analytic Network Process-based Approach for Location Problems – The Case of a New Waste Incinerator Plant in the Province of Torino (Italy). In: *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 17 (2011), S. 63–84

Brans u. a. 1986

BRANS, Jean-Pierr ; VINCKE, Philippe ; MARESCHAL, Bertrand: How to select and how to rank projects – The PROMETHEE method. In: *European Journal of Operational Research* 24 (1986), S. 228–238

Brockhoff 1999

BROCKHOFF, Klaus: *Forschung und Entwicklung – Planung und Kontrolle*. 5. erg. u. erw. Aufl. München : Oldenbourg, 1999. – ISBN 3-486-24928-2

Bronner 1968

BRONNER, Albert: Wertanalyse als integrierte Rationalisierung. In: *wt-Zeitschrift für industrielle Fertigung* 1 (1968), Nr. 58, S. 16–21

Bronner 2001

BRONNER, Albert: *Industrielle Planungstechniken – Unternehmens-, Produkt- und Investitionsplanung, Kostenrechnung und Terminplanung*. Berlin : Springer, 2001. – ISBN 3-540-41275-1

Bruns und Kaplan 1987

BRUNS, William J. ; KAPLAN, Robert S.: *Accounting and Management – A Field Study Perspective*. Boston, Massachusetts : Harvard Business School Press, 1987. – ISBN 0-87584-186-4

Buckley 1985

BUCKLEY, J. J.: Fuzzy Hierarchical Analysis. In: *Fuzzy Sets and Systems* 17 (1985), S. 233–247

Buggert und Wielpütz 1995

BUGGERT, Willi ; WIELPÜTZ, Axel: *Target Costing – Grundlagen und Umsetzung des Zielkostenmanagements*. München : Hanser, 1995. – ISBN 3-446-18043-5

Bundesregierung 2012

Nationale Nachhaltigkeitsstrategie - Fortschrittsbericht vom 21.05.2012. Mai 2012. – Online-Ressource : <http://www.bundesregierung.de>

Burr 2008

BURR, Holger: *Informationsmanagement an der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktionsplanung im Karosserierohbau*, Saarbrücken, Dissertation, 2008

Chang 1996

CHANG, Da-Yong: Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. In: *European Journal of Operational Research* 95 (1996), S. 649–655

Clifton u. a. 2004

CLIFTON, M. Bradford ; BIRD, Henry M. B. ; ALBANO, Robert E.: *Target Costing – Market Driven Product Design*. New York : Marcel Dekker Inc., 2004. – ISBN 978-0-8247-4611-7

Coenenberg u. a. 1997

COENENBERG, Adolf Gerhard ; FISCHER, Thomas ; SCHMITZ, Jochen: *Target Costing und Product Lifecycle Costing als Instrumente des Kostenmanagements*. S. 195–232. In: FREIDANK, Carl-Christian (Hrsg.) ; GÖTZE, Uwe (Hrsg.) ; HUCH, Burkhard (Hrsg.) ; WEBER, Jürgen (Hrsg.): *Kostenmanagement – Aktuelle Konzepte und Anwendungen*. Berlin : Springer, 1997. – ISBN 3-540-62958-0

Cooper 2010

COOPER, Robert G.: *Top oder Flop in der Produktentwicklung – Erfolgsstrategien: Von der Idee zum Launch*. 2. Aufl. Weinheim : Wiley, 2010. – ISBN 978-3-527-50512-8

Cooper u. a. 1998

COOPER, Robert G. ; EDGET, Scott J. ; KLEINSCHMIDT, Elko J.: *Portfolio Management for New Products*. 1. Ed. Reading (Massachusetts) : Adison-Wesley, 1998. – ISBN 978-0-201-328141

Cooper und Chew 1996

COOPER, Robin ; CHEW, Bruce W.: Control Tomorrow's Costs Through Today's Designs. In: *Harvard Business Review* 74 (1996), S. 88–97

Cooper und Slagmoulder 1999

COOPER, Robin ; SLAGMOULDER, Regine: Develop Profitable New Products with Target Costing. In: *Sloan Management Review* (1999), S. 23–33

Cooper und Slagmulder 1997

COOPER, Robin ; SLAGMULDER, Regine: *Target Costing and Value Engineering*. Portland : Productivity Press, 1997. – ISBN 978-1-5632-7172-4

Danner 1996

DANNER, Stefan: *Ganzheitliches Anforderungsmanagement für marktorientierte Entwicklungsprozesse*, München, Dissertation, 1996

DIN 32990

DIN NORM 32990: *Kosteninformationen in der Maschinenindustrie*. – Dezember 1989

DIN 69901

DIN NORM 69901: *Projektmanagement – Grundlagen, Prozesse, Prozessmodell, Methoden, Daten, Datenmodell, Begriffe*. – Januar 2009

Dinger 2000

DINGER, Helmut: *Grenzen und Möglichkeiten von Target Costing – Konzept zur Gestaltung der situativen Anwendung von Target Costing*, Universität St. Gallen, Dissertation, 2000

Dru 2002

DRU, Jean-Marie: *Beyond Disruption – Changing the Rules in the Marketplace*. 1. Aufl. Canada : John Wiley & Sons, 2002. – ISBN 0-471-21899-5

Duffy und Andreasen 1995

DUFFY, Alex H. B. ; ANDREASEN, Morgens M.: Enhancing the Evolution of Design Science. In: *Proceedings of the 10th Conference on Engineering Design – ICED 95* 1 (1995), S. 29–35

Ehrlenspiel 1980

EHRENSPIEL, Klaus: Wertanalyse als integrierte Rationalisierung. In: *Konstruktion* 5 (1980), Nr. 32, S. 173–178

Ehrlenspiel 2007

EHRENSPIEL, Klaus: *Integrierte Produktentwicklung: Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit*. 3., aktualisierte Aufl. München : Hanser, 2007. – ISBN 3-446-40733-2

Eigner und Stelzer 2009

EIGNER, Martin ; STELZER, Ralf: *Product Lifecycle Management – Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management*. 2., neu bearb. Aufl. Berlin : Springer, 2009. – ISBN 3-540-44373-8

Ewert und Wagenhofer 2008

EWERT, Ralf ; WAGENHOFER, Alfred: *Interne Unternehmensrechnung*. 7. überarb. Aufl. Berlin : Springer, 2008. – ISBN 978-3-540-77284-2

Fink und Ploder 2006

FINK, Kerstin ; PLODER, Christian: *Wirtschaftsinformatik als Schlüssel zum Unternehmenserfolg*. Wiesbaden : GWV Fachverlage GmbH, 2006. – ISBN 978-3-8350-0293-7

Forman und Sally 2002

FORMAN, Ernest ; SALLY, Mary A.: *Decision by Objectives – How to convince others that you are right*. 1. Aufl. New Jersey : Scientific World Publishing, 2002. – ISBN 981-02-4142-9

Franz 1993

FRANZ, Karl Peter: Target Costing – Konzept und kritische Bereiche. In: *Controlling* 5 (1993), S. 124–130

Freidank und Zaeh 1997

FREIDANK, Carl-Christian ; ZAEH, Philipp: *Spezialfragen des Target Costing und des Kostenmanagement*. S. 233–274. In: FREIDANK, Carl-Christian (Hrsg.) ; GÖTZE, Uwe (Hrsg.) ; HUCH, Burkhard (Hrsg.) ; WEBER, Jürgen (Hrsg.): *Kostenmanagement – Aktuelle Konzepte und Anwendungen*. Berlin : Springer, 1997. – ISBN 3-540-62958-0

Friedl u. a. 2010

FRIEDL, Gunther ; HOFMANN, Christian ; PEDELL, Burkhard: *Kostenrechnung – eine entscheidungsorientierte Einführung*. München : Vahlen, 2010. – ISBN 978-3-8006-3595-5

Gaubinger u. a. 2009

GAUBINGER, Kurt ; WERANI, Thomas ; RABL, Michael: *Praxisorientiertes Innovations- und Produktmanagement – Grundlagen und Fallstudien aus B-to-B-Märkten*. 1. Aufl. Wiesbaden : Gabler, 2009. – ISBN 978-3-8349-0974-9

Gausemeier u. a. 2006

GAUSEMEIER, Jürgen ; HAHN, Axel ; KEHSPOHL, Hans D. ; SEIFERT, Lars: *Vernetzte Produktentwicklung – der erfolgreiche Weg zum Global Engineering Networking*. München : Hanser, 2006. – ISBN 3-446-22725-3

Gausemeier u. a. 2000

GAUSEMEIER, Jürgen ; LINDEMANN, Udo ; REINHART, Gunther ; WIENDAHL, Hans-Peter: *HNI-Verlagsschriftenreihe*. Bd. 79: *Kooperatives Produktengineering – ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens*. Paderborn : Heinz-Nixdorf-Institut, 2000. – ISBN 3-931466-78-7

Gausemeier u. a. 2009

GAUSEMEIER, Jürgen ; PLASS, Christoph ; WENZELMANN, Christoph: *Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung – Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produkte von morgen*. München : Hanser, 2009. – ISBN 978-3-446-41055-8

Geldermann 2006

GELDERMANN, Jutta: *Mehrzielentscheidungen in der industriellen Produktion*. Karlsruhe, Universität Karlsruhe, Habilitation, 2006

Gerst 2002

GERST, Manuel: *Strategische Produktentscheidungen in der integrierten Produktentwicklung*, Technische Universität München, Dissertation, 2002

Giebel 2010

GIEBEL, Michael: *Wertsteigerung durch Qualitätsmanagement – Entwicklung eines Modells zur Beschreibung der Wirkmechanismen und eines Vorgehenskonzepts zu dessen Einführung*, Kassel, Dissertation, 2010

Glaser 2002

GLASER, Horst: *Target Costing as a Strategic Controlling Instrument*. S. 221–239. In: SCHOLZ, Christian (Hrsg.) ; ZENTES, Hoachim (Hrsg.): *Strategic Management – A European Approach*. Saarbrücken : Gabler, 2002. – ISBN 978-3409118422

Green und Rao 1971

GREEN, Paul E. ; RAO, Vithala R.: *Conjoint Measurement for Quantifying Judgmental Data*. In: *Journal of Marketing Research* 8 (1971), Nr. 3, S. 355–363

Götze 2008a

GÖTZE, Uwe: *Investitionsrechnung – Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben*. 6. Aufl. Berlin : Springer, 2008. – ISBN 978-3-540-78872-0

Götze 2008b

GÖTZE, Uwe: *Kostenrechnung und Kostenmanagement*. 5. Aufl. Berlin : Springer, 2008. – ISBN 978-3-642-11823-4

Harker 1989

HARKER, Patrick T.: *The Art and Science of Decision Making*. S. 3–36. In: GOLDEN, Bruce L. (Hrsg.) ; WASIL, Edward A. (Hrsg.) ; HARKER, Patrick T. (Hrsg.): *The Analytic Hierarchy Process: Applications and Studies*. Berlin : Springer, 1989. – ISBN 978-3-642-50246-0

Harth 2006

HARTH, Michael: *Multikriterielle Bewertungsverfahren als Beitrag zur Entscheidungsfindung in der Landnutzungsplanung*, Halle, Dissertation, 2006

Hauschildt 1997

HAUSCHILDT, Jürgen: *Innovationsmanagement*. 2. Aufl. München : Vahlen, 1997. – ISBN 3-8006-2155-X

Heismann und Maul 2012

HEISMANN, Robert ; MAUL, Ludwig: *Mit systematischem Innovationsmanagement zum Erfolg*. S. 39–62. In: ILI, Serhan (Hrsg.): *Innovation Excellence – wie Unternehmen ihre Innovationsfähigkeit systematisch steigern*. Düsseldorf : Symposium Publishing, 2012. – ISBN 978-3-86329-425-0

Henderson 1970, 1998

HENDERSON, Bruce D.: *The Product Portfolio* (1970). In: STERN, Carl W. (Hrsg.) ; STALK, George Jr. (Hrsg.): *Perspectives on Strategy from The Boston Consulting Group*. New York : Wiley, 1970, 1998, S. 35–39. – ISBN 0-471-24833-9

Herrmann und Huber 2009

HERRMANN, Andreas ; HUBER, Rank: *Produktmanagement – Grundlagen, Methoden, Beispiele*. 2., überarb. und erw. Aufl. Wiesbaden : Gabler, 2009. – ISBN 978-3-8349-9293-2

Herstatt und Verworn 2009

HERSTATT, Cornelius ; VERWORN, Birgit: *Management der frühen Innovationsphasen – Grundlagen, Methoden, Neue Ansätze*. 2., überarb. und erw. Aufl. Wiesbaden : Gabler, 2009. – ISBN 978-3-409-12550-5

Hiromoto 1988

HIROMOTO, Toshiro: *Another Hidden Edge – Japanese Management Accounting*. In: *Harvard Business Review* (1988), July–August, S. 22–26

Homburg 2012

HOMBURG, Christian: *Marketingmanagement – Strategie, Instrumente, Umsetzung, Unternehmensführung*. 4. Aufl. Wiesbaden : Gabler, 2012. – ISBN 978-3-8349-3435-2

Horváth 1993

HORVÁTH, Peter: *Target Costing – Marktorientierte Zielkosten in der deutschen Praxis*. Stuttgart : Schäffer-Poeschel, 1993. – ISBN 3-7910-0700-9

Ilieva u. a. 2009a

ILIEVA, Ivalina ; MEIER, Gunter ; SCHUBERT, Peter ; OVTCHAROVA, Jivka: Integration von PLM und Multiprojektmanagement zur Erhöhung der Transparenz in der Produktentwicklung. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 11 (2009), Nr. 104, S. 931–937

Ilieva u. a. 2009b

ILIEVA, Ivalina ; SCHUBERT, Peter ; OVTCHAROVA, Jivka: Konzeption eines PPPM-Modells zur übergreifenden Verwaltung von Produktwissen. In: *Industrie Management* 1 (2009), Nr. 25, S. 57–61

Jahn 2009

JAHN, Tobias: *Portfolio- und Reifegradmanagement für Innovationsprojekte zur Multiprojektsteuerung in der frühen Phase der Produktentwicklung*, Stuttgart, Dissertation, 2009

Joos-Sachse 2006

JOOS-SACHSE, Thomas: *Controlling, Kostenrechnung und Kostenmanagement – Grundlagen, Instrumente, Neue Ansätze*. 4. überarb. Aufl. Wiesbaden : Gabler, 2006. – ISBN 978-3-8351-9139-6

Kano u. a. 1984

KANO, Noriaki ; SERAKU, Nobohiku ; TAKAHASHI, Fumio ; TSUJI, Shinichi: Attractive Quality and Must-be Quality. In: *Journal of the Japanese Society for Quality Control* 14 (1984), Nr. 2, S. 39–44

Kato 1993

KATO, Yutaka: Target Costing Support Systems – lessons from leading Japanese companies. In: *Management Accounting Research* 4 (1993), S. 33–47

Katz 2010

KATZ, Tobias: *Ein Beitrag zur Bewertung von Maßnahmen zur CO₂-Abscheidung und -Speicherung unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit*, Universität Aachen, Dissertation, 2010

Kirchner 2007

KIRCHNER, Eckhard: *Leistungsübertragung in Fahrzeuggetrieben – Grundlagen der Auslegung, Entwicklung und Validierung von Fahrzeuggetrieben und deren Komponenten*. Berlin : Springer, 2007. – ISBN 978-3-540-35288-4

Koller 1998

KOLLER, Rudolph: *Konstruktionslehre für den Maschinenbau – Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte*. 4. Aufl. Berlin : Springer, 1998. – ISBN 978-3-540-63037-1

Kondratieff 1926

KONDRATIEFF, Nicolai Dmitrijewitsch: Die langen Wellen der Konjunktur. In: *Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik* Bd. 56. Berlin : Productivity Press, 1926, S. 573–609

Kotler u. a. 2007

KOTLER, Philip ; KELLER, Kevin Lane ; BLIEMEL, Friedhelm: *Marketing-Management – Strategien für wertschaffendes Handeln*. 12., akt. Aufl. München : Pearson Studium, 2007. – ISBN 978-3-8273-7229-1

Lauk 1990

LAUK, Kürt Jürgen: *Strategisches Controlling und Organizational Leverage*. S. 75–89. In: HORVÁTH, Peter (Hrsg.): *Strategieunterstützung durch das Controlling – Revolution im Rechnungswesen?* Stuttgart : Schäffer-Poeschel, 1990. – ISBN 978-3-79100-550-8

Lennertz 2010

LENNERTZ, Dieter: *Produktmanagement – Planung, Entwicklung, Vermarktung*. 1. Aufl. Frankfurt am Main : Frankfurter Allgemeine Buch, 2010. – ISBN 978-3-89981-400-2

Lifka 2009

LIFKA, Stephan: *Entscheidungsanalysen in der Immobilienwirtschaft*, TU München, Dissertation, 2009

Luce und Tukey 1964

LUCE, Dunkan R. ; TUKEY, John W.: Simultaneous conjoint measurement – A new type of fundamental measurement. In: *Journal of Mathematical Psychology* 1 (1964), S. 1–27

Markowitz 1952

MARKOWITZ, Harry: Portfolio Selection. In: *The Journal of Finance* 7 (1952), S. 77–91

Maurer 2007

MAURER, Maik: *Structural Awareness in Complex Product Design*, Technische Universität München, Dissertation, 2007

Meier 2011

MEIER, Gunter: *Prozessintegration des Target Costings in der Fertigungsindustrie am Beispiel Sondermaschinenbau*, Karlsruher Institut für Technologie, Dissertation, 2011

Meixner und Haas 2002

MEIXNER, Oliver ; HAAS, Rainer: *Computergestützte Entscheidungsfindung – Expert Choice und AHP; Innovative Werkzeuge zur Lösung komplexer Probleme*. Frankfurt : Redline Wirtschaft bei Ueberreuter, 2002. – ISBN 3-8323-0909-8

Merziger und Wirth 2006

MERZIGER, Gerhard ; WIRTH, Thomas: *Repetitorium der Höheren Mathematik*. 5. Aufl. Heidelberg : Binomi, 2006. – ISBN 3-923923-33-3

Meyer 2003

MEYER, Jens W.: *Produktinnovationserfolg und Target Costing*. Wiesbaden, Universität Saarbrücken, Dissertation, 2003

Müller und Schappert 1999

MÜLLER, H. J. ; SCHAPPERT, A.: Knowledge Factory — A Generic Knowledge Management Architecture. In: *International Joint Conferences on Artificial Intelligence (IJCAI)* (1999)

Monden 1989

MONDEN, Yasuhiro: Total Cost Management System in Japanese Automobile Corporations. In: MONDEN, Yasuhiro (Hrsg.) ; SAKURAI, Michiharu (Hrsg.): *Japanese Management Accounting: A world Class Approach to Profit Management*. Cambridge, Massachusetts : Productivity Press, 1989, S. 15–33

Mumm 2008

MUMM, Mirja: *Kosten- und Leistungsrechnung – Internes Rechnungswesen für Industrie- und Handelsbetriebe*. Heidelberg : Physica-Verlag, 2008. – ISBN 978-3-7908-1960-1

Niemand 1996

NIEMAND, Stefan: *Target Costing für industrielle Dienstleistungen*, Stuttgart, Dissertation, 1996

Nißl 2006

NIßL, Alexandra M.: *Modell zur Integration der Zielkostenverfolgung in den Produktentwicklungsprozess*. München, Technische Universität München, Dissertation, 2006

Noltemeier 2003

NOLTEMEIER, Stefan: *Zur Konzeption monetärer Anreizsysteme für das Target Costing*. Saarbrücken, Universität des Saarlands, Dissertation, 2003

Ossadik 1998

OSSADIK, Wolfgang: *Mehrzielorientiertes Strategisches Controlling – Methodische Grundlagen und Fallstudien zum führungsunterstützenden Einsatz des Analytischen Hierarchie Prozess*. Heidelberg : Physica-Verlag, 1998. – ISBN 3-7908-1088-6

Ovtcharova 2012

OVTCHAROVA, Jivka: *Product Lifecycle Management*. Skriptum zur Vorlesung. 2012. – Karlsruher Institut für Technologie

Pahl und Beitz 2007

PAHL, Gerhard ; BEITZ, Wolfgang: *Konstruktionslehre – Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung Methoden und Anwendung*. 7. Aufl. Berlin : Springer, 2007. – ISBN 978-3-540-34061-4

Peters 2008

PETERS, Malte: *Vertrauen in Wertschöpfungspartnerschaften zum Transfer von retentivem Wissen*. Essen, Universität Duisburg-Essen, Dissertation, 2008

Peters und Zelewski 2008

PETERS, Malte L. ; ZELEWSKI, Stephan: Der Analytic Network Process (ANP) als Technik zur Lösung multikriterieller Entscheidungsprobleme unter Berücksichtigung von Abhängigkeiten zwischen Kriterien. In: *Zeitschrift für Ausbildung und Hochschulkontakt* 9 (2008), S. 475–482

Pleschak und Sabisch 1996

PLESCHAK, Franz ; SABISCH, Helmut: *Innovationsmanagement*. Stuttgart : Schäffer-Poeschel, 1996. – ISBN 3-8252-8122-1

PMBok 2008

PMBOK: *A guide to the Project Management Body of Knowledge : (PMBok® guide)*. 4. Aufl. Newtown Square, Pa. : Project Management Institute, 2008. – ISBN 978-1-933890-66-1

Pohl 2007

POHL, Karl: *Requirements Engineering – Grundlagen, Prinzipien, Techniken*. Heidelberg : dpunkt, 2007. – ISBN 3-89864-342-5

Ponn und Lindemann 2008

PONN, Josef ; LINDEMANN, Udo: *Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte – Optimierte Produkte - systematisch von Anforderungen zu Konzepten*. Heidelberg : Springer, 2008. – ISBN 978-3-540-68562-3

Radke 2009

RADKE, Horst-Dieter: *Kostenrechnung*. 5. Aufl. München : Haufe, 2009. – ISBN 978-3-448-09412-1

Rohr 2004

ROHR, Torsten: *Einsatz eines mehrkriteriellen Entscheidungsverfahrens im Natur-schutzmanagement*, Universität Kiel, Dissertation, 2004

Roth 2000

ROTH, Karlheinz: *Konstruktionslehre – Konstruieren mit Konstruktionskatalogen*. 3. Aufl. Berlin : Springer, 2000 (1). – ISBN 3-540-67142-0

Rösler 1996

RÖSLER, Frank: *Target Costing für die Automobilindustrie*. Wiesbaden, Universität Koblenz, Dissertation, 1996

Rude 1998

RUDE, Stefan: *Wissensbasiertes Konstruieren*. Aachen, Universität Karlsruhe, Habilitation, 1998

Saaty 1980

SAATY, Thomas L.: *The Analytic Hierarchie Process*. 1. Aufl. New York : McGraw Hill, 1980. – ISBN 0-07-054371-2

Saaty 1986

SAATY, Thomas L.: Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process. In: *Management Science* 32 (1986), Nr. 7, S. 841–855

Saaty 2000

SAATY, Thomas L.: *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory*. Pittsburgh : RWS Publications, 2000. – ISBN 0-9620317-6-3

Saaty 2001

SAATY, Thomas L.: *Decision Making with Dependence and Feedback – The Analytic Network Process*. 2. Aufl. Pittsburgh : RWS Publications, 2001. – ISBN 0-9620317-9-8

Saaty 2008

SAATY, Thomas L.: Decision Making with the analytic hierarchy process. In: *International Journal of Services Sciences* 1 (2008), Nr. 1, S. 83–98

Sakurai 1989

SAKURAI, Michiharu: Target Costing and how to use it. In: *Journal of Cost Management* 2 (1989), S. 39–50

Scheer u. a. 2006

SCHEER, August-Wilhelm ; BOCZANSKI, Manfred ; MUTH, Michael ; SCHMITZ, Willi-Gerd ; SEGELBACHER, Uwe: *Prozessorientiertes Product Lifecycle Management*. Berlin : Springer, 2006. – ISBN 3-540-28402-8

Schmelzer und Sesselmann 2010

SCHMELZER, Herrmann J. ; SESSELMANN, Wolfgang: *Geschäftsprozessmanagement in der Praxis – Kunden zufrieden stellen, Produktivität steigern, Wert erhöhen*. 7. Aufl. München : Hanser, 2010. – ISBN 978-3-446-42185-1

Schmitt und Pfeifer 2010

SCHMITT, Robert ; PFEIFER, Tilo: *Qualitätsmanagement – Strategien, Methoden, Techniken*. 4., vollst. überarb. Aufl. München : Hanser, 2010. – ISBN 978-3-446-41277-4

Schäppi u. a. 2005

SCHÄPPI, Bernd ; ANDREASEN, Morgens M. ; KIRCHGEORG, Manfred ; RADERMACHER, Franz-Joseph: *Handbuch Produktentwicklung*. München : Hanser, 2005. – ISBN 3-446-22838-1

Schubert 1991

SCHUBERT, Bernd: *Entwicklung von Konzepten für Produktinnovationen mittels Conjointanalyse*. Stuttgart, Universität Stuttgart, Dissertation, 1991

Schubert 2007

SCHUBERT, Peter: *Systematischer Entwurf eines kostenoptimierten elektrischen Kraftstoffpumpenantriebskonzepts*, Universität Karlsruhe, Diplomarbeit, 2007

Schubert u. a. 2008

SCHUBERT, Peter ; MARINOV, Milan ; ILIEVA, Ivalina ; OVTCHAROVA, Jivka: Funktionsorientierte Wiederverwendung in der Mechatronik. In: *CAD-CAM Report Engineering Magazin* 12 (2008), S. 38–44

Schuh 2001

SCHUH, Heiko: *Entscheidungsorientierte Umsetzung einer nachhaltigeren Entwicklung – Empirische Analyse, theoretische Fundierung und Systematisierung am Beispiel der natürlichen Ressource Wasser*. Berlin, Universität Dresden, Dissertation, 2001

Schulte-Henke 2007

SCHULTE-HENKE, Claus: *Kundenorientiertes Target Costing und Zuliefererintegration für komplexe Produkte*, Universität Saarbrücken, Dissertation, 2007

Schumpeter 1911

SCHUMPETER, Joseph A.: *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*. 1. Aufl. Leipzig : Duncker & Humblot, 1911

Schweitzer und Küpper 2011

SCHWEITZER, Marcell ; KÜPPER, Hans-Ulrich: *Systeme der Kosten- und Erlösrechnung*. 10. überarb. Aufl. München : Vahlen, 2011. – ISBN 978-3-8006-3804-8

Schwindt und Trautmann 2005

SCHWINDT, Christoph ; TRAUTMANN, Norbert: *Decision-Support-Systeme im Operations Research und Supply-Chain-Management I* / Institut für Wirtschaftstheorie und Operations Research. 2005 (666). – Technical Report. Universität Karlsruhe

Seidel 2005

SEIDEL, Michael: *Methodische Produktplanung – Grundlagen, Systematik und Anwendung im Produktentstehungsprozess*, Universität Karlsruhe, Dissertation, 2005

seidenschwarz 1993

SEIDENSCHWARZ, Werner: *Target Costing — Marktorientiertes Zielkostenmanagement*. München : Vahlen, 1993. – ISBN 3-8006-1723-4

Seidenschwarz 2002

SEIDENSCHWARZ, Werner: *Target Costing – Auf dem Weg zum marktorientierten Unternehmen*. S. 135–172. In: FRANZ, Klaus-Peter (Hrsg.) ; KAJÜTER, Peter (Hrsg.): *Kostenmanagement – Wertsteigerung durch systematische Kostensteuerung*. Stuttgart : Schäffer-Poeschel, 2002. – ISBN 3-7910-1991-0

Sendler 2009

SENDLER, Ulrich: *Das PLM-Kompendium – Referenzbuch des Produkt-Lebenszyklus-Managements*. 4., vollst. überarb. Aufl. Berlin : Springer, 2009. – ISBN 978-3-540-87898-8

Spur und Krause 1997

SPUR, Günter ; KRAUSE, Frank-Lothar: *Das virtuelle Produkt – Management der CAD-Technik*. München : Hanser, 1997. – ISBN 3-446-19176-3

Stark 2005

STARK, John: *Product lifecycle management – 21st century paradigm for product realization*. London : Springer, 2005. – ISBN 1-85233-810-5

Stippel 1999

STIPPEL, Nicola: *Innovations-Controlling – Managementunterstützung zur effektiven und effizienten Steuerung des Innovationsprozesses im Unternehmen*, Universität Tübingen, Dissertation, 1999

Tanaka 1989

TANAKA, Masayusu: *Cost Planning and Control Systems in the Design Phase of a New Product*. In: MONDEN, Yasuhiro (Hrsg.) ; SAKURAI, Michuharu (Hrsg.): *Japanese Management Accounting: A world Class Approach to Profit Management*. Cambridge, Massachusetts : Productivity Press, 1989, S. 49–71

Tatarczyk 2009

TATARCZYK, Beata: *Organisatorische Gestaltung der frühen Phase des Innovationsprozesses*. Wiesbaden, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Dissertation, 2009

TechConsult 2003

TECHCONSULT: *PLM – Produktlebenszyklus-Management in Deutschland*. Eine Multi-Client-Studie der TechConsult GmbH. Mai 2003. – Online-Ressource : http://www.techconsult.de/download/studien/PLM_in_Deutschland.pdf

Trappey u. a. 2009

TRAPPEY, Charles V. ; TRAPPEY, Amy J.C. ; CHIANG, Tzu-An ; KUO, Jen-Yau: A strategic product portfolio management methodology considering R&D resource constraints for engineering-to-order industries. In: *International Journal of Technology Management* 48 (2009), Nr. 2, S. 258–276

Vahs und Burmester 2005

VAHS, Dietmar ; BURMESTER, Ralf: *Innovationsmanagement – von der Produktidee zur erfolgreichen Vermarktung*. 3. überarb. Aufl. Stuttgart : Schäffer-Poeschel, 2005. – ISBN 3-7910-2355-1

Varian 2011

VARIAN, Hal R.: *Grundzüge der Mikroökonomik*. 8. Aufl. München : Oldenbourg, 2011. – ISBN 978-3-486-70453-2

VDI 2206

VDI RICHTLINIE 2206: *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme*. – Juni 2004

VDI 2220

VDI RICHTLINIE 2220: *Produktplanung – Ablauf, Begriffe und Organisation*. – Mai 1980

VDI 2221

VDI RICHTLINIE 2221: *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. – Mai 1993

VDI 2225

VDI RICHTLINIE 2225: *Technisch-wirtschaftliches Konstruieren*. – November 1997

VDI 2234

VDI RICHTLINIE 2234: *Wirtschaftliche Grundlagen für den Konstrukteur*. – Januar 1990

VDI 2235

VDI RICHTLINIE 2235: *Wirtschaftliche Entscheidungen beim Konstruieren – Methoden und Hilfen.* – Oktober 1987

VDMA Kennzahlenkompass 2012

VDMA KENNZAHLENKOMPASS: *Kennzahlenkompass – Informationen für Unternehmer und Führungskräfte.* Reihe Betriebswirtschaft. Ausgabe 2012

Viering u. a. 2007

VIERING, Markus G. ; KÖCHENDÖRFER, Bernd ; LIEBCHEN, Jens: *Managementleistungen im Lebenszyklus von Immobilien.* Wiesbaden : B.G. Teubner Verlag, 2007. – ISBN 978-3-8351-9089-4

Weiss 2004

WEISS, Alexander: *Target Investment – Beitrag zur systematischen Steigerung der Kapitalproduktivität industrieller Großinvestitionen.* Wiesbaden, Technische Universität Berlin, Dissertation, 2004

Weiß 2006

WEIß, Matthias: *Wertorientiertes Kostenmanagement – Zur Integration von wertorientierter Unternehmensführung und strategischem Kostenmanagement,* Universität zu Köln, Dissertation, 2006

Westkämper 2006

WESTKÄMPER, Engelbert: *Einführung in die Organisation der Produktion.* Heidelberg : Springer, 2006. – ISBN 978-3-540-26039-4

Winkelmann 2013

WINKELMANN, Peter: *Marketing und Vertrieb – Fundamente für die Marktorientierte Unternehmensführung.* 8. Aufl. München : Oldenbourg, 2013. – ISBN 978-3-486-71631-3

Wöltje 2009

WÖLTJE, Jörg: *Kostenrechnung – Trainer.* 2. Aufl. München : Haufe, 2009. – ISBN 978-3-448-09411-4

Yazgan 2011

YAZGAN, Harun R.: Selection of dispatching rules with fuzzy ANP approach. In: *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies* 52 (2011), S. 651–657

Zadeh 1965

ZADEH, Lofti A.: Fuzzy Sets. In: *Information and Control* 8 (1965), S. 338–353

Zangemeister 1971

ZANGEMEISTER, Christoph: *Nutzwertanalyse in der Systemtechnik — Eine Methodik*

zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen, Technische Universität München, Dissertation, 1971

Zangemeister 1976

ZANGEMEISTER, Christoph: *Nutzwertanalyse in der Systemtechnik – Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen*. 4. Aufl. München : Wittemann in Komm., 1976. – ISBN 3-923264-00-3

Zehnter u. a. 2012

ZEHNTER, Christina ; BURGER, Alexander ; OVTCHAROVA, Jivka: Key-Performance-Analyse von Methoden des Anforderungsmanagements / Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen. 2012 (7620). – KIT Scientific Reports. Karlsruher Institut für Technologie. – ISBN 978-3-86644-865-0

Zimmermann und Gutsche 1991

ZIMMERMANN, Hans-Jürgen ; GUTSCHE, Lothar: *Multi-Criteria-Analyse – Einführung in die Theorie der Entscheidungen bei Mehrfachzielsetzungen*. Berlin : Springer, 1991. – ISBN 3-540-54483-6

Zingel 2003

ZINGEL, Harry: *Produktlebenszyklus und strategisches Marketing - Phasenbezogene Konzepte und Methoden des Produktmanagement*. Online-Ressource : <http://www.zingel.de>. 2003

Zingel 2008

ZINGEL, Harry: *Kosten- und Leistungsrechnung*. 1. Aufl. Weinheim : Wiley, 2008. – ISBN 978-3-527-50388-9

Zirkler 2010

ZIRKLER, Stefanie C.: *Transdisziplinäres Zielkostenmanagement komplexer mechatronischer Produkte*, Technische Universität München, Dissertation, 2010

Stichwortverzeichnis

Alle **fett** gedruckten Seitenzahlen sind Referenzen auf die Definition des jeweiligen Begriffs. Demgegenüber geben normal gedruckte Seitenzahlen die Seiten der Verwendung des jeweiligen Begriffs wieder.

— A —

Abbildungsverzeichnis	ix
Abkürzungsverzeichnis	xiii
Activity Based Costing	85, 92 , 146
Adjazenzmatrix	126
Block	126
Adjazenzmatrix	107 , 134
Block	107
Analytischer Hierarchie Prozess .	65, 75 , 79
Analytischer Netzwerk Prozess	77, 79, 100
Ansoff-Matrix	18
Axiome	
Homogenität	108
Konsistenz	108
Reziprozität	108
Vollständigkeit	108

— B —

BCG-Matrix	18
Bewertung	
Paarvergleich	76, 108 , 109
Qualitativ	109–114
Quantitativ	109
Break-even-point	41

— C —

Cash-flow	44
---------------------	----

Chancen	101
Charakteristisches Polynom	
. <i>siehe</i> Eigenwertberechnung	
Cluster <i>siehe</i> Entscheidungsnetzwerk	
Concurrent Engineering	
. <i>siehe</i> Simultaneous Engineering	
Conjoint Analyse	65, 70 , 79
Cost-Plus-Preiskalkulation	91, 157

— D —

Design-Struktur-Matrix	65
Diskordanzindex	73
Domain-Mapping-Matrix	65

— E —

Eigenwertberechnung	77, 120–122
ELECTRE	72 , 79
Entscheidung	54
Informationsgehalt	56
Typisierung von Problemen	55
Zustand	56
Entscheidungsfindung	
Gruppenentscheide	122
Produktentscheide	6
Prozess	54
Entscheidungsmodell	100, 106
Aggregationsregeln	103

Aufbau 101
 Kontrollkriterien 85, **101**
 Entscheidungsnetzwerk 77, 100, 106
 Abhängigkeiten 78, 125
 Aufbau 78, 131–133, 148–151
 Beispiel 100
 Elemente 77, 105
 Feedback 78
 Komponenten (Cluster) 77, 105
 Entscheidungsunterstützung 7, 54
 Hierarchisches Problem 76
 Verfahren 59, **62**
 Kompensatorisch 61
 Multiattributiv 60
 Multiobjektiv 60
 Nicht-kompensatorisch 61
 Prävalenz / Outranking . . 61, 72–75
 Zusammenfassung 80
 Erfolgsfaktoren
 Kosten 3, 129
 Qualität 3
 Zeit 3
 Evaluationsmatrix 114, 116

— F —

Feedback *siehe* Entscheidungsnetzwerk
 Frontloading **27**
 Fuzzy Sets / Theorie *siehe* Unschärfe

— G —

Gewichtung
 Persönlicher Faktor 124
 Prioritätenvektor . . 109, 115, 134–140
 Gruppenentscheide
 *siehe* Entscheidungsfindung

— I —

Informationsmanagement
 Daten, Information und Wissen . . . 36

Nutz- und Metadaten 37
 Syntax und Semantik 36
 Inhaltsverzeichnis v
 Innovation 13, **14**
 Instrumente und Methoden 16
 Merkmale 15, 90
 Ziele und Aufgaben 14
 Innovationsprozess 22, 28, 34, 48, 142
 Invention 13
 Investitionsrechnung 41
 Dynamisch 44
 Statisch 42

— K —

Kano-Modell **85**, 86, 156
 Kapitalwert 44
 Risikomethode 46
 Standardmethode 45
 Kardinalskala *siehe* Skalenniveau
 Komponenteneinflussmatrix . . . 124, 126
 Konkordanzindex 73
 Konsistenz 77, 118
 Index 77
 Rate 77
 Verhältnis 77
 Zufallsindex 119
 Kosten 101
 Kostenrechnung 38
 Deckungsbeitrag 41
 Teilkosten 39
 Vollkosten 39

— L —

Lastenheft 29
 Lifecycle Costing 48
 Linguistische Variable 57, **110**, 129, 151, 157
 Literaturverzeichnis 177

— M —

Magisches Dreieck 3

- Make-or-buy 5, 53, 105, 144
 Marketingstrategie *siehe* Marktstrategie
 Marktstrategie **12**
 McKinsey-Matrix 18
 Methodik
 Aufbau 83
 Operationalisierung 131
 Vorgehen 83
 Zielsetzung 7
 Multi-Domain-Matrix 65
 Multiattributive Nutzentheorie . . . **69, 79**
- N —
- Net present value *siehe* Kapitalwert
 Nominalskala *siehe* Skalenniveau
 Nutzen 101
 Nutzwertanalyse 65, **66, 79**
- O —
- Ökonomisches Prinzip 12
 Ordinalskala *siehe* Skalenniveau
- P —
- Pflichtenheft 29
 Portfolioanalysen 16
 Ansoff 18
 BCG 18
 McKinsey 18
 Modelltransformation 20
 SWOT 17
 Präferenz *siehe* Skalenniveau
 Funktion 74
 Relation 60
 Prioritätenvektor *siehe* Gewichtung
 Produkt-Markt-Matrix 18
 Produktdatenmanagement 23, 36
 Produktentstehung 22, 146
 Produktentwicklung 11, 22
 Produktkonzept **32, 32, 50**
- Bewertungskriterien 104
 Eignungskriterien 63
 Produktkonzeption 11, 30, **31**
 Einflussbereiche 34
 Konzeptauswahl 33
 Konzeptdefinition 32, 84
 Prozess 33
 Stellenwert 5
 Produktkonzipierung 11, 30
 Produktlebenszyklus 21
 Idealtypischer Verlauf 35
 Phasen 22
 Prozesskette 23
 Sichten 22
 Produktlebenszyklusmanagement . . 12, 21,
 24, 158
 Funktionen 26
 Herausforderungen 27
 Liebensteiner Thesen 24
 Methoden und Werkzeuge 25
 Ziele und Aufgaben 25
 Produktmanagement **12**
 Produktplanung 7, 11, 22, **28, 28**
 Prognosen 90
 PROMETHEE **74, 79**
- Q —
- Quality Function Deployment 65
- R —
- Retrograde Kalkulation
 . . . *siehe* Zielkostenmanagement
 Reziproke Zufallsmatrix *siehe* Konsistenz
 Risiko 46, 55, 101
- S —
- Sensitivitätsanalyse 158
 Simultaneous Engineering 27, 79
 Skalenniveau 60

Standardverfahren zur Priorisierung . 115
 Strategische Erfolgsfaktoren 3
 Supermatrix 125, 140
 Gewichtet 126, 141
 Limit 128, 141
 Normiert 127, 141
 SWOT-Matrix 17
 Symbolverzeichnis xv

— T —

Tabellenverzeichnis xi
 Target Costing
 . . . *siehe* Zielkostenmanagement
 Triangulare Fuzzy Nummer
 *siehe* Unschärfe

— U —

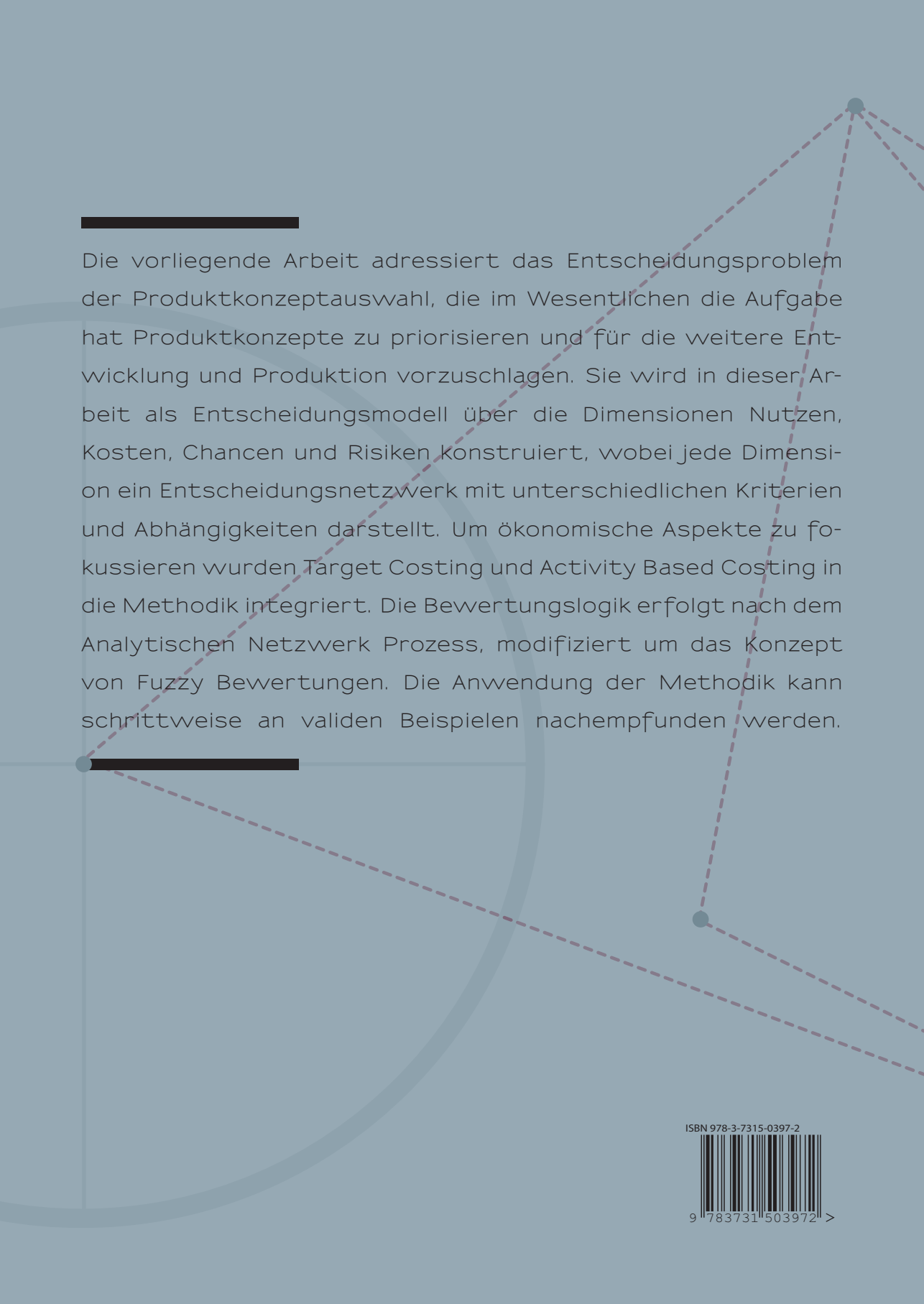
Umsatzrendite 92
 Unschärfe 56, 57, 111, 157
 α -Schnitt 112
 Defuzzifizierung 117, 161
 Operationen 113
 Triangulare Fuzzy Nummer . 111, 151
 Zugehörigkeitsfunktionen 57
 Unternehmensstrategie 12

— V —

Verbaler Ausdruck 56
 Verzeichnisse
 Abbildungsverzeichnis ix
 Abkürzungen und Symbole xiii
 Inhaltsverzeichnis v
 Literaturverzeichnis 177
 Stichwortverzeichnis 195
 Tabellenverzeichnis xi

— Z —

Zielkosten
 Erreichung 49
 Festlegung 49, 87, 91, 144
 Gewinnspanne 89
 Methoden 87
 Kontrolldiagramm 98
 Spaltung 49, 94
 Methoden 94
 Vorgehen 97
 Zielkostenmanagement 47, 48, 87, 129, 156
 Phasen 49
 Vorgehensmodelle 49–52



Die vorliegende Arbeit adressiert das Entscheidungsproblem der Produktkonzeptauswahl, die im Wesentlichen die Aufgabe hat Produktkonzepte zu priorisieren und für die weitere Entwicklung und Produktion vorzuschlagen. Sie wird in dieser Arbeit als Entscheidungsmodell über die Dimensionen Nutzen, Kosten, Chancen und Risiken konstruiert, wobei jede Dimension ein Entscheidungsnetzwerk mit unterschiedlichen Kriterien und Abhängigkeiten darstellt. Um ökonomische Aspekte zu fokussieren wurden Target Costing und Activity Based Costing in die Methodik integriert. Die Bewertungslogik erfolgt nach dem Analytischen Netzwerk Prozess, modifiziert um das Konzept von Fuzzy Bewertungen. Die Anwendung der Methodik kann schrittweise an validen Beispielen nachempfunden werden.

ISBN 978-3-7315-0397-2



9 783731 503972 >