

Kostenmanagement in der chemischen Produktentwicklung

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
„Doktor der Wirtschaftswissenschaften“

Vorgelegt an der
Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
von Ralf Murjahn

2004

Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Klaus-Peter Franz

Zweiter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Winfried Hamel

Tag der Disputation: 20. Januar 2005

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis.....	XVII
Abkürzungsverzeichnis	XIX
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Ausgangshypothesen und Zielsetzung	7
1.3 Aufbau der Arbeit	9
2 Grundlagen des Kostenmanagements	13
2.1 Anforderungen an ein Kostenmanagement.....	13
2.2 Ansatzpunkte des Kostenmanagements	17
2.3 Bedeutung des frühzeitigen Kostenmanagements	19
3 Charakteristika des Kostenmanagements in der chemischen Industrie	25
3.1 Rahmenbedingungen.....	25
3.1.1 Historische Entwicklung	25
3.1.2 Wettbewerbssituation	27
3.1.3 Strategische Optionen.....	35
3.1.4 Ausgewählte Kostenschwerpunkte.....	37
3.2 Produktentwicklung in der chemischen Industrie.....	41
3.2.1 Begriffliche Abgrenzung	41
3.2.1.1 Innovation und Invention	41
3.2.1.2 Forschung und Entwicklung.....	44
3.2.2 Prozesse in der chemischen Produktentwicklung.....	48
3.2.2.1 Der Forschungs- und Entwicklungsprozess	48
3.2.2.2 Vor- und Analysephase	49
3.2.2.3 Konzeptphase	49
3.2.2.4 Entwicklungsphase.....	54
3.3 Chemische Produkte	57
3.3.1 Klassifizierung.....	57
3.3.1.1 Grundchemikalien	58
3.3.1.2 Feinchemikalien	59

3.3.1.3	Industrieprodukte	59
3.3.1.4	Spezialprodukte	59
3.3.2	Aufbau und Struktur	60
4	Produktorientiertes Kostenmanagement in der chemischen Industrie	65
4.1	Potentiale und Ansatzpunkte	65
4.2	Strategisches Kostenmanagement in der Produktentwicklung durch Einsatz von Target Costing	71
4.2.1	Ausgangssituation	71
4.2.2	Target Costing in der chemischen Industrie	75
4.2.3	Ablauf des Target Costing	77
4.2.3.1	Unternehmens- und Gewinnplanung	78
4.2.3.1.1	Ermittlung der Zielpreise	80
4.2.3.2	Ermittlung der Allowable Cost und der Zielkosten	82
4.2.3.2.1	Ermittlung der Drifting Cost.....	85
4.2.3.2.2	Segmentierung der Zielkosten	86
4.2.3.2.3	Spaltung der Zielkosten	87
4.2.3.3	Erreichung der Zielkosten.....	90
4.3	Bedeutung der Komplexität für das produktorientierte Kostenmanagement ..	95
4.3.1	Einführung	95
4.3.2	Entstehung von Komplexität.....	96
4.3.2.1	Externe Komplexität	96
4.3.2.2	Interne Komplexität	98
4.3.2.3	Komplexität chemischer Produkte.....	101
4.3.3	Kosten der Komplexität	106
4.4	Unterstützung des produktorientierten Kostenmanagements durch die Kostenrechnung.....	113
4.4.1	Entwicklung der Kostenstruktur	113
4.4.2	Anforderungen an die Kostenrechnung	114
4.4.2.1	Zuschlagskalkulation	117
4.4.2.2	Prozesskostenrechnung	119
4.4.2.3	Deckungsbeitragsrechnung	123
4.4.2.4	Produktlebenszyklusrechnung	124
4.4.2.5	Besonderheiten der chemiespezifischen Kalkulation	126
4.5	Ableitung des Forschungsbedarfs	129
4.6	Kostenbeeinflussung durch die Produktentwickler	131
4.6.1	Ermittlung relevanter Kostentreiber.....	131
4.6.2	Voll beeinflussbare Kostentreiber.....	136
4.6.3	Bedingt beeinflussbare Kostentreiber	138
4.7	Zwischenfazit	145

5	Unmittelbare Einflussgrößen, Kostentreiber und Maßnahmen	149
5.1	Einflussgröße kundengerechte Produktentwicklung.....	149
5.1.1	Kostentreiber Produkthanforderungen	149
5.1.1.1	Maßnahme: Reduktion der Funktionen	150
5.1.1.2	Maßnahme: Reduktion der Spezifikationen	152
5.1.2	Kostentreiber: Produktkonzept.....	154
5.1.2.1	Maßnahme: Alternatives Wirkprinzip.....	156
5.1.2.2	Maßnahme: Erhöhung des Wirkungsgrads	157
5.1.3	Kostentreiber: Externe Produktvielfalt.....	158
5.1.3.1	Maßnahme: Reduktion der Varianten	163
5.2	Einflussgröße kostengünstige Produktgestaltung	169
5.2.1	Kostentreiber: Interne Produktvielfalt.....	170
5.2.1.1	Maßnahme: Verwendung von Gleich- und Wiederholsubstanzen	172
5.2.1.2	Maßnahme: Aufbau eines Baukastens.....	176
5.2.1.3	Maßnahme: Bildung einer Plattform.....	179
5.2.1.4	Maßnahme: Bildung von Substanzfamilien	182
5.2.2	Kostentreiber: Prozessanforderungen.....	184
5.2.2.1	Maßnahme: Reduktion von Normen	184
5.2.3	Kostentreiber: Prozesskonzept	188
5.2.3.1	Maßnahme: Reduktion der Synthesestufen	191
5.2.3.2	Maßnahme: Erhöhung der Ist-Ausbeute.....	192
5.2.3.3	Maßnahme: Fertigungsgerechte Rezeptur.....	194
5.2.3.4	Maßnahme: Kontinuität der Produktion.....	196
5.2.4	Kostentreiber: Prozessvielfalt.....	198
5.2.4.1	Maßnahme: Bildung von Technologiefamilien.....	199
6	Unterstützende Einflussgrößen, Kostentreiber und Maßnahmen.....	201
6.1	Einflussgröße Entwicklungsproduktivität.....	201
6.1.1	Kostentreiber: Fokussierung.....	204
6.1.1.1	Maßnahme: ABC-Verteilung der Entwicklungsressourcen	205
6.1.1.2	Fallbeispiel 1: Frühzeitige Bestimmung des Produkterfolgs durch das „Produktentwicklungssystem“	208
6.1.2	Kostentreiber: Projektcontrolling	210
6.1.2.1	Maßnahme: Konsequentes Projektcontrolling	212
6.1.2.2	Maßnahme: Checkliste	213
6.1.2.3	Maßnahme: Beratung	214
6.1.3	Kostentreiber: Entwicklungsqualität	214
6.1.3.1	Maßnahme: Einsatz von Qualitätstechniken	216
6.1.3.1.1	Quality Function Deployment.....	217
6.1.3.1.1.1	Einführung.....	217
6.1.3.1.1.2	Der QFD-Prozess	218

6.1.3.1.1.3	Merkmale von QFD	221
6.1.3.1.2	Simultaneous Engineering	222
6.1.3.1.2.1	Einführung	222
6.1.3.1.2.2	Der Simultaneous-Engineering-Prozess	222
6.1.3.1.2.3	Merkmale des Simultaneous Engineering	224
6.1.3.1.3	Qualitätsmanagement	226
6.1.3.1.3.1	Datensammlung	227
6.1.3.1.3.2	Häufigkeitsdiagramme.....	228
6.1.3.1.3.3	Pareto-Diagramm.....	229
6.1.3.1.3.4	Ursache-Wirkungs-Diagramm.....	230
6.1.3.2	Maßnahme: Einsatz von Kreativitätstechniken	231
6.1.3.2.1	Brainstorming	232
6.1.3.2.2	Morphologischer Kasten.....	232
6.1.3.2.3	Syнетik	234
6.2	Einflussgröße Kostentransparenz	236
6.2.1	Bedeutung frühzeitiger Kosteninformationen.....	236
6.2.2	Entwicklungsbegleitende Kalkulation	238
6.2.2.1	Einleitung.....	238
6.2.2.2	Qualitative Verfahren.....	241
6.2.2.2.1	Regeln	241
6.2.2.2.2	Cost Tables	242
6.2.2.2.3	Kostenstruktur.....	244
6.2.2.2.4	Grenzstückzahlen.....	245
6.2.2.3	Quantitative Verfahren.....	245
6.2.2.3.1	Kostenmodelle	245
6.2.2.3.2	Kurzkalkulationen.....	246
6.2.2.3.2.1	Verwendung statistisch verknüpfter Einflussgrößen	247
6.2.2.3.2.2	Auswertung von struktureller Ähnlichkeit	248
6.2.2.3.2.3	Ermittlung aufgrund von Bemessungsgleichungen..	248
6.2.2.3.2.4	Fallbeispiel 2: Praxisansatz für eine entwicklungsbegleitende Kalkulation.....	249
7	Implementierung des Kostenmanagements in der chemischen Produktentwicklung	251
7.1	Einführung.....	251
7.2	Kosten- und qualitätsorientiertes Entwickeln chemischer Produkte	253
7.2.1	Vor-und Analysephase.....	256
7.2.2	Konzeptphase	258
7.2.2.1	Anforderungen-Funktionen-Matrix	258
7.2.2.2	Funktionen-Substanzklassen-Matrix	261
7.2.3	Entwicklungsphase	262

7.3 Fallbeispiel 3: Entwicklung eines Speziallacks	267
7.3.1 Vor- und Analysephase	267
7.3.2 Konzeptphase	268
7.3.3 Entwicklungsphase	271
8 Zusammenfassung und Ausblick	275
9 Anhang	279
9.1 Kosteneinflussmatrix	279
9.2 Erläuterungen zur Kosteneinflussmatrix.....	283
10 Literaturverzeichnis.....	287

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Erzeugerpreisindizes des verarbeitenden Gewerbes und chemischer Erzeugnisse	2
Abbildung 2:	Aufbau der Arbeit	10
Abbildung 3:	Aufbau des Abschnitts 2 und Überleitung zu Abschnitt 3	13
Abbildung 4:	Kostenfestlegung und Kostenanfall während des Produktlebenszyklus	21
Abbildung 5:	Trade-Off zwischen Entwicklungskosten sowie Herstell- und Nachsorgekosten	22
Abbildung 6:	Aufbau des Abschnitts 3 und Überleitung zu Abschnitt 4	25
Abbildung 7:	Preis-Kosten-Schere für chemische Grundstoffe 1986-1998.....	27
Abbildung 8:	Kosten für eine Beschäftigungsstunde in der chemischen Industrie 2001	29
Abbildung 9:	Idealtypische Ausprägungen vertikaler und horizontaler Integrationsstrategien	35
Abbildung 10:	Die drei wesentlichen Auslöser und Triebkräfte für Innovationen	42
Abbildung 11:	Prozessmodell des Produktlebenszyklus und zugehörige Phasen von Inventions- und Innovationsprozessen	43
Abbildung 12:	Verflechtung wesentlicher Kategorien im Entscheidungsprozess von Produktinnovationen	47
Abbildung 13:	Teilprozesse des Forschungs- und Entwicklungsprozesses	48
Abbildung 14:	Transformation von Funktionen zum Produkt als Aufgabe der Entwicklung	51
Abbildung 15:	Heuristisches Programm für Forschungs- und Entwicklungsaufgaben	52
Abbildung 16:	Lösungsprozess bei der Grundlagenforschung an einem pharmakologischen Wirkstoff.....	53

Abbildung 17: Produktgruppenmatrix und geschätzter Anteil der Produktgruppen am Welt-Chemieumsatz	57
Abbildung 18: Aufbau des Abschnitts 4 und Überleitung zu Abschnitt 5	65
Abbildung 19: Ansatzpunkte des Kostenmanagements in der chemischen Industrie ...	67
Abbildung 20: Langfristiger Trend von Preisen und der idealtypische Verlauf von Erlösen und Kosten.....	68
Abbildung 21: Unterschiede zwischen operativem und strategischem Kostenmanagement	72
Abbildung 22: Inhalte der Unternehmensplanung.....	79
Abbildung 23: Wichtige Einflussfaktoren zur Zielpreisbestimmung	81
Abbildung 24: Ermittlung der Zielkosten auf Basis der Zielpreise	84
Abbildung 25: Segmentierung der Kosten eines Target Costing-Projekts	87
Abbildung 26: Entstehung von Unternehmenskomplexität.....	99
Abbildung 27: Komplexität in der Sortimentsbreite und Kundenvielfalt am Beispiel der chemischen Industrie.....	100
Abbildung 28: 2-dimensionale Formen der Komplexität von Kohlenwasserstoffen ..	102
Abbildung 29: 2-dimensionale Formen der Komplexität von Vitaminen	104
Abbildung 30: Dimensionen der Komplexität von chemischen Produkten	105
Abbildung 31: Veränderung des langfristigen Stückkostenverlaufs in Folge der Erhöhung der Komplexitätskosten	107
Abbildung 32: Gliederung der Komplexitätskosten	108
Abbildung 33: Bewertung von komplexitätstreibenden Maßnahmen	110
Abbildung 34: Berechnung von Materialgemeinkosten des chemischen Erzeugnisses D durch die Prozesskostenrechnung.....	121
Abbildung 35: Überwiegend operative, produktrelevante Kostentreiber im F&E-Prozess und in dispositiven Bereichen	132

Abbildung 36: Zusammenfassung der Korrelationen der Kostentreiber eines produktorientierten Kostenmanagements in der chemischen Industrie.....	134
Abbildung 37: Voll beeinflussbare Kostentreiber in den Teilphasen der Produktentwicklung	137
Abbildung 38: Bedingt beeinflussbare Kostentreiber in den Teilphasen der Produktentwicklung	139
Abbildung 39: Schematischer Überblick über die Einflussgrößen für ein produktorientiertes Kostenmanagement in der chemischen Entwicklung	148
Abbildung 40: Aufbau des Abschnitts 5 und Überleitung zu Abschnitt 6.....	149
Abbildung 41: Korrelation von Kosten der Fertigung und Logistik mit der Anzahl an Funktionen.....	151
Abbildung 42: Korrelation von Kosten der Arbeitsvorbereitung, der Fertigung und der Logistik mit der Anzahl an Spezifikationen	154
Abbildung 43: Ansätze für die Untergliederung der strukturellen Produktarchitektur eines chemischen Produktes.....	155
Abbildung 44: Korrelation von Kosten der allgemeinen Verwaltung und des Vertriebs mit dem verwendeten Wirkprinzip.....	157
Abbildung 45: Korrelation von Kosten der Fertigung mit der Erhöhung des Wirkungsgrades.....	158
Abbildung 46: Kostenwirkung der Variantenvielfalt.....	161
Abbildung 47: Korrelation von Kosten in der Forschung und Entwicklung mit der Variantenvielfalt.....	165
Abbildung 48: Variantenbaum einer chemischen Außenbeschichtung für Baustoffe	166
Abbildung 49: Grundzüge des betrieblichen Herstellungsprozesses in der chemischen Industrie.....	170
Abbildung 50: Korrelation von Kosten der Logistik und des Einkaufs mit dem Einsatz von Gleich- und Wiederholsubstanzen.....	173
Abbildung 51: Methylmethacrylatsynthese aus Aceton und Blausäure.....	174

Abbildung 52: Korrelation von Kosten der Fertigung und Logistik mit dem Einsatz eines Baukastensystems	177
Abbildung 53: Schematischer Aufbau eines Dendrimerbaukastens	179
Abbildung 54: Der Auszug aus dem ‚Ethylenstammbaum‘ zeigt Wiederholteile bzw. Plattformen	181
Abbildung 55: Korrelation von Kosten der Forschung und der Logistik mit dem Einsatz von Plattformen	182
Abbildung 56: Korrelation von Kosten der Forschung und Entwicklung mit dem Einsatz von Substanzfamilien	183
Abbildung 57: Korrelation von Kosten der Fertigung mit der Reduzierung von Normen	187
Abbildung 58: Korrelation von Kosten der Fertigung und Logistik mit der Anzahl der Synthesestufen	192
Abbildung 59: Korrelation von Kosten der Fertigung und Logistik mit der Erhöhung der Ist-Ausbeute	194
Abbildung 60: Korrelation von Kosten der Fertigung und Logistik mit der Erstellung einer fertigungsgerechten Rezeptur	196
Abbildung 61: Korrelation von Kosten der Fertigung mit der kontinuierlichen oder diskontinuierlichen Prozessführung	198
Abbildung 62: Korrelation von Kosten der Fertigung mit der Bildung von Technologiefamilien	200
Abbildung 63: Aufbau des Abschnitts 6 und Überleitung zu Abschnitt 7	201
Abbildung 64: Projektauswahl bei der operativen Planung	207
Abbildung 65: Radardiagramm des Leistungsprofils eines Entwicklungsproduktes ..	209
Abbildung 66: Projektmanagement-Lebenszyklus mit fünf Phasen und 25 Vorgangsschritten	213
Abbildung 67: Checkliste in einer Entwicklungsabteilung der chemischen Industrie	214
Abbildung 68: Das House of Quality und seine Bestandteile	219

Abbildung 69: Prinzipielles Vorgehen von sequentieller und paralleler Produkterstellung	223
Abbildung 70: Qualitativer Verlauf von Produktlebensdauer und Produktentwicklungszeit im Maschinenbau	225
Abbildung 71: Blöcke einer Datensammlung stellen Ereignisse im Zeitverlauf dar ..	228
Abbildung 72: Schematischer Aufbau eines Häufigkeitsdiagramms.....	229
Abbildung 73: Schematischer Aufbau eines Pareto-Diagramms.....	230
Abbildung 74: Ursache-Wirkungs-Diagramm	231
Abbildung 75: Morphologischer Kasten am Beispiel eines Flüssigkristalls.....	233
Abbildung 76: Der „Synetik´sche Trichter“	235
Abbildung 77: Möglichkeiten der Kostenbeeinflussung und Umfang der Kosteninformationen.....	237
Abbildung 78: Klassifizierung von Verfahren zur Kostenfrüherkennung	240
Abbildung 79: Komplexitätsgetriebene Fertigungskostensätze in Reaktoren mit unterschiedlichen Konfigurationen und Kapazitäten	250
Abbildung 80: Aufbau des Abschnitts 7 und Überleitung zu den Abschnitten 8, 9 und 10.....	252
Abbildung 81: Prozesssicht des CCE von der Unternehmensplanung bis zur Produktentwicklung	255
Abbildung 82: Das Vorgehen des Chemical Cost Engineering besteht in der iterativen Bearbeitung von Qualitäts- und Kostenzielen	256
Abbildung 83: Notwendiger Datenumfang in der Vor- und Analysephase	257
Abbildung 84: Die Anforderungen-Funktionen-Matrix des Chemical Cost Engineering	260
Abbildung 85: Die Funktionen-Substanzklassen-Matrix des Chemical Cost Engineering	262
Abbildung 86: Die Substanzklassen-Substanzen-Matrix des Chemical Cost Engineering	264
Abbildung 87: Kundenwunsch-Funktionen-Matrix eines Speziallacks.....	269

Abbildung 88: Funktionen-Substanzklassen-Matrix eines Speziallacks270

Abbildung 89: Substanzklassen-Substanzen-Matrix eines Speziallacks272

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ergebnisse einer Prozessanalyse in der pharmazeutischen Industrie..	120
Tabelle 2:	Überwiegend strategische Kostentreiber chemischer Produkte und Prozesse.....	133
Tabelle 3:	Strategische Kostentreiber der chemischen Produktentwicklung	136
Tabelle 4:	Unmittelbare Einflussmöglichkeiten zur Kostensenkung durch produktbezogene Maßnahmen	146
Tabelle 5:	Unterstützende Einflussmöglichkeiten zur Kostensenkung.....	147
Tabelle 6:	Einflussmöglichkeiten der Produktentwickler und Korrelationen von Kostentreibern und Maßnahmen mit dem Bereich Produktentwicklung	280
Tabelle 7:	Einflussmöglichkeiten der Produktentwickler und Korrelationen von Kostentreibern und Maßnahmen mit den Bereichen Arbeitsvorbereitung, Fertigung und Logistik.....	281
Tabelle 8:	Einflussmöglichkeiten der Produktentwickler und Korrelationen von Kostentreibern und Maßnahmen mit den Bereichen Einkauf, Controlling, Verwaltung und Vertrieb	282
Tabelle 9:	Übersicht über die F&E-Kosten, ausgewählte Prozessschritte und die kostenbestimmenden Aktivitäten	283
Tabelle 10:	Übersicht über die Fertigungs-, Logistik- und Einkaufskosten, ausgewählte Prozessschritte und die kostenbestimmenden Aktivitäten.....	284
Tabelle 11:	Übersicht über die Controlling-, Verwaltungs- und Vertriebskosten, ausgewählte Prozessschritte und die kostenbestimmenden Aktivitäten.....	285

Abkürzungsverzeichnis

AG	Aktiengesellschaft
Anm.d.V.	Anmerkung des Verfassers
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CCE	Chemical Cost Engineering
d.h.	das heisst
dt.	deutsch
et al.	et alii
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
F&E	Forschung und Entwicklung
Hrsg.	Herausgeber
i.A.	im Allgemeinen
Jg.	Jahrgang
lat.	lateinisch
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
o.ä.	oder ähnliches
o.V.	ohne Verfasser
p.a.	per annum
ROI	Return on Investment

S.Seite

Sp.Spalte

u.a.unter anderem

usw.und so weiter

u.U.unter Umständen

vgl.vergleiche

z.B.zum Beispiel

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Die chemische Industrie ist einer der bedeutendsten Zweige der deutschen Wirtschaft.¹ Ihr Anteil am *Umsatz* des verarbeitenden Gewerbes in der BRD betrug im Jahr 2001 rund 10%, ihr Anteil an den *Beschäftigten* des verarbeitenden Gewerbes etwa 7% und an den gesamten *Anlageinvestitionen* sogar 15%. Sie ist zudem eine der am stärksten globalisierten Branchen: Ihr Anteil am weltweiten *Chemieexport*² von 12,2% (81,4 Mrd. €) im Jahr 2001 wird nur noch von den USA mit 13,2% (87,6 Mrd. €) übertroffen, was ihre starke Stellung auf dem Weltmarkt unterstreicht. Sie nimmt aber nicht nur eine herausragende Stellung im weltweiten Chemieexport ein, sondern erwirtschaftet auch einen zunehmenden Anteil ihrer Erlöse im Ausland: der anteilige *Auslandsumsatz* wuchs im Zeitraum von 1980 bis 2001 von 38% auf über 50%. Mit einem Gesamtumsatz in Höhe von 134 Mrd. € im Jahr 2001 nimmt die deutsche chemische Industrie international Rang Drei und damit eine führende Position nach den USA (467 Mrd. €) und Japan (238 Mrd. €) ein (vgl. VCI 2002a, S. 8ff.).

In diesem Umfeld sieht sie sich mit einem steigenden Preisdruck konfrontiert, der in anderen Branchen wie dem Automobil- oder Maschinenbau, die dem internationalen Wettbewerb in vergleichbarem Maße ausgesetzt sind, bereits tiefgreifende Veränderungen bewirkt hat. Dort hat sich schon vor Jahren durch ein Angleichen der Qualitätsstandards marktseitig ein Umdenken hin zu einem ausgeprägteren Preisbewusstsein vollzogen. Diese dynamischen Faktoren, wie die – oft zitierte – Wandlung vom Produzenten- zum Käufermarkt oder die ‚Commodisierung‘ von ehemals als Spezialitäten betrachteten Produkten und Leistungen, üben auch in der chemischen Industrie einen erheblichen *Innovationsdruck* aus und zwingen die Unternehmen, in kürzer werdenden Zyklen solche Produkte anzubieten, die den marktseitigen Anforderungen sowohl hinsichtlich der Qualität als auch bezüglich des Preises genügen (vgl. JUNG 2000, S. 509; FRIEDMANN 1997, S. 16). Der gestiegene Preisdruck in der chemischen Industrie lässt sich u.a. anhand eines Vergleichs ihrer Erzeugerpreise³ mit denjenigen des gesamten

¹ Der Begriff „Chemische Industrie“ war bis Jahresende 1994 durch die „Systematik Wirtschaftszweige, Fassung für die Statistik im produzierenden Gewerbe“ abgegrenzt. Seit 1995 gilt auch für Deutschland die Abgrenzung nach der von der Europäischen Union vorgeschriebenen Wirtschaftszweig- und Güterklassifikation „Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 1993“.

² Auslandsumsätze deutscher Chemieunternehmen zuzüglich der Chemieverkäufe anderer Wirtschaftszweige an das Ausland.

³ Der Erzeugerpreisindex gibt das durchschnittliche Preisniveau der im Inland hergestellten und abgesetzten Chemieerzeugnisse im Vergleich zum Basisjahr (hier: 1995) an.

verarbeitenden Gewerbes veranschaulichen: Im Zeitraum von 1987 bis 2001 blieben demnach die Erzeugerpreise der chemischen Industrie mit kleineren Schwankungen konstant bzw. meist unterhalb des Referenzjahres 1995, während im gleichen Zeitraum die Preise des verarbeitenden Gewerbes beinahe kontinuierlich um über 16% anstiegen (Abbildung 1).

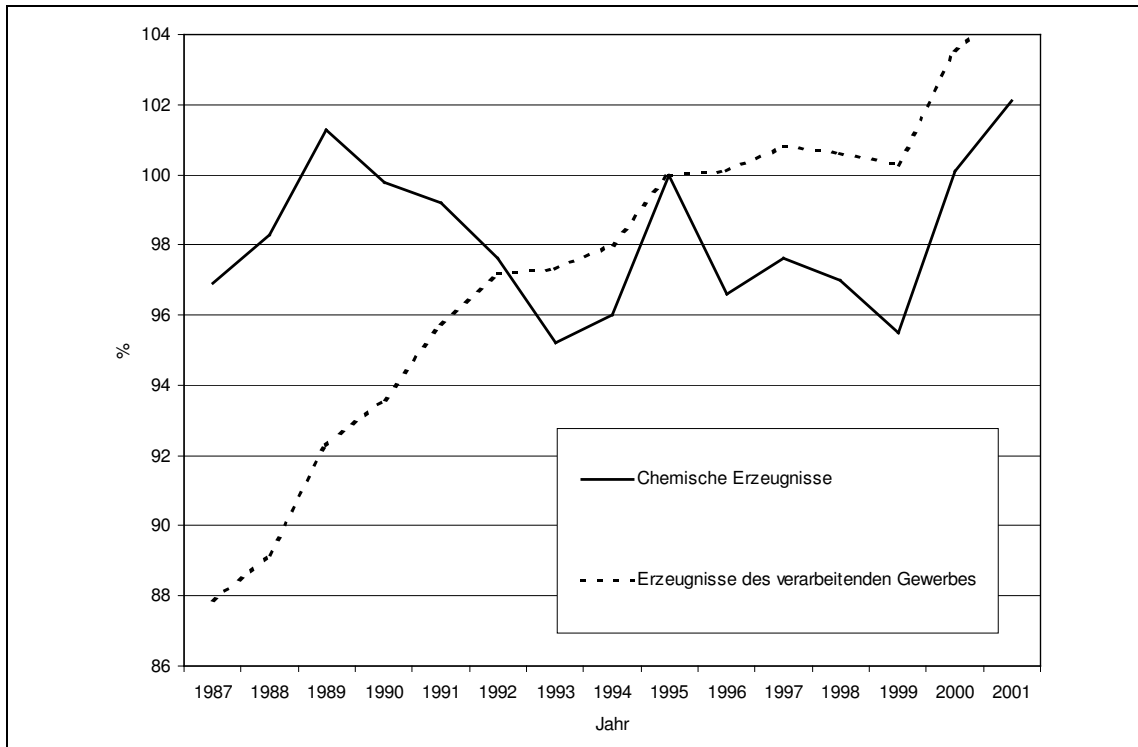


Abbildung 1: Erzeugerpreisindizes des verarbeitenden Gewerbes und chemischer Erzeugnisse (VCI 2002a, S. 30f.; 1995=100)

Vor diesem Hintergrund verwundert es nicht, dass ein *internationaler Vergleich* der *Netto-Umsatzrenditen* der deutschen Chemiekonzerne im Jahr 2001 zeigt, dass diese mit 4,4% weit hinter ihren US-amerikanischen Wettbewerbern (10,4%) und der durchschnittlichen Netto-Umsatzrendite der Chemieunternehmen in der Europäischen Union (7,0%) liegen (BAVC 2002, S. 7).

Dieser Vergleich wirft die Frage auf, wie in dem eingangs beschriebenen Szenario die Gewinne und damit die Überlebensfähigkeit von Chemieunternehmen langfristig abgesichert werden können. Seit einigen Jahren wird diese Zielsetzung in Deutschland auch unter dem Begriff einer *wertorientierten Unternehmensführung* diskutiert. Darunter versteht man die Ausrichtung des Unternehmens bzw. seiner Führung am Ziel einer nachhaltigen Steigerung des Unternehmenswertes, die letztlich mit einer langfristigen, dynamischen Gewinnmaximierung gleichgesetzt werden kann (vgl. COENENBERG ET AL. 2002, S. 34). Der Unternehmensführung stehen neben strategischen Portfolioentscheidungen, welche die möglichen Geschäftsfelder betreffen, prinzipiell drei Möglichkeiten zur Wertsteigerung zur Verfügung (vgl. KAJÜTER 2002, S. 267f.): die *Erhöhung* der

Erlöse, die *Verringerung* der *Selbstkosten* sowie die *Verbesserung* der *Kapitalrendite* (z.B. ROI).

Der erste genannte Ansatzpunkt der *Erhöhung* der *Erlöse* aus eigenem Wachstum scheint jedoch selbst bei verstärkten Vertriebsanstrengungen oder erhöhter Produktqualität häufig an Grenzen zu stoßen, da sich mittlerweile viele Unternehmen mit stagnierenden und gesättigten (Heimat-) Märkten konfrontiert sehen und verschiedene Anbieter zum Teil vergleichbare Qualitäten zu verhältnismäßig günstigen Preisen anbieten können. Entscheidend für die Erlössteigerung und die nachhaltige Profitabilität der traditionell ‚technisch getriebenen‘ Chemieunternehmen ist dabei das im *Produktportfolio* enthaltene *Erfolgspotential* bzw. die Entwicklung marktgerechter, d.h. kosten- und qualitätsadäquater Produkte, verbunden mit der *Beherrschung* und *Weiterentwicklung* der notwendigen (Prozess-) *Technologien*. Da die Aufrechterhaltung einer ausreichenden Innovationsrate für Unternehmen der chemischen Industrie im Wettbewerb immer schwieriger werden sollte, sind von dieser Seite kaum entscheidende Impulse für die Branche zu erwarten. In diesem Zusammenhang lässt sich die starke Zunahme an *Akquisitionen* und *Fusionen* als Versuch interpretieren, die eigene, mangelhafte Erlössteigerung in wachstumsschwachen Märkten durch hinzugekauftes Umsatzwachstum auszugleichen mit dem Ziel, Kostensteigerungen aufzufangen sowie Kosteneinsparungen aufgrund von *Synergieeffekten* zu realisieren.

Der zweite mögliche Ansatz zur Wertsteigerung durch eine *Verringerung* der *Selbstkosten* ist in der Praxis häufig (zu) wenig langfristig orientiert, eher reaktiv verursacht und daher meist nur *kurzfristig erfolgreich*. So werden nicht selten aufgrund zu spät erkannter, sich prekär entwickelnder Kostensituationen kurzfristig globale Budgetkürzungen oder Investitionsstops verhängt, ohne jedoch die durch die spontane Anpassung an die bestehenden Strukturen (z.B. Personalabbau bei Aufrechterhaltung der Produktionskapazitäten und -prozesse) längerfristig drohenden *Einbußen* der betrieblichen *Leistungsfähigkeit* und der *Produktqualität* ausreichend zu berücksichtigen (vgl. BUGGERT/WIEPÜTZ 1995, S. 27). Auch in der chemischen Industrie konnten derartige Verhaltensweisen beobachtet werden, wie eine 1994 in Großbritannien und Deutschland durchgeführte Analyse ergab: Deutlich über die Hälfte der befragten Unternehmen reagierte auf die Anfang der 90er Jahre eingetretene Rezession mit einer Verringerung ihrer F&E-Budgets und nahmen damit eine mögliche Beeinträchtigung ihrer Innovationsfähigkeit in Kauf, welche – wie oben dargelegt – von zentraler Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit ist (vgl. BROCKHOFF/PEARSON 1998, S. 396). Statt also durch derartige Maßnahmen den Aufbau zukünftiger *Erfolgspotentiale* zu gefährden, müssten innerhalb der Unternehmen vielmehr rechtzeitig und kontinuierlich die *Kostenstruktur*, der *Kostenverlauf* und das *Kostenniveau* langfristig optimiert und folglich auch die betrieblichen *Strukturen* verändert werden (vgl. FRANZ/KAJÜTER 1997a, S. 12).

Die *Senkung* des eingesetzten *betrieblichen Kapitals* als dritter Möglichkeit zur Ertragsgenerierung ist aufgrund der zahlreichen Akquisitionen und Fusionen der Chemie in der Vergangenheit wieder in den Mittelpunkt gerückt, da durch diese häufig die *Kapital-*

rentabilität vernachlässigt wurde (vgl. JUNG 2000, S. 510). Für eine Kapitalsenkung sind jedoch auch in der chemischen Industrie zahlreiche Einschränkungen zu verzeichnen (vgl. KAJÜTER/NOACK 2002, S. 374ff.): so ist eine signifikante Reduzierung des Anlagevermögens aufgrund der hohen *Anlagenintensität* von chemischen Produktionsanlagen nur erschwert durchführbar. Auch dürfte eine Senkung des Kapitaleinsatzes durch die Verringerung des *Working Capital* im beschriebenen wirtschaftlichen und konjunkturellen Umfeld ebenfalls nicht leicht fallen, da dies zum einen die Senkung von Forderungen bzw. Erhöhung von Verbindlichkeiten auf Kunden- bzw. Lieferantenseite notwendig macht. Zum anderen muss auch mit kurzfristigen Nachfrageschwankungen gerechnet werden, so dass es darüber hinaus auch kaum gelingen dürfte, durch signifikante Senkungen von Vorräten das betrieblich eingesetzte Kapital zu verringern. Einen schnell wirksamen und leicht umzusetzenden Hebel zur Verbesserung der *Kapitalproduktivität* stellt allerdings die Verbesserung der Qualität von *Investitions-* und *Portfolioentscheidungen* und damit die Steuerung des *zukünftigen Kapitaleinsatzes* dar, auf die später noch eingegangen wird (vgl. JUNG 2000, S. 512; Abschnitt 6).

Während also offensichtlich einer Umsatzausweitung oder Kapitalsenkung deutliche Grenzen gesetzt sind, kann eine Senkung der Selbstkosten durch proaktives Kostenmanagement, welches dem oben skizzierten, kurzfristigen *Cost Cutting* überlegen ist, den Unternehmen noch erhebliche Spielräume zur Wertsteigerung eröffnen (vgl. Abschnitt 2). Ein derartiger Ansatz zur Kostensenkung darf sich jedoch nicht mehr wie in der Vergangenheit darauf beschränken, nur im Rahmen bestehender betrieblicher Strukturen Anpassungen vorzunehmen, sondern muss sich die strategischen Unternehmensziele als Grundlage von nachhaltigen Steuerungsmaßnahmen zu Eigen machen.

Als maßgebliche Ansatzpunkte für eine Senkung der Selbstkosten sind einerseits die *Rationalisierung des Produkterstellungs- und Vertriebsprozesses* sowie andererseits die *Entwicklung kostengünstiger Produkte* zu nennen (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 8f.). Der erste Stellhebel beschreibt vornehmlich prozess- und ressourcenorientierte Ansätze, welche sich u.a. mit effizienzlastigen Produktions- oder Vertriebsansätzen befassen. Die Entwicklung von kostengünstigen Produkten hingegen zielt darauf ab, durch die Reduzierung der Produktkomplexität sowohl die Einzel- als auch die Gemeinkosten der Fertigung und weiterer (vor allem angrenzender) Funktionsbereiche zu verringern. Die Bedeutung der Produktentwicklung bei der Beeinflussung dieser Kosten folgt aus der hohen Kostenverantwortung der Entwickler, welche (auch) in der chemischen Industrie einen hohen Anteil der Produktkosten unmittelbar und mittelbar beeinflussen können. Um welche diesbezüglichen Möglichkeiten zur frühzeitigen, produktorientierten Kostensenkung es sich handelt, wird Gegenstand dieser Arbeit sein.

Zusammenfassend lässt sich anhand der bisherigen Ausführungen der motivatorische Hintergrund für die vorliegende Arbeit aufzeigen: Für die in den letzten Jahren gewachsenen Anforderungen des Marktes der chemischen Industrie hinsichtlich kostengünstiger und (trotzdem) qualitativ hochwertiger Produkte müssen nachhaltig wirksame Kon-

zepte gefunden werden, welche sich mehr als in der Vergangenheit an den Marktpreisen orientieren, frühzeitig im Produktlebenszyklus einsetzen und die spezifischen Eigenheiten chemischer Produkte und Prozesse berücksichtigen. Bisher liegen jedoch kaum systematische Erkenntnisse über ein produktbezogenes Kostenmanagement in der chemischen Industrie vor, was die Notwendigkeit der vorliegenden Analyse unterstreicht. Speziell zu den frühzeitigen produktorientierten Einflussmöglichkeiten der Entwickler von chemischen Produkten sind im deutsch- und englischsprachigen Schrifttum bisher keine umfassenden Untersuchungen vorgelegt worden.⁴

⁴ Vgl. MURJAHN/SELIG 2002, S. 481ff.

1.2 Ausgangshypothesen und Zielsetzung

Mit der geschilderten Problemstellung konnte der Handlungsbedarf für die vorliegende Forschungsaufgabe aufgezeigt werden. Die Erfolgswahrscheinlichkeit für einen entsprechenden thematischen Lösungsbeitrag hängt dabei entscheidend von der Richtigkeit nachstehender *Ausgangshypothesen* ab, welche die Durchführung dieser Untersuchung rechtfertigen und zugleich den konzeptionellen Handlungsrahmen formulieren sollen:⁵

- Wenn die *Kostenverantwortung* von *Produktentwicklern* in der chemischen Industrie vergleichbar mit anderen Branchen ist, dann können sie mit ihren *Entscheidungen* die Kosten der Unternehmen maßgeblich *beeinflussen*.
- Wenn chemische Produkte eine hohe *Komplexität* ihrer Struktur und Funktionsweise aufweisen und dadurch zu hohen Kosten in anderen Funktionsbereichen führen können, dann sollten *produktorientierte Ansätze* und *Maßnahmen* zur Kostensenkung in der chemischen Industrie erhebliches *Potential* bergen.

In anderen, vornehmlich ingenieurwissenschaftlichen Bereichen wurden die Kostenverantwortung der Produktentwickler und die Chancen einer kostengünstigen ‚Konstruktion‘ (Produktentwicklung) schon frühzeitig thematisiert (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 1996, S. 72); so erschien beispielsweise die erste Ausgabe der *VDI-Richtlinie 2225* „Technisch-wirtschaftliches Konstruieren“ des *Vereins Deutscher Ingenieure* schon im Jahr 1964. Die charakteristischen Eigenschaftsprofile chemischer Produkte und ihrer Fertigungsverfahren bzw. -technologien sind jedoch nur bedingt mit anderen Branchen vergleichbar und führen daher zu spezifisch abweichenden Konzepten der Komplexitäts- und Kostensenkung.

Aus der anfangs skizzierten Problemstellung und den hier vorgestellten Hypothesen lässt sich schließlich das erste von zwei Zielen dieser Arbeit ableiten: Es sollen alle relevanten *Einflussgrößen* und *-möglichkeiten* von Produktentwicklern zur Kostensenkung in der chemischen Industrie aufgezeigt und systematisiert werden. Wissenschaftliche Grundlage hierfür ist eine Untersuchung der in der Phase der chemischen Produktentwicklung beeinflussbaren relevanten Produktkostentreiber, welche sich zwar teilweise an ingenieurwissenschaftlichen Konzepten orientiert, jedoch gleichzeitig – aufgrund der erwähnten spezifischen Stoffeigenschaften chemischer Produkte – zum Teil deutlich über die traditionellen Ansätze wie beispielsweise die Reduzierung der Varianten- oder Teilevielfalt hinausgeht. Ein zweites Ziel dient der *Überprüfung* der auf diese Weise gewonnenen Erkenntnisse: Die zuvor erarbeiteten Einflussmöglichkeiten

⁵ Unter einer *Hypothese* versteht man eine wissenschaftlich begründete Vermutung zur Erklärung eines an sich bekannten Sachverhalts; sie muss „empirisch gehaltvoll“ sein, d.h. eine Aussagesicherheit mit z.B. 50% Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines Ereignisses gilt nicht als „empirisch gehaltvoll“ (vgl. EILHAUER 1993, S. 103).

sollen in ein methodisches Konzept überführt werden, welches den Entwicklern als Leitfaden bei der Entwicklung marktgerechter Produkte dienen und anhand von einem Fallbeispiel plausibilisiert und überprüft werden soll. Die Erreichung dieser beiden Ziele soll schließlich einen signifikanten Erkenntnisgewinn für das untersuchte Forschungsgebiet erbringen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die aufgestellten *Hypothesen* stellen im wissenschaftlichen Sinne „Vorurteile“ dar, die sich erst noch an der Realität und an logischen Regeln bewähren müssen (vgl. FRIEDRICHS 1980, S. 69). Sie beruhen auf Theorien, die insbesondere in den ‚Konstruktionswissenschaften‘ formuliert worden sind. Im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit wird versucht, dieses ‚Vorverständnis‘ durch fundierte Aussagen über die Anwendbarkeit eines produktbezogenen Kostenmanagements auf chemische Produkte zu ersetzen; dabei wird sowohl ein *theoretisches* als auch ein *praxeologisches Wissenschaftsziel* verfolgt.

Primär steht die *Beschreibung* des Erkenntnisgegenstands ‚produktorientiertes Kostenmanagement in der chemischen Industrie‘ im Vordergrund, der durch das Fehlen einer theoretischen und empirischen Fundierung gekennzeichnet ist. Durch eine *Inhaltsanalyse* der existierenden, vorwiegend deutschsprachigen Literatur wurde der aktuelle Stand der Forschung auf dem Gebiet des produktorientierten Kostenmanagements analysiert. Auf die gleiche Weise wurden die aktuelle Situation der chemischen Industrie untersucht und *Potentiale* für ein dort anzuwendendes, produktorientiertes Kostenmanagement theoretisch formuliert. Anschließend wurde anhand eigener *Erfahrungen*, durch *Beobachtung* innerhalb von Chemieunternehmen und *Befragung von Experten* sowie anhand von *Fallbeispielen* die Operationalisierung auf chemische Produkte geprüft und dokumentiert.⁶ Schließlich wurde die Anwendung der Forschungsergebnisse auf Wirklichkeitsphänomene auch anhand eines speziell entwickelten *Instruments*, das auf dem erweiterten Kenntnisstand beruht, in der Praxis validiert.

Die Arbeit gliedert sich in neun Kapitel (vgl. *Abbildung 2*). Das *erste Kapitel* endet nach diesem Abschnitt und dient der Einführung in die *Problemstellung*, der Formulierung der *Hypothesen* sowie der Beschreibung des *Aufbaus* der Arbeit (*Abschnitt 1*). Das *zweite Kapitel* behandelt die Grundlagen des Kostenmanagements und geht auf die *Anforderungen*, die *Ansatzpunkte* und besonders auf die *Bedeutung* eines *frühzeitigen Kostenmanagements* ein, woraus die besondere Verantwortung der Produktentwickler für die Produktkosten hervorgeht (*Abschnitt 2*).

⁶ Die Überprüfung von Hypothesen an der Wirklichkeit setzt einen Übersetzungsvorgang in Forschungsoperationen voraus, welcher ‚Operationalisierung‘ genannt wird. Darunter ist die Angabe derjenigen Vorgehensweisen zu verstehen, mit deren Hilfe entscheidbar wird, ob und in welchem Ausmaß der mit dem Begriff bezeichnete Sachverhalt in der Realität vorliegt (ATTESLANDER 1984, S. 23).

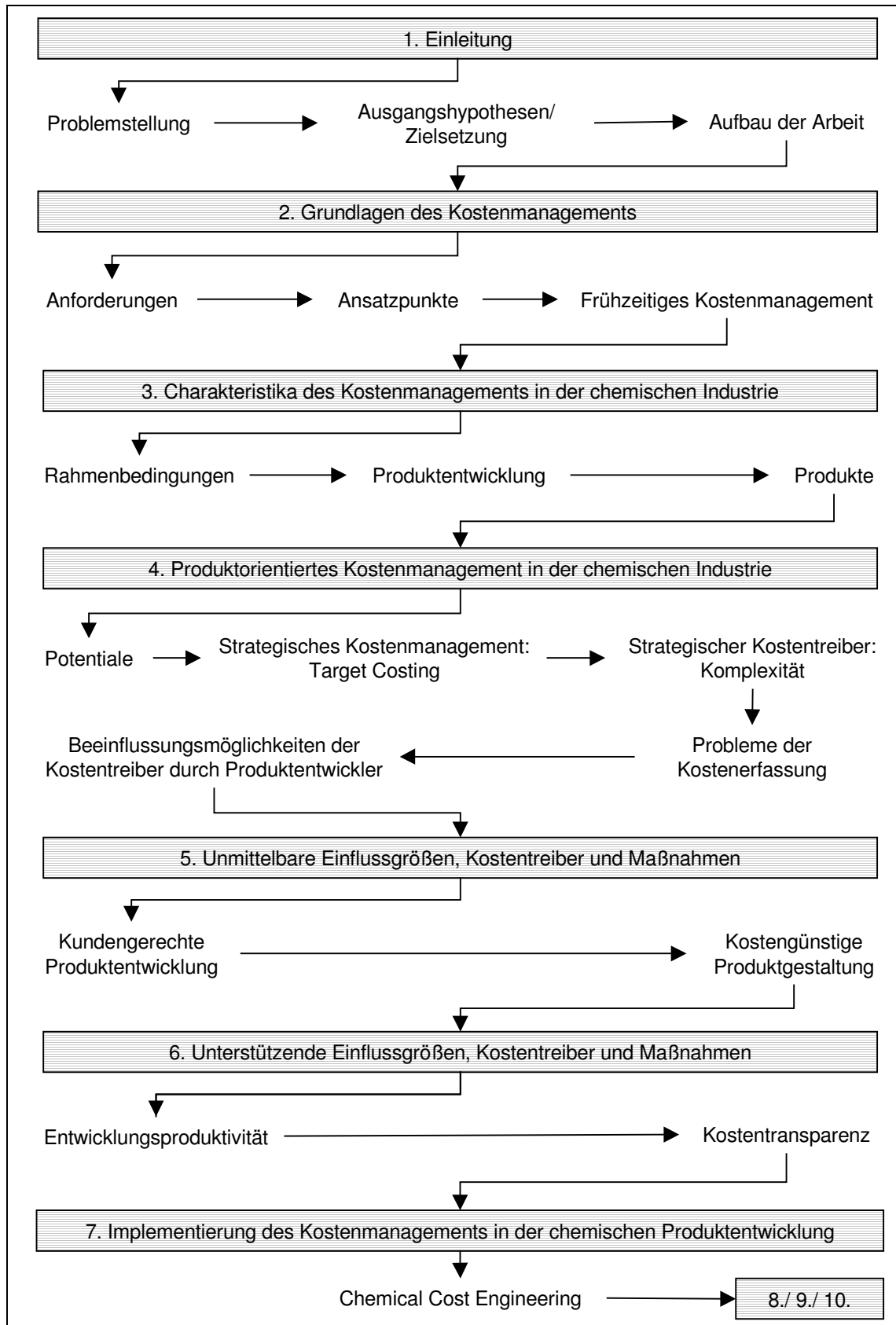


Abbildung 2: Aufbau der Arbeit (ohne Zusammenfassung, Anhang und Literaturverzeichnis)

Das *dritte Kapitel* beschreibt die *Charakteristika* eines Kostenmanagements in der chemischen Industrie (*Abschnitt 3*). Zunächst wird auf die wirtschaftlichen *Rahmenbedingungen*, die Wettbewerbssituation und die daraus resultierenden strategischen Optionen eingegangen. Dann folgt eine begriffliche Abgrenzung wichtiger Begriffe aus dem Bereich der Entwicklung und eine Darstellung der Aufgaben und Abläufe in der *Produktentwicklung*. Der Abschnitt schließt mit einer ausführlichen Erläuterung von Typen und Strukturen chemischer *Produkte*.

Gegenstände des *vierten Kapitels* sind das *Target Costing* als strategisches Instrument und methodischer Handlungsrahmen für ein produktorientiertes Kostenmanagement sowie die *Komplexität* als Ursache zu hoher (Produkt-) Kosten. Nachdem die grundsätzlichen *Potentiale* für ein produktorientiertes Kostenmanagement in der Chemie erläutert worden sind, wird mit Hilfe des Target Costing-Konzepts aufgezeigt, wie das produktorientierte Kostenmanagement in den Gesamtzusammenhang eines strategischen Kostenmanagements eingeordnet werden kann und wie – als Antwort auf die eingangs beschriebene konjunkturelle Situation – die ‚vom Markt erlaubten‘ Produktkosten ermittelt und (prinzipiell) erreicht werden können. Anschließend wird die Komplexität als strategischer Kostentreiber für die Produktkosten herausgestellt und es werden die auftretenden Schwierigkeiten ihrer *kostenrechnerischen Erfassung* diskutiert. Dieses ‚Rüstzeug‘ ermöglicht schließlich die Systematisierung der *Einflussmöglichkeiten* der Produktentwickler, welche in einem Zwischenfazit dargestellt werden (*Abschnitt 4*).

Das *fünfte* und das *sechste Kapitel* widmen sich ausführlich den Möglichkeiten der Produktentwickler, die Produktkosten zu beeinflussen. Hierzu werden die *unmittelbaren* und die *unterstützenden Einflussgrößen*, entsprechende *Kostentreiber* und die möglichen *Maßnahmen* zur Kostensenkung detailliert untersucht und diskutiert. Diese basieren auf spezifisch chemischen Erkenntnissen und Produkteigenschaften, auf Ansätzen aus anderen Branchen oder wenden bekannte Instrumente auf chemische Produkte bzw. Prozesse an, wobei deren Übertragbarkeit auf die Chemie fallweise untersucht wird. Damit gelingt erstmals eine umfassende Systematisierung dieses Problemfelds (*Abschnitte 5* und *6*).

Das *siebte Kapitel* stellt eine technisch-wirtschaftlich integrierte Methode zur Entwicklung kostengünstiger chemischer Produkte vor (Chemical Cost Engineering), welche teilweise Gemeinsamkeiten mit Anwendungen aus anderen Branchen aufweist (z.B. Produktkosten als Steuerungsgröße, Verbindung von Target Costing und Quality Function Deployment), jedoch aufgrund der Eigenschaften des Untersuchungsobjekts zu abweichenden Lösungsansätzen führt. Der vorgestellte Ansatz wird abschließend anhand eines Fallbeispiels auf seine Anwendbarkeit untersucht (*Abschnitt 7*).

Die Arbeit endet mit einer Zusammenfassung und kritischen Reflexion, einem Ausblick auf den weiteren Forschungsbedarf (*Abschnitt 8*), dem Anhang mit ausführlichen Übersichtstabellen (*Abschnitt 9*) sowie dem Literaturverzeichnis (*Abschnitt 10*).

2 Grundlagen des Kostenmanagements

Dieser Abschnitt geht zunächst auf die Anforderungen eines effizienten Kostenmanagements ein, welche sich durch eine Veränderung der Wettbewerbsdynamik und des Kostengefüges gewandelt haben, und diskutiert daraufhin die Folgerungen für eine Neuausrichtung des Kostenmanagements. Anschließend werden verschiedene Ansatzpunkte für eine Kostenbeeinflussung erörtert. Schließlich wird die Bedeutung des frühzeitigen Kostenmanagements hervorgehoben, das auf die Verantwortung der Entwickler für die Kosten eines Unternehmens hinweist (vgl. *Abbildung 3*).

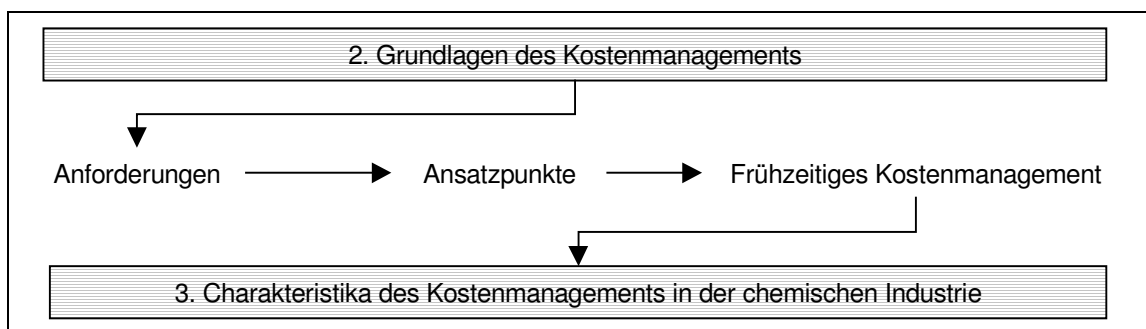


Abbildung 3: Aufbau des Abschnitts 2 und Überleitung zu Abschnitt 3

2.1 Anforderungen an ein Kostenmanagement

Wie einleitend erwähnt, hat sich das Wettbewerbsumfeld von Unternehmen der chemischen Industrie in den zurückliegenden Jahren grundlegend geändert. Im Zuge einer nach wie vor dynamischen *Globalisierung* bringt der zunehmend freier werdende Fluss von Kapital und Informationen in Verbindung mit dem sich ebenso beschleunigenden technischen Fortschritt einen immer schärfer werdenden Wettbewerb mit sich. Dieser kann als ursächlich für die Tendenz zur teilweisen Angleichung bzw. *Standardisierung* von *Produktqualitäten* und den daraus resultierenden *Preisverfall* angesehen werden. Die aktuellen intensiven Bemühungen zur Kostensenkung in der chemischen Industrie sind auch durch empirische Untersuchungen belegt worden (vgl. FRANZ/KAJÜTER 2002b, S. 573).

Als Folge des Wettbewerbsumfelds erscheint es unausweichlich, dass das Kostenniveau der betroffenen Unternehmen kontinuierlich gesenkt werden muss. Es wird im Rahmen der betrieblichen Leistungserstellung durch die Kostenbestimmungsfaktoren wie beispielsweise die Faktorpreise- und -mengen, das Produktionsprogramm und den Produktionsablauf oder die Beschäftigung determiniert. Eine (systematische) Kostensenkung in der chemischen Industrie wird allerdings nicht nur aufgrund der gestiegenen Dynamik des Wettbewerbsumfelds immer dringlicher, sondern zugleich auch durch Veränderungs-

en des Kostengefüges zusätzlich erschwert. Diese sind eine Folge von veränderten Wertschöpfungsstrukturen und weisen die nachstehenden Entwicklungstendenzen auf (vgl. FRANZ/KAJÜTER 2002a, S. 6):

- *Verminderung der Kostenelastizität:* Produktionstechnisch gesehen ist die chemische Industrie stark anlagengetrieben und hoch automatisiert. Die in diesem Bereich tendenziell steigenden Fixkosten reduzieren die Spielräume für notwendige Anpassungen an Nachfrageschwankungen bzw. -rückgänge; die Fixkosten können folglich aufgrund von Abbauehemnissen (z.B. produktionstechnische Abhängigkeiten verschiedener Fertigungsbereiche, Kündigungsfristen im Personalbereich) nur mit zeitlicher Verzögerung und nicht kontinuierlich an die Beschäftigungssituation angepasst werden (vgl. BACKHAUS/FUNKE 1994, S. 124f.).
- *Verschärfung der Kostenintensität:* Der Rohstoffkostenanteil (ohne Verpackungen etc.) der chemischen Industrie beträgt durchschnittlich 25%-30% vom Umsatz und ist i.A. – je nach Produktportfolio – stark von den Rohölpreisen abhängig. Weiterhin hat auch die Produkt- bzw. Variantenvielfalt zugenommen. Daher sieht sich die chemische Industrie nicht nur mit einer Erhöhung des Kostenniveaus durch die in der Vergangenheit steigenden Faktorpreise für Rohöl und Energie konfrontiert, sondern auch mit zunehmend progressiven Kostenverläufen als Folge der zunehmenden Komplexität der leistungswirtschaftlichen Produkt- und Prozessvielfalt (vgl. MÄNNEL 1994, S. 383).
- *Verschlechterung der Kostentransparenz:* Auch in der chemischen Industrie dürfte – wie in Industrieunternehmen allgemein – ein absoluter und relativer Anstieg der Gemeinkosten zu beobachten sein (vgl. SCHEHL 1994, S. 234). Die mangelnde Kenntnis der den Anstieg verursachenden Kostentreiber behindert dabei oft eine effektive Kostenbeeinflussung: „Die Analyse der Kostensituation deckt zwar Kostenschwerpunkte auf, gibt jedoch keine unmittelbaren Hinweise auf die Ursachen der Kostenentstehung. Sie ist daher um eine Analyse der Kostentreiber zu ergänzen“ (KAJÜTER 2000, S. 122).
- *Verlagerung der Kostenentstehung:* Die Bedeutung der Vorlauf- und Nachlaufkosten hat in der chemischen Industrie im Vergleich zu den Herstellkosten zugenommen (vgl. SCHEHL 1994, S. 234f.). So können kürzere Innovations- und Produktlebenszyklen zu relativ höheren Entwicklungsausgaben pro Jahr führen, und das bisher besonders in den mittel- und nordeuropäischen Staaten sowie supranationalen Institutionen wie der EU ausgeprägte Umweltbewusstsein führt zu durchschnittlich höheren Markteinführungs- und Nachsorgekosten.⁷

⁷ Beispielhaft sei das Bestreben der Europäischen Kommission angeführt, alle Daten derjenigen Chemikalien, die in Mengen von mehr als zehn Tonnen pro Jahr und Unternehmen produziert oder importiert werden, in eine zentrale Datenbank aufzunehmen und abgestuften Tests zu unterziehen; Ausnahmen bei den Stoffen sind vorgesehen (vgl. O.V. 2003, S. 14). Dieses Vorgehen ist in Form des „EU-Weißbuches

Diese Veränderungen des Kostengefüges müssen in der Konzeption eines modernen Ansatzes zur systematischen Kostenbeeinflussung berücksichtigt werden.⁸ In diesem Sinn soll im weiteren Verlauf der Arbeit die bewusste Beeinflussung und kostenoptimierende bzw. -minimierende Gestaltung der Kostenbestimmungsfaktoren, mit dem Ziel, die betrieblichen Ziele möglichst kostengünstig zu erfüllen, als *Kostenmanagement* bezeichnet werden (vgl. HORVÁTH/SEIDENSCHWARZ 1991, S. 300; FRANZ 1992b, S. 127).⁹

Die herkömmlichen Ansätze des Kostenmanagements weisen – wie bereits angedeutet – häufig Defizite auf: Sie sind meist nur auf Teilbereiche des Unternehmens ausgerichtet, optimieren hauptsächlich die bestehenden Strukturen, agieren eher reaktiv auf kurzfristig erkannte Kostenentwicklungen und vernachlässigen marktbezogene Informationen für die Behebung von Kostenproblemen (vgl. FRANZ/KAJÜTER 2002a, S. 9).¹⁰ Dieses Vorgehen kann beispielsweise in der chemischen Industrie die Erhaltung bzw. den Aufbau von bedeutsamen produkt- und prozessorientierten Erfolgspotentialen gefährden, denn Kosten werden oftmals nur „als Symptome angesehen, die auf ihre wahren Ursachen wie Qualität, Menge oder Durchlaufzeit hinweisen“ (BUGGERT/WIEPÜTZ 1995, S. 35).

Ein moderner Ansatz des Kostenmanagements muss daher nicht nur die Veränderungen des Kostengefüges berücksichtigen, sondern auch die langfristige Kostenoptimierung über die Wertschöpfungskette und den Lebenszyklus gewährleisten (FRANZ/KAJÜTER 2002a, S. 9). Die inhaltliche Ausgestaltung eines derartigen ‚modernen Ansatzes‘ konkretisiert KAJÜTER anhand von sechs Merkmalen eines ‚proaktiven Kostenmanagements‘ (vgl. 2000, S. 14ff.):

zur Chemikalienpolitik“ dokumentiert und am 12.02.2001 von der EU-Umweltkommissarin Wallström vorgestellt worden. In einem so genannten ‚Reach-System‘ (*Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals*) sollen die Chemikalien nach Produktionsmenge, Eigenschaften und Verwendung klassifiziert werden. Für den Großteil der Stoffe - schätzungsweise 80% - wäre das Verfahren bereits mit der Registrierung und wenigen Standardtests abgeschlossen. Übersteigt die Produktionsmenge hundert Tonnen pro Jahr und Unternehmen oder handelt es sich um bedenkliche Stoffe, würde die zweite Stufe des Reach-Systems greifen: etwa 4.500 Chemikalien müssten untersucht und bewertet werden. Schließlich bleiben die besonders gefährlichen Substanzen, deren Verwendung in einer dritten Stufe genehmigungspflichtig werden soll. Der artikulierte Protest der Chemieindustrie richtet sich nicht nur gegen das Zulassungsverfahren, sondern auch gegen die mit den Tests verbundenen Kosten. Sie werden von der Kommission je nach Teststufe auf 85.000 bis 325.000 Euro pro Substanz geschätzt (vgl. VCI 2002b, S. 3).

⁸ Zu den traditionellen Ansätzen des Kostenmanagements vgl. FRANZ/KAJÜTER 1997a, S. 16ff.

⁹ Zu den drei prinzipiellen Interpretationen des Begriffs ‚Kostenmanagement‘ vgl. KAJÜTER 2000, S. 9ff.

¹⁰ Zu den Problemen des herkömmlichen Kostenmanagements und den Problemen der traditionellen Kostenplanung vgl. auch HOMBURG/DAUM 1997, S. 186ff.; BUGGERT/WIEPÜTZ 1995, S. 22ff.

- *Marktorientierung*: Kostenmanagement muss sich an den Kundenanforderungen und der Wettbewerbssituation ausrichten.
- *Ganzheitlichkeit*: Kostenmanagement muss die Kosten über die gesamte Wertschöpfungskette und den gesamten Produktlebenszyklus optimieren.
- *Antizipation*: Kostenmanagement muss frühzeitig und vorausschauend auf zukünftige Kostensituationen agieren.
- *Kontinuität*: Kostenmanagement setzt auf nachhaltige Ergebnisverbesserungen und operiert permanent und nicht fallweise.
- *Partizipation*: Kostenmanagement ist eine hierarchieübergreifende Aufgabe aller betroffenen Bereiche und ihrer Mitarbeiter.
- *Interdisziplinarität*: Kostenmanagement erfordert eine funktionsübergreifende Zusammenarbeit.

Die *Marktorientierung* eines Kostenmanagements in der chemischen Industrie kann durch den Einsatz von Instrumenten wie Target Costing und Quality Function Deployment gewährleistet werden, die sich durch eine strategische bzw. kundenfokussierte Vorgehensweise auszeichnen und im weiteren Verlauf behandelt werden. Auch die *ganzheitliche Betrachtung* kann durch das Target Costing erzielt werden, da dieses sich an den Vollkosten orientiert. Der *frühzeitige* und vorausschauende *Einsatz* des Kostenmanagements resultiert aus der später zu vertiefenden Betonung der Produktentwicklung für die Aktivitäten zur Kostensenkung (*Abschnitte 2.2 und 4*).¹¹ Da die vorliegende Arbeit dem produktorientierten Kostenmanagement gewidmet ist, sollen die organisatorischen Aspekte des proaktiven Kostenmanagements jedoch im weiteren Verlauf nicht behandelt werden (*Kontinuität, Partizipation, Interdisziplinarität*); allerdings kann das in *Abschnitt 7* vorgestellte *Chemical Cost Engineering* als Hilfsmittel für die ‚Kontinuität‘ verstanden werden, da es die dauerhafte Implementierung eines Kostenmanagementprozesses unterstützen kann, wenn es regelmäßig zur Entwicklung chemischer Produkte eingesetzt wird.

¹¹ „Proaktiv beginnt ein Kostenmanagement allerdings erst zu werden, wenn es mit der Produkt- und Prozessgestaltung einsetzt“ (SEIDENSCHWARZ 1993, S. 76).

2.2 Ansatzpunkte des Kostenmanagements

Für eine Kostenbeeinflussung bieten sich zunächst drei prinzipielle Handlungsfelder an: das *Kostenniveau*, die *Kostenstruktur* und der *Kostenverlauf* (vgl. FRANZ/KAJÜTER 1997a, S. 9f.; MÄNNEL 1993c, S. 211ff.). Das *Kostenniveau* wird durch Faktorpreise und Faktormengen bestimmt und kann nur in bestimmten Grenzen vom Unternehmen beeinflusst werden; Einschränkungen bezüglich der Faktorpreise bestehen z.B. für Löhne oder (kalkulatorische) Abschreibungen, wohingegen die Materialkosten oder die Anlage- und Investitionskosten in gewissem Ausmaß beeinflussbar sind. Besser zu beeinflussen sind die jeweiligen Anteile der Kostenarten und -kategorien, d.h. die Verhältnisse von variablen und fixen bzw. Einzel- und Gemeinkosten und damit die *Kostenstruktur* (vgl. SCHEHL 1994, S. 231).¹² Der *Kostenverlauf* schließlich bietet dem Unternehmen einen noch größeren Spielraum bei der Kostenbeeinflussung: Neben dem Ausnutzen von *Economies of Scale* und *Erfahrungskurveneffekten* bieten sich hier vielversprechende Ansatzpunkte durch die Reduzierung der *Komplexität* von Produkten, Produktionsprogrammen und betrieblichen Vorgängen.

Für die *unternehmerische Praxis* kann eine objektbezogene Analyse, die aus dem *Beziehungszusammenhang* der betrieblichen *Leistungserstellung* abgeleitet wird, ebenfalls Ansatzpunkte für ein Kostenmanagement aufzeigen. Diese betrachtet entlang der Wertschöpfungskette, ausgehend von den Lieferanten, die zur Erstellung von Erzeugnissen notwendigen *Ressourcen* und *Prozesse* bis hin zu den *Produkten* und ihren Abnehmern (vgl. FRANZ/KAJÜTER 2002a, S. 19ff.; siehe auch *Abbildung 19*).¹³ Diese („primären“) Gestaltungsobjekte lassen sich entsprechend durch bereichs-, vorgangs- und produktbezogene Maßnahmen des Kostenmanagements beeinflussen (vgl. FRANZ 1992b, S. 128; *Abschnitt 4.1*).

Empirische Hinweise auf die hier vorgestellten *Kostensenkungspotentiale* im Produktbereich lassen sich u.a. einer Studie der „Zukunftskommission Wirtschaft 2000“ für die Industrie des Landes Baden-Württemberg entnehmen (vgl. DÜRAND/KEMPKENS 1994, S. 86). Diese führt die Produktionskostennachteile deutscher Industrieunternehmen gegenüber führenden Wettbewerbern auf dem Weltmarkt zu ungefähr drei gleichen Teilen auf

¹² Allerdings werden die Unternehmen immer wieder durch ‚Sachzwänge‘ wie z.B. gestiegene Vorleistungs- oder Nachsorgekosten zu Kostenstrukturverschiebungen gedrängt. Zu der in den letzten Jahrzehnten beobachteten Fixkostenerhöhung vgl. BACKHAUS/FUNKE 1997, S. 29ff.

¹³ Diese drei ‚Stellhebel‘ determinieren die kostenmäßigen Wirkungszusammenhänge zwischen den Kostenbestimmungsfaktoren (vgl. ARNAOUT 2001, S. 17).

- die *Faktorkosten* bzw. Rahmenbedingungen,
- die *betriebliche Organisation* und
- die *Produktgestaltung* zurück.

Im Ergebnis bedeutet dies, dass bis zu einem Drittel der Produktionskostenunterschiede von hoher Produktkomplexität und nicht fertigungsgerechtem Design herrühren können – wobei hinsichtlich dieser Studie zusätzlich zu berücksichtigen ist, dass nur ein relativer Vergleich der Kosten vorgenommen wurde und ein Erreichen des Kostenniveaus des führenden Wettbewerbers keinesfalls die Grenze für eine weitere Reduzierung der Komplexität und der aus ihr resultierenden Kosten darstellen muss. Eine weitere empirische Untersuchung, ebenfalls mit dem Hauptaugenmerk auf dem Maschinenbau, quantifiziert die Kostennachteile europäischer Unternehmen im Vergleich zu den weltweiten „Best of Class-Wettbewerbern“ auf 35-50% und führt dies vor allem auf die *Produktkonstruktion* und die *Arbeitsorganisation* zurück (vgl. KLUGE 1996, S. 298ff.).

Für den Bereich des Anlagen- und Maschinenbaus wurde bereits frühzeitig auf erhebliches *Kostensenkungspotential* durch eine ‚kostengünstige Produktentwicklung‘ hingewiesen (vgl. OPITZ 1970, S. 525f.). EHRENSPIEL konnte in diesem Zusammenhang in einer Untersuchung von 135 Wertanalysen nachweisen, dass durch konstruktive Überarbeitung von Bauteilen eine gemittelte Herstellkostensenkung in Höhe von 33% erreicht werden kann (vgl. 1980, S. 175). Ein wichtiges Ergebnis der Auswertung war weiterhin, dass die „Konstruktion“, d.h. die mit der Produktentwicklung befassten Mitarbeiter, die größte Verantwortung für die Produktkosten trug: „Sie denkt das Produkt in allen Eigenschaften voraus, auch bezüglich der Kosten. Die Kosten selbst entstehen erst später: in der Fertigung, im Einkauf oder – was die Betriebs- und Instandhaltungskosten angeht – erst im Betrieb beim Kunden“ (EHRENSPIEL 1980, S. 177).

Die grundsätzliche Übertragbarkeit dieser Erkenntnisse auf chemische Produkte wurde in den Ausgangshypothesen bereits postuliert. Ein produktorientiertes Kostenmanagement für die chemische Industrie muss ebenso frühzeitig einsetzen, nachhaltig agieren und die produktbezogenen Möglichkeiten einer Kostenbeeinflussung ausschöpfen. Wie im nächsten Abschnitt erläutert wird, erfordert dies u.a. frühzeitige Kosteninformationen in der Entstehungsphase der Produkte, damit den Entwicklern die Folgekosten ihrer Entscheidungen aufgezeigt werden können.

2.3 Bedeutung des frühzeitigen Kostenmanagements

Während es vielen Unternehmen vor zehn bis zwanzig Jahren noch verhältnismäßig leicht fiel, ihre Produkte zu den jeweils entstandenen Selbstkosten und mit einem selbst bestimmten Gewinnaufschlag am Markt abzusetzen, ist es in der Folge des Abbaus von Marktbarrieren und des zunehmenden Wettbewerbs zu einem *Paradigmawechsel*¹⁴ gekommen: das Preisniveau für die meisten Produkte wird mittlerweile vom Markt vorgegeben. Wird in dieser Situation ein *Gewinn* in einer bestimmten Größenordnung angestrebt, so ergibt sich aus dem *marktbestimmten Preis* gleichzeitig retrograd auch das maximal *zulässige Kostenniveau*, sowohl hinsichtlich der einzelnen Produktkosten wie auch der Unternehmenskosten insgesamt. Für die Unternehmen kommt es folglich mittlerweile immer „weniger auf eine kostenorientierte Preispolitik, sondern sehr viel mehr auf eine preisorientierte Kostenpolitik“ an (MÄNNEL 1997, S. 5). Der Absatz neuer Produkte setzt daher heutzutage eine Festlegung klarer ökonomischer Ziele schon zu Beginn des Entstehungszyklus voraus: „Technisch-naturwissenschaftliche und kostenrechnerische Aspekte sind in dieser Frühphase des Produktlebenszyklus als Einheit aufzufassen, da bereits mit der Festlegung von Produkteigenschaften und Produktionsbedingungen weite Teile der später anfallenden Produktkosten vorbestimmt werden“ (GRABHOFF/GRÄFE 1998, S. 62).

Für das Kostenmanagement resultiert aus dem Paradigmawechsel eine verstärkte Orientierung hin zu den frühen Phasen der Produktentstehung: Die Produktkonzeption und Produktentwicklung stehen nun im Mittelpunkt, da über den überwiegenden Teil der Lebenszykluskosten eines – auch chemischen – Produkts schon in diesen Phasen entschieden wird.¹⁵ Aus diesem Kontext resultieren zwei *Forderungen* an das Kostenmanagement: Einerseits verlangt die frühzeitige Beeinflussung später anfallender Kosten das Aufzeigen der entsprechenden Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge und damit eine *Erhöhung der Kostentransparenz* für die betrachteten Kostenarten, andererseits müssen die entscheidungsrelevanten Kosteninformationen zu dem *Zeitpunkt* bereitgestellt werden, in dem die betrachteten Kosten *beeinflusst* werden können bzw. sollen.

Diese Forderungen bedingen daher auch für die Kostenrechnung eine ‚Neuausrichtung‘: von einem auf Vergangenheitsdaten basierenden Instrument der Kostenerfassung hin zu einem eher strategieorientierten Früherkennungs-Informationssystem (vgl. CORSTEN/STUHLMANN 1996, S. 18). Denn je später die Kostenrechnung bzw. die Kalkulation einsetzt, um so mehr wird sie zum bloßen Zahlenlieferanten ‚degradiert‘, der

¹⁴ Unter einem Paradigma versteht man eine von einer Wissenschaftlergemeinschaft als richtig anerkannte „Leittheorie“ (vgl. EILHAUER 1993, S. 104).

¹⁵ Dieser Paradigmawechsel ist das Resultat einer stark zunehmenden Vorverlagerung der Bestimmungsfaktoren der Kostenentstehung hin zu den frühen Phasen der Produktentstehung, wohingegen früher die Kostenentstehung noch stärker zum Zeitpunkt der eigentlichen Leistungsentstehung und -verwertung determiniert werden konnte (vgl. BECKER 1997, S. 41).

lediglich die durch bereits getroffene Entscheidungen determinierten Kosten nachträglich quantifiziert (BECKER 1990, S. 353).¹⁶

Diese Notwendigkeit einer Fokussierung auf den Zeitraum der Produktentstehung wird unterstützt von Untersuchungen, nach denen circa 70-80% des Kostenniveaus eines Produkts schon in den Phasen der Produktdefinition und der Produktentstehung festgelegt werden (vgl. KAJÜTER 2000, S. 41).¹⁷ Umgekehrt folgt daraus, dass der Anteil der Kosten, die mit zunehmender Produktkonkretisierung noch beeinflusst werden können, sinkt (*Abbildung 4*). Darüber hinaus reduziert sich vor dem Hintergrund kürzerer Produktlebenszyklen im Vergleich zu früher auch die absolute Zeitspanne, während der die Kosten überhaupt noch beeinflusst bzw. gesenkt und durch Erträge (über-) kompensiert werden können. Wenn daher z.B. in der Produktion nur noch 10-15% der Kosten beeinflussbar sind, dann sinkt auch der Anteil der variablen Kosten an den Gesamtkosten und es werden Methoden erforderlich, welche die fixen Kosten stärker fokussieren (vgl. PEEMÖLLER 1993, S. 275). Diesem Anspruch wird u.a. das mit vollkostenrechnerisch ermittelten Produktkosten arbeitende Target Costing gerecht, welches in *Abschnitt 4.2* vorgestellt wird (vgl. MÄNNEL 1997, S. 7).

In den frühen Phasen der Produktentstehung sind aber nicht nur die Möglichkeiten zur Kostenbeeinflussung am größten, sondern zu diesem Zeitpunkt verursachen auch die möglichen Veränderungen am Produkt die geringsten Kosten im Vergleich zu allen späteren Phasen des Produktlebenszyklus.¹⁸ Dieser Sachverhalt wird durch die *Rule of Ten* ausgedrückt: Die *Änderungskosten* für eine Produkteigenschaft unterscheiden sich von einer Phase des – beispielsweise in die Abschnitte Konstruktion bzw. Entwicklung, Fertigungsvorbereitung, Produktion bis zur Vermarktung (einschließlich z.B. Rückrufaktion) untergliederten – Produktlebenszyklus zur nächsten um den *Faktor 10* (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 11). Eine Modifikation in der frühen Entwicklungsphase

¹⁶ Das Kostenmanagement ist jedoch kein Teilgebiet der Kostenrechnung und des Rechnungswesens, sondern eine zukunftsgerichtete *Aufgabe* der Unternehmensführung (MÄNNEL 1993, S. 210). Es grenzt sich methodisch gegenüber der Kostenrechnung insbesondere durch seinen *Gestaltungsaspekt* ab: Letztere hat primär die Dokumentation und Auswertung von Kostendaten und weniger deren Beeinflussung zum Ziel (vgl. CORSTEN/STUHLMANN 1996, S. 13). Zur Unterscheidung von Kostenrechnung und Kostenmanagement vgl. auch KAJÜTER 2000, S. 12f. Jedoch ist nach GÜNTHER „eine eindeutige Trennung von Kostenrechnung und Kostenmanagement“ nicht möglich: „Die Frage, ob ‚Kostengestaltung‘ vorliegt, ist eng mit der Frage verbunden, wie weit der Gestaltungsrahmen gesteckt wird. Bereits Riebel hat in seiner relativen Einzelkostenrechnung Bezugsgrößenhierarchien nach unterschiedlichen Ebenen der Gestaltbarkeit (produktbezogene und/oder zeitliche Bezugsgrößenhierarchien) entwickelt“ (1997, S. 105).

¹⁷ Zu ähnlichen Ergebnissen kommen u.a. TANAKA 1989, S. 49, EHRENSPIEL 1992, S. 292f. sowie WOLF ET AL. 1994, S. 105. BERLINER/BRIMSON 1988, S. 140, bzw. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 13, vermuten, dass Entwicklung und Fertigung sogar rund 90% der Lebenszykluskosten bzw. der variablen Herstellkosten und der Selbstkosten festlegen, sofern die Selbstkosten durch feste Zuschlagssätze aus den Herstellkosten errechnet werden.

¹⁸ Im Gegensatz zu der hohen Kostenverantwortung ist der Anteil der Kosten der Entwicklungsabteilung an den Gesamtkosten im Vergleich gering: sie liegen zwischen 3-25% der Selbstkosten, im Mittel 9% (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 21; OPITZ 1970, S. 525).

ist also circa zehnmal kostengünstiger durchzuführen als dieselbe Änderung in der Phase der Fertigungsvorbereitung.¹⁹ Trotzdem erfordert die Durchführung einer Änderung auch in den frühen Phasen einen bestimmten F&E-Aufwand. Wenn dieser jedoch die Kostenentstehung in späteren Phasen verringern hilft, dann handelt es sich im Grunde genommen um einen *Trade Off-Effekt* zwischen den Entwicklungskosten einerseits und den später anfallenden Herstell- und Nachsorgekosten (vgl. COENENBERG ET AL. 1994, S. 31; GRÄFE 1997, S. 169f.). *Abbildung 5* veranschaulicht, wie durch höhere Forschungs- und Entwicklungsausgaben Einsparungen in nachfolgenden Funktionsbereichen realisiert und damit die Lebenszykluskosten eines Produkts gesenkt werden können.

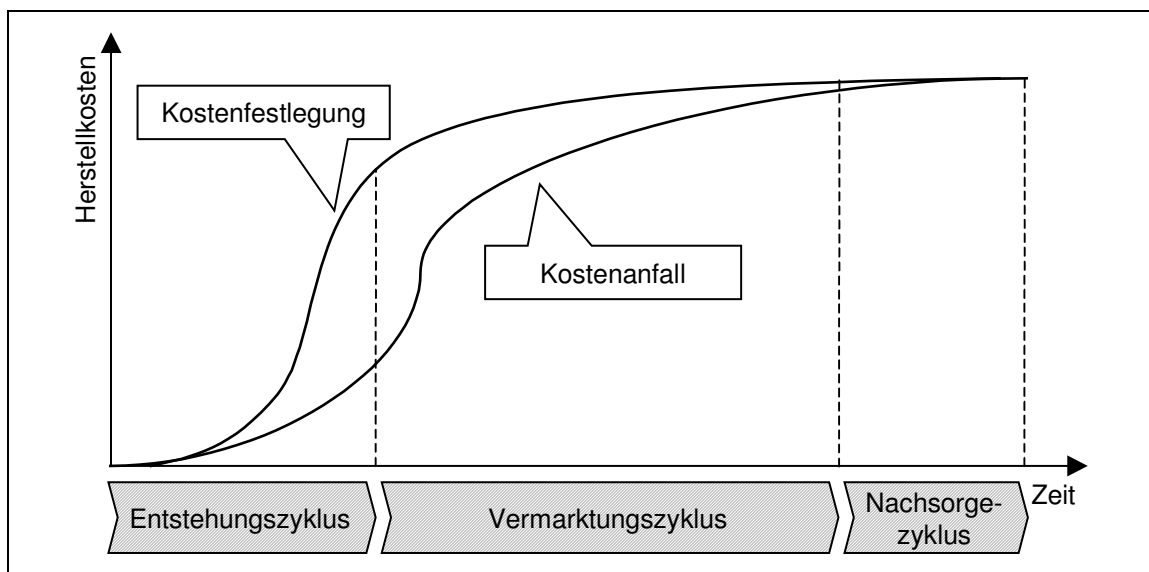


Abbildung 4: Kostenfestlegung und Kostenanfall während des Produktlebenszyklus (in Anlehnung an BECKER 1997, S. 42)

Eine Anhebung der Entwicklungskosten kann also zu einer Absenkung der Herstell- und Nachsorgekosten führen und damit gegebenenfalls zu einer Absenkung der Selbst- und Lebenszykluskosten (vgl. MÄNNEL 1993c, S. 212). Dies lässt sich anhand von statischen Amortisationsrechnungen überprüfen, welche die aus der Produktion und Vermarktung von Erzeugnissen resultierenden Ergebnisbeiträge einzelner Perioden kumulieren und den einmalig anfallenden Vorleistungs- und Nachleistungskosten gegenüberstellen; diese Art von Produktlebenszyklusrechnungen behandelt Produkte oder Produktionsprogramme so, als wären es Investitionen (vgl. MÄNNEL 1996, S. 7).

¹⁹ Wie hoch die Kosten einer Rückrufaktion im Bereich der Automobilindustrie sein können, zeigt das Beispiel von Opel aus dem Jahr 1995, als wegen einer fehlenden Schelle am Tank (Stückkosten ca. 0,15 €) Kosten für eine Rückrufaktion in Höhe von 40 Mio. € anfielen (vgl. SAATWEBER 1997, S. 257).

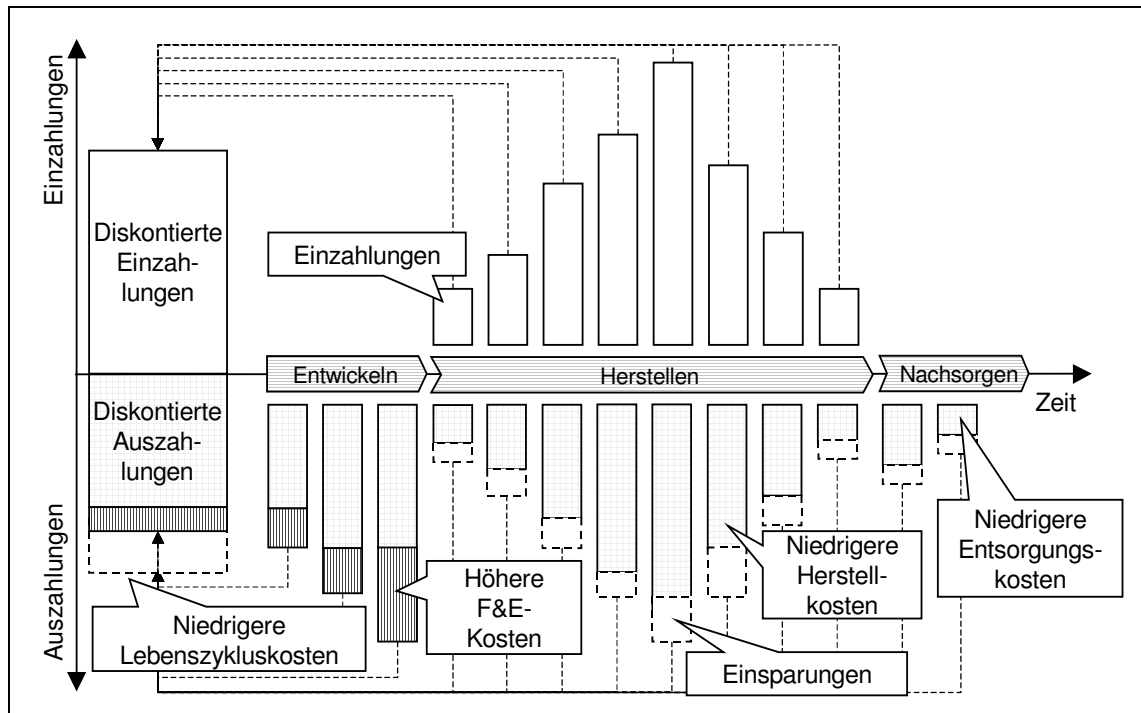


Abbildung 5: Trade-Off zwischen Entwicklungskosten sowie Herstell- und Nachsorgekosten (in Anlehnung an TAYLOR 1981, S. 37)

Außerdem kann eine Intensivierung der Entwicklungsaktivitäten, die im Regelfall mit erhöhten Entwicklungskosten einhergehen wird, zu einer Verkürzung der Entwicklungszeit führen.²⁰ Empirisch konnte nachgewiesen werden, dass sich eine Ausdehnung der Entwicklungszeit aufgrund daraus folgender verminderter Absatzchancen weitaus negativer auf das Totalergebnis eines Serienerzeugnisses niederschlagen kann als eine mögliche Überschreitung der Entwicklungskosten; die durch die längere Ressourcenbindung verursachten Kosten fallen dabei gegenüber den Umsatz- und Ergebniseinbußen weniger ins Gewicht (vgl. GRÄFE 1997, S. 170; SCHMELZER/BUTTERMILCH 1988, S. 46f.).²¹ Besonders vor dem Hintergrund immer kürzerer Marktzyklen kann eine verzögerte Produktentwicklung zu einem späteren Produkteinführungszeitpunkt und damit zu geringeren als den geplanten Marktanteilen führen. Diese Situation wird zusätzlich verschärft durch zunehmende Vorlaufinvestitionen, die durch eine Zunahme der Produktkomplexität verursacht werden können (vgl. CORSTEN/STUHLMANN 1997, S. 22).²² Kostenmanagement muss also – wie mehrfach betont – schon in der Produktent-

²⁰ Allerdings können hohe F&E-Intensitäten auch Ausdruck von Ineffizienzen sein, wie z.B. eine Untersuchung von Unternehmen der Maschinenbau- und Elektro-/Elektronikbranche durch BINDER 1998a, S. 360ff., zeigt.

²¹ Zum Vorgehen zur Verkürzung der Entwicklungszeit in Projekten vgl. SCHMELZER/BUTTERMILCH 1988, S. 68ff. sowie *Abschnitt 6.1.1.*

²² Kurze Entwicklungszeiten erhöhen auch die Sicherheit der Marktprognosen, denn je länger die Zeit bis zum Markteintritt dauert bzw. je größer die auftretenden Verzögerungen werden, desto wahrscheinlicher sind Änderungen der Marktanforderungen, die den Produkterfolg beeinträchtigen könnten.

wicklungsphase beginnen, durch geeignete Maßnahmen die Auszahlungen über den Lebenszyklus zu minimieren.

Diese Forderung nach frühzeitiger und *zukunftsorientierter Kostenbetrachtung* wird schon seit geraumer Zeit aufgestellt (vgl. HORVÁTH 1988, S. 121). Problematisch erscheint allerdings, dass zu Beginn eines Entwicklungsprozesses hohe Unsicherheit über die zu erwartenden Kosten herrscht, obwohl deren Beeinflussbarkeit zu diesem Zeitpunkt am größten ist. Dies gilt insbesondere auch für die *Produkte* der *chemischen Industrie*, die häufig von hohem *Innovationsgrad* und hoher *Komplexität* gekennzeichnet sind. Da aber selbst am Anfang einer Entwicklung ein gewisses Maß an fachlichem und methodischem Wissen existiert, ist der Informationsgrad keineswegs gleich Null (vgl. WÜBBENHORST 1992, S. 251). Somit kommt es besonders darauf an, die Informationssysteme und -kanäle der Unternehmen optimal zu organisieren und auszuschöpfen.²³ Außerdem kommt es zu diesem Zeitpunkt nur auf die tendenziell richtige Entscheidung an, d.h. die Kalkulationsungenauigkeit muss geringer sein als die Differenz zwischen den betrachteten Alternativen; die zulässige Ungenauigkeit frühzeitiger Kostenschätzungen hängt also vom jeweiligen Verwendungszweck ab (vgl. BUGGERT/WIEPÜTZ 1995, S. 119f.; EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 404).²⁴ Allerdings verfügen viele der technisch-naturwissenschaftlich ausgebildeten Entwickler nicht über das betriebswirtschaftliche Fachwissen, um selbstständig zu einer höheren Kostentransparenz zu gelangen. Deshalb orientiert man sich oft an einfachen Kennzahlen wie beispielsweise den Materialeinstandskosten, die aber nur unzureichend als Anhaltspunkt für die Produkt- und Prozesskosten der Produktherstellung herangezogen werden können. Kostenfrüherkennung kann so nur *intuitiv* betrieben werden.

Aufgrund der frühzeitigen Kostenfestlegung, möglicher Trade-Off-Effekte und der Verkürzung der Entwicklungszeit kommt den Entwicklern also entscheidende Bedeutung zu: Durch die Festlegung der Produktfunktionen²⁵ und Komponenten, welche mittels der ausgewählten Einsatzstoffe und der Syntheseverfahren dargestellt werden, disponieren die Entwickler – zunächst unabhängig von der Beeinflussbarkeit der Kosten – zum einen in signifikantem Ausmaß über die *Material-* und *Fertigungseinzelkosten*.

²³ Auf die diesbezüglichen Instrumente der frühzeitigen Kostenermittlung wird in *Abschnitt 5.4* eingegangen.

²⁴ Diese Aussage wird allerdings im Zuge des marktorientierten Kostenmanagements später dahingehend relativiert, dass es wichtig sein wird, die zukünftigen Produktkosten mit der gleichen Genauigkeit abzuschätzen wie die aus den Marktpreisen abgeleiteten ‚zulässigen‘ Kosten.

²⁵ Unter einer (Produkt-) Funktion versteht man eine abstrakte Beschreibung der Eigenschaften eines Produkts; sie ist das Verbindungsglied zwischen den kundenseitig formulierten Merkmalen und der konkreten technischen Umsetzung und beschreibt somit alle Wirkungen eines Objekts (vgl. SEIDENSCHWARZ 1993, S. 170). Sie kann durch mehrere Produktkomponenten verwirklicht werden. Während die Übertragung des Funktionen-Begriffs auf ein chemisches Produkt zu keinen Schwierigkeiten führt, trifft dies auf den Inhalt des Begriffs ‚Komponenten‘, der in der Regel die niedrigste ‚Stufe‘ von Produktbestandteilen beschreibt, nicht exakt zu: Die kleinsten Bausteine der Materie, welche die Strukturbausteine von Atomen und Molekülen darstellen, sind nicht alle bekannt.

Durch ihre Entscheidungen haben sie aber zum anderen auch einen erheblichen Einfluss auf die Aktivitäten und Prozesse in den *Gemeinkostenbereichen*, wie z.B. Beschaffungsvorgänge in der Einkaufsabteilung, Ein- und Auslagerungsvorgänge in der Lagerhaltung oder Schulungsmaßnahmen für die mit dem Produkt betreuten Vertriebsmitarbeiter (vgl. FRANZ 1992b, S. 129).²⁶ Zudem bestimmen sie maßgeblich den Aufwand für Qualitätssicherungs- und Umweltschutzmaßnahmen, welche gerade in der chemischen Industrie von hoher Bedeutung sind. Schließlich bestimmen die Entwickler auch maßgeblich den Markteintrittszeitpunkt. Aus dieser Verantwortung erwächst den Entwicklern in der Zukunft die Aufgabe, die produktbezogenen Prozessketten in ihre Entscheidungen einzubeziehen mit dem Ziel, diese im Sinne eines möglichst hohen Unternehmensertrags zu optimieren (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 34).²⁷

Die Bedeutung des frühzeitigen Kostenmanagements und der Kostenverantwortung der Entwickler wurde in diesem Abschnitt ausdrücklich gewürdigt. Der folgende *Abschnitt 3* soll die spezifischen Charakteristika eines Kostenmanagements in der chemischen Industrie untersuchen.

²⁶ Der Kostenverlauf der dispositiven Tätigkeiten dürfte sich dabei in einer treppenförmigen Weise ausdrücken, da sich Zunahmen oder Einsparungen in diesen Bereichen i.A. erst ab einem gewissen Volumen bemerkbar machen sollten („Sprunggemeinkostendegression“ bzw. „-progression“).

²⁷ Neben der Minimierung der Kosten kann ein Entwickler die Erträge auch durch die Innovationshöhe, die sich in einer Höhe der Nachfrage niederschlägt, und deren mögliche patentrechtliche Absicherung beeinflussen (vgl. EILHAUER 1993, S. 84).

3 Charakteristika des Kostenmanagements in der chemischen Industrie

Dieser Abschnitt schildert zunächst die Rahmenbedingungen der chemischen Industrie. Nach einem historischen Überblick wird auf die aktuelle Wettbewerbssituation eingegangen, welche in den letzten Jahren zu dynamischen Veränderungen in der Unternehmenslandschaft geführt hat. Diese werden anhand von drei idealtypischen strategischen Optionen diskutiert. Auch wird auf typische Kostenschwerpunkte eingegangen, welche für das Kostenmanagement von Bedeutung sind. Anschließend werden die Grundlagen der Prozesse und Aufgaben in der chemischen Forschung und Entwicklung vermittelt. Bevor im *Abschnitt 4* auf das produktorientierte Kostenmanagement eingegangen wird, erfolgt weiterhin eine Einführung in Aufbau und Struktur von chemischen Produkten, die in Form eines Exkurses zusätzlich vertieft wird.

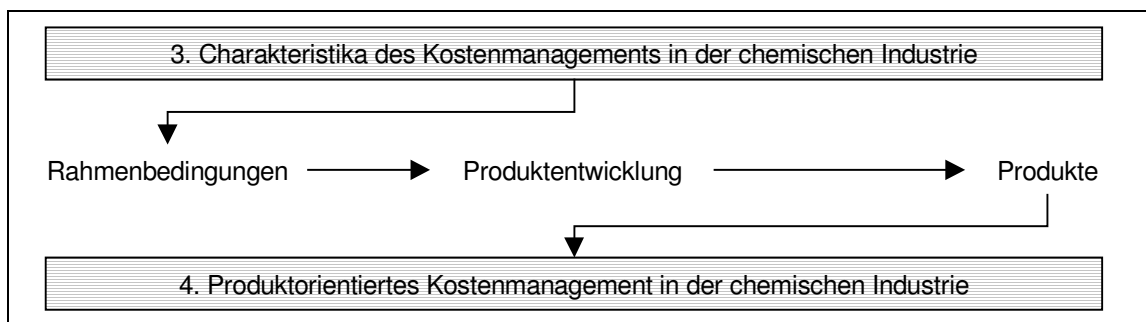


Abbildung 6: Aufbau des Abschnitts 3 und Überleitung zu Abschnitt 4

3.1 Rahmenbedingungen

3.1.1 Historische Entwicklung

Die deutsche chemische Industrie entstand vornehmlich aus den *Syntheserfolgen* neuer organischer Farbstoffe in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts. Diese aus Steinkohleteer auf der Basis von *Benzol*, *Anilin* und *Phenol* gewonnenen synthetischen ‚Teerfarbstoffe‘ waren die ersten Produkte der neu gegründeten Unternehmen *Bayer* (1863), *Hoechst* (1863) und *BASF* (1865). Wenige Jahre später kamen die ersten synthetischen Pharmaka auf den Markt (1885), und bis zum ersten Weltkrieg sicherte sich die deutsche chemische Industrie eine dominierende Stellung auf dem Weltmarkt. Das Ausbleiben der Farbstoffe und Pharmazeutika aus Deutschland während des ersten Weltkrieges war ein entscheidender Anstoß für die heute führende Chemienation USA zum Aufbau einer eigenständigen amerikanischen Chemieindustrie; diese vollzog später auch als erste den

strategisch bedeutsamen *Wechsel der Rohstoffbasis* von der Kohle zum Erdöl (vgl. ONKEN/BEHR 1996, S. 13; *Abschnitt 3.1.2*).²⁸ Aufgrund der schon nach dem ersten Weltkrieg stark gewachsenen Konkurrenz auf dem Weltmarkt wurden 1925 sechs deutsche Chemieunternehmen zur *IG Farben* fusioniert. Nach dem zweiten Weltkrieg wurde diese Gesellschaft von den Alliierten wieder aufgelöst und aus den in der BRD befindlichen Anteilen die drei Nachfolgegesellschaften BASF, Bayer und Hoechst gegründet, während die in der DDR verbliebenen Werke verstaatlicht wurden.

Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten waren während mehr als 100 Jahren ein geographisch und vertikal optimierter Rohstoffverbund sowie ein hoher und neuartiger Kundennutzen der Produkte, der die kostenmäßig oft unterlegenen Naturprodukte substituieren half (,Perlonstrumpf-Effekt'), die wesentlichen Ertragsquellen der chemischen Industrie. Zu Beginn der 70er Jahre hatten sich bei den großen deutschen Chemieunternehmen (BASF, Bayer, Hoechst) *Verbundsysteme* herausgebildet, welche eine Vielzahl an Produkten zu (damals) marktgerechten Preisen herstellen konnten. In diesen wurden bzw. werden verschiedene Produktionsanlagen und die dort entstehenden Produkte dergestalt miteinander verknüpft, dass die Endprodukte eines Prozesses als Ausgangsprodukte für einen oder mehrere ,horizontale' oder ,vertikale' Folgeprozesse dienen können; dabei ist die Verknüpfung von *Vor-* und *Zwischenprodukten* besonders ausgeprägt (vgl. *Abschnitt 3.1.3*).

Auch wenn diese Verbundsysteme weitgehend effizient und stabil arbeiteten, waren in den Veredelungsstufen, die sich aus den Verbundsystemen ableiten, oft noch erhebliche *Optimierungspotentiale* vorhanden. Aber wichtiger als die Kostenminimierung dieser marktnahen letzten Transformationsstufen war es, volumen- und deckungsbeitragsstarke Märkte als ,Downstream-Outlets'²⁹ für die im Verbund anfallenden Haupt- und Nebenprodukte zu finden. Diese Situation hatte auch das Selbstverständnis von Generationen naturwissenschaftlich orientierter Produktentwickler und Manager der chemischen Industrie geprägt: Steigende Kosten oder sinkende Verkaufspreise wurden vornehmlich durch Effizienzsteigerung im vorgelagerten Verbund oder aber durch Produktinnovationen im marktnahen Downstreambereich bekämpft.

Bereits gegen Mitte der 70er Jahre hatte sich jedoch das jahrzehntelange, überdurchschnittliche Wachstumstempo der chemischen Industrie abgeschwächt und die Renditen der Marktteilnehmer unter Druck gesetzt. So erwies sich manche installierte Kapazität für chemische Grundstoffe als überdimensioniert, und infolge von Überkapazitäten sowie des Aufbaus von petrochemischen Verarbeitungsanlagen in Erdölförderländern gerieten zahlreiche Grundchemikalien international unter Preisdruck, ohne dass die Kosten im gleichen Ausmaß gesenkt werden konnten (vgl. STRECK 1984, S. 19). In-

²⁸ Dies ist ein Grund, warum auch heute noch eine Reihe von erdölfördernden Unternehmen im Bereich der Chemie tätig sind.

²⁹ Mit dem Ausdruck ,Downstream' wird in der chemischen Industrie die Richtung der Wertschöpfungskette hin zu den Absatzmärkten beschrieben.

folgedessen sind in der deutschen chemischen Industrie von 1986 bis 1998 die Absatzpreise für *Grundchemikalien* kontinuierlich gesunken und die Faktorpreise³⁰ im gleichen Zeitraum gestiegen, was sich in einer negativen Preis-Kosten-Schere von durchschnittlich -2,6% p.a. widerspiegelt (vgl. HAMM 2000, S. 214; *Abbildung 7*).³¹

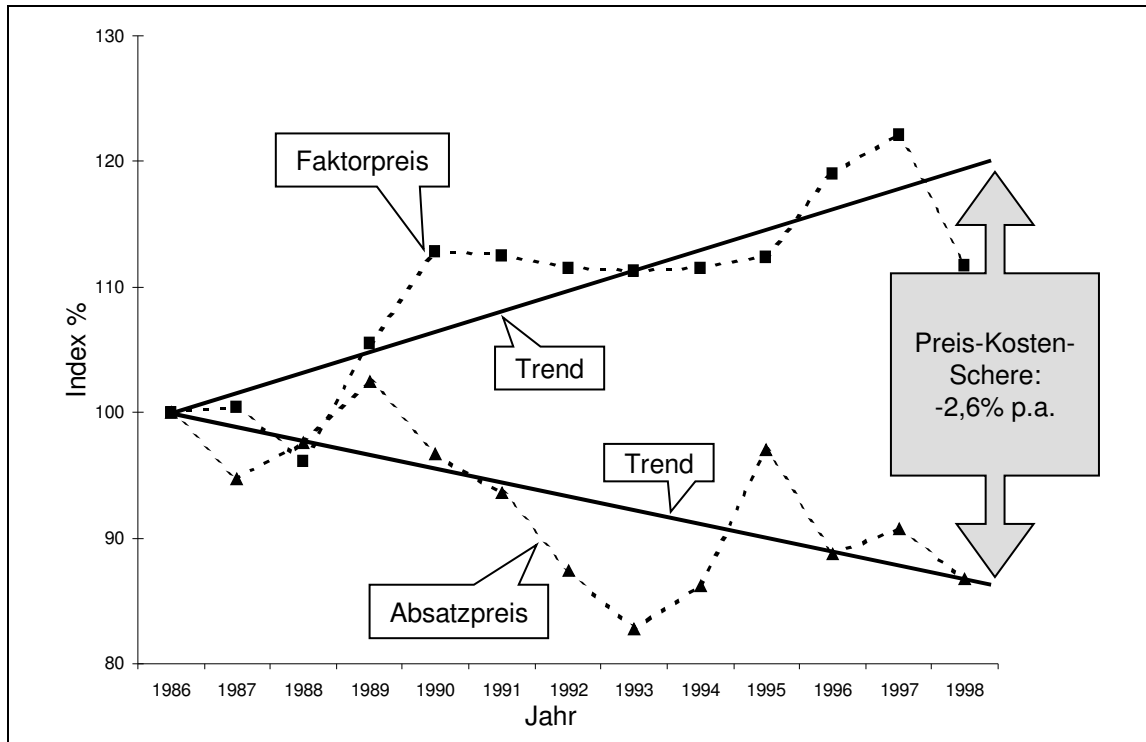


Abbildung 7: Preis-Kosten-Schere für chemische Grundstoffe 1986-1998 (HAMM 2000, S. 214)

3.1.2 Wettbewerbssituation

Heute ist die chemische Industrie in allen Industrieländern ein wesentlicher Bestandteil der Volkswirtschaft. Sie stellt einen Zweig des Grundstoff- und Produktionsgütergewerbes dar, der sich vor allem mit der Produktion von anorganischen Chemikalien und Grundstoffen (z.B. *Salzsäure, Schwefelsäure, Soda, Chlor, Natron*), organischen Chemikalien und Zwischenprodukten (*Methanol, Ethylen, PVC*), Pharmazeutika, Mineralfarben und Teerfarbstoffen, chemisch-technischen Erzeugnissen (z.B. *Linoleum, Dach-*

³⁰ Der Faktorpreis ergibt sich aus der Aggregation von 11 Kostenarten zu 6 Kostenkategorien (Rohstoffe, Energie, Material, Personal, Kapital und sonstige Kosten) und der anschließenden Indexierung (vgl. HAMM 2000, S. 205ff.).

³¹ Ein historisches Erklärungsmuster für die verschiedenen Entwicklungsstufen der chemischen Industrie beginnt mit der ‚Gründungsphase‘, gefolgt von der ‚Entwicklungsphase‘, der ‚Expansionsphase‘, der ‚Diversifikationsphase‘, der ‚Reifephase‘, welche offensichtlich Anfang der 90er Jahre erreicht wurde, und der aktuellen ‚Restrukturierungsphase‘ (vgl. FESTEL 2003, S. 27).

pappe, Lacke, Anstrichmittel, Waschmittel), Kunststoffen (z.B. Kunstharze und plastische Massen) und Chemiefasern (z.B. Nylon) befasst.

Aufgrund des außerordentlich breiten Produktspektrums besteht in der chemischen Industrie eine starke Tendenz zur internationalen *Arbeitsteilung*: Nicht jedes Land kann alle notwendigen Rohstoffe, Vor- oder Zwischenprodukte vorhalten bzw. produzieren, weshalb selbst Länder mit einer hohen Exportquote wie die Bundesrepublik Deutschland, die USA, Japan oder die Schweiz gleichzeitig relativ hohe Importaufwendungen für chemische Produkte aufweisen (vgl. ONKEN/BEHR 1996, S. 11). Wo international welche Produkte hergestellt werden, hängt dabei entscheidend von den *Standortbedingungen* der einzelnen Länder ab, welche u.a. durch die Transportsituation für Rohstoffe und Produkte beeinflusst werden (vgl. FITZER/FRITZ 1989, S. 20). So liegen beispielsweise beim Export von Düngemitteln die Niederlande und Belgien, aufgrund der günstigen Verkehrslage (Nordsee) und der dadurch guten Anbindung an die Rohstoffversorgung sowie preiswerten Möglichkeiten zum Abtransport von großen Produktmengen, mit an der Spitze. Die rohstoffarme und verkehrstechnisch weniger vorteilhaft gelegene Schweiz produziert hingegen überwiegend Produkte hoher Wertschöpfung wie Pharmazeutika oder auch Farbstoffe, die weniger transportkostensensibel sind (vgl. ONKEN/BEHR 1996, S. 12). Im internationalen *Standortwettbewerb* sind für die Kostensituation weiterhin Faktoren wie die Verfügbarkeit von Energie (Strom, Kohle, Erdgas) und Wasser oder mögliche Synergien durch die innerbetriebliche Weiterverarbeitung von Zwischen- und Nebenprodukten von entscheidender Bedeutung (vgl. FITZER/FRITZ 1989, S. 20).

Betrachtet man nur einige der eingangs erwähnten dynamischen Aspekte der Globalisierung wie beispielsweise die *europäische Integration*, die *Öffnung der osteuropäischen Märkte* oder den *Abbau von Handelshemmnissen* zwischen den (und zum Teil innerhalb der) *drei großen Wirtschaftsblöcke* amerikanischer, japanischer und europäischer Prägung, so erkennt man, dass keiner dieser Prozesse auch nur annähernd als abgeschlossen angesehen werden kann und damit auch der Druck auf die Ergebnisse von Chemieunternehmen in naher Zukunft kaum abnehmen wird (die chemische Industrie ist bereits heute eine der „globalisiertesten“ Industrien, vgl. VCI 2002a, S. 11). Die deutsche chemische Industrie ist Teil dieses Wandels, wie u.a. aus dem deutlich dynamischeren Wachstum der Auslandsinvestitionen gegenüber den Inlandsinvestitionen hervorgeht (vgl. VCI 2000, S. 20). Allerdings musste sie in Folge der Globalisierung auch Einbußen hinsichtlich ihrer Positionierung hinnehmen, denn sie ist vom weltweit größten Chemieexporteur im Jahre 1986 (Anteil am weltweiten Chemieexport: 16,7%) mittlerweile auf Platz 2 (12,2%) zurückgefallen (VCI 2000, S. 19).³² Ein Szenario mit weiterhin sinkenden Preisniveaus auf vielen angestammten Märkten und nur langsamem Abbau der vieldiskutierten Standortnachteile für in Deutschland oder Westeuropa produzierende Unternehmen erscheint daher realistisch.

³² Ein Teil dieses Effektes ist rechnerisch begründet, da vor allem in Asien neue Konkurrenten hinzugekommen sind und ihren Anteil am Weltmarkt erhöht haben.

Als ein anschauliches Beispiel für die häufig (nur pauschal) kritisierten Standortnachteile sei hier auf einen Vergleich der Kosten für eine Beschäftigungsstunde in der chemischen Industrie verwiesen, der für die alten Bundesländer in absoluten Ziffern den höchsten Wert in einem europäischen Vergleich ausweist (*Abbildung 8*); dieser Kostennachteil dürfte den Trend zur Automatisierung, auf dessen Bedeutung für die Kostenstruktur bereits hingewiesen wurde, in der chemischen Industrie weiterhin aufrechterhalten.

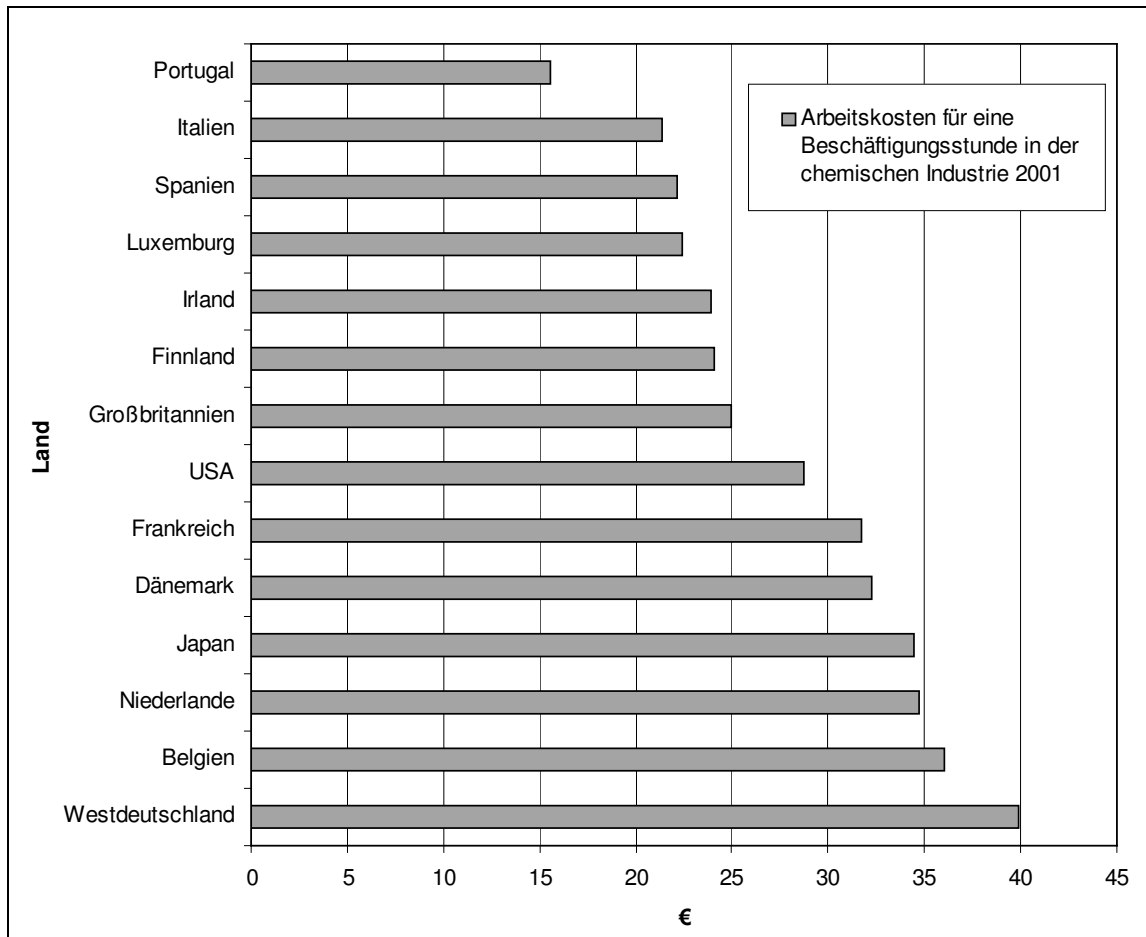


Abbildung 8: Kosten für eine Beschäftigungsstunde in der chemischen Industrie 2001 (BAVC 2002b, S. 5)

Höhere Kosten im Vergleich zu weltweiten Wettbewerbern resultieren jedoch auch noch aus anderen Ursachen, wie z.B. einer immer schärferen Umweltgesetzgebung. Hier drohen der deutschen chemischen Industrie im traditionellen Heimatmarkt, der Europäischen Union, u.a. Wettbewerbsnachteile durch den Vorschlag eines auf Europa beschränkten *Emissionshandels*, den die Europäische Union in einem Richtlinienentwurf im Oktober 2001 vorgelegt hat. Dieser dürfte zu einem bedeutenden Kostenschub für energieintensive Branchen wie die Chemie und erheblichen Benachteiligungen gegenüber außereuropäischen Wettbewerbern führen; als Folge wären eine Verlagerung der Anlageinvestitionen in andere Länder bis hin zur Vereinnahmung von „Stilllegungs-

prämien‘ durch die Schließung von europäischen Produktionsstätten und deren Verwendung als Startinvestition in außereuropäischen Ländern nicht auszuschließen (VCI 2002b, S. 18f.).

Die geschilderte Situation wirft die Frage nach der *Wettbewerbsfähigkeit*³³ und der *Profitabilität* der chemischen Industrie auf. Die Profitabilität bzw. Rentabilität einer Branche hängt nach PORTER von *fünf Wettbewerbskräften* ab, welche maßgeblichen Einfluss auf die Formulierung und den Erfolg von Wettbewerbsstrategien haben. Nachfolgend wird die Wettbewerbssituation der chemischen Industrie anhand des Porter’schen ‚5-Forces‘-Modells sowie einer Unterscheidung von chemischen Produkten in *Vor-, Zwischen- und Endprodukte* diskutiert (vgl. HAMM 2000, S. 203f.; PORTER 1992, S. 25ff.; *Abschnitt 3.1.3; Abbildung 9*):

- Eine der fünf Wettbewerbskräfte ist die *Verhandlungsmacht der Abnehmer*. Die Abnehmer der chemischen Industrie verteilen sich im Inland zu schätzungsweise $\frac{1}{4}$ auf die chemische Industrie selbst, zu $\frac{1}{4}$ auf private Verbraucher sowie zur Hälfte auf andere Industrien (vgl. AMECKE 1987, S. 140). Das umfangreiche Auslandsgeschäft der chemischen Industrie beruht auf einem globalen Kundenkreis vermutlich ähnlicher Zusammensetzung, der in der Regel durch vor Ort befindliche Produktionsstätten beliefert wird.³⁴

Korreliert man die Abnehmer mit den Produktkategorien, so ergibt sich, dass *Vor- und Zwischenprodukte* meist entweder von anderen Chemieunternehmen abgenommen oder innerhalb eines Unternehmens weiter verarbeitet werden, insbesondere wenn es sich um Produkte hoher Reaktivität handelt, von denen bei einem Transport erhebliches Gefährdungspotential ausginge (z.B. Chlor, Phosgen). Außer bei diesen *transportsensiblen Stoffen* dürfte für diese beiden Produktgruppen die *Verhandlungsmacht* der Kunden relativ ausgeprägt sein, da diese Produkte weltweit in relativ standardisierten Qualitäten verfügbar und daher die Wechselkosten für Kunden gering sind. Zugleich ist die Anzahl an Abnehmern für derartige Produkte eher begrenzt. Allerdings ist die Verwendung von Substitutionsgütern häufig nur so lange möglich, wie es sich kundenseitig um flexible Produktionsanlagen handelt, die nicht auf einen Syntheseweg beschränkt sind. Andernfalls können nur fest definierte Ausgangsstoffe eingesetzt werden. Die Kunden sind dann bei *transportkostensensiblen* Produkten nicht nur von den spezifischen Ausgangssubstanzen, sondern auch von einem Produzent in ihrer räumlichen Nähe abhängig, was wiederum die Verhand-

³³ Die Wettbewerbsfähigkeit kann als das Ergebnis der Einflussgrößen *Profitabilität, Innovationsfähigkeit* und *Kundenzufriedenheit* definiert werden (vgl. GEBERICH 1997, S. 128). Gerade die Profitabilität steht dabei als quantifizierbare Kennzahl, z.B. auf Basis von Umsatz- oder Kapitalrenditen, im Zentrum von Maßnahmen der Verbesserung der Wettbewerbsposition, die nicht selten mit Maßnahmen für ein Kostenmanagement verbunden werden.

³⁴ Beispielsweise unterhält die BASF weltweit über 100 größere Produktionsstandorte, um in der Nähe ihrer Kunden die gewünschten Produkte unmittelbar anbieten zu können.

lungsposition letzterer stärkt. Zudem profitieren die Lieferanten von dem Umstand, dass Vor- und Zwischenprodukte aufgrund ihrer geringeren Spezifität in mehrere Branchen und damit konjunkturunabhängiger verkauft werden können als Endprodukte, was besonders den Verbundunternehmen, für welche eine *Grundauslastung* der vorhandenen Kapazitäten aufgrund der zwangsläufig anfallenden Kuppelprodukte von hoher Bedeutung ist, zu Gute kommt.

Zwischen- und Endprodukte werden hingegen überwiegend an andere Industrien (z.B. Fahrzeugbau, Elektronikindustrie, kunststoffverarbeitende Industrie, Druckerei- und Vervielfältigungsindustrie, Lebensmittelindustrie) und private Verbraucher (z.B. pharmazeutische Wirkstoffe, Wasch- und Reinigungsmittel, kosmetische Erzeugnisse, Klebstoffe, Anstrichmittel) verkauft. Auch hier sind die Kunden global verteilt, und durch Abwanderungen von Abnehmerindustrien wie der Textil- oder Lederindustrie sinkt bzw. verlagert sich der Kundenstamm von Chemielieferanten aus den Industriestaaten hin zu meist weniger entwickelten Ländern mit günstigeren Produktionsbedingungen. Prinzipiell sollte für diese Produktgruppen die Anzahl an Substitutionsgütern wegen der höheren Spezifität begrenzt und die Wechselkosten für Kunden sollten entsprechend höher sein. Auch können durch eine Variation oder Weiterentwicklung der Produkte neue Kundengruppen in unterschiedlichen Branchen angesprochen werden und damit der Abnehmerkreis potentiell erweitert werden. Die Verhandlungsmacht der Abnehmer wird dadurch eingeschränkt.

- Eine weitere ‚Wettbewerbskraft‘ ist die *Verhandlungsstärke der Lieferanten*. Hier ist ein Konzentrationsprozess zu beobachten, welcher sich aus zwei Entwicklungen heraus erklärt: Einerseits wird der überwiegende Teil chemischer Produkte aus Rohölderivaten erzeugt, was für die Abnehmer eine hohe Abhängigkeit von einer sehr *kleinen Rohstoffbasis* bedeutet; zudem ist der Zugang zu Rohöl aufwändig und nicht zuletzt aus politischen Gründen erschwert. Andererseits stellt die sich an die Förderung anschließende *Rohölverarbeitung* aufgrund der signifikanten Investitionen für derartige ‚Crackeranlagen‘ (ca. 500 Mio. €) eine hohe Eintrittsbarriere dar. Daraus resultiert eine ausgeprägte Verhandlungsmacht der vorhandenen Lieferanten, welche sich auf eine überschaubare Anzahl an Staaten und Unternehmen verteilt. Vertikal bis zu den Rohstoffen integrierte Chemieunternehmen (z.B. BASF) haben hier eine entsprechend bessere Ausgangssituation als ihre nicht integrierten Wettbewerber. Dies umso mehr, als häufig die chemische Industrie sozusagen ihr ‚bester Kunde‘ ist: bezogen auf den Wert sind ungefähr zwei Drittel aller (Roh-) Stoffe, welche von der chemischen Industrie bezogen werden, chemische Produkte (AMECKE 1987, S. 140).
- Die *Bedrohung durch Ersatzprodukte* stellt ebenfalls eine ‚Wettbewerbskraft‘ dar. Bezüglich der Produktkategorien wurde bereits weiter oben ausgeführt, dass für Vor- und teilweise Zwischenprodukte die Verfügbarkeit von funktional ähnlichen Substitutionsprodukten prinzipiell größer ist als für Endprodukte. Allerdings sind die Wechselkosten in großtechnischen Anlagen auf Kundenseite, welche spezifische

Vor- und Zwischenprodukte verarbeiten und sich für ein Substitutionsprodukt – und damit in der Regel für alternative Syntheseverfahren – entscheiden, i.A. wesentlich höher als beim Ersatz eines höherveredelten Zwischen- oder Endproduktes. Dies liegt daran, dass Vor- und Zwischenprodukte aufgrund niedrigerer Absatzpreise häufiger in großtechnischen Anlagen mit höherem Investitionsaufwand gefertigt werden als Endprodukte, die meist in flexibel umrüstbaren ‚Batch-Anlagen‘ hergestellt werden.

Als Beispiel für das Zusammenwirken von erhöhter Substitutionsgefahr bei gleichzeitig hohen Wechselkosten im Bereich der Vor- und Zwischenprodukte sei der ‚Siegeszug‘ der ‚Olefin‘-Chemie gegenüber der ‚Acetylen‘-Chemie angeführt (vgl. hierzu WEISSERMEL/ARPE 1998, S. 65ff. und 101ff.).³⁵ Bis zum 2. Weltkrieg herrschte – nicht nur in Deutschland – die *Acetylenchemie* vor, welche auf der Basis des Vorproduktes *Acetylen* eine Vielzahl von Zwischenprodukten wie Lösemittel, Lackrohstoffe, Kunststoffe und Synthesefasern hervorgebracht hatte und synthesetechnisch die organische Chemie dominierte. Als Ausgangsrohstoff für die Acetylen-Herstellung diente Kohle, die unter hohem Energieaufwand mit Kalk und anschließend mit Wasser versetzt wurde. Die Synthese war energetisch ungünstig, jedoch erhielt man mit Acetylen ein breit einsetzbares, hochreaktives Vorprodukt. *Ethylen* stand damals nur als Hydrierungsprodukt von Acetylen zur Verfügung (vgl. FITZER/FRITZ 1989, S. 24).

Die in den 30er Jahren des vergangenen Jahrhunderts stark wachsende Motorisierung hatte eine steigende Nachfrage nach Fahrbenzin zur Folge, was die existierenden Erdöl-Raffinerien zur Gewinnung von zusätzlichen Kraftstoffen aus höhersiedenden (als den bisher verwendeten) Ölfractionen durch thermische Spaltung (‚Cracken‘) veranlasste. Als Nebenprodukte dieser Prozesse fielen in erheblichen Mengen *Olefine* an, die zunächst nur zur Herstellung von *Alkylat-* und *Polymerbenzin* und damit zur Qualitätsverbesserung des Benzins verwendet wurden. Mit wachsenden Raffineriekapazitäten und der Weiterentwicklung³⁶ der Crackverfahren fand die chemische Forschung im weiteren Verlauf jedoch Veredelungsmöglichkeiten für die angefallenen Olefine, welche aufgrund von Skaleneffekten zu Kostenvorteilen führten und die *Acetylenchemie* in Bedrängnis brachten. Im Jahr 1974 lagen die Herstellkosten für das wichtigste Olefin petrochemischer Herkunft, *Ethylen*, mit ca. 0,12 bis 0,15 € in etwa 50% unter denen von petrochemisch hergestelltem Acetylen und etwa 100% unter denen von elektrothermisch aus Kalk und Koks hergestelltem Acetylen. Diesen günstigeren Kosten stand bzw. steht allerdings der apparative

³⁵ Unter Olefinen wird eine Klasse von Kohlenwasserstoffmolekülen verstanden, welche mindestens eine Kohlenstoff-Kohlenstoff-*Doppelbindung* aufweisen. Acetylen (Ethin) ist ein Kohlenwasserstoffmolekül mit zwei Kohlenstoffatomen, das zwischen den beiden Kohlenstoffatomen eine *Dreifachbindung* enthält und reaktiver ist als Olefine.

³⁶ Neuartige Katalysatorsysteme zur Monomer-Herstellung und zur Polymerisation sowohl von Olefinen als auch von abgeleiteten Monomeren.

Aufwand von ethylenbasierten Synthesen entgegen, da diese aufgrund der geringeren Reaktivität meist aufwändiger durchzuführen sind als solche auf Basis von Acetylen (vgl. FITZER/FRITZ 1989, S. 24). Mittlerweile werden viele großvolumige Zwischenprodukte wie *Acetaldehyd*, *Vinylchlorid*, *Vinylacetat* oder chlorierte Lösungsmittel wie *Tri-* und *Perchlorethylen* – früher fast ausschließlich aus Acetylen hergestellt – in Neuanlagen nach großtechnischen, ausgereiften Verfahren aus Olefinen gefertigt. Diese sind heute die Ausgangsbasis für rund 30% aller Petrochemikalien und aufgrund der wesentlich gefahrloseren Handhabung und der günstigeren Energiebilanz bei der Herstellung dem Acetylen in vielerlei Hinsicht ‚überlegen‘.

Gleichwohl hat die Olefinchemie das Acetylen nicht vollständig ersetzen können. So existieren große, steuerlich abgeschriebene Anlagen, deren Kapazitäten den Bedarf an einem Produkt decken können und die beim Übergang zu einer anderen Rohstoff- bzw. Vorproduktbasis durch neue Anlagen mit hohen Investitionskosten und zumeist verfahrenstechnisch schwierigen Prozessen ersetzt werden müssten.³⁷ Auch bei Molekülen, bei deren Synthese die Acetylenkomponente bezogen auf das Gewicht – und damit auf die Materialkosten – nur einen kleinen Anteil ausmacht, das Verfahren aber durch die höhere Reaktivität und Kohlenstoff-Selektivität des Acetylen leichter durchführbar ist, kann die Acetylenchemie nach wie vor sinnvoll eingesetzt werden.³⁸ Auch gibt es teilweise Produkte (z.B. *1,4-Butandiol*), für die noch keine alternativen Verfahren mit vergleichbaren Investitionskosten und Ausbeuten gefunden wurden. U.a. aus den genannten Gründen werden daher auch heutzutage in Ländern mit billigen Kohle- und Energievorkommen (z.B. Australien, Indien, Südafrika) noch Neuanlagen auf Acetylenbasis errichtet.

- Die *Bedrohung durch neue Konkurrenten* bedeutet eine weitere Wettbewerbskraft. Durch das Auftreten neuer Wettbewerber vornehmlich aus Osteuropa und Asien entstanden in der chemischen Industrie bei begrenztem Nachfragerwachstum weltweit Überkapazitäten. Im resultierenden Preiswettbewerb musste die chemische Industrie in Deutschland und Westeuropa Nachteile aufgrund der Faktorpreise und aufgrund anderer Standortnachteile wie beispielsweise der bereits diskutierten Umweltschutzaufgaben hinnehmen. Im Zuge der sich annähernden Standards sollte die Bedrohung durch neue Wettbewerber aber tendenziell abnehmen, da einerseits die *Eintrittsbarriere* aufgrund der Investitionskosten für größere Anlagen noch relativ (zur Kapitalkraft der Unternehmen) hoch ist und andererseits sich die *Amortisationsdauer* aufgrund des Preiswettbewerbs verlängert hat. Darüber hinaus sollten *Skalen-* und *Erfahrungskurveneffekte* die Position angestammter Produzenten stärken.

³⁷ Als Beispiel können die *Acrylsäure*-Herstellung durch *Carbonylierung* von Acetylen und die *Ethylen-Acetylen*-Verbundverfahren zur Herstellung von *Vinylchlorid* angeführt werden.

³⁸ Dies trifft z.B. auf die Herstellung von *Vinylestern* höherer Carbonsäuren, *Vinylether* höherer Alkohole sowie *N-Vinyl-Verbindungen* zu.

Wahrscheinlicher als der Eintritt neuer Marktteilnehmer ist, dass sich bei bereits etablierten, horizontal oder vertikal integrierten Unternehmen ehemalige *Randaktivitäten* zu *Kernkompetenzen* weiterentwickeln und in Märkte von Unternehmen eindringen, welche diese Aktivitäten schon immer als Kernkompetenz betrieben haben. Beispielsweise haben mehrere deutsche Chemieunternehmen vormalige Randaktivitäten wie die Herstellung von Zwischenprodukten für die pharmazeutische Industrie (*Fine Chemicals*) zu erfolgreichen Geschäftsbereichen (Wacker AG) oder Kernkompetenzen (Degussa AG) entwickelt.

- Die letzte der genannten ‚5 Wettbewerbskräfte‘ ist die *Rivalität unter den bestehenden Wettbewerbern*. Sie resultiert u.a. aus der *Konzentration* der Anbieter, ihrem *Größenunterschied*, dem *Marktwachstum*, den *Wechselkosten* und den *Marktaustrittshürden*. Diese Faktoren müssen zwischen den verschiedenen Produktklassen differenziert werden (vgl. *Abschnitt 3.3.1*), da durch sie die Branche in unterschiedlichen Ausmaß beeinflusst wird, so dass hier nur generelle Aussagen getroffen werden können. Im Allgemeinen nimmt die Anzahl bestehender Anbieter ab, wie aus den zahlreichen Fusionen und Übernahmen der letzten Jahre hervorgeht; diese lösten einen Trend zu noch größeren Einheiten aus, der zu einer abnehmenden Rivalität führen sollte. Die *Wechselkosten* der Kunden zu einem alternativen Anbieter hängen dabei stark von den bezogenen Produktgruppen ab und steigen von den Commodities zu den technisch anspruchsvollen und spezialisierten Funktionalitäten deutlich an (vgl. WILLERS/JUNG 2000, S. 1376). Der gleiche Grund, d.h. die starke technische Spezialisierung, bindet umgekehrt die Lieferanten an ihre Kunden und sollte die Austrittsbarrieren eher hoch erscheinen lassen, da die Aktiva der chemischen Industrie einen tendenziell niedrigen Liquidationswert aufweisen, die Fixkosten eines Austritts u.a. aufgrund von Umweltbestimmungen ebenfalls hoch sein sollten und gerade bei Verbundunternehmen die Aufgabe eines Geschäftsbereiches gegebenenfalls unmittelbare Auswirkungen auf die Liefer- oder Abnehmersituation anderer Geschäftsbereiche haben kann.

Die Ausprägung dieser 5 Wettbewerbskräfte und die veränderten Rahmenbedingungen durch zunehmend gesättigte Märkte haben zahlreiche Chemie-Unternehmen in der jüngeren Vergangenheit veranlasst, die überwiegend vorherrschenden Strategien der *Qualitäts-* und *Leistungsführerschaft* zu überprüfen und teilweise – unter erheblichen Auswirkungen auf Organisationsstruktur und Produktportfolio – zu revidieren bzw. zu modifizieren. Manche Unternehmen haben – im Sinne eines *strategischen Kostenmanagements* – durch eine *Verringerung der Wertschöpfungsstufen* eine Verbesserung ihrer Kostensituation angestrebt (‚Kernkompetenzen‘). Andere haben durch *Diversifizierung* eine Beibehaltung bzw. Erhöhung der Komplexität – und damit zunächst auch der Kosten – bewusst in Kauf genommen. Der folgende Abschnitt geht auf diese *strategischen Optionen* näher ein.

3.1.3 Strategische Optionen

Auf das beschriebene Wettbewerbsumfeld hat die chemische Industrie mit zum Teil deutlichen Veränderungen und Neuausrichtungen ihrer Strategien reagiert. Als wesentliches Unterscheidungsmerkmal der *strategischen Optionen* und der durch sie geprägten Unternehmen lässt sich der Grad ihrer *vertikalen* und *horizontalen Integration* anführen (vgl. FREUND 1975, S. 38; *Abbildung 9*).

Die erste von zwei idealtypischen Ausprägungen der Integrationsstrategien beschreibt die von den Rohstoffen *vertikal* über alle Veredelungsstufen hinweg bis zum Endprodukt integrierten Unternehmen (*Typ A*). Diese versuchen, aus der wertkettenübergreifenden Abwicklung ihrer Geschäftsprozesse Kostenvorteile zu erzielen. Häufig geht diese Strategie mit einer ausgeprägten *horizontalen Integration* einher, welche den – bei chemischen Produktionsprozessen zwangsläufigen – Anfall mehrerer Produktarten (*Kuppelproduktion*) zur Synergiegewinnung ausnutzt (*Verbundproduktion*). Die optimale Abstimmung der Kapazitäten und Ausbeuten der einzelnen Verfahren trägt damit entscheidend zur Wirtschaftlichkeit eines derartigen Verbundes bei, dessen Planung und Steuerung allerdings angesichts der Vielfalt der eingesetzten Stoffe und anfallenden Produkte mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist.

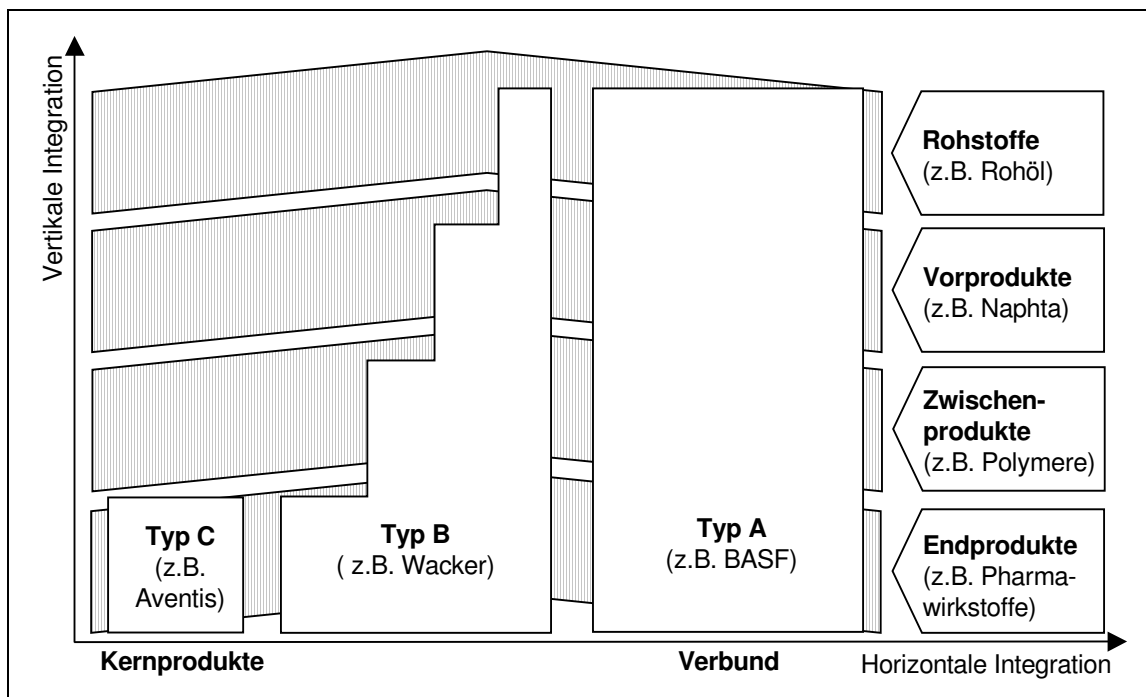


Abbildung 9: Idealtypische Ausprägungen vertikaler und horizontaler Integrationsstrategien (Typ A und Typ C) sowie Mischform (Typ B)

Die Beherrschung derartiger Verbundsysteme war immer eine Spezialität der deutschen chemischen Industrie. Wegen ihrer komplexen und starren Produktionsstruktur galten sie in den letzten Jahrzehnten allerdings global eher als Auslaufmodell. Mittlerweile

erlauben jedoch moderne Steuerungssysteme zusammen mit softwarebasierter Modellierung der zugrundeliegenden Stoffsysteme eine flexible, effiziente Aussteuerung eines Verbundes. Dadurch kommen seine inhärenten Vorteile wieder zum Tragen: *keine Transportkosten, niedrige Lagerkosten* sowie *Synergien* in der Nutzung von Energien, Nebenanfällen und Nebenanlagen. Dies hat zu einer Renaissance des Verbundgedankens geführt. Die BASF produziert beispielsweise im Verbund aus wenigen Rohstoffen einige Dutzend Vorprodukte; daraus stellt sie mehrere Hundert Zwischenprodukte her, aus denen in verzweigten Wertschöpfungs- und Veredlungsketten rund 8.000 unterschiedliche Erzeugnisse, wie z.B. Kunststoffe, Frostschutzmittel oder Vitamine, entstehen. Aufgrund der guten Erfahrungen baut sie ihr Verbundnetzwerk auch an anderen Standorten aus.

Im Gegensatz hierzu beschreibt *Typ C* solche Unternehmen, welche sich nicht durch Diversifikation und komplexes Verbundmanagement, sondern durch *Konzentration* auf einzelne *Wertschöpfungsstufen* und meist *hoch-funktionelle Produkte* (z.B. pharmazeutische Wirkstoffe, bestimmte Pflanzenschutzmittel) auszeichnen. Die Bildung dieses Typs gewann insbesondere in den 90er Jahren an Dynamik, als zahlreiche traditionelle Chemie-Konglomerate Abspaltungen oder Fusionen von Geschäftsbereichen mit Chemie-, Agro- oder Pharmaschwerpunkten vornahm (vgl. FELCHT 2000, S. 75ff.).³⁹ Viele der notwendigen Zwischenprodukte werden in diesem Geschäftsmodell von externen *Zulieferern* bereitgestellt und dann in diejenigen Syntheseprozesse eingebracht, für welche die Unternehmen ihr spezifisches *Schlüsselwissen*⁴⁰ vorhalten. Gerade in zunehmend gesättigten Märkten und Zeiten schwächerer Konjunktur erwarten derart aufgestellte Unternehmen, aufgrund ihrer Fokussierung auf ertragsstarke Kerngeschäfte und der reduzierten Komplexität, Wettbewerbsvorteile gegenüber ihren umfangreicher integrierten Konkurrenten, die nicht zuletzt auch von den Kapitalmärkten honoriert werden sollen. Allerdings kann dieser Unternehmenstyp dem nicht unerheblichen Risiko unterliegen, dass seine Rendite sowohl zwischen dem Preisdruck der oft reifen und oligopolen Endmärkte als auch wegen der Preismacht von ebenso oligopolen Rohstoffversorgern und Zulieferern verringert bzw. nur noch durch eine immer aufwändigere

³⁹ Beispielhaft seien die Fusionen oder Übernahmen deutscher Chemie-Unternehmen im Jahr 1999 mit einem Transaktionswert von über 1 Mrd. US\$ aufgeführt: *Hoechst AG* und *Rhone Poulenc S.A.* fusionierten zu *Aventis S.A.* (43 Mrd. US\$) mit führender Stellung im Pharma- und Life Science-Bereich; durch die Fusion der *Veba AG* mit der *Viag AG* zur *E.ON AG* (13,4 Mrd. US\$) entstand aus der *Degussa-Hüls AG* und der *SKW Trostberg AG* die *Degussa AG* als ein führendes Spezialchemie-Unternehmen; die *Linde AG* übernahm *AGA Gas AB* (3,7 Mrd. US\$) und verstärkte seine Position im Industriegasemarkt; die *Bayer AG* wurde zum weltweit größten Anbieter von PUR-Rohstoffen durch Übernahme der *Lyondell Chemical Co.* (2,4 Mrd. US\$); die *Herberts GmbH* wurde von *E.I. DuPont de Nemours Co.* übernommen (1,9 Mrd. US\$), *Dupont* wurde führender Anbieter von Automobillacken; die *SKW Trostberg AG* übernahm *Th. Goldschmidt AG* (1,1 Mrd. US\$) und steigert ihre Bedeutung in der Spezialchemie. Eine weitere bedeutende Fusion war die Zusammenlegung der Polyolefin-Aktivitäten von *BASF AG* und *Royal Dutch/Shell Group of Companies*, die das Joint-Venture (50:50) zum weltgrößten Hersteller von Polypropylen machte.

⁴⁰ Dabei handelt es sich um ein ‚intelligentes‘ Ressourcenbündel, welches Produkte und Prozesse einschließt und die Imitation durch Wettbewerber erschwert (vgl. DEUTSCH ET AL. 1997, S. 20f.).

Absicherung seines – auf wenige Veredelungsstufen konzentrierten – Schlüsselwissens abgesichert werden kann.

In der Praxis existieren zahlreiche *Mischformen* zwischen den erwähnten idealtypischen Ausprägungen, die beispielhaft durch den *Typ B* charakterisiert werden sollen. Dabei handelt es sich insbesondere um jene Unternehmen, welche sich in Teilbereichen ihres Portfolios durchaus auf einzelne Wertschöpfungsstufen und spezielle, hoch-funktionelle Produkte fokussieren, andererseits aber auch einen maßgeblichen Anteil an vertikal und/oder horizontal integrierten Geschäftsbereichen besitzen. Ein anschauliches Beispiel hierfür stellt die WACKER-Chemie dar, ein globales Chemieunternehmen mit 3,5 Mrd. € Umsatz und Sitz in München: Ihr Siliziumverbund beliefert sowohl den ‚Geschäftsbereich Halbleiter‘, der sich durch eine stark vertikale Integration vom Rohstoff Siliziumdioxid bis hin zur Reinstsiliziumscheibe für die Chip-Produktion auszeichnet, als auch den ‚Geschäftsbereich Silicone‘, der mit über 3.000 Produkten, die von Grundchemikalien bis hin zu Spezialprodukten in nahezu allen industriellen Marktsegmenten Verwendung finden, eine stark horizontale Integration aufweist.

Unabhängig davon, für welche der aufgezeigten strategischen Optionen sich ein chemisches Unternehmen entscheidet, kann ein produktorientiertes Kostenmanagement helfen, die jeweilige Kostensituation zu verbessern. Auch wenn der Grad der vertikalen und horizontalen Integration mit der *Anzahl* an Prozessen und Produkten und damit der Komplexität korreliert, hängt das Potential des produktorientierten Kostenmanagements insbesondere von der *Struktur* und den *Herstellverfahren* chemischer Produkte ab (vgl. *Abschnitt 3.3*).

3.1.4 Ausgewählte Kostenschwerpunkte

Ein Kostenmanagement in der chemischen Industrie muss in der Umsetzung auf die bedeutendsten Kostenarten fokussiert werden. Neben den später ausführlich diskutierten produktorientierten Kostensenkungsmöglichkeiten soll in diesem Abschnitt daher besonders die Bedeutung der *Kapitalkosten*, der *Forschungs- und Entwicklungskosten* sowie der *Materialkosten* hervorgehoben werden.

Die chemische Industrie zeichnet sich durch einen hohen *Kapitalbedarf* aus, was als wesentlicher Grund für den wirtschaftlichen Erfolg von großen Chemieunternehmen angesehen werden kann, da sie sich durch eine vergleichsweise stärkere Kapitalkraft im Vergleich zu ihren kleineren Wettbewerbern auszeichnen (ONKEN/BEHR 1996, S. 15).⁴¹

⁴¹ Allerdings darf nicht übersehen werden, dass auch mittlere und kleinere Unternehmen in der Chemiewirtschaft eine wichtige Rolle spielen, gerade in Nischenbereichen und bei Produkten mit einer hohen Wertschöpfung (z.B. Spezialchemikalien, Feinchemikalien; vgl. *Abschnitt 3.3.1*). Beispielhaft seien hier Produkte wie Analysesubstanzen, Diagnostika, Aromastoffe, Katalysatoren, Adsorptionsmittel oder spezielle Kunststoffe aufgeführt. Auch wenn sich unter den weltweit 10 größten Chemieunternehmen drei

Hauptgrund für den hohen Kapitalbedarf sind die Investitionen⁴² in Sachanlagen und die daraus resultierenden hohen Kapitalkosten (Abschreibungen, kalkulatorische Zinsen); insbesondere Verbundproduktionen sind nur durch einen hohen Einsatz von Investitionskapital darstellbar. Zudem sind in vielen Bereichen der chemischen Industrie spezielle Erfahrungen in der *Herstellung der Produkte* eine notwendige Voraussetzung für Konkurrenzfähigkeit und wirtschaftlichen Erfolg: Dies gilt nicht nur für Spezialprodukte wie Farbstoffe, Pharmazeutika und Photochemikalien, sondern auch für zahlreiche *Verfahren* zur Erzeugung von Zwischenprodukten, wie die Oxosynthese, Hydrierungen und die Produktion von Peroxiden, welche zudem noch aufwändiger Sicherheits- und Umweltschutzmaßnahmen bedürfen.

Nationale Märkte sind für derartige Produkte und Technologien oft zu klein; ein *weltweiter Vertrieb* benötigt aber oft eigene Produktionsstätten im Ausland, um lange Transportwege zu vermeiden. Dies hat in den 90er Jahren insbesondere im Ausland zu dynamisch ansteigenden Sachanlageinvestitionen geführt. Der schnelle technische Fortschritt führt darüber hinaus zu einem kürzeren Lebenszyklus der kapitalintensiven und häufig stark automatisierten Anlagen. Arbeitsintensive Prozesse hingegen werden in der chemischen Industrie immer seltener (vgl. FITZER/FRITZ 1989, S. 6).

Der weltweite *Innovationswettbewerb* zwingt die chemische Industrie weiterhin zu hohen *Forschungs- und Entwicklungsausgaben*, welche für die deutsche chemische Industrie im Jahr 2001 7,3 Mrd. € betragen⁴³; bemerkenswert ist dabei auch der hohe Eigenfinanzierungsanteil von etwa 97,2% (vgl. VCI 2002b, S. 13). Für weniger kapitalstarke Unternehmen können die kontinuierliche Weiterentwicklung von Produkten und Verfahren, eine erfolgreiche Neuentwicklung eines Wettbewerbers oder der Fehlschlag einer aufwändigen Eigenentwicklung zu einer existenziellen Bedrohung werden. Ein Forschungsaufwand in Höhe von 5% des Umsatzes kann dabei als branchentypischer Wert aufgefasst werden; in besonders forschungsintensiven Unternehmen kann der Wert leicht auf das dreifache ansteigen.

Nachdem jedoch die Phase der *Substitution* von Naturprodukten durch chemische Erzeugnisse (z.B. Farbstoffe, Arzneimittel, Textilfasern) im 20. Jahrhundert weitgehend abgeschlossen wurde und die Anzahl wegweisender Erfindungen und Verfahrensverbesserungen ebenfalls stark *abnimmt* (z.B. Erfindung des *Penicillin* und des *PVC*, der *Ammoniaksynthese* nach *Haber-Bosch* oder der *Fischer-Tropsch-Synthese*), findet die

deutsche befinden (BASF, Bayer, Degussa), so haben die kleineren und mittleren Unternehmen (weniger als 500 Beschäftigte) der chemischen Industrie in Deutschland einen Anteil von 90% an den rund 1750 Chemiebetrieben (VCI 2002a, S. 9). Sie beschäftigen mehr als 34% der Chemie-Arbeitnehmer und sind ebenfalls zu 34% am gesamten deutschen Chemieumsatz beteiligt.

⁴² Die Investitionsquote der deutschen chemischen Industrie betrug im Jahr 1999 über 10% (inländische und ausländische Investitionen bezogen auf den Gesamtumsatz, einschließlich Handels- und fachfremde Umsätze; vgl. VCI 2001, S. 93).

⁴³ Weiterhin zeigen die Erhebungen des VCI, dass die Unternehmen der deutschen chemischen Industrie jährlich mindestens 3 Mrd. € für Forschung und Entwicklung im Ausland aufwenden (vgl. 2002a, S. 14).

chemische Industrie mittlerweile kaum noch ‚wirklich neue‘ Substanzen (vgl. AMECKE 1987, S. 31). Das Hauptaugenmerk liegt nun immer mehr auf neuen oder modifizierten Anwendungen von prinzipiell *bekannt* Stoffen und deren *Strukturen* (z.B. Naturstoff-derivate für pharmazeutische Anwendungen; Nanostrukturen) sowie neuen bzw. verbesserten *Verfahren* (z.B. Gentechnik, Biotechnologie).

Ebenfalls hohe Bedeutung für die Ertragslage der chemischen Industrie besitzen die *Rohstoff-* und *Energiekosten*.⁴⁴ Zusammen sind sie für etwa 40 bis 60% der Herstellkosten von chemischen Produkten verantwortlich. In der Vergangenheit ist es hinsichtlich der wichtigsten Rohstoffgruppe, den fossilen Rohstoffen, durch die flexible Nutzung der jeweils günstigsten Ausgangsmaterialien (Kohle, Erdöl, Erdgas; vgl. *Abschnitt 3.1.2*) sowie durch ständige Verfahrensverbesserungen gelungen, den durch gestiegene Beschaffungspreise verursachten Kostenanstieg zu dämpfen (vgl. AMECKE 1987, S. 21). Der Trend zu höheren Rohstoff- und insbesondere höheren Energiekosten hält jedoch ungebrochen an, und die Volatilität der Rohstoffpreise – nicht zuletzt aufgrund politischer Gegebenheiten (Krisensituationen, Energiesteuern) – erschwert Kostenprognosen. Ein wichtiger Aspekt des produktorientierten Kostenmanagements ist daher die Senkung der Rohstoff- bzw. Materialkosten, z.B. durch Bildung von Plattformen (vgl. *Abschnitt 5.2.1.3*).

⁴⁴ Im Jahr 1987 war die chemische Industrie z.B. mit 24% am Stromverbrauch der gesamten Industrie der BRD beteiligt.

3.2 Produktentwicklung in der chemischen Industrie

Für die Konzeption und Durchführung eines produktorientierten Kostenmanagements ist ein Verständnis der Aufgaben und Prozesse der Forschung und Entwicklung von hoher Bedeutung. Diese sollte nicht nur *Innovationen* im Produkt- und Prozessbereich *entwickeln*, sondern die Entwicklungsergebnisse auch möglichst frühzeitig an *den marktseitig zulässigen Kosten ausrichten*. In diesem Abschnitt werden daher die wichtigsten *Begrifflichkeiten*, die *Aufgaben* und die *Abläufe* der *Forschung* und *Entwicklung* vorgestellt.

3.2.1 Begriffliche Abgrenzung

3.2.1.1 Innovation und Invention

Unter einer *Innovation* wird i.A. das außer- und innerbetriebliche *Umsetzen* von neuen *Produkten* sowie von technischen und organisatorischen *Verfahren* in die *Marktreife* und deren *Einführung in den Markt* verstanden; sie werden durch das bewusste Erarbeiten neuer Erkenntnisse mit Hilfe der betriebliche *Forschung* und *Entwicklung* (F&E) erarbeitet. Dabei lässt sich der Begriff ‚Innovation‘ unterschiedlich weit fassen: So umschreibt die *Innovation im weiteren Sinn* die mit der Entstehung und Umsetzung neuer Ideen einhergehenden *Prozesse*, welche von der Marktbeobachtung bis in die Wachstums- und Reifephase des Produktlebenszyklus reichen können (vgl. STAUDT/KRAUSE 2001, S. 175; *Abbildung 11*). Im *engeren Sinn* wird unter Innovation hauptsächlich die *Markteinführung* eines neuen Produkts oder Verfahrens auf der Grundlage einer schon vorliegenden Erfindung bezeichnet (vgl. BROCKHOFF 1999, S. 37).

Als Auslöser von Innovationen auf chemischen Gebieten lassen sich prinzipiell drei Faktoren identifizieren (vgl. FELCHT 2000, S. 17; *Abbildung 10*):⁴⁵

- *Market Pull*,
- *Society Demand* und
- *Technology-Push*.

⁴⁵ Auf die eigentlichen Erfolgsfaktoren eines chemischen Innovationsprozesses und diesbezügliche Schwierigkeiten soll hier nicht eingegangen werden, da sie aus der Perspektive des Kostenmanagements von nachrangiger Bedeutung sind; für einen Überblick vgl. hierzu BAMFIELD 1996, S. 98ff. sowie STAUDT/KRAUSE 2001, S. 176ff.

Market Pull beschreibt die Impulse von spezifischen Nachfragemärkten auf Unternehmen und ihre F&E-Abteilungen, welche – angeregt von aktuellen oder potentiellen Bedürfnissen – nach Problemlösungen suchen (vgl. WEISENFELD 2001, S. 374). *Society Demand* umfasst ebenfalls nachfrageinduzierte, jedoch eher unscharf formulierte gesellschaftliche Anforderungen und Bedürfnisse (z.B. Ausstieg aus der Chlor-Chemie). Mit *Technology Push* wird die Suche nach Anwendungen und Kunden für von den Unternehmen aus interner Motivation erstellte Entwicklungen umschrieben; für diese Entwicklungen besteht aufgrund ihres meist hohen Innovationsgrades – im Gegensatz zu den vom ‚Market-‘ und ‚Society-Demand‘ induzierten Produkten – zwar ein erhöhtes Marktrisiko, andererseits aber auch ein geringerer Wettbewerbsdruck (vgl. WEISENFELD 2001, S. 374).⁴⁶

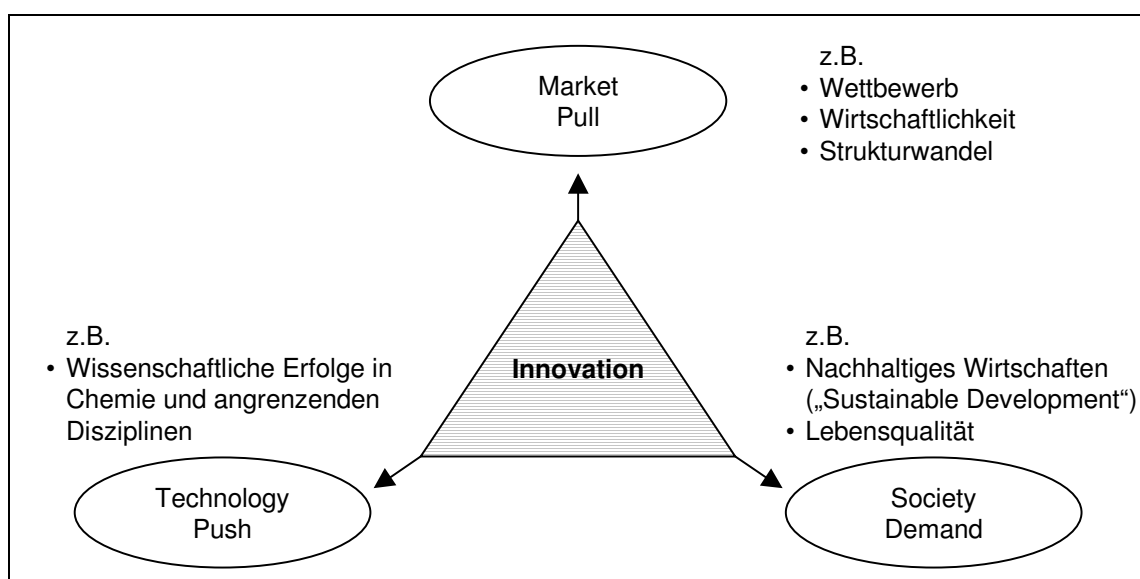


Abbildung 10: Die drei wesentlichen Auslöser und Triebkräfte für Innovationen (in Anlehnung an FELCHT 2000, S. 17)

Eine analytische Betrachtung der einzelnen Prozessschritte einer ‚Innovation im weiteren Sinn‘ macht weiterhin die begriffliche Abgrenzung von der *Invention* notwendig (vgl. Abbildung 11). Die *Invention* ist ein Teilprozess der ‚Innovation im weiteren Sinn‘ und steht ganz am Anfang einer Entwicklung. Sie reicht von jenen Phasen des Produktlebenszyklus, die mit der markt- und technologie-seitigen Umfeldanalyse beginnen (Beobachtungszyklus), bis hin zum Prototypenbau bzw. dem Technikumversuch eines entwickelten chemischen Stoffes.⁴⁷ Auf diesen *Inventionsprozess* folgt anschließend der

⁴⁶ Beispielsweise wurden Polyurethan-Klebstoffdispersionen ursprünglich für die Schuhindustrie als Ersatz für lösemittelhaltige Klebstoffe entwickelt, setzten sich dann jedoch hauptsächlich als innovative Lösung für Anwendungen in der Automobil- und Möbelindustrie durch (FESTEL 1999, S. 686).

⁴⁷ Kostenseitig zeichnet sich der Inventionsprozess – gerade in der Chemie mit traditionell hohen Forschungs- und Entwicklungskosten – durch einen signifikanten Kostenanfall ohne gleichzeitige Erlöse aus, wohingegen eine Innovation in der Regel auch das Erwirtschaften von Erträgen beinhalten sollte.

Innovationsprozesses im engeren Sinn; zusammen ergeben beide den *Innovationsprozess im weiteren Sinn* (vgl. STAUDT/KRAUSE 2001, S. 176; BÜRGELE ET AL. 1996, S. 14).

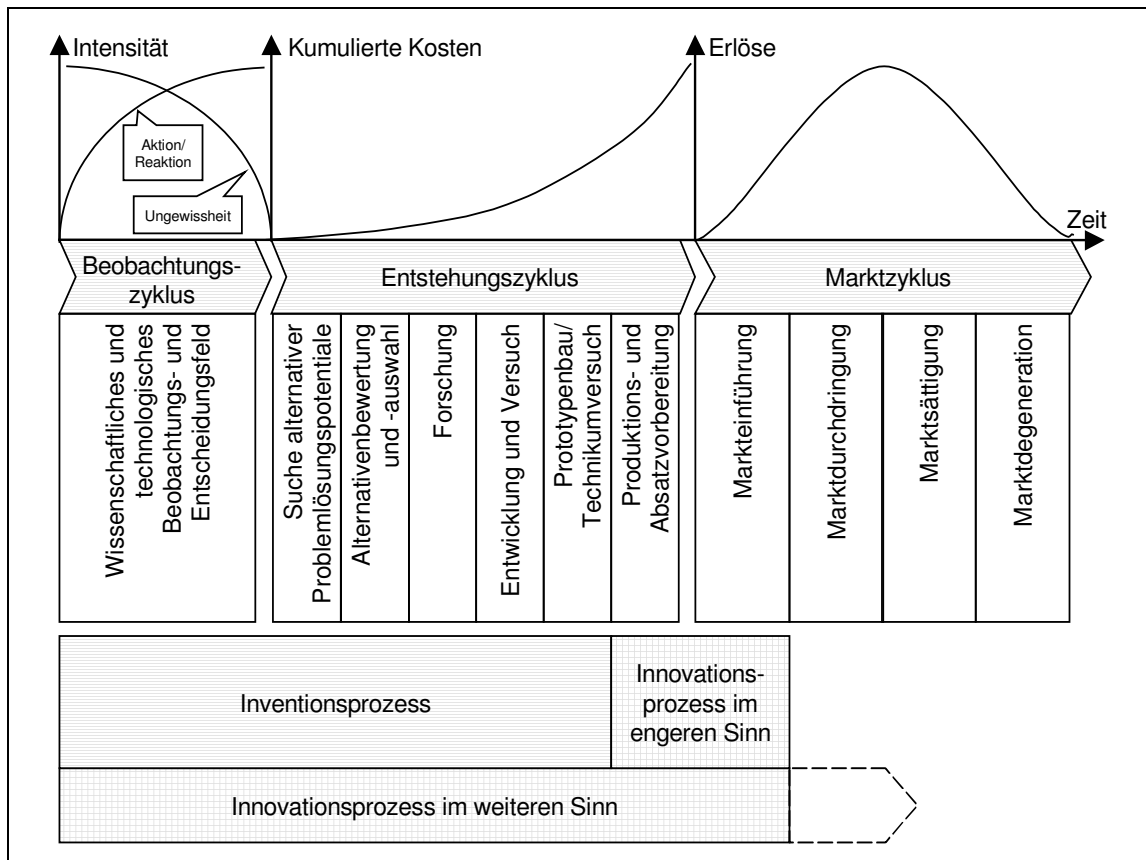


Abbildung 11: Prozessmodell des Produktlebenszyklus und zugehörige Phasen von Inventions- und Innovationsprozessen (in Anlehnung an STAUDT/KRAUSE 2001, S. 176)

In stark prozessorientierten Branchen wie der chemischen Industrie haben nicht nur die *Produktinnovationen*, sondern auch die *Prozessinnovationen* große Bedeutung. Sie sind nicht nur häufig Auslöser von bzw. Voraussetzung für Produktinnovationen, sondern ermöglichen in vielen Fällen erst den kommerziellen Erfolg von Produkten, indem sie neue, kostengünstigere Fertigungsverfahren möglich machen. Deswegen gehört z.B. die prozessorientierte Suche nach neuen, effizienteren Syntheseverfahren (für bereits existierende Produkte) auch zu den Hauptaufgaben der chemischen Forschung und Entwicklung. Beispielsweise verhalf erst die *Haber-Bosch-Synthese* des Ammoniaks, welche Anfangs des 20. Jahrhunderts durch neue Werkstoffe die für diesen Syntheseweg notwendigen Druck- und Temperaturverhältnisse ermöglichte, der Düngemittelherstellung zum Durchbruch. Eine Grundlage für ein erfolgreiches Management von Innovationen in prozessorientierten Branchen ist daher auch ein *strategisches Technologiemanagement*, welches durch Prozessinnovationen frühzeitige Produkt- oder Verfahrensänderungen möglich machen soll. Dieses muss sich an folgenden drei Kriterien orientieren (vgl. SAAD ET AL 1991, S. 89):

- Die für das Unternehmen und seine Geschäftsfelder *relevanten Technologien* müssen *erkannt* und nach ihrer Lebenszyklusphase und ihrer strategischen Bedeutung *eingestuft* werden.
- Die Technologien mit hoher *strategischer Bedeutung* müssen *beherrscht* und zum Zweck hoher Wettbewerbsdifferenzierung *weiterentwickelt* werden.
- Die Technologien müssen in Abstimmung mit anderen markt- und wettbewerbsrelevanten Leistungsbereichen des Unternehmens *strategisch eingesetzt* werden.

Ein erfolgreiches Innovationsmanagement kann weiterhin nur dann dauerhaft etabliert werden, wenn der Innovationsprozess zu einem integrativen und dauerhaften Prozess des Unternehmens wird, indem einerseits neue, z.B. ‚prozessinnovative‘ Produktkostensenkungen und andererseits ‚produktinnovative‘, wertsteigernde Sachmerkmale kontinuierlich eingebracht werden (vgl. SEIDENSCHWARZ 1993, S. 99). Im Rahmen des hier diskutierten produktorientierten Kostenmanagements unterliegen Produktinnovationen schließlich Zielkostenaspekten, so dass phasenbezogene Kostenbetrachtungen vorzunehmen sind: *Kostenprognosen* im Entscheidungsprozess einer Produktentwicklung und *Nachhalten der Kostenziele* im Entwicklungsprozess⁴⁸, in der Überleitung und während des Produktionsprozesses sowie in den nachgelagerten Phasen (vgl. GRABHOFF/GRÄFE 1997, S. 16f.). Diese sind in den Entwicklungsprozess zu integrieren und durch eine ‚entwicklungsbegleitende Kalkulation‘ zu unterstützen (vgl. *Abschnitt 6.2.2*).

3.2.1.2 Forschung und Entwicklung

Unter *Forschung* und *Entwicklung* versteht man die Suche nach neuen Erkenntnissen unter Anwendung wissenschaftlicher Methoden und in geplanter Form. Beide sind Teilphasen des Inventionsprozesses bzw. des Innovationsprozesses im weiteren Sinn (vgl. BROCKHOFF 1999, S. 38; *Abbildung 11*). Als *Forschung* wird der generelle *Erwerb* neuer Kenntnisse, als *Entwicklung* deren erstmalige konkretisierende *Anwendung* und praktische *Umsetzung* bezeichnet; *neu* ist in diesem Zusammenhang individuell bzw. subjektiv (aus Kundensicht) zu verstehen (vgl. BROCKHOFF 1999, S. 48). Weiterhin kann die wissenschaftliche Forschung in eine *Grundlagenforschung* sowie in eine *angewandte Forschung* unterschieden werden (vgl. BINDER 1998b, S. 13): Während erstere ohne die Orientierung an bestimmten Zielen oder Anwendungen neue naturwissenschaftlich-technische Kenntnisse zu gewinnen sucht, richtet letztere ihren Erkenntnisgewinn an speziellen praktischen Fragestellungen aus; einen konkreten Produktbezug

⁴⁸ Unter einem Entwicklungsprozess versteht man einen systematisch organisierten Arbeitsablauf für ein abgegrenztes Aufgabengebiet innerhalb der Forschungs- und Entwicklungsabteilung (RIEDL 1990, S. 211).

besitzen jedoch beide noch nicht.⁴⁹ Die (experimentelle) Entwicklung hingegen weist einen konkreten Produktbezug und damit auch Möglichkeiten zur unmittelbaren Produktkostenbeeinflussung auf. Sie dient der „Realisierung technischer Erzeugnisse, die bislang noch nicht genutzte Realphänomene beinhalten und/oder denen eine neue Kombination von bereits genutzten Realphänomenen zugrunde liegt, die erst eine niedrige Anwendungsbreite aufweisen“ (BINDER 1998b, S. 13). Die neuen Kenntnisse bzw. Erfindungen können sich sowohl auf Produkte als auch auf (Herstellungs-) Verfahren, Produkt- sowie Verfahrensanwendungen erstrecken.

Obwohl besonders die F&E-Aktivitäten auf dem Gebiet der Chemie von einem hohen Maß an wissenschaftlichem Anspruch und Vorgehen geprägt sind, stößt man dort signifikant häufig auf Erfindungen (Produkte, Technologien), welche nicht als Folge von systematischer und intuitiver Lösungssuche in Richtung auf zuvor definierte Theorien und Hypothesen erhalten werden, sondern rein zufälliger Natur sind. In diesen Fällen spricht man vom „Serendipitäts-Effekt“⁵⁰, der die unerwartete und unbeabsichtigte Entdeckung im Rahmen einer Untersuchung mit anderer Zielsetzung umschreibt (BROCKHOFF 1999, S. 35). Ein in diesem Zusammenhang besonders anschauliches Beispiel bildet der Wettlauf um die ‚technische Indigosynthese‘ gegen Ende des 19. Jahrhunderts, der nachfolgend in Auszügen die Bedeutung des Zufalls bei der chemischen Forschung und Entwicklung hervorheben soll.

Im Jahr 1897 betrug die Weltproduktion des natürlichen blauen Farbstoffs *Indigo* ca. 9 Mio. Kilogramm (vgl. DUTLY 2002, S. 9). Aufgrund der mit dem pflanzlichen Farbstoff erzielten hohen Erträge hatte das Interesse der chemischen Industrie an einem synthetisch gefertigten Substitutionsprodukt schon über Jahrzehnte immer weiter zugenommen. Nachdem die erste Synthese im Jahr 1870 durch *Adolf von Baeyer* erfolgte, gelang schließlich *Karl Heumann* im Jahr 1890 erstmalig eine Indigosynthese, welche im Gegensatz zu vielen in den Jahren zuvor entwickelten Syntheserouten endlich eine hohe Ausbeute auch im letzten Reaktionsschritt (von mehreren) zum Endprodukt Indigo erbrachte. Problematisch war jetzt nur noch die am Anfang der – von *Naphtalin* über *Phthalsäure*, *Anthranilsäure* und *Phenylglycincarbonsäure* zum Indigo führenden – Syntheseroute stehende *Oxidation* von *Naphtalin* zum *Phthalsäureanhydrid*, da das bisher eingesetzte Oxidationsmittel *Salpetersäure* für ein großtechnisches Verfahren zu teuer war. Auf der intensiv betriebenen Suche nach einem preiswerteren Oxidationsmittel trennten sich damals die Forschungswege von BASF und den Farbwerken Hoechst, die zur gleichen Zeit an der kommerziellen Syntheseroute arbeiteten (vgl. DUTLY 2002, S. 17).

⁴⁹ Für die Kostenrechnung bzw. die notwendigen Kostenprognosen bedeutet dies, dass der dabei entstehende Aufwand nur nach dem Tragfähigkeitsprinzip verrechnet werden kann.

⁵⁰ Dieser Begriff wurde 1754 durch den englischen Schriftsteller Horace Walpole (1717-1797) geprägt.

Die *Farbwerke Hoechst* entwickelten schließlich ein Oxidationsverfahren auf Basis von Chromsäure, welches allerdings nur durch den Bau einer elektrochemischen Anlage, die zur preiswerten Stromgewinnung ein Wasserkraftwerk benötigte, wirtschaftlich durchführbar war. Die *BASF* hingegen suchte nach einem anderen Verfahren, welches die schon betriebsintern (nach dem Bleikammerverfahren) hergestellte *Schwefelsäure* als Oxidationsmittel verwenden konnte. Um 1892 konnte *Sapper* nachweisen, dass die Umsetzung von Naphtalin mit Schwefelsäure zur Phthalsäure führte, jedoch betrug die Ausbeute trotz zahlreicher Versuchsveränderungen nie mehr als 15%: „Da kam der Zufall zu Hilfe. Ganz unerwartet ergab ein Versuch 33%, und der nächste sogar 46% Phthalsäure“ (VOIGTLÄNDER-TETZNER 1940, S. 317). Zahlreiche Wiederholungen der Versuchsanordnung führten jedoch wieder nur zu den vorherigen, geringen Ausbeuten. „Da erinnerte ich mich glücklicherweise daran, dass zu der Zeit, als die beiden Versuche mit der später guten Ausbeute angestellt wurden, die Thermometerhülse, in der sich Quecksilber befand, durch die Säure zerfressen worden war, und dass möglicherweise damals Quecksilber in das Kesselchen gelaufen sein konnte mit der eigentümlichen Wirkung, die Phthalsäureausbeute zu erhöhen“ (VOIGTLÄNDER-TETZNER 1940, S. 318). Als Folge dieser Entdeckung wurde das Erhitzen von Naphtalin mit Schwefelsäure in Gegenwart von Quecksilber als erster Stufe der Indigosynthese 1896 patentiert und großtechnisch ausgebaut, was den empfindlichen Rückstand auf den Wettbewerber *Hoechst* kompensierte und der *BASF* einen jahrelangen Vorsprung und die Amortisation der bis dahin in die Indigoforschung und -fertigung investierten 18 Millionen Mark (entsprechend dem gesamten Aktienkapital der *BASF*) sicherte.

Aber auch in der jüngeren Vergangenheit gibt es prominente Beispiele für den Serendipitäts-Effekt, wie die Entdeckung eines neuartigen Kohlenstoff-Moleküls im Jahre 1985 belegt. Jahrhundertlang ging man davon aus, dass das Element Kohlenstoff nur in zwei verschiedenen Modifikationen auftritt: als schwarzer, weicher und leitfähiger *Graphit* sowie als durchsichtiger und harter *Diamant* mit Isolatoreigenschaften. Bei Studien zur Herstellung von ungesättigten Kohlenstoffketten und -clustern entdeckte eine englisch-amerikanische Forschergruppe rein zufällig bisher unbekannte Bausteine, welche aus reinem Kohlenstoff mit der Summenformel C_{60} bestehen und überraschenderweise in der Form eines Fußballs aus einer Kombination von Pentagonen und Hexagonen angeordnet sind („Buckminster Fulleren“, „Molecule of the year 1990“). Für diese Entdeckung, welche u.a. auch zu neuen supraleitenden Materialien geführt hat, wurden *Robert Curl Jr.*, *Sir Harry Kroto* und *Richard Smalley* 1996 mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet.

Die Analyse der historischen Entwicklung zeigt jedoch, dass mit dem über die Jahrhunderte zunehmenden Erkenntnisfortschritt in den naturwissenschaftlichen Disziplinen der Anteil derartiger zufälliger Erfindungen kontinuierlich abnahm (vgl. EILHAUER 1993, S. 13). Dennoch gestaltet sich auch heute noch die Tätigkeit der Forscher und Entwickler im Spannungsfeld zwischen den deterministischen und den vom Zufall begünstigten Lösungswegen und damit im Umfeld von einer Vielzahl von zeitlich wechselnden Randbedingungen. Da sich die Produktentwicklung darüber hinaus auch im Spannungsfeld des an einem möglichst hohen Nutzwert des Produkts interessierten Kunden und

dem Herstellerinteresse an möglichst hohen Erträgen des eingesetzten Kapitals bewegt, muss sie, wie mehrfach betont, auch die notwendigen ökonomischen Faktoren frühzeitig bei der Lösungsgenerierung berücksichtigen (vgl. EHRENSPIEL ET. AL 2000, S. 15). Dafür sind im Rahmen einer zielkostenorientierten Produktentwicklung insbesondere die in *Abbildung 12* aufgezeigten Aspekte einzubeziehen: Wie in *Abschnitt 4.2* über das Target Costing näher erläutert wird, sind für einen modernen Kostenmanagement-Ansatz, neben dem langfristigen *Gebrauchswert*, den *Kosten der Entwicklung* („Einmalaufwand“, „Entwicklungszeit“) und den geplanten *Absatzmengen* („Stückzahl“), auch der langfristige *Marktpreis* und der *geplante Gewinn* („Zielgewinn“) ins Kalkül zu ziehen; aus den beiden letzten können schließlich die zulässigen Kosten („Allowable Cost“) ermittelt werden, welche meist die variablen sowie die produktnahen Gemeinkosten umfassen.

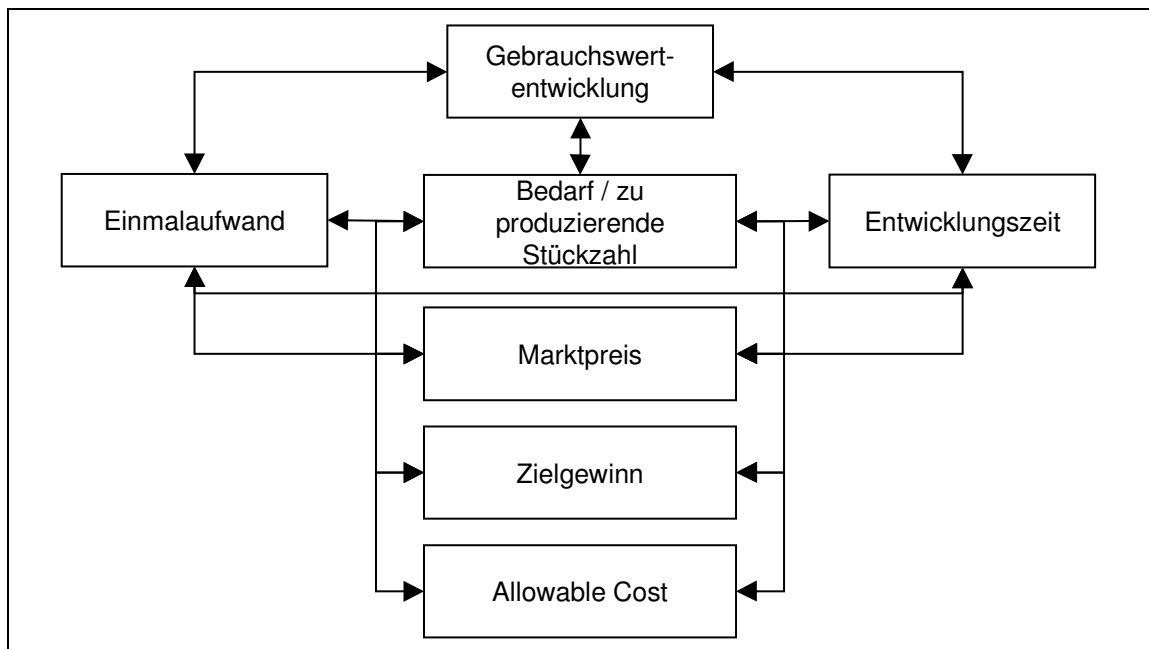


Abbildung 12: Verflechtung wesentlicher Kategorien im Entscheidungsprozess von Produktinnovationen unter Berücksichtigung von Zielkostenvorgaben (GRAßHOFF/GRÄFE 1997, S. 15)

Trotz der hier angeführten Besonderheiten der chemischen Forschung und Entwicklung ist es möglich und nötig, diese nicht ihrer Eigendynamik und dem Zufall zu überlassen, sondern sie – wegen erwiesener dispositiver Unterstützungserfolge – rational zu gestalten. Dies bedeutet, dass Forschungs- und Entwicklungsprozesse, wenn auch objektspezifisch, geplant, organisiert und kontrolliert werden können und sollen; Ohne eine solche Systematik können weder die Produktspezifikationen noch die Kostenziele zuverlässig erreicht werden (*Abschnitt 6*).

3.2.2 Prozesse in der chemischen Produktentwicklung

3.2.2.1 Der Forschungs- und Entwicklungsprozess

Der Forschungs- und Entwicklungsprozess stellt einen integralen Bestandteil der Geschäftsprozesse dar (vgl. BÜRGELE et al. 1996, S. 186). Nachfolgend werden die *Teilprozesse* in der chemischen Forschung und Entwicklung vorgestellt, welche im *Entstehungszyklus* eines Produkts von Bedeutung sind (vgl. *Abbildung 11*). Eine derartige Strukturierung der Teilprozesse und deren Standardisierung kann dazu beitragen, die *Entwicklungsproduktivität* zu erhöhen und die *Komplexität der Aufgabe* zu verringern (vgl. *Abschnitt 6*).

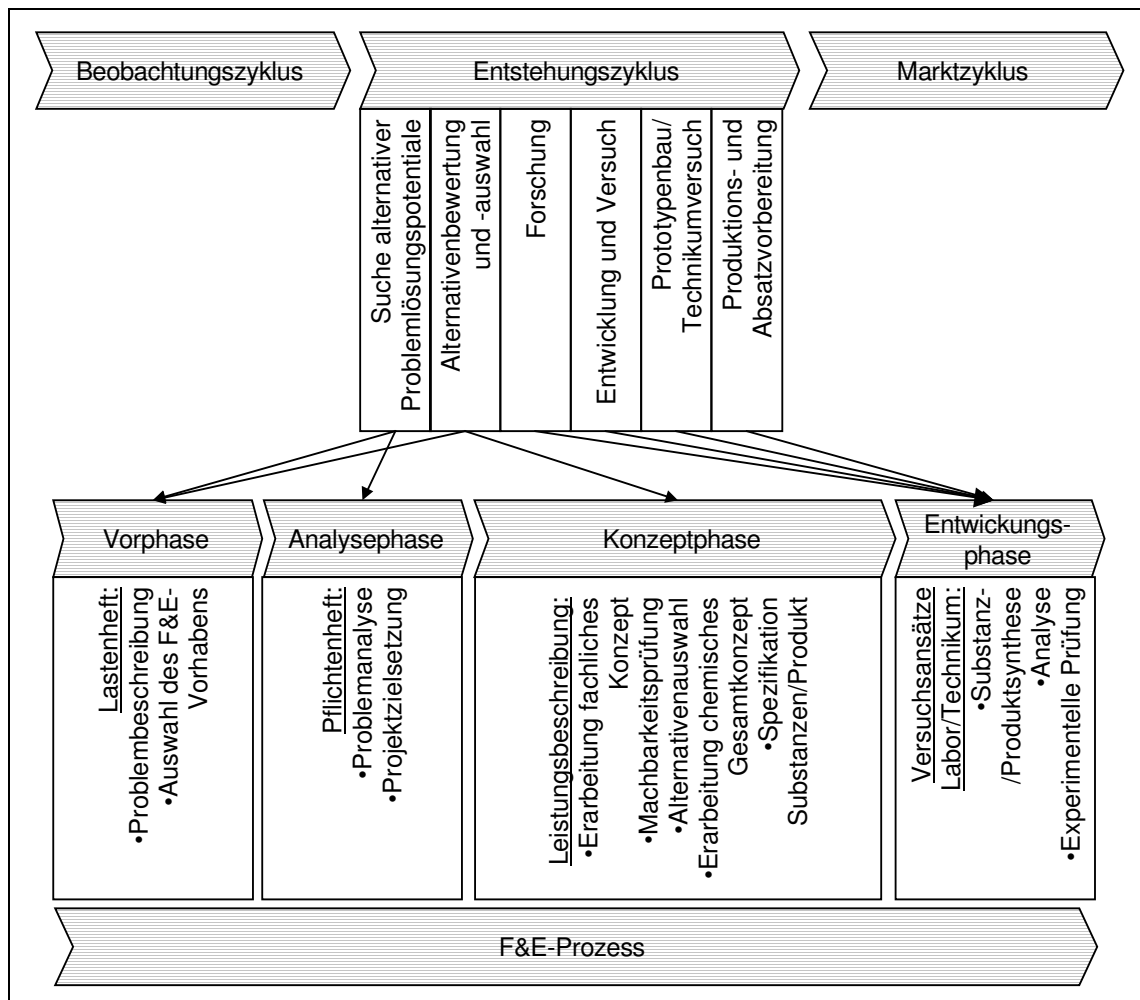


Abbildung 13: Teilprozesse des Forschungs- und Entwicklungsprozesses (in Anlehnung an PLATZ/SCHMELZER 1986, S. 112)

Die Komplexität des F&E-Prozesses rührt insbesondere aus dem geringen Anteil an wiederholbaren bzw. dem hohen Anteil an kreativen Vorgängen her (BÜRGELE ET AL.

1996, S. 187). Die jeweiligen Teilprozesse werden in Form eines *Phasenmodells* anschließend erläutert (*Abbildung 13*).

3.2.2.2 Vor- und Analysephase

Der F&E-Prozess beginnt mit der *Vorphase*. Dort werden in einer *Problembeschreibung* die marktseitigen *Anforderungen* an ein zukünftiges Produkt analysiert und entschieden, ob die in einem *Lastenheft* festgehaltenen Anforderungen prinzipiell von der F&E-Abteilung erfolgreich bearbeitet werden können; fällt die Entscheidung positiv aus, führt dies zur formellen *Auswahl* des F&E-Vorhabens. In der nächsten Phase (*Analysephase*) wird das Problem ausführlich aus interner bzw. technischer Sicht untersucht und die wesentlichen Ziele des Projekts definiert, die in einem *Pflichtenheft* festgehalten werden. Dazu gehören z.B. die *Projektteilnehmer*, die geschätzten *Kosten* für die Projektdurchführung und die *Meilensteine*, welche Teilziele darstellen, an denen zu einem bestimmten Zeitpunkt ein bestimmter Projektinhalt abgearbeitet sein muss. Im Rahmen des hier diskutierten produktorientierten Kostenmanagements zählt auch die Höhe der zukünftigen *Produktkosten* zu den Anforderungen des Pflichtenhefts (vgl. *Abschnitt 6*).

3.2.2.3 Konzeptphase

In der *Konzeptphase* wird das generelle *Wirkprinzip* entwickelt, welches die zur Erfüllung der Anforderungen notwendigen *Funktionen* beschreibt. Hierfür formulieren die Forscher und Entwickler die gestellten Anforderungen als *abstraktes Modell*, wodurch eine vom aktuellen Bezug losgelöste Betrachtung ermöglicht und dadurch die Konzentration auf die relevanten Anforderungen des Entwicklungsobjekts gefördert werden (vgl. *Abbildung 15*). Aus dem abstrakten Modell werden anschließend einzelne *Produktfunktionen* abgeleitet und hierfür einzelne (*Teil-*) *Lösungen* gesucht. Diese müssen im nächsten Schritt durch *Rekombination* zu einer oder mehreren Gesamtlösungen wieder zusammengeführt werden.

Die Rekombination unterliegt allerdings den unterschiedlichsten sachlichen und naturgesetzlichen Zwängen, die gegebenenfalls die absolute Anzahl an Kombinationsmöglichkeiten verringern können: Verschiedene Molekülfunktionen, welche als Gesamtheit die gestellten Anforderungen möglicherweise erfüllen können, beeinflussen sich bei einer chemischen Synthese gegenseitig und sind *in praxi* keinesfalls uneingeschränkt kombinierbar; ein Syntheseweg, welcher sich nur aus der Zusammenführung der einzelnen Teillösungen ergibt, ist eher die Ausnahme. Vielmehr müssen oft Umwege eingeschlagen oder spezielle funktionelle Gruppen mit *Schutzgruppen* vor ungewollter Beeinflussung geschützt werden. Darüber hinaus können andere Variablen wie Zeit und Kosten zusätzliche Restriktionen für die Rekombination darstellen. Ist schließlich das Gesamtkonzept erarbeitet, kann es aufgrund des fortgeschrittenen Erkenntnisstands hilfreich sein, nochmals genauere *Spezifikationen* festzulegen, welche in der nachfol-

genden Entwicklungsphase im Labor erreicht werden müssen; andernfalls muss eventuell ein Projektabbruch in Erwägung gezogen werden.

Die beschriebene *Transformation* der Funktionen in die Substanzen, also die Überführung des Modells und der davon abgeleiteten Funktionen in das konkrete Produkt, ist die eigentliche Kernaufgabe der Forscher und Entwickler (vgl. *Abbildung 14*). Häufig stehen sie jedoch vor dem Problem, dass aus verschiedenen Gründen Unklarheit über die Durchführung ihrer Aufgaben bestehen kann, die durch die zusätzlich geforderten ökonomischen Ziele noch erhöht wird (vgl. PICOT ET AL. 1988, S. 119f.):⁵¹

- Die *Komplexität der Entwicklungsaufgabe* (Anzahl und Beziehungen der Anforderungen und Nebenbedingungen) verhindert die ganzheitliche Problemerkennung,
- der hohe *Grad an Neuartigkeit* kann die Problemlösungskompetenz des Entwicklers in Form seines Fachwissens als auch des methodischen Vorgehens überfordern und
- die *Variabilität der Anforderungen* im Zeitablauf kann bisher angeeignetes Lösungswissen obsolet machen.

Durch eine methodische Unterstützung können diese Schwierigkeiten vermindert werden (vgl. *Abschnitt 6*): So lassen sich die *Komplexität der Entwicklungsaufgabe* und die *Neuartigkeit* durch den Einsatz von *Qualitätstechniken* teilweise beherrschen. Daneben kann die angeführte *Problemlösungskompetenz* durch die Anwendung von *Kreativitätstechniken* Unterstützung erfahren. Diese Techniken können auch dann helfen, wenn der in dynamischen Kontextbedingungen typische ‚Alterungsprozess des Fachwissens‘ (*Variabilität der Anforderungen*) die Lösungsfindung erschwert.⁵²

Für die eigentliche wissenschaftlich-technische Lösung des Transformationsproblems durch die Produktentwickler kommen prinzipiell drei Ansätze in Frage (vgl. CHANDRASEKARAN 1989, S. 79):

- Eine *algorithmische* Lösung,
- die *Analogiebildung* durch Verwendung und Anpassung von bekannten Lösungen, sowie
- die *hierarchische Strukturierung* und Detaillierung des betrachteten Objekts durch *Dekomposition* in Subsysteme und anschließende *Rekomposition*.

⁵¹ PICOT ET AL. führt weiterhin das Merkmal ‚Strukturiertheit‘ an, welches ‚die sachliche und zeitliche Bestimmbarkeit des Entwicklungszieles (Produkt) und des Entwicklungsprozesses (Problemlösungsweg)‘ umschreiben soll. Diese Aspekte sollen hier ebenfalls durch den Begriff ‚Neuartigkeit‘ repräsentiert werden (1988, S. 119f.).

⁵² Die Schwierigkeit der Anpassung von vorhandenem Wissen an neue Gegebenheiten wird auch als ‚Konstellationsproblem‘ bezeichnet.

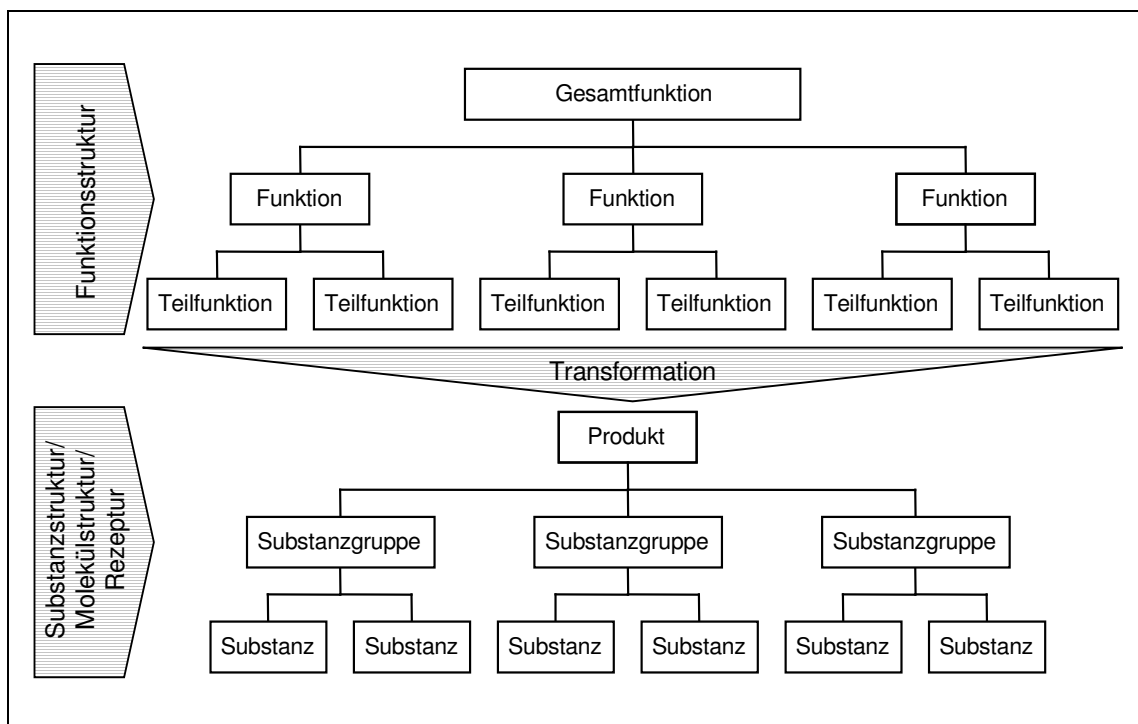


Abbildung 14: Transformation von Funktionen zum Produkt als Aufgabe der Entwicklung
(in Anlehnung an GÖPFERT 1998, S. 75)

Eine *algorithmische Lösung* ist der unwahrscheinlichste und untypischste Fall einer Entwicklungsaufgabe in der Chemie, denn dies würde die Darstellung der Lösung als deterministisches, mathematisches Optimierungsproblem erlauben. Gerade in der experimentellen Chemie sind derartige Ansätze unplausibel, da dort meist nur mechanistische Regeln zur Lösung eines Syntheseproblems angewandt werden können. Allerdings erfahren diese zunehmend Unterstützung durch computerbasierte Methoden wie das *Molecular Modelling*⁵³, welche jedoch ebenfalls keine rein algorithmischen Lösungen erarbeiten können, sondern auf Modellen und Näherungen basieren. Allenfalls in der theoretischen Chemie erscheinen solche Lösungswege plausibel, wenn auch aufgrund der äußerst komplexen naturgesetzlichen Zusammenhänge schwer durchführbar. Doch sind beispielsweise Teile der Erforschung des ‚Periodensystems der Elemente‘ einem algorithmischen Lösungsweg zu verdanken gewesen: Aufgrund von Berechnungen hatte man Elemente vorhergesagt, welche zum jeweiligen Zeitpunkt noch nicht nachgewiesen werden konnten. Am Anfang der Erarbeitung des Periodensystems durch *Mendelejew* (1869) sind darüber hinaus aber auch viele Elemente durch Analogieschlüsse prognostiziert bzw. zugeordnet worden.

⁵³ Mit den Verfahren des *Molecular Modelling* lassen sich über die dreidimensionale Molekülstruktur chemische und physikalische Eigenschaften rechnerisch erfassen und zum Design von neuen Verbindungen verwenden.

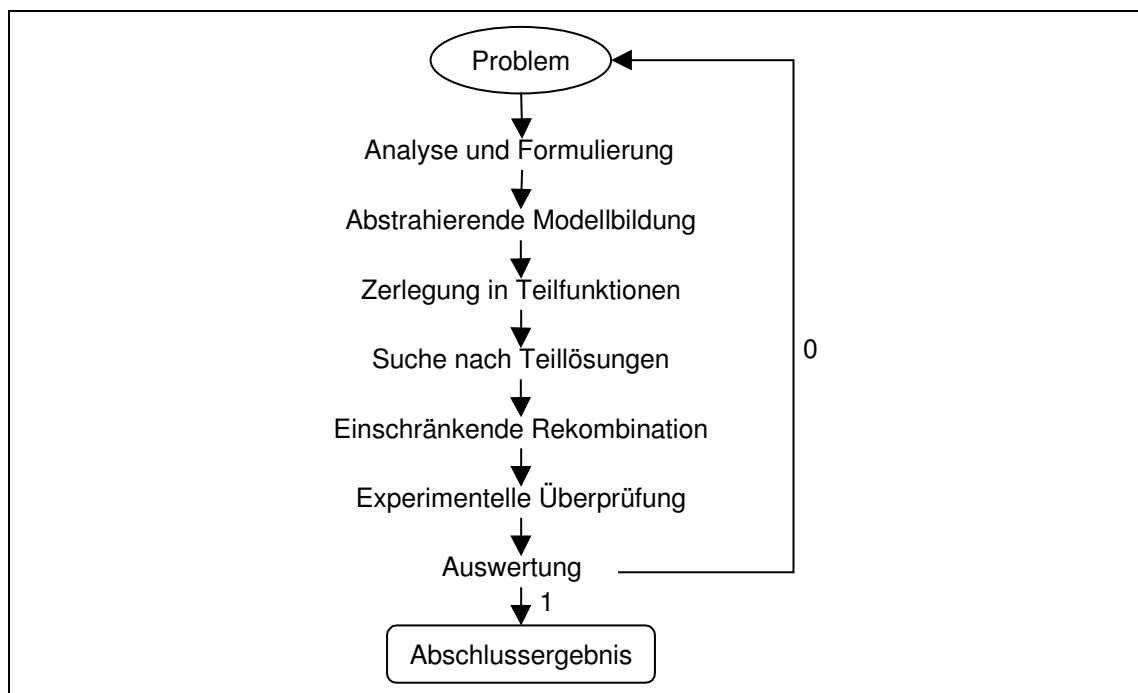


Abbildung 15: Heuristisches Programm für Forschungs- und Entwicklungsaufgaben (in Anlehnung an EILHAUER 1993, S. 16)

Die *Analogiebildung* spielt in Teilbereichen der chemischen F&E eine bedeutende Rolle. So wird beispielweise in der pharmazeutischen Industrie ausgehend von bekannten Molekülstrukturen, welche bereits Ähnlichkeiten mit (potentiellen) Wirkstoffen aufweisen, die *kombinatorische Chemie* zunehmend zur Suche nach neuen Strukturen und zur Optimierung der Substanzeigenschaften eingesetzt: Hierbei werden bekannte Moleküldaten zunächst rechnerisch – und anschließend durch Syntheseroboter auch chemisch – abgewandelt, um den Einfluss struktureller Änderungen auf die biologische Wirkung von erfolgversprechend erscheinenden Substanzen im Detail aufzuklären und neue Wirksubstanzen zu identifizieren. Auch kann der Rückgriff auf unternehmenseigene Datenbanken, welche frühere Problemlösungen oder Produkte enthalten, hilfreich für die Lösung eines Transformationsproblems sein. Für die besonders erstrebten, innovativen Produkte der Chemie eröffnet dieser Lösungsweg aber umso weniger Möglichkeiten, je neuartiger die Entwicklungsaufgabe ist.

In der Regel verbleibt dem Entwickler daher zur Lösungssuche meist nur die *hierarchische Strukturierung* und *Dekomposition* mit anschließender *Rekomposition*. Ihr liegt ein heuristisches Programm⁵⁴ zugrunde, das bereits im Rahmen der weiter oben diskutierten ‚Konzeptphase‘ angesprochen wurde, in *Abbildung 15* grafisch dargestellt ist und

⁵⁴ Die zuvor genannte ‚algorithmische Lösung‘ unterscheidet sich von einem ‚heuristischen Programm‘ in der Art und Weise der Reduktion der Lösungsalternativen: Während im ersten Fall eine systematische Überprüfung aller möglichen Alternativen durchgeführt wird, erfolgt sie im letzten Fall durch eine erfahrungsabhängige Hypothesenbildung (HUSSY 1984, S. 127). Zwei ausführliche Praxis-Beispiele für ein heuristisches Programm erwähnt EILHAUER 1993, S. 123ff.

als genereller Plan für das Vorgehen in der F&E-Arbeit angewandt werden kann (vgl. EILHAUER 1993, S. 100ff.).⁵⁵ Dieser F&E-Problemlösungsprozess folgt dem Grundschema des menschlichen Erkenntnisprozesses: vom *Konkreten* (Problem) zum *Abstrakten* (Teilfunktion) und wieder zurück zum *Konkreten* (Teillösung).

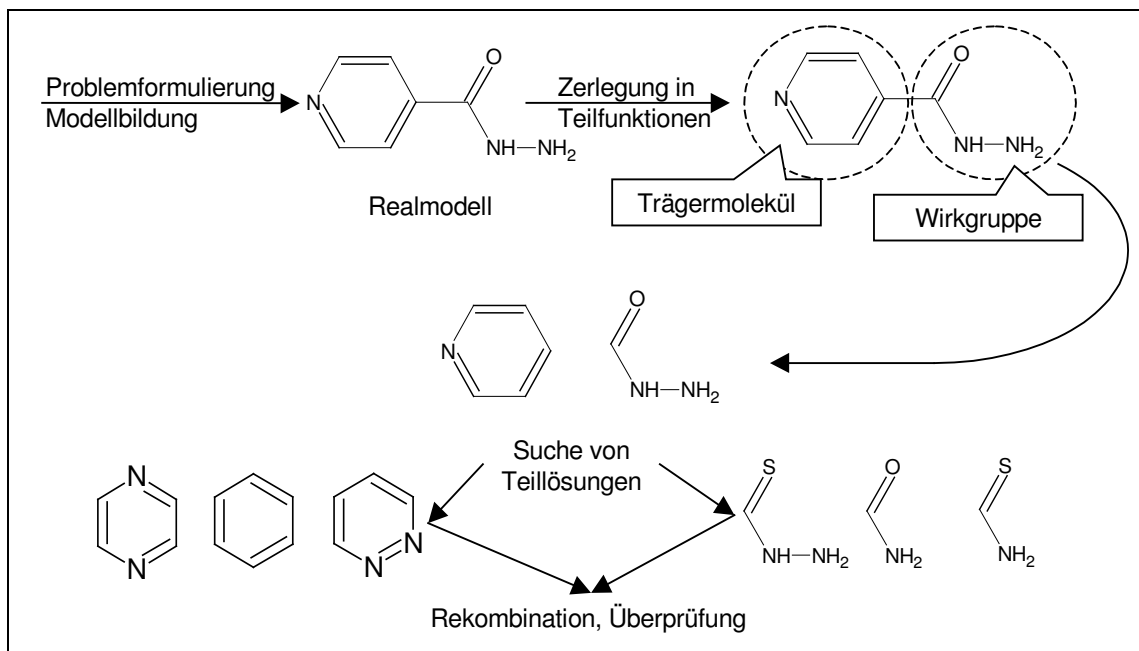


Abbildung 16: Lösungsprozess bei der Grundlagenforschung an einem pharmakologischen Wirkstoff (vgl. EILHAUER 1993, S. 123ff.)

Die Problemlösung in der Konzeptphase soll anhand eines Beispiels aus der chemischen Forschung nochmals verdeutlicht werden. Bei dem gestellten Entwicklungsproblem handelt es sich um die Produktforschung für ein neues Präparat gegen einen Stamm von Tuberkelbakterien, der gegen andere Medikamente bereits resistent geworden ist. Im Schrifttum wird berichtet, dass das gezeigte *Realmodell* (vgl. *Abbildung 16*) tuberkulostatisch wirksam sei, d.h. das Realmodell wird ex-ante als gültig erklärt (*abstrahierende Modellbildung*; vgl. EILHAUER 1993, S. 123ff.).⁵⁶ Generell müssen sich aus einem Realmodell logische, wahre Aussagen ableiten lassen, welche die Hypothese – die zur Erklärung des beobachteten Sachverhalts dienen soll – stützen.

⁵⁵ Dieser speziell für naturwissenschaftliche Probleme entworfene Lösungsprozess ähnelt dem der *Systemtechnik*, welcher von der *Problemanalyse* und der *Problemformulierung* über die *Systemsynthese*, *Systemanalyse*, *Beurteilung* und *Entscheidung* reicht (VDI 1993, S. 3f.).

⁵⁶ EILHAUER gibt als Beispiel für ein Realmodell in der Chemie eine *Strukturformel* (Zeichnung) oder ein *Kalottenmodell* (räumlicher Körper) an. Gelingt es, ein derartiges Realmodell noch weiter zu abstrahieren und einer mathematischen Lösung zuzuführen, so spricht man von einem *Formalmodell* (Bsp.: die quantenmechanische Berechnung des vorher erarbeiteten Kalottenmodells; 1993, S. 103).

Der nächste Schritt des Lösungsprozesses besteht aus einer *Zerlegung* in *Teilfunktionen*, welche auf den Wirkungszusammenhängen des Modells basiert (d.h. auf den Funktionen des geplanten Produkts); die Teilfunktionen müssen in ihrer Kombination insgesamt wieder die definierten Anforderungen des Produkts erfüllen.⁵⁷ Im Beispiel wird aufgrund allgemeiner Struktur-Wirkungs-Beziehungen bei Arzneimitteln eine Zerlegung in die beiden Teilfunktionen „Trägermolekül“ und „Wirkgruppe“ vorgenommen. Die *Suche* nach *Teillösungen* als viertem Schritt des heuristischen Programms besteht in der Suche nach konkreten Lösungen anhand verschiedener, jedoch strukturell ähnlicher Moleküle, deren Kombination Lösungspotentiale im Sinne der Problemstellung bergen könnten. Je abstrakter die Teilfunktionen formuliert sind, umso mehr gedankliche Freiräume bestehen bei der nachfolgenden Lösungssuche. Die möglichen Kombinationen werden dann *rekombiniert* und anschließend experimentell auf ihre Wirksamkeit untersucht.

3.2.2.4 Entwicklungsphase

Typischerweise schließt sich in den Naturwissenschaften an eine theoretische Modellierung die *experimentelle Überprüfung* des gefundenen Lösungsansatzes an (vgl. *Abbildung 15*). Diese ist Teil der *Entwicklungsphase* und besteht hauptsächlich aus praktischer Laborarbeit. Es wird dabei versucht, anhand des aus dem chemischen Gesamtkonzept erarbeiteten Synthesewegs das gewünschte Produkt herzustellen. Dabei ist eine Abweichung von geplanten Konzept- und Synthesezielen nicht unüblich, da sich im Verlauf des Produktaufbaus unerwartete bzw. nicht vorhersehbare chemisch-physikalische Schwierigkeiten ergeben können.

Die *Auswertung* der Ergebnisse erfolgt anhand der zuvor festgelegten Spezifikationen. Dafür wird einmal die chemische Struktur der erhaltenen Substanz durch analytische Methoden überprüft und weiterhin die Leistungsfähigkeit des Produkts getestet. Für einen Vergleich mit anderen Lösungsansätzen mag bei kleineren Projekten eine *intuitive Komplexbewertung* zur Beurteilung noch ausreichen, wohingegen sich für die Auswertung von komplexeren Sachverhalten die methodische Unterstützung mithilfe von *Scoringmodellen* o.ä. empfiehlt. Erfüllen sich die Erwartungen nicht, so muss die Lösungssuche von vorne begonnen werden, sofern keine anderen Lösungsalternativen verfügbar sind (Fall „0“ in *Abbildung 15*). Andernfalls sind die Ergebnisse der Laborarbeit formal als *Abschlussergebnis* zu dokumentieren.

Erfüllen sich die Erwartungen, erfolgt im Anschluss das *Scale-Up*, d.h. die Überführung der Synthese vom Labormaßstab auf den gewünschten Fertigungsmaßstab. Dabei wird meist eine volumetrische ‚Zwischenstufe‘ in einer ‚Technikum‘ genannten Versuchsap-

⁵⁷ Prinzipiell ist jedes System, z.B. ein Produkt oder ein Verfahren, in Teilfunktionen separierbar.

paratur durchlaufen, bevor die Synthese auf Reaktoren – meist im Tonnenmaßstab – übertragen wird.

3.3 Chemische Produkte

Ein produktorientiertes Kostenmanagement erfordert auch ein grundlegendes Verständnis der Arten und des Aufbau chemischer Produkte. Nachfolgend werden daher zuerst die verschiedenen Produktgruppen aus Sicht des Marktes vorgestellt. Im Anschluss erfolgt eine kurze Einführung in Aufbau und Strukturen von chemischen Produkten.

3.3.1 Klassifizierung

Im Folgenden werden die wesentlichen Produktgruppen in einer marktorientierten Betrachtung vorgestellt. Hierfür hat sich eine Unterscheidung nach den beiden Dimensionen *Produktdifferenzierung* und *Mengenausstoß* bewährt (vgl. KLINE 1976, S. 113).

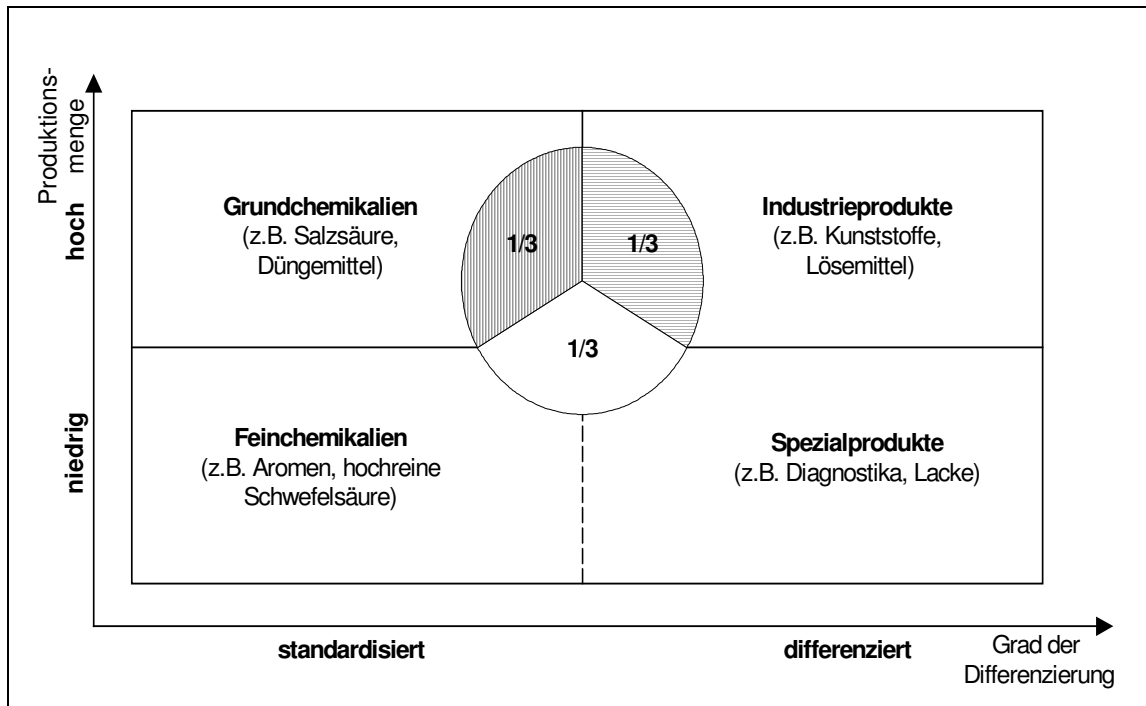


Abbildung 17: Produktgruppenmatrix und geschätzter Anteil der Produktgruppen am Welt-Chemieumsatz (in Anlehnung an KLINE 1976, S. 113; AMECKE 1987, S. 66)

Im Rahmen der *Produktdifferenzierung* wird untersucht, ob die Produkte vorzugsweise aufgrund ihrer chemisch-molekularen Struktur (z.B. *Salzsäure HCl*) oder aufgrund ihrer anwendungstechnischen Eigenschaften (z.B. Reinigungsmittel) eingesetzt werden. Dementsprechend wird von *standardisierten* oder von *differenzierten* Produkten gesprochen. Anhand der zweiten Dimension *Mengenausstoß* wird die jeweilige Ausbring-

ung eines bestimmten Produkts im Verhältnis zur Gesamtmenge der relevanten Produktgruppe untersucht und kategorisiert.⁵⁸ Nach dieser Systematik lassen sich die nachfolgenden vier Produktgruppen ableiten (vgl. *Abbildung 17*; vgl. KLINE 1976, S. 110ff.; AMECKE 1987, S. 62ff.).⁵⁹ Dabei soll kurz auf generelle Ansatzmöglichkeiten für ein produktorientiertes Kostenmanagement eingegangen werden, welches u.a. vom Grad der Produktkomplexität abhängt (vgl. *Abschnitt 4.3.2*).

3.3.1.1 Grundchemikalien

Grundchemikalien (‘Commodities’) sind undifferenzierte Produkte, welche in großen Mengen und gemäß allgemein anerkannter Spezifikationen synthetisiert und als Ausgangsstoffe für höherwertige Produkte eingesetzt werden. Ihr Anteil am Welt-Chemieumsatz beträgt ungefähr ein Drittel. Entscheidend für die Kostensituation dieser Produkte sind der kostengünstige Zugang zu den *Rohstoffen*, die *Synthese-* bzw. *Verfahrenstechnologien* (Produktivität bzw. Ausbeute), *Skaleneffekte* (Auslastung, Durchsatz), der Investitionsbedarf sowie die *geographische Positionierung* (Rohstoff-, Absatzmärkte).

Das Kostenmanagement im Bereich Grundstoffchemie beruht aufgrund des herrschenden Preiswettbewerbs im wesentlichen auf der Optimierung der zumeist für den überregionalen Bedarf produzierenden, weitgehend automatisierten Ein-Produkt-Anlagen und der dort eingesetzten Verfahren. Hierfür können frühzeitig softwarebasierte Szenariomodelle für die Produktionsanlagen unter Variation der genannten Kostenfaktoren verwendet werden, da die Optimierungspotentiale derartiger Anlagen nach der Einfahrphase meist gering sind und in Schritten realisiert werden, die in ihrer Dimension wiederum Investitionscharakter haben (‘Revamping’). Die *Produktkomplexität* als Ansatzpunkt für ein produktorientiertes Kostenmanagement ist aufgrund des hohen Standardisierungsgrades und den verhältnismäßig einfachen Strukturen von Grundchemikalien von geringer Bedeutung. Einfluss auf die Kosten kann die Produktentwicklung jedoch durch die Reduzierung der Komplexität des Herstellungsprozesses ausüben (vgl. *Abschnitt 5.2.4*).

⁵⁸ So können beispielsweise verschiedene *Silicone* durchaus für den Einsatz in der Pharmazie oder Elektronik als Spezialprodukte klassifiziert werden, auch wenn der Großteil der Silicone eher in die Kategorie Grundchemikalien einzustufen ist (z.B. als Dichtungsmaterial für die Automobil- und Bauindustrie).

⁵⁹ Sollte der eingangs erwähnte Strukturwandel die Konzentration auf Kerngebiete (Unternehmenstyp C in *Abschnitt 3.1.3*) begünstigen und die beschriebene *Commodisierungstendenz* fort dauern, so könnte sich in Zukunft eine neuartige Kategorisierung der (dann) stark fokussierten Unternehmen nach den folgenden zwei Ausprägungen durchsetzen: *Moleküllieferanten*, welche mit hoher Prozesskompetenz mehr oder weniger aufwändige, standardisierte Molekülstrukturen herstellen (Grund- und Feinchemikalien) sowie *Produktformulierer*, welche vornehmlich nicht-standardisierte Endprodukte für spezifische Problemlösungen anbieten (Industrie- und Spezialprodukte; vgl. FELCHT 2000, S. 83f.).

3.3.1.2 Feinchemikalien

Feinchemikalien („Fine Chemicals“) sind undifferenzierte Produkte, die in kleineren Mengen hergestellt werden. Zusammen mit den Spezialprodukten repräsentieren sie den Veredelungssektor der chemischen Industrie, der ein geschätztes weiteres Drittel zum Welt-Chemieumsatz beiträgt. Feinchemikalien weisen bereits Tendenzen zur ‚Commodisierung‘ auf, denen durch verstärkte Dienstleistungsangebote – von der Zusammenarbeit in der Forschung und Entwicklung bis zur schnellen Lieferung komplizierter Molekülstrukturen – begegnet werden kann (vgl. FELCHT 2000, S. 81). Ihre Synthese ist aufwändig, so dass neue, kostengünstigere Verfahren wie beispielsweise der Einsatz der Biotechnologie für diese Produktgruppe wichtige Kostenpotentiale erschließen können, da aufgrund der hohen Herstellkosten der Optimierung der Anlagen und der dort gefahrenen Herstellungsprozesse große Bedeutung zukommt (vgl. AMECKE 1987, S. 103). Auch hier spielt die *Produktkomplexität* aufgrund der standardisierten Produktstruktur keine ausschlaggebende Rolle für die Kostensituation, jedoch ist das Potential für Kosteneinsparungen, z.B. durch reduzierte Produkthanforderungen und weniger Syntheseschritte, größer als bei den Grundchemikalien (vgl. *Abschnitte 5.1.1* und *5.2.3.1*).

3.3.1.3 Industrieprodukte

Industrieprodukte („Pseudo Commodities“) sind differenzierte Produkte, welche in großen Mengen hergestellt werden. Ihr geschätzter Anteil am Welt-Chemieumsatz beträgt ein weiteres Drittel. Oft handelt es sich um Mischungen bzw. aus mehreren Komponenten formulierte Produkte, bei denen die Erfüllung von spezifischen Anforderungen stärker im Vordergrund steht als ihre molekulare Zusammensetzung. Daraus resultieren erhebliche Kostensenkungspotentiale im Bereich der Produkt- und Prozesskomplexität (vgl. *Abschnitte 5.1* und *5.2*). Mit zunehmender Neuartigkeit und steigendem Entwicklungsaufwand und -risiko der Produkte gewinnen auch Aspekte der *Projektauswahl* („Fokussierung“), des *Projektcontrollings*, der *Entwicklungsqualität* und der *Kostentransparenz* von Entwicklungsentscheidungen an Bedeutung (vgl. *Abschnitte 6.1* und *6.2*).

3.3.1.4 Spezialprodukte

Spezialprodukte („Specialities“) sind differenzierte Produkte, die in kleineren Mengen hergestellt werden. Auch hier handelt es sich meist um Formulierungen, die als Problemlöser für bestimmte Anwendungen angeboten werden. Da die Produkteigenschaften dabei durch die Kombination der Eigenschaften von mehreren Komponenten erzielt werden, ist das Potential produktbezogener, die einzelnen Komponenten einbeziehender Kostensenkungsmaßnahmen besonders groß (vgl. *Abschnitte 5.1* und *5.2*). Die Spezialprodukte werden hauptsächlich in regional angesiedelten Mehrzweckanlagen synthetisiert, und die Rohstoffe und Zwischenprodukte werden zum überwiegenden Teil zuge-

kauf. Wettbewerbsvorteile beruhen hier noch stärker als bei den Industrieprodukten auf dem Know-how für die Formulierung und dominieren nicht selten Produktgestaltungs- und Herstellkostenaspekte. Denn Produkte mit derart auf die Kundenanforderungen ausgerichteten Leistungsprofilen sollen vor allem einzigartig und innovativ sein, indem sie die beim Kunden verwendeten Technologien unterstützen, die Eigenschaften seiner Produkte verbessern und idealerweise auch dessen Kosten senken. Der oft hohe Innovationsgrad der Produkte erfordert zudem die konsequente Umsetzung der Maßnahmen zur Verbesserung der Entwicklungsproduktivität (vgl. *Abschnitt 6.1*). Aufgrund der komplexen Zusammensetzung ist auch hier das frühzeitige Aufzeigen der Folgekosten von Entwicklungsentscheidungen bedeutsam (vgl. *Abschnitt 6.2*). Darüber hinaus müssen die mit der Produktentwicklung verbundenen Risiken beurteilt werden. Denn nicht selten folgen die einzelnen Märkte für Spezialchemikalien (wie auch für Feinchemikalien) den Grundchemikalien und Industrieprodukten mit einer Verzögerung von einigen Jahrzehnten in ihrer Entwicklung hin zu reifen Märkten.

3.3.2 Aufbau und Struktur

Die Diskussion eines produktorientierten Kostenmanagements in der chemischen Industrie verlangt eine *Definition chemischer Produkte*, eine Beschreibung ihrer Charakteristika sowie die Abgrenzung zu den Produkten derjenigen Branchen, in welchen mit vergleichbaren, produktbezogenen Ansätzen Kosten beeinflusst werden sollen. Nach *ISO 8402* ist ein Produkt das *Ergebnis von Tätigkeiten und Prozessen*: Es handelt sich dabei um eine vornehmlich nach außen abgegebene *Leistung*, die nach Art und Menge beschrieben werden kann und deren *Erbringung* der festgelegte *Zweck* des *Betriebes* ist. Prinzipiell kann es sich bei einem Produkt um ein *Gut*, eine *Ware*, eine *Dienstleistung* oder eine *Information* handeln.

Diese allgemeine Definition beschreibt allerdings noch nicht das Phänomen ‚chemisches Produkt‘. Daher soll im Anschluss eine Definition ‚chemischer Produkte‘ erarbeitet werden. Für deren besseres Verständnis sei vorab ein kurzer *Exkurs* eingefügt, der einen verständlichen Überblick über den Aufbau von Materie aus Sicht der Chemie zu geben versucht. Mit dessen Hilfe sollen auch die komplexen Abhängigkeiten der (makromolekularen) *Produkteigenschaften* vom *molekularen Aufbau* besser zu verstehen sein, von denen in den nachfolgenden Abschnitten berichtet wird.

Exkurs: Der Aufbau der Materie

Als Oberbegriff für alle stofflichen Erscheinungsformen wird in den Naturwissenschaften der Begriff der *Materie*⁶⁰ verwendet. Obwohl die Materie sich aus mehre-

⁶⁰ materia (lat.): Stoff, Vorrat, Thema, Ursache.

ren hundert *Elementarteilchen* zusammensetzt, reicht für eine chemische Untersuchung meist die Betrachtungsebene der *Atome* aus. Diese werden durch gesetzmäßige Kombinationen von *Protonen*, *Elektronen* und *Neutronen* gebildet. Dabei stellen die positiv geladenen Protonen und gegebenenfalls die ungeladenen Neutronen den *Atomkern*, wohingegen sich die *Atomhülle* aus den Elektronen zusammensetzt. Der sehr kleine, aber schwere Kern befindet sich im Zentrum des Atoms, umgeben von einer negativ geladenen Elektronenwolke, welche die positive Ladung des Atomkerns ausgleicht.

Ein Atom ist das kleinste, elektrisch neutrale Teilchen eines chemischen Elements und zugleich Träger der charakteristischen chemischen und physikalischen Eigenschaften dieses *Elements*. Unter einem Element versteht man einen mit chemischen Mitteln *nicht mehr auftrennbaren Stoff*. Im gesamten Universum sind zur Zeit mehr als 110 verschiedene Elemente bekannt, welche in einer als *Periodensystem* bezeichneten Matrix nach stofflich verbindenden Merkmalen systematisch angeordnet sind. Alle Atome mit der gleichen Anzahl an Protonen gehören zu demselben Element, und fügt man beispielsweise einem Atomkern ein oder mehrere Protonen hinzu, so verliert das Atom die zuvor gezeigten Eigenschaften und verhält sich entsprechend den Eigenschaften des, durch die veränderte Zahl an Protonen definierten, neuen Elements.

Eine dauerhafte Verbindung bzw. Kombination von Atomen, welche durch *kovalente*⁶¹ oder *ionische*⁶² Bindungen zusammengehalten werden können, wird als *Molekül* bezeichnet. Eine *Verbindung* liegt vor, wenn homogene, reine Stoffe aus mindestens zwei Atomen verschiedener Elemente zusammengesetzt sind (ein Molekül kann auch aus Atomen des gleichen Elements bestehen, z.B. das Sauerstoffmolekül O₂).⁶³

Die physikalisch-chemischen Eigenschaften von Elementen und Verbindungen sowie ihre makroskopische Ausprägung (z.B. reaktiv oder inhärent, leitend oder isolierend, farblos oder gefärbt, flüssig oder fest, plastisch verformbar oder starr und spröde) hängen eng mit den Eigenschaften und der räumlichen bzw. strukturellen

⁶¹ Eine *kovalente* Bindung entsteht zwischen *elektrisch neutralen* Atomkernen, wenn sich die Elektronen vornehmlich im Raum *zwischen* den Atomkernen aufhalten, wodurch der Energiezustand gegenüber dem Ausgangszustand *abgesenkt* wird. Dadurch wird gleichzeitig die gegenseitige räumliche Lage der Atome weitgehend fixiert.

⁶² *Ionische* Bindungen bestehen zwischen *elektrisch unterschiedlich geladenen* Atomen, welche durch die Anziehungskraft zwischen entgegengesetzten Ladungen ihre Lage im Raum beibehalten. Die Ladungen entstehen durch eine erhöhte oder erniedrigte Anzahl an Elektronen der jeweiligen Atome.

⁶³ Häufig wird in der Chemie der Begriff des „Stoffes“ verwendet, um die makroskopischen Eigenschaften von Verbindungen zu beschreiben. „Stoffumwandlungen“ bezeichnen die chemische Umwandlung von Verbindungen. Da Elemente auf chemischem Weg nicht umzuwandeln sind, wird damit die Kombination mehrerer Atome unterschiedlicher Elemente (die Bestandteil von Verbindungen sein können) durch Umgruppierung und/oder Addition bzw. Subtraktion einzelner Atome umschrieben.

Anordnung der beteiligten Atome bzw. Moleküle zusammen. Eine Veränderung dieser Eigenschaften geht in der Regel mit einer chemischen Umwandlung einher – hier ist ein wesentlicher Unterschied zu den Produkten anderer Branchen zu sehen, bei denen eine Veränderung der Produkteigenschaften hauptsächlich durch physikalische Prozesse erfolgt (z.B. Umformen eines Blechs im Maschinenbau durch Gießen oder mechanische Beeinflussung).

Mit Hilfe des obigen Rüstzeugs soll nun eine vorläufige Definition des Phänomens ‚chemisches Produkt‘ erfolgen: *Chemische Produkte* sind das *Ergebnis* von *Forschungs-* und *Entwicklungsprozessen* der chemischen Industrie und werden entweder direkt durch die reaktive Umsetzung (Synthese) von *einzelnen chemischen Substanzen* und oder durch *Zubereitung*, d.h. die physikalische Vermischung von mehreren bereits synthetisierten Stoffen erzeugt. In der Regel gehören einzelne Substanzen in die Produktklassen ‚Grundchemikalien‘ und ‚Feinchemikalien‘, wohingegen die durch Zubereitung ‚formulierten‘ Produkte zu den ‚Industrie-, und ‚Spezialprodukten‘ gehören.

Problematisch bei der obigen Definition von *chemischen* Produkten ist, dass letztlich alle Produkte bzw. die gesamte ‚Materie‘ chemisch-physikalischen Ursprungs ist, somit jedes Produkt bzw. jeder Gegenstand aus einer charakteristischen Kombination von Atomen und Molekülen besteht und damit chemische Spezifika besitzt, welche Ursache seiner makroskopischen Eigenschaften und gegebenenfalls des Anwendernutzens sind. Eine Einteilung von Produkten nur nach *chemisch* oder *nicht-chemisch* ist deshalb nicht sinnvoll.

Zielführender für eine Definition chemischer Produkte ist vielmehr eine Unterscheidung nach dem *Verwendungszweck*: Beruht die Erfüllung von Funktionen eines Produkts hauptsächlich auf seiner chemisch-molekularen Struktur, so kann man von einem ‚chemischen Produkt‘ sprechen. Z.B. erfüllt ein Waschmittel seine wichtigste Funktion (Lösung und Bindung von anorganischen und organischen Verschmutzungen von Textilien) primär aufgrund seiner physikalisch-chemischen Eigenschaften und fällt demnach in die Kategorie ‚chemisches Produkt‘. Ein Automobil hingegen dient in erster Linie der Fortbewegung und würde demnach nicht gleich als chemisches Produkt gelten, auch wenn im Grunde genommen alle seine Eigenschaften (beispielsweise Karosseriesteife, Motorleistung, Schallabdichtung) auf den molekularen Eigenschaften der eingesetzten Materialien basieren.

Dass diese Definition zwar eine *hinreichende*, aber noch nicht *notwendige Voraussetzung* für das Vorliegen eines chemischen Produkts ist, lässt sich u.a. anhand des Beispiels von ‚Trinkalkohol‘ (chemisch: Ethanol) aufzeigen. Wird das Produkt Ethanol durch eine chemisch-biologische Fermentierung gewonnen und als Geschmacksverstärker in Genussmitteln eingesetzt, so wird weder der Bestandteil noch das gesamte Produkt (z.B. Wein) als chemisches Produkt eingeordnet. Wird Ethanol jedoch industriell durch Hydratisierung von petrochemisch gewonnenem Ethylen synthetisiert, so dürfte es als chemisches Produkt klassifiziert werden, unabhängig davon, ob es als Zusatz in

Lebensmitteln oder als Lösemittel eingesetzt wird. Demnach wird ein chemisches Produkt neben dem Verwendungszweck auch durch den *Herstellungsprozess* definiert. Dies führt zu einer *erweiterten Definition*, welche die oben genannte, vorläufige Definition ersetzen soll: Bei *chemischen Produkten* handelt es sich um *synthetisch hergestellte Stoffe*, die meist *in Chemiebetrieben erzeugt* werden und deren primärer *Verwendungszweck* auf ihren *chemischen Eigenschaften* beruht.⁶⁴

Der *Herstellungsprozess* von chemischen Produkten ist zugleich das entscheidende Kriterium bei der *Abgrenzung* zu den *Produkten anderer Branchen*: Der synthetische Fertigungsprozess der chemischen Industrie unterliegt einer Vielzahl naturwissenschaftlicher Parameter, welche nur ganz bestimmte Kombinationen von Atomen und damit auch von stofflichen Eigenschaften zulassen.⁶⁵ Ein Produkt aus dem Maschinenbau, der Elektroindustrie oder dem Fahrzeugbau hingegen besteht aus verschiedenen Bausteinen, welche – sieht man von der notwendigen Funktionserfüllung ab – in fast beliebigem Aufbau realisiert werden können (vgl. ausführlich *Abschnitt 5.2.1*).

⁶⁴ Je höher darüber hinaus der Reinheitsgrad des chemischen Stoffes und sein Anteil am Gesamtprodukt ist, desto eher wird das Gesamtprodukt auch im Sprachgebrauch als ‚chemisches Produkt‘ bezeichnet.

⁶⁵ Es gibt auch Betriebe anderer Branchen, in denen chemische Stoffumwandlungen Teil der Wertschöpfungsprozesse sind (z.B. Stromerzeugung durch Atomspaltung, Stahlerzeugung durch Umwandlung von Roheisen, Garprozesse in der Lebensmittelindustrie); aufgrund ihres Anwendungszwecks zählen diese Produkte aber nach obiger Definition nicht als ‚chemische Produkte‘.

4 Produktorientiertes Kostenmanagement in der chemischen Industrie

Abschnitt 4 beginnt mit einer Erläuterung, warum die Produkte der chemischen Industrie für ein produktorientiertes Kostenmanagement besonders geeignet sind. Im Anschluss wird das Target Costing vorgestellt, welches ein strategisches Instrument des Kostenmanagements ist. Seine Ziele und Inhalte werden dargelegt und seine Anwendbarkeit auf chemische Problemstellungen, insbesondere zum Zeitpunkt der Produktentwicklung, diskutiert. Im nächsten Schritt wird auf die Komplexität als strategischer Kostentreiber und Ursache hoher Unternehmenskosten eingegangen. Anhand der Komplexität von chemischen Produkten wird dort aufgezeigt, dass Ansatzpunkte für eine Kostenbeeinflussung vorliegen. Allerdings können die Kosten der Komplexität, wie überhaupt die Kosten der indirekten Bereiche, nur unzureichend erfasst werden, was anschließend anhand ausgewählter Kostenrechnungsmethoden verdeutlicht wird. Dies schränkt die Entwickler bei der Abschätzung der Folgekosten ihrer Entscheidungen ein.

Trotzdem können aber – auch ohne die absolute Höhe der Kosten zu ermitteln – in der chemischen Entwicklung maßgebliche Kostentreiber beeinflusst werden, wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß. Diese werden am Ende des Abschnitts erstmalig für den Entwicklungsbereich der chemischen Industrie abgeleitet und systematisiert.

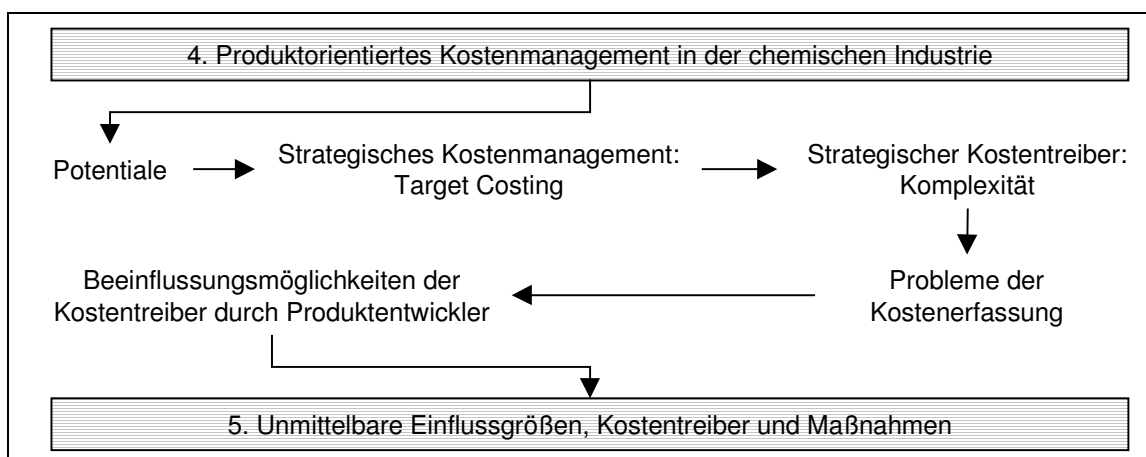


Abbildung 18: Aufbau des Abschnitts 4 und Überleitung zu Abschnitt 5

4.1 Potentiale und Ansatzpunkte

Die *Stoffumwandlung* als typisches Merkmal chemischer Wertschöpfungsprozesse gestattet es der chemischen Industrie weit mehr als anderen Industriezweigen, Einfluss auf die Verfahren und die Kosten der Produkterstellung auszuüben (vgl. HOFMANN

1975, S. 98). Statt auf eine vorhandene Angebotspalette an Materialien und Verfahren zurückgreifen zu müssen, kann sie häufig verschiedene Synthesewege zur Herstellung desselben Produkts einschlagen und damit unmittelbar Rohstoffe und Herstelltechnologien selbst bestimmen.⁶⁶ Anfallende Nebenprodukte können gegebenenfalls durch die Verbundproduktion weiter verwertet werden, und durch kontinuierliche oder diskontinuierliche Produktionsverfahren kann die Fertigung flexibel der Nachfrage angepasst werden.

So hat sich beispielsweise über Jahrhunderte eine kontinuierliche Rationalisierung der *Essigsäuresynthese* vollzogen. Während *Essigsäure* in den vergangenen Jahrhunderten zunächst durch oxidative Gärung von Wein (Weinessig) gewonnen wurde, kam es mit dem verstärkten Einsatz fossiler Rohstoffe zu einer Veränderung der Rohstoffbasis: Anfangs diente *Acetylen* als Ausgangsstoff zur Darstellung von Essigsäure, jedoch wurde im Zuge der aufkommenden Olefinchemie der Wechsel zum *Ethylen* vollzogen. Heutzutage ist Essigsäure eines der bedeutendsten aliphatischen Zwischenprodukte und wird bevorzugt durch *Carbonylierung* von *Methanol* synthetisiert, wodurch die Herstellung nicht mehr an die Rohstoffbasis *Erdöl* gebunden ist („Monsanto-Verfahren“, vgl. ONKEN/BEHR 1996, S. 307ff.). Während also beispielsweise im Maschinenbau Effizienzsteigerungen vorwiegend durch Prozessverbesserungen wie eine zunehmende Automatisierung oder neue Werkstoffe erzielt werden, eröffnet die Chemie aufgrund verschiedener Möglichkeiten der Stoffumwandlung *Rationalisierungspotentiale* durch Änderungen von *Rohstoffen* und *Syntheseverfahren*, die jedesmal zum *identischen* Produkt führen. Allerdings gilt es gleichzeitig zu berücksichtigen, dass die jeweiligen *Standortbedingungen* und das häufig vom Markt vorgegebene *Preisniveau* die Auswahl an Syntheseverfahren unter Umständen stark einschränken können. Im Zuge der abnehmenden Innovationskraft und dem Bedarf an weiteren Effizienzsteigerungen rücken daher die diesbezüglichen prozess- und produktorientierten Potentiale verstärkt in den Mittelpunkt des Kostenmanagements in der chemischen Industrie.

Einen systematischen Überblick über die *Ansatzpunkte zur Kostenbeeinflussung* in der chemischen Industrie bietet die Orientierung an einem *generischen Geschäftsmodell*, aus dem sich drei *Gestaltungsobjekte* ergeben (vgl. FRANZ/KAJÜTER 2002a, S. 19ff.; *Abbildung 19*): die angebotenen *Produkte*, die zu ihrer Erstellung notwendigen (überwiegend betrieblichen) *Prozesse* sowie die hierfür benötigten (internen und externen) *Ressourcen*. Dabei sind die Ressourcen (Anlagen, Rohstoffe, Personal etc.) als Grundlage für die betriebliche Leistungserstellung den anderen Gestaltungsobjekten ‚vorgelagert‘.

⁶⁶ Ein Beispiel aus der ‚Frühzeit‘ der chemischen Industrie ist die damalige Erzeugung von *Schwefelsäure* nach zwei unterschiedlichen Verfahren: dem mittlerweile nicht mehr eingesetzten „Bleikammerverfahren“ und dem bis heute üblichen „Kontaktverfahren“ (vgl. FITZER/FRITZ 1989, S. 28). Als Rohstoffe für letzteres Verfahren dienten bis 1970 überwiegend sulfidische Erze (z.B. Pyrit), während mittlerweile überwiegend elementarer Schwefel als Rohstoffbasis für die Schwefelsäureerzeugung dient (vgl. ONKEN/BEHR 1996, S. 96).

Während die Ressourcen⁶⁷ und Prozesse⁶⁸ schon seit längerem im Fokus von Kostensenkungsaktivitäten standen, stoßen die *Produkte* – auch in der chemischen Industrie – diesbezüglich erst in den letzten Jahren auf Interesse (vgl. FRANZ/KAJÜTER 1997a, S. 19ff.); sie können sowohl direkt als auch indirekt (über prozess- und produktbezogene Maßnahmen) beeinflusst werden.

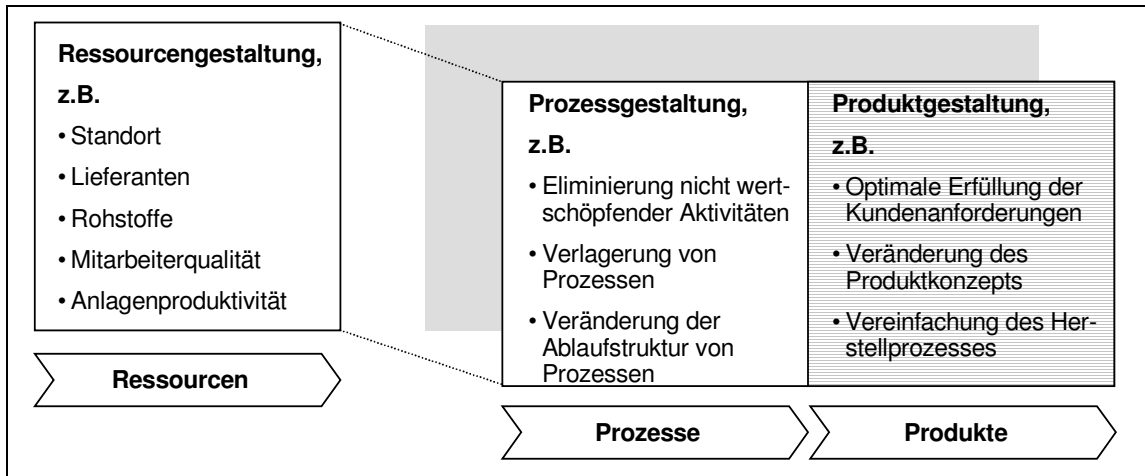


Abbildung 19: Ansatzpunkte des Kostenmanagements in der chemischen Industrie (in Anlehnung an KAJÜTER 2000, S. 188ff.)

Beispiele für Maßnahmen des ressourcen- und prozessorientierten Kostenmanagements in der chemischen Industrie sind die *Standort-* und *Lieferantenwahl*, die *Neu-* bzw. *Umgestaltung von Geschäftsprozessen* oder operative *Ausbeute-* und *Durchsatzsteigerungen*. Auch wenn sich gerade bei letzteren durch die Softwareentwicklung immer wieder neue Kostensenkungspotentiale ergeben, läßt sich insbesondere für die *Produktgestaltung* noch Potential zur Kostensenkung vermuten. Denn die Auswirkungen z.B. einer optimalen *Erfüllung der Kundenanforderungen*, der *Veränderung des Produktkonzepts* oder der *Vereinfachung des Herstellungsprozesses* auf die Kosten sind bislang nicht systematisch analysiert und nur zum Teil genutzt worden.

Mit diesem Ansatz kann auch das in technisch-naturwissenschaftlich orientierten Entwicklungsabteilungen häufig auftretende Problem des *Overengineering* eingedämmt

⁶⁷ So werden mittlerweile in einem typischen *ressourcenbezogenen* Bereich wie der Produktion die Spielräume zur Kostensenkung gering bewertet (vgl. HOMBURG/DAUM 1997, S. 188). Dies liegt sicherlich daran, dass sich der Ausstattungsgrad produktionstechnischer Anlagen meist auf so hohem Niveau befindet, dass durch weitere Rationalisierungsanstrengungen in diesem Bereich häufig keine entscheidenden Kostensenkungen mehr erzielt werden können, zumal der Produktionsbereich schon in der Vergangenheit häufig im Zentrum zahlreicher Kostensenkungsmaßnahmen stand. In der chemischen Industrie ist aber der Produktionsprozess mehr als in anderen Branchen mit den Produkteigenschaften verbunden, so dass die produktbezogenen Maßnahmen zur Kostensenkung nicht unerhebliche Auswirkungen auf die Kosten der Produktion und der fertigungsnahen Bereiche haben können.

⁶⁸ *Prozesse* stellen inhaltlich eigenständige, kostenstellenübergreifende Aktivitäten dar und sind im Zuge ansteigender Gemeinkostenanteile an den Gesamtkosten ebenfalls seit längerem in das Interesse des Kostenmanagements gerückt.

werden. Darunter versteht man die Gefahr, dass auf der Grundlage einer technologiegeprägten Denkweise Produkte hoher Qualität entwickelt werden, die der Markt jedoch „noch nicht, gar nicht oder nicht mehr adäquat honorieren will“, d.h. die entstandenen Kosten können nicht durch entsprechende Erlöse gedeckt werden (vgl. BECKER 1997, S. 39).⁶⁹

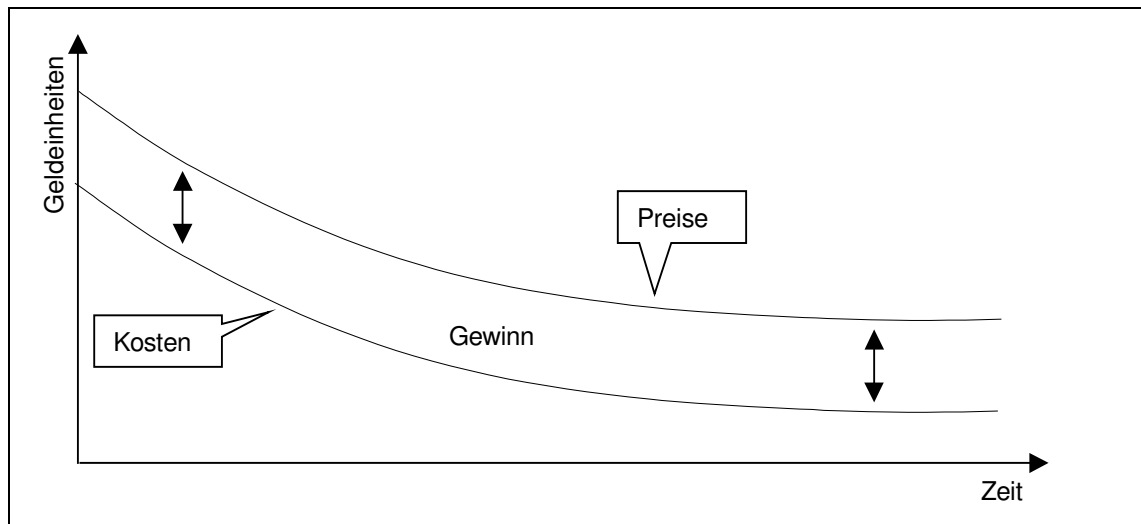


Abbildung 20: Langfristiger Trend von Preisen und der idealtypische Verlauf von Erlösen und Kosten (vgl. MONDEN 1995, S. 5)⁷⁰

Eine Differenzierung alleine durch derart qualitativ bzw. technisch herausragende Produkte mit dem Ziel, sich dadurch vom Preiswettbewerb abzukoppeln, sollte gleichzeitig in dem beschriebenen wettbewerbsintensiven Umfeld schwierig und gegebenenfalls nur noch in immer kürzeren Zeiträumen zu realisieren sein (vgl. BINDER 1998b, S. 2). Müssen die Preise dann trotz der Differenzierung doch noch gesenkt werden, kann es meist

⁶⁹ Die ‚Übererfüllung‘ von Produkthanforderungen auf Funktionen- und Komponentenebene wird zwar vom Kunden, selbst wenn sie keinen unmittelbaren zusätzlichen Nutzen generiert, akzeptiert, jedoch nicht durch erhöhte Preisbereitschaft kompensiert, so dass die (zu) hohen Kosten das Gewinnziel gefährden. Dieses Problem ist in den Ingenieurwissenschaften ein wohlbekanntes Phänomen, vor dem sowohl generell gewarnt als auch in speziellen Untersuchungen immer wieder hingewiesen wird (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 63; SCHUH 1988, S. 3f.). Auch wenn sich Overengineering im engeren Sinne auf die Produktgestaltung und damit die Arbeit der Forscher und Entwickler bezieht, lassen sich ähnliche Sachverhalte auf andere Funktionsbereiche und deren Prozesse übertragen (Produktion, Vertrieb etc.).

⁷⁰ Monden hat diesen ‚Trend‘ u.a. bei Herstellern von Konsumelektronikartikeln beobachtet. Dort sind die Marktpreise von Produkten mit den gleichen Funktionalitäten innerhalb von vier Jahren (1985-1989) etwa um die Hälfte gefallen. Die angeführten Gründe für den Preisverfall weisen Parallelen zur chemischen Industrie auf: Der Preis- und Qualitätswettbewerb hat zugenommen, u.a. durch den Eintritt neuer Wettbewerber, und die Lebensdauer von Produkten hat abgenommen. Zugleich hat die Diversifikation von Kundenwünschen zu steigender Variantenzahl und kleineren Produktionslosen geführt, was die Kostensituation verschlechtert hat. Allerdings konnten die Kosten auch teilweise durch Erfahrungskurveneffekte und technologische Innovationen gesenkt werden (vgl. MONDEN 1995, S. 3ff.).

nur im Idealfall gelingen, die Kosten im gleichen Ausmaß wie die Preise zu verringern (vgl. *Abbildung 20*).

Der Ansatzpunkt Produktgestaltung kann jedoch nur langfristig erfolgreich sein, wenn die Kosten der Produkte nicht intern vorgegeben, sondern aus dem Markt abgeleitet werden. Diese Vorgehen kann durch die Methodik⁷¹ des *Target Costing* unterstützt werden, welches im folgenden Abschnitt vorgestellt wird.

⁷¹ *Methodik* ist eine systematische Vorgehensweise, die zum Erreichen genereller Ziele einen Ablaufplan verfolgt, wobei problemspezifische Methoden zur Zielklärung, Lösungssuche, Entscheidungshilfe und zur Vorgehenskontrolle verwendet werden (vgl. FRICKE 1997, S. 71).

4.2 Strategisches Kostenmanagement in der Produktentwicklung durch Einsatz von Target Costing

4.2.1 Ausgangssituation

Um die genannten Potentiale zur Kostensenkung bei der Produktgestaltung ausschöpfen zu können, muss eine einheitliche *Zielsetzung*, *Vorgehensweise* und *Bewertung* bei der Erfassung und Beeinflussung der vom Produkt verursachten Kosten angewendet werden. „Insbesondere in Märkten, in denen harter Wettbewerb herrscht, ist es empfehlenswert, die Produktkosten im Rahmen eines Target Costing aus den am Markt erzielbaren Preisen abzuleiten“ (FRANZ 1997a, S. 191). Andere Autoren gehen so weit zu sagen, dass „ohne ein funktionierendes Target Costing (...) heutzutage kein Unternehmen mehr auf Dauer in einem wettbewerbsintensiven Markt bestehen“ kann (SEIDENSCHWARZ/SEEBERG 1993, S. 165). In derartigen Märkten ist aufgrund starken *Preiswettbewerbs*, *kürzer werdender Produktlebenszyklen*, einer zunehmenden *Variantenzahl* und häufig stark *automatisierter Fertigung* besonders die frühzeitige Kostenbeeinflussung von besonderer Bedeutung (vgl. BUGGERT/WIEPÜTZ 1995, S. 54). Zudem verbleiben dort hinsichtlich der Anforderungen *Zeit*, *Qualität*⁷² und *Kosten* (Preis) nur noch geringe Handlungsspielräume (vgl. BUGGERT/WIEPÜTZ 1995, S. 57). Diese Wettbewerbssituation und die aus ihr folgenden Notwendigkeiten sind auch für die chemische Industrie in Deutschland und an zahlreichen Standorten weltweit gegeben.

Unter *Target Costing* versteht man ein Instrument des *strategischen Kostenmanagements*, welches durch eine Fokussierung auf die *Gestaltung* und *Herstellung* einzelner Produkte dazu beitragen soll, den Ressourceneinsatz auf den Markt auszurichten und die *Produktrentabilitäten* auch bei steigenden Wettbewerbsintensitäten zu erhalten und gegebenenfalls zu steigern (HORVÁTH/SEIDENSCHWARZ 1992, S. 143; BROKEMPER 1998, S. 36).⁷³ Dabei geht es im Detail darum, den „Beziehungszusammenhang *Kosten - Produktgestalt - Kundennutzen - Kundennachfrage - Preisniveau - Produkterfolg* zu optimieren“ (MÄNNEL 1993b, S. 76). Die *strategische Bedeutung* des Target Costing für

⁷² Unter *Qualität* sei „die Beschaffenheit einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen“, verstanden (DIN 1987, S. 3); eine ‚Einheit‘ ist ein materieller oder immaterieller Gegenstand der Betrachtung, die ‚Beschaffenheit‘ beschreibt die „Gesamtheit der Merkmale und Merkmalswerte“. Qualität soll hier *nicht* in einem *normativen* Sinn gebraucht werden, d.h. die Anforderungen beziehen sich nicht auf eine *objektiv* nachweisbare Qualität, sondern auf die *subjektiv* vom Kunden erwartete Qualität. „Eine alleinige Fokussierung auf die Gebrauchsfähigkeit des Endproduktes (‚fitness for use‘) reicht nicht mehr aus, um Kunden zufrieden zu stellen. Qualität bemisst sich danach, ob in allen für den Kunden kaufrelevanten Dimensionen seine Erwartungen erfüllt werden“ (ADAM 1998, S. 29). Qualität bedeutet in diesem Sinne also ‚optimaler Kundennutzen‘.

⁷³ Zu den verschiedenen Interpretationen des Target Costing vgl. SEIDENSCHWARZ 1993, S. 36ff. und die dort aufgeführten Quellen, sowie in einer Übersicht GLEICH 1996, S. 79f.

das Kostenmanagement erklärt sich daraus, dass die Kosten von Produkten, Prozessen und Ressourcen nicht nur während der Marktphase geplant und kontrolliert, sondern möglichst *frühzeitig* antizipiert und kostenoptimal gestaltet werden (BROKEMPER 1998, S. 36).⁷⁴ Bei diesem Konzept handelt es sich demnach um eine langfristige, vom *Markt* ausgehende *Optimierung* der *Strukturen* und *Kapazitäten* und des *Ressourcenverbrauchs*, die im Sinne einer *Vollkostenbetrachtung* alle Kosten eines Unternehmens als variabel annimmt (vgl. SEIDENSCHWARZ 1993, S. 72; *Abbildung 21*).⁷⁵

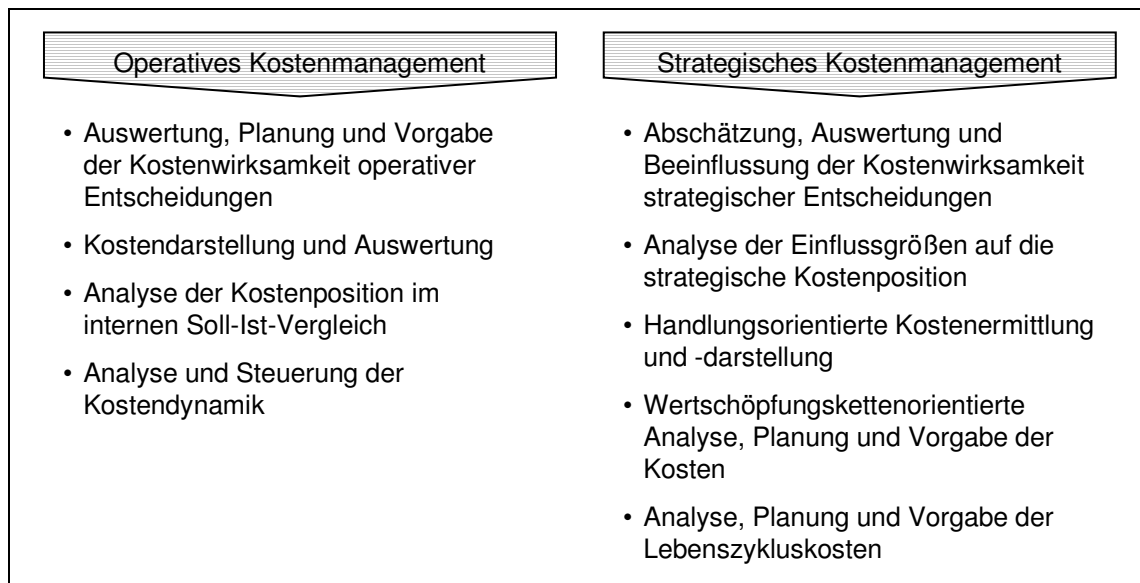


Abbildung 21: Unterschiede zwischen operativem und strategischem Kostenmanagement (vgl. DELLMANN/FRANZ 1994, S. 18)

In der *operativen Umsetzung* stellt das Target Costing einen umfassenden *Kostenplanungs-, -steuerungs- und -kontrollprozess* dar, in dem den voraussichtlich entstehenden (Lebenszyklus-) Kosten eines Produkts frühzeitig (d.h. im Entwicklungsprozess) die – auf der Grundlage von Marktpreisen – ermittelten ‚Zielkosten‘ gegenübergestellt und durch Maßnahmen eines proaktiven Kostenmanagements erreicht und eingehalten werden sollen. Mit dieser Methodik weist das Target Costing gegenüber der früher vorherrschenden Vorgehensweise, die Produkte nach der ‚Kosten-plus-Gewinnaufschlag-Methode‘ zu kalkulieren und dadurch mit wenig transparenten Kostenblöcken und -umlagen zu arbeiten, klare Vorteile auf, indem es zunächst nur die variablen Kos-

⁷⁴ „Strategisches Kostenmanagement stellt (...) das Bindeglied zwischen der Investitionsrechnung und dem operativ-kurzfristigen Kostenmanagement dar. Es liefert in der heute typischen Entscheidungskette ‚Marktpreis, langfristige Selbstkosten, Investition‘ den Input für das Investitionskalkül (die traditionelle Entscheidungskette ist immer noch ‚Investition, Selbstkosten, Marktpreis‘)“ (HORVÁTH/SEIDENSCHWARZ 1991, S. 304).

⁷⁵ *Marktorientiertes* Kostenmanagement leitet seine Ziele aus den erwarteten Marktanforderungen ab und bezieht die gesamte Wertschöpfungskette und insbesondere Kunden- und Lieferantenprozesse in die Kostenbeeinflussung mit ein (vgl. SEIDENSCHWARZ 1993, S. 72).

ten und die produktnahen Gemeinkosten⁷⁶ den Produkten zurechnet (FRANZ 1993, S. 126):

- Es entfällt die von der Verursachungsgerechtigkeit her nicht erfüllbare Aufgabe, die *fixen Gemeinkosten* des Betriebes pauschal auf die verschiedenen Produkte zu *verteilen*.
- Es muss *keine Wahl* eines *Beschäftigungsgrades* getroffen werden, die maßgeblich über die Höhe der fixen Kosten pro Einheit eines Produkts entscheidet.
- Das Target Costing zwingt im Gegensatz zum Versuch der *Kostenüberwälzung* in den Preisen zu systematischen Anstrengungen der Kostensenkung, um die Markterfordernisse zu erfüllen.

Die restlichen, d.h. fixen Gemeinkosten, welche u.a. in der Verwaltung anfallen, sollten entsprechend durch eine ‚autonome Steuerung‘, also ohne unmittelbaren Bezug auf die Preise der Produkte, aber in ähnlicher (z.B. prozentualer) Größenordnung, gesenkt werden.

Seinen *Ursprung* hatte das Target Costing im *Japan* der späten 70er bzw. Anfang der 80er Jahre des 20. Jahrhunderts.⁷⁷ Während vorher die Massenproduktion standardisierter Produkte das Augenmerk der Kostenrechnung auf den *Produktionsprozess* gelenkt hatte, begann man das Kostenmanagement im Zuge einer zunehmenden Vielfalt an Kundenwünschen und immer kürzerer Lebenszyklen zunehmend auf die Phasen *Produktplanung* und *-entwurf* auszurichten. Seit den späten 80er Jahren ist das Target Costing stark mit der Unternehmensstrategie verbunden und wird sowohl für die *Gewinnplanung* als auch für die *Kostenreduktion* eingesetzt (vgl. SAKURAI 1997, S. 46ff.). Dem Einwand aus der Praxis, dass es sich bei diesem Konzept um eine Neuauflage schon lange angewandter Methoden handelt, kann entgegengehalten werden, dass es sich hier zum ersten Mal um eine geschlossene Konzeption einer umfassenden Marktorientierung der Preise und Kosten handelt (vgl. PEEMÖLLER 1993, S. 380). Als vorrangig Ziele des Target Costing werden die *Ausrichtung* der vorhandenen *Unternehmensstruktur* und *-prozesse* auf die *strategischen Ziele* und die *frühzeitige Beeinflussung*

⁷⁶ Die produktnahen Gemeinkosten weisen in der Regel einen stufenfixen Verlauf auf, der aber näherungsweise als linear und damit als variabel angenommen werden kann.

⁷⁷ Einen früheren, jedoch offensichtlich singulären Anwendungsfall eines produktorientierten Kostenmanagements in *Deutschland* schildert FRANZ anhand einer persönlichen Auskunft von Herrn Prof. Dr.h.c. *Ferdinand Porsche* (vgl. 1993, S. 124f.). Dieser berichtete, dass die Entwicklung des ‚Volkswagen‘ in den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts unter der Vorgabe stattfand, dass ein Verkaufspreis von 990 Reichsmark nicht überschritten werden durfte. Um diese Vorgaben einzuhalten wurden verschiedene technische Lösungen unter Kostengesichtspunkten gegeneinander abgewogen.

ung von *Produkttechnologien* und *-strukturen* im Einklang mit den Anforderungen des Marktes genannt (vgl. SEIDENSCHWARZ 1993, S. 73).⁷⁸

Zusammenfassend soll die eben beschriebene Zielsetzung des Target Costing, das unternehmensweite Erreichen der vom Markt geforderten Kostenziele, anhand der nachfolgenden fünf Aspekte präzisiert werden (vgl. HORVÁTH ET AL. 1993b, S. 4; SAKURAI 1997, S. 53):⁷⁹

- Target Costing soll eine *durchgängige Marktorientierung* aller Unternehmensbereiche sowie insbesondere des Kostenmanagements bewirken, mit dem Ziel einer konsequenten Gesamtkostenenkung des Unternehmens und seiner Produkte über den gesamten Lebenszyklus.⁸⁰
- Target Costing strebt die *Strategieorientierung* des Zielkostenmanagements durch Ausrichtung an langfristigen Gewinnzielen und durch marktorientierte Forschung und Entwicklung an.
- Target Costing versucht das Zielkostenmanagement *frühzeitig* in der Produktentwicklungsphase einzusetzen.
- Target Costing bewirkt eine *Dynamisierung* des Kostenmanagements durch die kontinuierliche, marktgetriebene Überprüfung und gegebenenfalls Anpassung der Kostenziele.
- Target Costing berücksichtigt *verhaltenssteuernde Aspekte* durch Orientierung an kundenseitigen Bedürfnissen sowie Verbesserung der innerbetrieblichen Schnittstellenproblematik statt durch hierarchische Steuerung.

Im Rahmen dieser Arbeit soll das Target Costing insbesondere die durchgängige *Marktorientierung*, die *Strategieorientierung* und die *Frühzeitigkeit* des produktorientierten Kostenmanagements in der Chemie sicherstellen. Die *Dynamisierung* ist schwerpunktmäßig eine organisatorische Aufgabe, welche weniger in den Bereich der Produktentwicklung wie in die Vertriebs- und Leitungsfunktionen gehört. Sie wird

⁷⁸ Herkömmliches Kostenmanagement kann produktbezogen kaum Abhilfe schaffen, da es zu operativ ausgerichtet ist und eine Kostenoptimierung nur im Rahmen von bestehenden Strukturen (z.B. Kapazitäten oder Produktprogrammen) anstrebt (vgl. BUGGERT/WIEPÜTZ 1995, S. 25). Das Target Costing stellt hingegen die Kosten der Strukturen und Prozesse ebenso auf den Prüfstand wie die der Funktionen und Komponenten der Produkte.

⁷⁹ Zu den Zielen des Target Costing vgl. weiterhin SEIDENSCHWARZ 1993, S. 78f.; MONDEN 1995, S. 12f.

⁸⁰ Unter der ‚Marktorientierung‘ wird hier die stärkere Ausrichtung des Kostenmanagements am Marketing (über dessen Komponente der Marktforschung) und an den verfolgten Unternehmensstrategien verstanden: alle Aktivitäten der Unternehmen sollen sich an den vom Markt gewünschten Produktfunktionen orientieren (vgl. HORVÁTH/SEIDENSCHWARZ 1992, S. 142).

daher nicht Gegenstand dieser Arbeit sein. Die *verhaltenssteuernden Aspekte* können in der Entwicklung durch Anreiz- und Kontrollsysteme, welche die stringente Ausrichtung an marktorientierten Kostenzielen verfolgen sollen, berücksichtigt werden. Sie werden jedoch im weiteren Verlauf ebenfalls nicht untersucht.

4.2.2 Target Costing in der chemischen Industrie

Die Einsatzmöglichkeiten des *Target Costing in der chemischen Industrie* sind in der Vergangenheit aufgrund der branchenbedingten *starken Prozessorientierung*, vermeintlich *geringer Variantenvielfalt* und *frühzeitig festgelegter Produktionsabläufe* eher zurückhaltend beurteilt worden (vgl. GLEICH 1996, S. 92f.; BUGGERT/WIEPÜTZ 1995, S. 56). Allerdings erscheint es folgerichtig wenn man annimmt, dass durch die beschriebene Wettbewerbssituation und verstärkte Kundenorientierung die Produktdiversifikation in der Chemie in den vergangenen Jahren zugenommen hat und dadurch dem Einsatz von modernen Kostenmanagementmethoden wie dem Target Costing Vorschub geleistet wird. Eine Umfrage von SAKURAI aus dem Jahr 1988 zeigt, dass Target Costing in 24% der dort untersuchten, prozessorientierten Unternehmen (Chemie- und Stahlindustrie) bereits eingeführt war; im Jahr 1992 verwendeten offenbar bereits 31% der befragten Unternehmen der chemischen Industrie das Target Costing (1997, S. 75f.). Eine Befragung von 89 deutschen Großunternehmen verschiedener Branchen aus dem Jahr 1996 ergab einen Bekanntheitsgrad des Target Costing von nahezu 100%, was auf ein großes Interesse an dieser Methodik schließen lässt (FRANZ/KAJÜTER 1997b, S. 490). Der Schwerpunkt des Einsatzes lag dort eindeutig bei den Automobilherstellern und Automobilzulieferern mit 100%, während immerhin 50% der befragten Chemie- bzw. Pharmaunternehmen die interne Verwendung des Target Costing angaben, wenn auch nicht im Rahmen eines kontinuierlichen Prozesses. Eine Aktualisierung der Studie aus dem Jahr 2001 ergab, dass Target Costing generell noch weiter verbreitet ist, was auch für die Unternehmen der Chemie zutreffen sollte, da sie 1996 sowohl beim Einsatz als auch der Einsatzintensität nur einen mittleren Platz belegten (vgl. FRANZ/KAJÜTER 2002, S. 579; FRANZ/KAJÜTER 1997b, S. 490).⁸¹ Die Praxis scheint hier einmal mehr der Theorie voraus zu sein, fehlen doch bislang wissenschaftliche Untersuchungen über die Anwendbarkeit des Target Costing in der Chemie.

Ob die durch die genannten Untersuchungen erfassten Chemieunternehmen ‚nur‘ Zielkosten definieren oder Target Costing im hier verstandenen Sinne als marktorientiert und strategisch ausgerichtetes Kostenmanagement-Instrument verwenden, kann nicht abschließend beurteilt werden. Es dürfte jedoch nicht überraschen, dass die chemische Industrie im Vergleich zu anderen Branchen wie dem Maschinenbau oder der Automo-

⁸¹ In der Studie aus dem Jahr 2001 sind 98 statt 89 Unternehmen befragt worden, wobei der Anteil der Chemieunternehmen vergleichbar ist. Allerdings weist die Untersuchung von 2001 die Verbreitung des Target Costing nur noch für die Grundgesamtheit und nicht nach Branchen differenziert aus.

bilindustrie, welche schon früher dem internationalen Wettbewerb ausgesetzt waren, aufgrund ihrerseits verschärfter Wettbewerbsbedingungen Nachholbedarf beim Methoden- und Instrumenteneinsatz zu haben scheint (vgl. ARNAOUT 2001, S. 171f. und S. 239).

Auch wenn aufgrund der genannten Prozessorientierung die Skepsis bezüglich der Einsatzmöglichkeit des Target Costing in der chemischen Industrie überwog, so ist zu bedenken, dass in der chemischen Industrie Produktionsprozesse zwar nachträglich meist nur unter hohem Aufwand verändert werden können, die *Auswahl* der jeweiligen Prozesse jedoch in einem frühen Produktentwicklungsstadium durchaus beeinflusst werden kann. So kann die Entwicklungsabteilung durch die Ausarbeitung und den Einsatz alternativer Synthesewege wichtige Kostenpositionen, wie beispielsweise die für gewählte Ausgangsstoffe und Reaktionswege notwendigen *Anlageinvestitionen* (d.h. vornehmlich fixe Kosten, welche u.a. von den benötigten Druck- und Temperaturbedingungen, der Korrosivität und Toxizität der eingesetzten Stoffe abhängen), die jeweiligen *Rohstoffkosten* oder die *Anzahl der Synthesestufen* und die damit verbundenen Energie- und Stoffbilanzen (z.B. Ausbeute, d.h. eher variable Kosten) beeinflussen. Diese Parameter sind bei jeder Synthesealternative unterschiedlich, wenn auch unter dem Ziel der Ausbeutemaximierung hinsichtlich eines bestimmten Syntheseweges nicht frei wählbar (vgl. *Abschnitt 4.6.3*). Derartige prozessbezogene Kostensenkungsbetrachtungen sind aber in der Praxis teilweise schon intensiv untersucht und umgesetzt worden. Insofern sind im Rahmen von Target Costing zunächst keine sprunghaften Kostensenkungen aus *prozessorientierten Konzepten* zu erwarten. Allerdings sollte der naturwissenschaftlich-technische Fortschritt weitere Kostensenkungspotentiale im Bereich des *Prozesskonzeptes* erschließen können.

Hinsichtlich *produktbezogener* Maßnahmen lässt sich zunächst feststellen, dass der erfolgreiche Einsatz des Target Costing ein *Mindestmaß* an *Produktkomplexität* erfordert, da ansonsten bei stark standardisierten Produkten weder durch eine „funktionale Optimierung“ noch über eine vom Kunden „nicht gewünschte Verbesserung“ Kostenverbesserungen zu erzielen sind (BUGGERT/WIEPÜTZ 1995, S. 56). Für eine bedeutende Zahl chemischer Produkte ist dies zweifellos gegeben, wie bereits der Klassifizierung von chemischen Produkten entnommen werden konnte (vgl. *Abschnitt 3.3.1*). Als Grund für das bisher mangelnde Interesse an produktorientierten Ansätzen kann vielmehr die traditionell stark naturwissenschaftlich-technische *Produktentwicklungsphilosophie* in der chemischen Industrie vermutet werden, welche der intern bewerteten funktionalen Leistungsfähigkeit der Produkte teilweise Priorität über die (vermeintliche) Kundenperspektive zuwies. Dadurch bestand bei der bisherigen Entwicklungsarbeit nicht selten die Gefahr, dass sie immer wieder zu Produkten führte, welche technisch zwar ausgereift, aber zu teuer waren und vom Kunden nicht angenommen wurden („Overengineering“; vgl. BURKHARDT 1994, S. 96; *Abschnitt 4.1*).⁸² Umso mehr verwundert es,

⁸² So sprach beispielsweise BASF-Vorstandsmitglied und Forschungsvorstand *Marcinowski* von einem Perspektivenwechsel bei der Ausrichtung der BASF: In zu vielen BASF-Geschäften gebe es eine zu hohe

dass gerade in einem solchen, technisch dominierten Umfeld wie der Chemie das Target Costing bisher nur eine untergeordnete Rolle spielt. Ein Grund könnte auch in der unzureichenden Zusammenarbeit zwischen ausschließlich naturwissenschaftlich ausgebildeten Forschern und Entwicklern einerseits und rein ökonomisch ausgebildeten Kostenverantwortlichen andererseits vermutet werden.

4.2.3 Ablauf des Target Costing

Eine Systematisierung des Target Costing-Prozesses kommt – je nach Autor – zu einer unterschiedlichen Anzahl und Unterteilung der möglichen Phasen.⁸³ Zum besseren Verständnis der teilweise stark differierenden Auffassungen sollen zunächst drei grundsätzliche Phasen kurz vorgestellt werden, die in den folgenden Abschnitten ausführlich diskutiert werden (vgl. SAKURAI 1997, S. 57f.; vgl. MONDEN 1995, S. 13ff.). Dabei gilt es zu beachten, dass diese Phasen nicht unbedingt sequentiell durchlaufen werden müssen, sondern auch parallel bzw. gleichzeitig verlaufen können.

- Bevor durch das Target Costing produktbezogene *Zielkosten* („*Target Cost*“) definiert werden können, muss zunächst im Rahmen einer *Unternehmensplanung* bzw. *Bereichsplanung* die Gewinnerwartung formuliert werden (*Gewinnplanung*). Weiterhin erfolgt – auf der Grundlage von Marktdaten und Kundenwünschen – eine *konzeptionelle Planung* der (neuen) *Produkte*, durch deren Erlöse die geplanten Gewinne erreicht werden sollen.
- Die Methodik des Target Costing leitet aus prognostizierten Marktpreisen (*Zielpreise*) sowie dem geplanten Gewinn die „vom Markt erlaubten Kosten“ („*Allowable Cost*“) für die geplanten Produkte ab; diese sind in der Regel weder kurz- noch mittelfristig zu erreichen. Außerdem werden die auf den bisherigen Prozessen und Technologien basierenden voraussichtlichen *Schätzkosten* („*Drifting Cost*“) für zukünftige Produkte kalkuliert. In einer möglichst realistischen Schätzung wird das endgültige, im betrachteten Zeitraum voraussichtliche Kostenziel in Form der Zielkosten pro Produkt festgelegt.
- Durch produktorientierte Maßnahmen soll die Kostenlücke zwischen den zu erwartenden *Schätzkosten* und den zu *erreichenden Zielkosten* geschlossen werden. Die Produktentwicklung sollte dabei durch frühzeitige, entwicklungsbegleitende Kosteninformationen unterstützt werden. Die Maßnahmen werden konzeptionell während

Komplexität in Produktion und Produktportfolio; auch gebe es dort Produkte, die weniger entlang den Bedürfnissen der Kunden als entlang immer höher geschraubter Standards entwickelt seien. Weiterhin seien wesentliche Gründe für das Scheitern vieler Produktinnovationen u.a. im zu geringen Kundennutzen und fehlender Wirtschaftlichkeit im externen Benchmarking zu suchen (O.V. 2001, S. 21).

⁸³ Vgl. hierzu in einer Übersicht ARNAOUT 2001, S. 41ff.

der Produktentwicklung erarbeitet und vom Labormaßstab bis hin zur Produktionsfreigabe umgesetzt; die eigentliche Kostensenkung beginnt erst mit dem Start der Serienfertigung („SOP“).

Es soll an dieser Stelle deutlich gemacht werden, dass die Beherrschung der Systematik der einzelnen Prozesse des Target Costing *konzeptionelle Grundlage* der – im Mittelpunkt dieser Arbeit stehenden – Senkung von Kosten durch produktbezogene Maßnahmen ist. Auch das in *Abschnitt 7.1* neu vorgestellten Instrument einer kosten- und qualitätsoptimierten Produktentwicklung in der chemischen Industrie ist zum Teil eine Weiterentwicklung der Target Costing-Systematik.

4.2.3.1 Unternehmens- und Gewinnplanung

Der *Unternehmens- und Gewinnplanung* kommt beim Target Costing-Prozess entscheidende Bedeutung zu, da sie für die Aufstellung der Prämissen der Kostenplanung verantwortlich ist (vgl. BUGGERT/WIEPÜTZ 1995, S. 58). Sie beginnt mit der generellen *Zielplanung*: Diese leitet aus strategischen Erwägungen wie zukünftigen Märkten und Marktanteilen (Sachzielen) und den dafür notwendigen Produkten und Ressourcen die ökonomischen Wertziele *Gewinn* und *Liquidität* ab (vgl. HAHN 1994, S. 92f.; COENENBERG/BAUM 1987, S. 33ff.). Der geplante Gewinn („Zielgewinn“) wird ‚Top-Down‘ durch die Unternehmensleitung vorgegeben.⁸⁴ Quantifizieren und plausibilisieren lässt sich der Zielgewinn z.B. anhand der langfristigen Gewinnpläne des Unternehmens, der Gewinne der vergangenen Jahre, der Gewinne von vergleichbaren Unternehmen aus der Branche (Benchmarking) oder auch anhand von kapitalmarktorientierten Kennzahlen des Wertmanagements (vgl. MONDEN 1995, S. 40).

Die Gewinnvorgabe kann prinzipiell in Form eines absoluten Betrages oder einer relativen Kennzahl erfolgen. Die Einhaltung eines absoluten Betrages kann jedoch bei Abweichungen von den *Mengenprognosen* unmittelbar gefährdet sein, ohne dass die Ursache in einer mangelnden Marktpreisorientierung bzw. Zielkostenerreichung durch die operativen Einheiten zu suchen ist. Da das Target Costing seine Zielkosten unmittelbar aus den *Preisprognosen* ableitet, bietet es sich an, nur bei Abweichungen von den geplanten Preisen die Zielkosten zu modifizieren; zumindest können nur diese im Verantwortungsbereich der mit der Umsetzung des Target Costing befassten Abteilungen liegen.⁸⁵ Der Formulierung des Zielgewinnes in Form von relativen Kennzahlen sollte daher der Vorzug gegenüber absoluten Ziffern gegeben werden (allenfalls auf Produk-

⁸⁴ Gegebenenfalls kann der geplante Gewinn durch das iterative Vorgehen des Target Costing-Prozesses aber auch beeinflusst und verändert werden.

⁸⁵ Die Anwendbarkeit des Target Costing wird demnach vor allem durch die Güte der Umsatzprognose determiniert (vgl. FISCHER/SCHMITZ 1994a, S. 419). Da hierfür die Zielpreise festgestellt werden müssen, kann die Phase der Gewinnplanung zeitlich nicht von der Phase der Zielpreis- und Zielkostenplanung separiert werden (vgl. *Gleichung 4.1*).

tebene könnte ein absoluter Zielgewinn ohne zu großen Aufwand und Interpretationsschwierigkeiten vorgegeben werden):

$$\text{Zielgewinn} = \text{Zielumsatz} \times \text{Zielumsatzrendite} \quad (4.1)$$

Gleichung 4.1: Ermittlung des Zielgewinnes (vgl. MONDEN 1995, S. 40).⁸⁶

Auch wenn offenbar über die Hälfte der größeren deutschen Unternehmen *Kapitalrenditen* als Kennzahlen anwenden (vgl. HAHN/OPPENLÄNDER 1999, S. 1121), wird zur Gewinndarstellung in marktorientierten Target Costing-Ansätzen der *Umsatzrentabilität* häufig Vorrang gegenüber anderen Zielgrößen gegeben (vgl. SEIDENSCHWARZ 1993, S. 122; SAKURAI 1997, S. 313ff.). Da die Gewinnvorgabe möglichst für jedes Geschäftsfeld, jede Produktgruppe und für jedes Produkt einzeln definiert sein sollte, würde die *Aufteilung* des betrieblichen Kapitals auf diese Einheiten andernfalls die Unternehmen vor erhebliche (Bewertungs-) *Probleme* stellen (vgl. FRANZ 1993, S. 127). Weiterhin dürfte die Umsatzrendite aufgrund ihres unmittelbaren Bezugs zu den Marktpreisen und ihrer allgemein leichteren Verständlichkeit im Rahmen der Zielkostenvorgaben auch intern eher zu vermitteln sein.

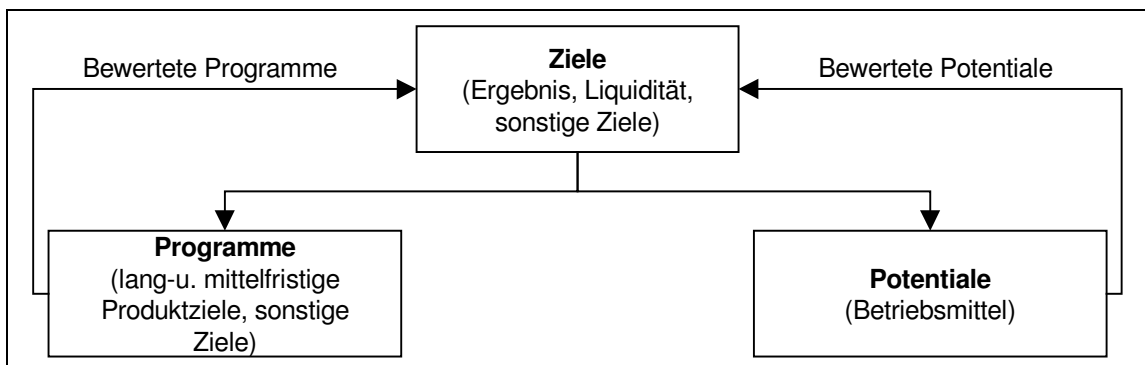


Abbildung 22: Inhalte der Unternehmensplanung (in Anlehnung an HAHN 1994, S. 91)

Auf der Basis der Ziele und des Zielgewinns erfolgt eine *Analyse* der *mittel- und langfristigen Position* des Unternehmens, welche i.A. eine Lücke zwischen der gewünschten und der erreichbaren Position aufdeckt (vgl. *Abbildung 22*). Die *strategische Programm- bzw. Produktplanung* orientiert sich an dieser Lücke und plant zu deren Schließung die Entwicklung von neuen bzw. die Modifizierung oder Substitution von vorhandenen Produkten; sie legt also Art und Umfang der langfristig zu erstellenden Leistungs- bzw. Produkt- und Dienstleistungsprogramme fest (vgl. HORVÁTH ET AL. 1993b, S. 6f.). Durch diese *Produktplanung* wird die *Unternehmensstrategie* in die mittel- bis langfristige Planung *integriert* und damit eine wesentliche Voraussetzung für die *Im-*

⁸⁶ Um den ‚Stückzielgewinn‘ eines Produkts zu ermitteln, der eine konkrete Handlungsvorgabe für die Produktentwickler darstellt, wird *Gleichung 4.1* durch die Absatzmengen dividiert.

plementierung des Target Costing erfüllt (SAKURAI 1997, S. 71). Aus der Planung der Ziele und der Programme lassen sich schließlich die (zur Zielerreichung notwendigen) Betriebsmittel (Potentiale) ableiten. Nach der Präzisierung und Plausibilisierung der Planung und des Zielgewinnes müssen für die zukünftigen Produkte die voraussichtlichen Preise definiert werden, um daraufhin die ‚vom Markt erlaubten Kosten‘ ermitteln zu können.

4.2.3.1.1 Ermittlung der Zielpreise

„Die Wertschätzung des Kunden über das Produkt drückt sich in seiner Preisbereitschaft aus“ (SERFLING/SCHULTZE 1997, S. 57). Diese kann durch Marktforschung ermittelt werden, um anschließend als Ausgangspunkt für die Budgetierung der Produktgesamtkosten sowie der Kosten der einzelnen Produktkomponenten zu dienen. Die Ermittlung der Zielpreise geht von einem vorgegebenen Marktpreis aus, und die Produktmerkmale leiten sich davon ab, für welchen Zeitraum und zu welchem Preis das Produkt verkauft werden kann. Der Preis kann dabei als Fixpunkt durch ein bestimmtes Absatzvolumen aus der Preisabsatzfunktion entnommen und anhand der zu erwartenden Preisniveaus der direkten Wettbewerber im Marktsegment überprüft werden (vgl. SEIDENSCHWARZ 1993, S. 118).

Eine Durchschnittspreisbildung, die in Märkten mit wenig Wettbewerb eventuell noch zuverlässige Anhaltspunkte über einen längeren Zeitraum geben könnte, kann in einem wettbewerbsintensiven, preisdynamischen Umfeld nicht durchgängig aufrecht erhalten werden. Für wettbewerbsintensive Märkte gilt vielmehr, dass sich die Zielpreise an den Produktfunktionen der geplanten Produkte orientieren sollten (vgl. MONDEN 1995, S. 73f.; Gleichung 4.2). Diese Funktionen ergeben sich formal aus den technisch-qualitativen Anforderungen des Pflichtenhefts. Die rechnerische Ermittlung des Zielpreises kann dann gemäß nachstehender Gleichung erfolgen:

$$\text{Zielpreis des geplanten Produktes} = \sum \beta_j \times \text{Produktfunktion } j \quad (4.2)$$

Gleichung 4.2: Schätzung des Zielpreises (vgl. MONDEN 1995, S. 74)

Hierbei bedeutet β_j den Gewichtungsfaktor⁸⁷ für die jeweilige Produktfunktion j . Jede Produktfunktion j besitzt nach dieser Berechnungsmethode entsprechend ihrer – subjektiv durch den Kunden beurteilten – ‚Leistungsfähigkeit‘ einen bestimmten Wert β_j , der aus dem Markt abgeleitet werden muss. Dieser kann zusätzlich durch die Bewertung von Vergleichsprodukten, welche die entsprechenden oder ähnliche Funktionen bereits anbieten, verifiziert werden. Die Summe über alle gewichteten Funktionen ergibt dann den zukünftigen Verkaufspreis. Dabei kann es aufgrund der Wettbewerbsintensität durchaus vorkommen, dass ein Produkt, das die gleichen Funktionen wie das Vorgän-

⁸⁷ Aus formalen Gründen muss der Faktor β als Einheit einen Geldwert ausweisen.

gerprodukt aufweist, trotzdem zu einem niedrigeren Preis angeboten werden muss. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass auch eine Zunahme an Funktionen nicht automatisch einen höheren Preis rechtfertigt (vgl. MONDEN 1995, S. 73).⁸⁸

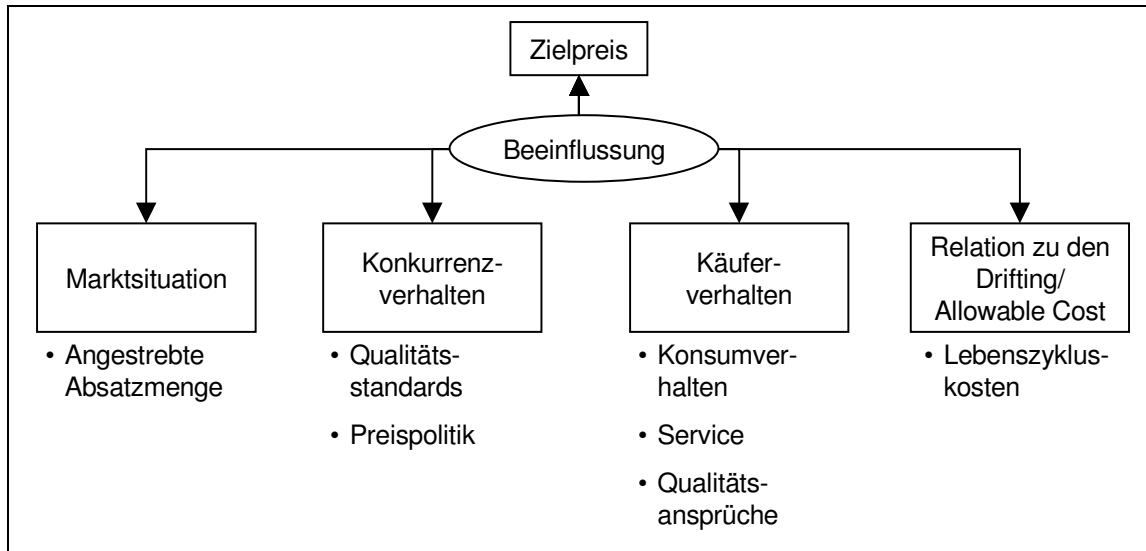


Abbildung 23: Wichtige Einflussfaktoren zur Zielpreisbestimmung (in Anlehnung an BUGGERT/WIEPÜTZ 1995, S. 66)

Aus der Orientierung an der Markt- und Wettbewerbssituation und damit am niedrigsten Preis des gesamten Betrachtungszeitraums folgt, dass für die Gewährleistung der geplanten Rentabilität eine *lebenszyklusbezogene Kostenbetrachtung* notwendig ist. Auch die jeweilige Marktstrategie beeinflusst das Preisniveau und bestimmt damit über die zu erreichenden Zielkosten (z.B. ‚Skimming‘, ‚Penetration‘; vgl. SEIDENSCHWARZ 1993, S. 118ff.).⁸⁹ Neben den Produktfunktionen und den Marktstrategien gibt es noch weitere Einflussfaktoren auf die Zielpreisermittlung, welche in *Abbildung 23* aufgeführt sind. Neben der geplanten *Absatzmenge*, den *Qualitätsstandards* von Wettbewerbsprodukten und der *Preispolitik* des Wettbewerbs spielen auch das *Konsumverhalten*, die *Service*- und die *Qualitätsansprüche* der Zielgruppen eine bedeutende Rolle; diese Faktoren fließen teilweise in die oben genannten *Produktfunktionen* und *Marktstrategien* ein. Außerdem ist die Höhe der Drifting Cost bzw. der Allowable Cost in Bezug auf den Zielpreis – und damit die Höhe der realistisch über den *Lebenszyklus* zu erwartenden *Kostensenkung* – von Bedeutung.

⁸⁸ Damit weder Erlösschmälerungen wie Rabatte und Skonti oder interne Verrechnungspreise den geplanten Gewinn beeinflussen, müssen diese bei der Ermittlung der Zielpreise berücksichtigt werden. Der Zielpreis entspricht folglich dem Marktpreis abzüglich der Erlösschmälerungen.

⁸⁹ Zu den Instrumenten der Preisfindung (z.B. *Conjoint Measurement*) vgl. in einer Übersicht BUGGERT/WIEPÜTZ 1995, S. 69ff.

4.2.3.2 Ermittlung der Allowable Cost und der Zielkosten

Die *Zielkosten* eines geplanten Produkts leiten sich aus der Gewinnvorgabe ab: Durch Subtraktion des Zielgewinnes vom geplanten Nettoerlös erhält man zunächst die ‚vom Markt erlaubten Kosten‘ („Allowable Cost“⁹⁰), welche diejenigen Kosten darstellen, die aus Sicht des Marktes und einer marktorientierten Unternehmensführung *maximal zulässig* sind, wenn die vorgegebenen Unternehmensziele eingehalten werden sollen (vgl. MONDEN 1995, S. 101ff.).⁹¹ Dieses Kostenziel ist sehr ehrgeizig und normalerweise nicht mit den vorhandenen Technologien, Prozessen und Produktstrukturen eines Unternehmens und ohne Einsatz zusätzlicher Kostenmanagement-Aktivitäten zu erreichen.

Ob die Allowable Cost überhaupt zu erreichen sind, lässt sich teilweise erst nach dem Erarbeiten des Produktkonzepts und seiner Komponenten beurteilen, da häufig erst auf dieser Aggregationsebene die Einhaltung des Kostenziels verifiziert werden kann. Die schließlich festzulegenden *Zielkosten* (Target Cost) sind quasi ein – kurzfristig kaum erreichbarer – *Kompromiss* zwischen den *Drifting-* und *Allowable Cost*, welcher jedoch mittelfristig als realistisch erreichbare Kostengröße angesehen wird. Dabei bleibt das Ziel bestehen, die Zielkosten im Verlauf des Produktlebenszyklus durch kontinuierliche Kostenmanagementmaßnahmen noch bis auf die Allowable Cost abzusenken (vgl. HORVÁTH ET AL. 1993b, S. 12).

Die Ermittlung der gesamten Zielkosten wird aus *Gleichung 4.3* ersichtlich. Durch eine Division des Ausdrucks durch die Absatzmenge gelangt man zu den Zielkosten pro Stück, welche sich auf diese Weise dann direkt aus den Renditekennziffern der strategischen Gewinnplanung und den Zielpreisen präzise ableiten lassen (vgl. MONDEN 1995, S. 102; *Gleichung 4.1* und *Gleichung 4.4*). Die Kenntnis der Zielkosten pro Stück ist die Voraussetzung für die spätere Aufteilung der Kosten in die Funktionen und Komponenten und dient der Produktentwicklung als definitive Kostenvorgabe:

$$\text{Zielkosten} = \text{Umsatz} - \text{Zielgewinn} \quad (4.3)$$

⁹⁰ Sie liegen meist unter den Kosten, die als realistisch oder als erreichbar erscheinen (vgl. PEEMÖLLER 1993, S. 376f.). Hierbei bleiben vorhandene Technologie- und Verfahrensstandards unberücksichtigt (HORVÁTH/WOBOLD 1993, S. 231).

⁹¹ Eine andere Möglichkeit zur Ermittlung der Zielkosten ist deren Ableitung aus den voraussichtlich entstehenden Kosten („Schätzkosten“) abzüglich einer noch zu definierenden zusätzlichen Kostensenkung, die aus der zur Planerfüllung notwendigen Gewinnverbesserung (z.B. bezogen auf das jeweilige Produkt) resultiert (vgl. MONDEN 1995, S. 104ff.).

$$\text{Zielkosten pro Stück} = \text{Zielpreis pro Stück} - (\text{Zielpreis pro Stück} \times \text{Umsatzrendite}) \quad (4.4)$$

Gleichung 4.3 und 4.4: Ermittlung der Zielkosten pro Stück (MONDEN 1995, S. 102)

Die Berechnung der verschiedenen Kostenkategorien des Target Costing ist uneinheitlich.⁹² Laut einer Studie basiert z.B. bei einem Großteil japanischer Unternehmen die Berechnung der Allowable Cost auf den gesamten *Herstellkosten* (35%)⁹³ bzw. den *Vollkosten* (32%)⁹⁴; ungefähr 15% der untersuchten Unternehmen beziehen außer den Herstellkosten auch noch die F&E-Kosten ein (vgl. SAKURAI/KEATING 1994, S. 88). Für die Ermittlung der Drifting Cost werden überwiegend *Herstellkosten* (42%) bzw. *variable Herstellkosten* (17%) einbezogen, und da sie zunächst durch kurz- bis mittelfristige Maßnahmen beeinflusst werden sollen, bietet sich eine Unterscheidung in *beeinflussbare* und *nicht beeinflussbare* Drifting Cost an (SAKURAI/KEATING 1994, S. 88f.; Abschnitt 4.2.3.2.2).⁹⁵ Die *Zielkosten* enthalten in der Regel den *Materialeinsatz* und diejenigen *Fertigungslöhne*, welche über eine Reduzierung der Zahl der Arbeitsgänge beeinflussbar sind; darüber hinaus können auch *produktnahe Gemeinkosten* mit einbezogen werden (FRANZ 1993, S. 126).⁹⁶ Fixe Gemeinkosten sollten durch eine ‚autonome Steuerung‘ (vgl. Abschnitt 4.2.1) gesenkt und nicht auf die Produktkosten aufgeschlagen werden.

Die *Höhe* der Zielkosten berücksichtigt weiterhin auch dynamische *Lernkurveneffekte* und *Mengendegressionseffekte*, denn die häufig zur Ableitung und Plausibilisierung der Zielkosten herangezogenen aktuellen Kosten eines Vergleichsproduktes haben diese *Lernkurveneffekte* und *Economies of Scale* aufgrund des vorangeschrittenen Lebenszyklus schon (zumindest partiell) antizipiert (vgl. MÄNNEL/PAMPEL 1996, S. 7; GLEICH 1996, S. 114; EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 54): „Lässt sich die Kalkulationslücke zwischen Allowable Cost und Drifting Cost nicht schon zu Beginn der Produktions- und Vermarktungsphase schließen, sind unter gründlicher Beachtung von Erfahrungskur-

⁹² Zur Systematisierung der einem Produkt zurechenbaren Kosten aus japanischer und deutscher Sicht vgl. FREIDANK/ZAEH 1997, S. 242.

⁹³ Werden nur Herstellkosten einbezogen, so bestehen sie typischerweise aus drei Kostenblöcken: Materialeinzelkosten, Fertigungseinzel- sowie Fertigungsgemeinkosten; das Hauptaugenmerk zur Kostensenkung liegt dabei auf den Material- und Fertigungseinzelkosten. Materialgemeinkosten werden nicht explizit ausgewiesen, jedoch enthalten die Materialeinzelkosten neben „Kosten für Fremderzeugnisse“ und „Auslaufkosten“ auch „Kosten selbsterstellter Güter“, welche in der Regel Materialgemeinkosten berücksichtigen sollten (vgl. SAKURAI 1997, S. 63).

⁹⁴ Herstellkosten, Marketing- und allgemeine Verwaltungskosten (SAKURAI/KEATING 1994, S. 89).

⁹⁵ Jedoch müssen diese beide Kostengrößen so aufbereitet werden, dass sie vergleichbar sind.

⁹⁶ Preisschwankungen von Arbeitskosten oder Materialkosten, solange sie nicht längerfristige Durchschnittswerte repräsentieren, dürfen die Zielkosten jedoch nicht beeinflussen.

ven- und Lernkurveneffekten Zielkosten in einem Niveau vorzugeben, das innerhalb des Produktlebenszyklus mengen- und zeitabhängig immer weiter so stark sinkt, dass über den gesamten Lebenszyklus des Erzeugnisses hinweg die angestrebte Umsatzrentabilität tatsächlich erreicht wird“ (MÄNNEL/PAMPEL 1996, S. 3). Diese dynamische, lebenszyklusbezogene Produktbetrachtung steht im Prozess der Zielkostenfindung in einem komplementären Verhältnis mit dem Target Costing (vgl. FRANZ 1997b, S. 282f.): „Das Lebenszyklus-Modell gibt eine Anleitung zur Erfassung und Darstellung der im Rahmen der Produktentwicklung, der Produktion und der Vermarktung angefallenen Zahlungsströme, während das Target Costing die Anleitung liefert, wie die Ausgabenströme geordnet werden sollen, wenn von vorgegebenen Absatzpreis- und Mengenverhältnissen und einer gewünschten Gewinnspanne auszugehen ist“ (vgl. *Abbildung 5* und die in diesem Fall durch das Target Costing vorgegebenen ‚Lebenszykluskosten‘, welche in einer dynamischen Betrachtung dem Barwert der „erlaubten produktspezifischen Aufwendungen“ entsprechen; vgl. HILBERT 1995, S. 361).⁹⁷

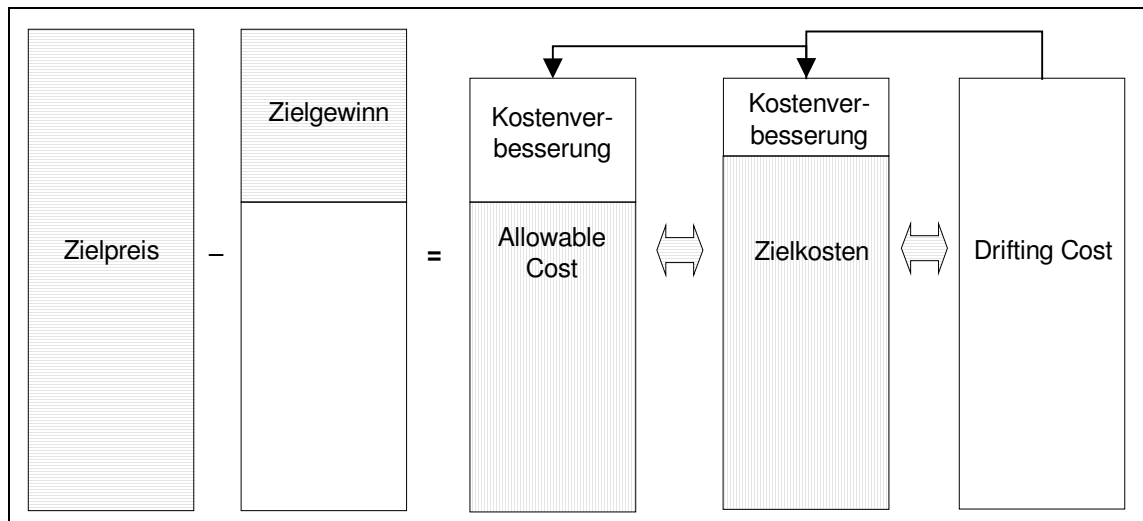


Abbildung 24: Ermittlung der Zielkosten auf Basis der Zielpreise (in Anlehnung an MONDEN 1995, S. 103)

Abbildung 24 verdeutlicht noch einmal schematisch das Vorgehen der Zielkostenermittlung anhand der Zielpreise: Im Zentrum der Abbildung befindet sich die Säule der ‚Allowable Cost‘, welche *rechnerisch* durch Verminderung des Zielpreises um den Zielgewinn (von links zur Mitte) ermittelt werden. *Operativ* werden sie durch die Kostenverbesserung der ‚Drifting Cost‘ auf das Niveau der ‚Zielkosten‘ und die weitere Verbesserung auf das Niveau der ‚Allowable Cost‘ erreicht (von rechts zur Mitte).⁹⁸

⁹⁷ Zu der Erweiterung des statischen Ansatzes des Target Costing zu einem dynamischen Ansatz vgl. ausführlich FRANZ 1997b, S. 281ff. Für einen weitergehenden, an der geplanten Wertsteigerung des Unternehmens und dem Kapitalwert orientierten Ansatz des Target Costing vgl. MUSSNIG 2001, S. 140ff.

⁹⁸ MONDEN beschreibt eine weitere Methode zur Ermittlung der Zielkosten anhand der Drifting Cost (vgl. 1995, S. 104ff.).

Die hier vorgestellte Vorgehensweise der Zielkostenableitung ist auch unter dem Begriff ‚Market into Company‘ beschrieben worden und gilt als „Reinform“ des Target Costing (BUGGERT/WIEPÜTZ 1995, S. 80).⁹⁹ Durch die Ausrichtung der Zielkosten an der Fragestellung „Was *darf* ein Produkt kosten“ – und nicht mehr wie früher „Was *wird* ein Produkt kosten“ – wird bei diesem Ansatz beabsichtigt, das Denken der Produktentwickler in vorherrschenden, durch interne Standards und subjektive Erfahrungen beschränkten Dimensionen zu durchbrechen und technologische Grenzen zu überwinden (vgl. SEIDENSCHWARZ 1993, S. 80). Nicht selten können nur durch derart innovative Lösungsansätze die ehrgeizigen Kostenziele erreicht werden. Deren Quantifizierung fällt mit fortschreitender Produktentwicklung und nahendem Markteintritt immer leichter, da einerseits die Zielpreisschätzungen, andererseits auch die Kostenziele kontinuierlich präzisiert und damit die Erfolgchancen der in Bearbeitung befindlichen Lösungsalternativen immer besser beurteilt werden können. Kommt es im Verlauf des Target Costing hingegen zu falschen Kostenschätzungen und daraus resultierend zur fehlerhaften Verteilung der Zielkosten auf die Produktfunktionen und -komponenten, kann dies zu einer „Verletzung der Produktintegrität“ führen und den Markterfolg des Lösungskonzeptes in Frage stellen (vgl. BUGGERT/WIEPÜTZ 1995, S. 98).

4.2.3.2.1 Ermittlung der Drifting Cost

Die *Drifting Cost* beschreiben die unter Beibehaltung der vorhandenen Unternehmensstruktur und -abläufe voraussichtlich entstehenden (Plan-) Kosten eines Produkts;¹⁰⁰ sie liegen in der Regel oberhalb der Zielkosten. Zur Abschätzung dieser Kosten existieren zwei Möglichkeiten, welche sich an die Methoden der entwicklungsbegleitenden Kalkulation anlehnen (vgl. *Abschnitt 6.2.2*):

- Eine Vorgehensweise beruht auf *Erfahrungswerten*, welche beispielsweise in ‚Cost Tables‘ gelistet werden (*Abschnitt 6.2.2.2.2*). Basierend auf diesen Werten wird das Produkt von Grund auf *neu* kalkuliert, wenn auch wegen des frühen Zeitpunkts und der dadurch mangelnden Kosteninformationen mit eingeschränkter Datenbasis. Wenn die ‚Cost Tables‘ nicht kontinuierlich gepflegt werden, besteht die Gefahr ei-

⁹⁹ Nur diese Methode wird hier weiter behandelt; ausführlich zu diesem und den anderen vier Verfahren der Zielkostenfestlegung vgl. SEIDENSCHWARZ 1993, S. 116ff.

¹⁰⁰ Die Bezeichnung ‚Drifting‘ (dt.: [davon]-treibend) deutet darauf hin, dass diese Kosten von den Zielkosten abweichen und im weiteren Verlauf immer wieder neu kalkuliert werden müssen, bis sie schließlich mit diesen übereinstimmen. Betragsmäßig liegen sie in der Regel über den Allowable Cost. Solange sie nicht genau quantifizierbar sind, werden sie auch als *Schätzkosten* bezeichnet. Allerdings beschreibt dieser Begriff offensichtlich nicht ganz exakt den in der japanischen Originalliteratur beschriebenen Sachverhalt der ‚prognostizierten Standardkosten‘. In Übereinstimmung mit HORVÁTH ET AL. soll er hier jedoch weiterhin aufgrund der besseren Vergleichbarkeit mit der englischsprachigen Literatur, in der er sich so eingebürgert hat, verwendet werden (vgl. 1993, S. 9f.).

¹⁰¹ Je mehr Gleich-, Wiederhol- und Normteile bzw. -substanzen in dem neuen Produkt eingesetzt werden, umso geringer ist der Aufwand für die Kostenschätzung, da für jene die Kosten weitgehend bekannt sein dürften (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 408).

ner fehlerhaften Kalkulation aufgrund von nicht mehr gültigen Vergangenheitsdaten.

- Eine andere Methode analysiert die *Kosten* eines *vergleichbaren Produkts* – in der Regel ein Vorgängerprodukt – und bestimmt die Unterschiede zu den Funktionen und Komponenten des neu entwickelten Produkts (vgl. MONDEN 1995, S. 74; vgl. *Abschnitt 6.2.2.3.1*). Die geschätzten Kosten des neuen Produkts sollten nach dieser Methode geringer sein als die ehemaligen Kosten zum Produktionsbeginn des vorhandenen Produkts, da dieses idealerweise schon verschiedene Zielkostensenkungs- und Verbesserungsprozesse durchlaufen hat. Die Stückkosten des Vergleichsprodukts werden anschließend um die Kostenabweichungen, die im Produktkonzept des neuen Produkts definiert wurden, korrigiert:

$$\begin{aligned} \text{Stückkosten eines neuen Produkts} = & \text{Aktuelle Stückkosten eines} \\ & \text{vergleichbaren Produkts} \\ & + \text{Abweichungen aufgrund von} & (4.5) \\ & \text{Funktionskosten, Komponenten-} \\ & \text{kosten und sonstigen Kosten} \end{aligned}$$

Gleichung 4.5: Abschätzung der Stückkosten eines neuen Produkts (vgl. MONDEN 1995, S. 74 sowie S. 121ff.)

Die Drifting Cost der zukünftigen Produkte beziehen sich nach dieser Methode also auf einen Kostenwert beim gegenwärtigen Stand von Verfahren und Technologien.¹⁰¹

4.2.3.2.2 Segmentierung der Zielkosten

Wie erwähnt liegt das Hauptaugenmerk der Kostenreduktion beim Target Costing traditionellerweise auf den *Material-* und *Fertigungseinzelkosten* (vgl. SAKURAI 1997, S. 63). Aus strategischer Sicht bzw. im Hinblick auf die Vollkosten sind jedoch alle Kosten, die mit einem Produkt in Zusammenhang stehen, für den Target Costing-Prozess relevant und sollten deshalb prinzipiell auch in die Kostensenkung mit einbezogen werden. Allerdings ergeben sich hierbei *zwei Schwierigkeiten*: Einerseits können weder alle durch ein Produkt verursachten Kosten dem Produkt mit kostenrechnerischen Methoden *exakt zugeordnet* werden – dieses Problem wird durch den frühen Zeitpunkt im Produktlebenszyklus, in dem Target Costing-Projekte üblicherweise beginnen, und die dann vorherrschende Ungenauigkeit der Kosteninformationen zusätzlich verschärft – andererseits können die gegebenenfalls zugewiesenen Kosten nicht alle wirkungsvoll und im *gleichen Maße beeinflusst* werden. Deshalb erscheint es zweckmäßig, die *Zielkosten* hinsichtlich ihrer *methodischen Relevanz* zu systematisieren und sie zu diesem Zweck in ‚zurechenbare‘ und ‚beeinflussbare‘ bzw. ‚nicht zurechenbare‘ und ‚nicht beeinflussbare‘ Kosten zu *segmentieren* (vgl. FRANZ 1993, S. 126).

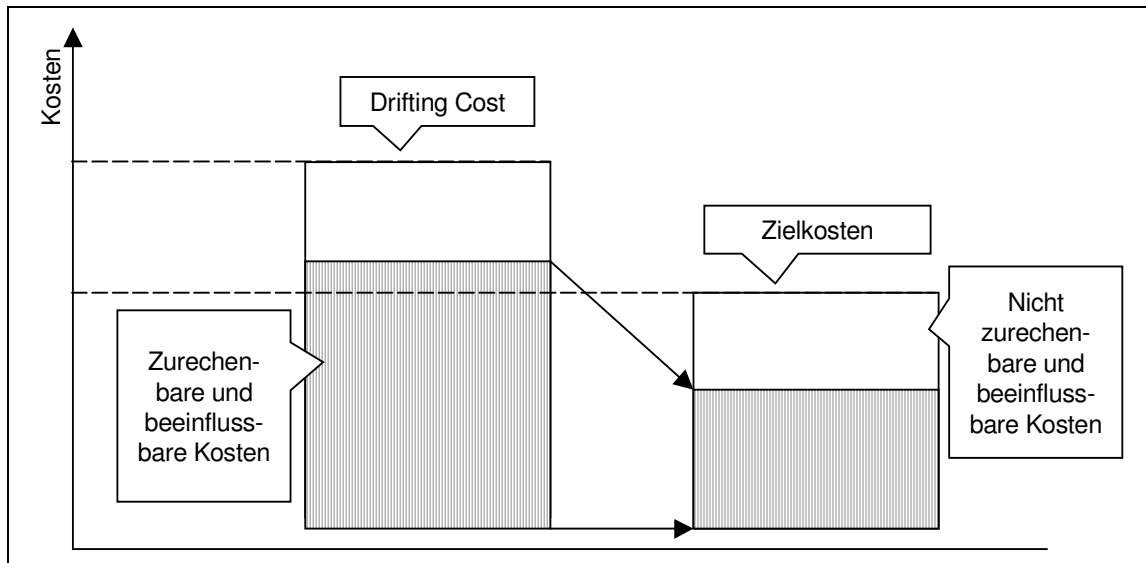


Abbildung 25: Segmentierung der Kosten eines Target Costing-Projekts

Unter *zurechenbaren* Kosten sollen jene Kosten verstanden werden, die dem Produkt entweder verursachungs- oder (wenigstens) beanspruchungsgerecht zugewiesen werden können. Dazu können beispielsweise *Materialeinsatz*, *Fertigungslöhne* oder (je nach Kostenrechnungssystem) auch *produktnahe Gemeinkosten* (z.B. Logistik- und Materialkosten oder andere proportionale Prozesskosten) gezählt werden; diese Kostenarten können in der Regel auch als *beeinflussbar* gelten (vgl. FRANZ 1993, S. 126). Als nur *eingeschränkt zurechenbar* und eher *mittelfristig beeinflussbar* können weitere *Gemeinkosten*, *Entwicklungskosten* oder *direkte Vertriebskosten* eingeordnet werden (vgl. MONDEN 1995, S. 117f.). Da remanente Fixkostenpositionen wie *Produktionskapazitäten* oder die Kosten der *Unternehmensleitung* praktisch *nicht verursachungs- oder beanspruchungsgerecht* auf die Produkte *zurechenbar* und auch kurz- bis mittelfristig *nicht beeinflussbar* sind, können solche Kostenarten – aufgrund der in der betriebswirtschaftlichen Praxis tendenziell eher kurz- bis mittelfristig ausgelegten Target-Costing-Projekte – selten einen maßgeblichen Anteil an den zu senkenden Kostenblöcken bilden. Wie *Abbildung 25* schematisch aufzeigt, muss eine Senkung der *Drifting Cost* folglich durch die Beeinflussung derjenigen Anteile an den insgesamt einbezogenen Kosten erfolgen, welche im Betrachtungszeitraum auch als *zurechenbar* und *beeinflussbar* gelten können.

4.2.3.2.3 Spaltung der Zielkosten

Nachdem die Ermittlung der Zielkosten zuvor eine globale Kostenvorgabe ergeben hat, muss diese nun auf die Produkte und ihre Bestandteile verteilt werden. Der vorangegangene Segmentierungsschritt war die Voraussetzung für diese *Spaltung der Zielkosten*, deren Methoden in diesem Abschnitt erläutert werden.

Wie bereits in *Abschnitt 4.2.3.2.1* über die Ermittlung der Drifting Cost erwähnt wurde, können die Kosten eines geplanten Produkts anhand der Kosten eines vergleichbaren Produkts ermittelt werden. Dabei kann nicht nur auf ein *Vorgängerprodukt* zurückgegriffen, sondern es können auch vergleichbare *Wettbewerbsprodukte* aus dem Markt gewählt werden, deren Kosten dann durch *Benchmarking* bestimmt werden müssen. Beiden Ansätzen ist gemeinsam, dass sie sich nur an den Kosten der Komponenten der jeweiligen Produkte orientieren und damit die Kundenperspektive gegebenenfalls vernachlässigen können. Denn für den Kunden sind weniger die *Produktkomponenten* (und deren Kosten) von Bedeutung, sondern vielmehr die *Produktfunktionen*, welche das Produkt erfüllen kann (und dessen Preis). Gerade bei technisch anspruchsvollen Produkten wie in der chemischen Industrie sind die Komponenten für Kunden eher von abstrakter Bedeutung, wohingegen die Funktionen des Produkts meist als ‚Kundenwunsch‘ artikulierbar sind. Anhand der drei genannten Bezugsobjekte *Vorgängerprodukt*, *Wettbewerbsprodukt* und *Kunde* lassen sich demnach zwei Methoden der Zielkostenspaltung ableiten: die ‚Komponentenmethode‘ und die ‚Funktionenmethode‘.

Bei der *Funktionenmethode* wird das Verhältnis, mit dem die zulässigen Zielkosten auf die Funktionen des Produkts verteilt werden, unter Einbezug der Kundensicht ermittelt: Die gewichteten Kundenanforderungen bestimmen die Relationen der Kostenumlage auf die Funktionen; als Resultat erhält man Zielkosten pro Funktion, welche für wichtige Funktionen höher ausfallen als für weniger wichtige.¹⁰² Dies ist nur folgerichtig, da davon ausgegangen wird, dass der Markt für die wichtigen Produktfunktionen einen höheren Preis zu zahlen bereit ist. Andererseits folgt daraus, dass das besondere Augenmerk bei der Kostensenkung auf den weniger wichtigen Funktionen, die gleichzeitig ihre Zielkosten deutlich überschreiten, liegen sollte.¹⁰³ Die Funktionenmethode bedient sich dabei einer abstrakten Betrachtungsebene, indem sie ein Produkt als eine Kombination von Funktionen beschreibt, zu deren Erfüllung technische Komponenten beitragen; diese Vorgehensweise ist der *Wertanalyse* entlehnt (vgl. *Abschnitt 6.1.3.1.1.1*). Die Summierung aller einzelnen Funktionen ergibt die ‚Funktionsstruktur‘ (vgl. BUGGERT/WIEPÜTZ 1995, S. 91).¹⁰⁴

Die *kritische Schnittstelle* einer marktorientierten Zielkostendekomposition, wie sie die Funktionenmethode darstellt, ist die sich anschließende *Transformation* der vom Markt definierten Produktfunktionen in die sie realisierenden Produktkomponenten (vgl.

¹⁰² Zur Erfassung von Informationen über relevante Produkteigenschaften aus Kundensicht hat sich die ‚Conjoint-Analyse‘ bewährt (vgl. HAGENLOCH 1997, S. 320ff.).

¹⁰³ Die Wert-Kosten-Relationen der Produktfunktionen sollten während der sich anschließenden Entwicklungsarbeiten und prinzipiell des gesamten Produktlebenszyklus erhalten bleiben (vgl. PEEMÖLLER, 1993, S. 376f.).

¹⁰⁴ Funktionen können noch weiter unterteilt werden in „Objektfunktionen“ (die das physische Produkt betreffen) sowie „Verrichtungsfunktionen“ (für Service- und Zusatzleistungen), außerdem in „harte“, d.h. objektiv überprüfbare, Funktionen und in „weiche“ Funktionen, die der subjektiven Beurteilung durch den Kunden entstammen (HORVÁTH/WOBOLD 1993, S. 230).

FRIEDMANN 1997, S. 41). Hierzu werden die Zielkosten der Funktionen den möglichen Produktkomponenten in einer Analysematrix gegenübergestellt und vom Target Costing-Team, welches u.a. Mitarbeiter der F&E-Abteilung, des Vertriebs/Marketings und der Produktion enthält, fundierte Schätzungen darüber abgegeben, mit welchem Anteil die einzelnen Komponenten zur Realisierung der Funktionen beitragen.¹⁰⁵ Durch eine Multiplikation der gewichteten Produktfunktionen mit dem prozentualen Beitrag, den jede Komponente zur Erfüllung der Funktion leistet, sowie die anschließende Summation der Gewichtungen einer Komponente über alle Funktionen hinweg ergibt sich die Bedeutung der einzelnen Produktkomponenten. Diese wird dem aktuellen Kostenanteil der Komponente am Gesamtprodukt gegenübergestellt (ebenfalls in Prozent) und gegebenenfalls ein Zielkostenindex gebildet, welcher ein Maß für die Abweichung zwischen Marktbedeutung und Kostenverursachung darstellt (erhältlich durch Division der Komponentenbedeutung durch ihren Kostenanteil; vgl. HORVÁTH ET AL. 1993b, S. 13ff.).

Da es in der chemischen Produktentwicklung in der Regel hohe Freiheitsgrade bei der Produktkonzeption und somit der Ausgestaltung von geforderten Funktionen durch Komponenten bzw. Substanzen gibt, ist die Funktionenmethode für die Entwicklung innovativer chemischer Produkte besonders zu empfehlen, da sie die Produkteigenschaften beschreibt, ohne dass sie bereits die ‚materielle‘ Lösung vorwegnimmt. Allerdings kann die Umsetzung der Funktionenmethode bei technisch dominierten Produkten wie in der Chemie zu Schwierigkeiten führen: Gerade bei der Entwicklung von komplexeren Produkten wie z.B. von verschiedenen Fein-, Industrie- oder Spezialchemikalien (für die eine Anwendung des Target Costing prinzipiell besonders empfehlenswert ist; vgl. *Abschnitte 3.3.1* und *4.3.2.3*), stellt sich die Frage, wie realistisch die Kunden die Bedeutung der verschiedenen Produktfunktionen für den von ihnen gewünschten Nutzen einschätzen können.¹⁰⁶ Dies umso mehr, wenn es sich um Funktionen von besonders innovativen Produkten handelt, welche sie gegebenenfalls noch gar nicht kennen können.

Weiterhin stellt sich die Frage, inwieweit die sich anschließende Kostenverteilung von den Funktionen auf die einzelnen Komponenten wirklich der „technisch-funktionalen und qualitätsgerechten Erfüllung der Kundenanforderungen“ entspricht (BINDER 1998b, S. 32). Eine pragmatische Lösung hierfür bietet sich durch eine Verbindung des Target Costing mit dem QFD-Prozess an, da letzterer die Funktionen durch eine ‚Übersetzung‘ des Kundenwunsches in die ‚Sprache der Techniker‘ ermittelt, ohne diese explizit benennen und gewichten zu müssen (vgl. *Abschnitt 6.1.3.1.1*).

¹⁰⁵ MONDEN stellt neben der bekannten Analysematrix in Form eines Zielkostendiagramms (vgl. SEIDENSCHWARZ 1993, S. 182) noch andere grafische Methoden vor, welche durch einen Benchmark mit Vergleichsprodukten die Plausibilität der Zielkosten der Funktionen darlegen („Actual Value Based Method“, „Competing Products Comparison Method“; 1995, S. 126ff.).

¹⁰⁶ Zweifel an der stringenten Durchführbarkeit der Funktionenmethode formulierte FRANZ bereits 1993, S. 129f.

Bei der nachfolgend kurz vorgestellten *Komponentenmethode* sollte es technisch nicht versierten Kunden noch schwerer fallen, ohne den Zwischenschritt über die Funktionen einzelnen Produktbestandteilen einen spezifischen Nutzen zuzuordnen (vgl. MONDEN 1995, S. 91). Die bei dieser Methode fehlende Definition (abstrakt) formulierter Funktionen kann die Entwickler außerdem dazu verleiten, dass sie sich durch eine gedankliche Fixierung auf (schon vorgegebene) Komponenten unmittelbar mit den konkreten, komponentenseitigen Aspekten wie Fertigungsmaterialien oder Herstellverfahren beschäftigen und eine kritische und kreative Analyse der marktseitigen Anforderungen und der zugehörigen – seit dem Vorgängerprodukt gegebenenfalls veralteten – Funktionen vernachlässigen (vgl. PEEMÖLLER 1993, S. 379). Aus diesem Grund wird die Komponentenmethode später nicht weiter ausgeführt. Allerdings bietet sie sich aufgrund ihres geringeren Arbeitsaufwands für einen schnell durchzuführenden Einsatz an, wie Beispiele aus der Automobilindustrie belegen (vgl. CLAASSEN/HILBERT 1994, S. 35ff.).

Die Komponentenmethode rechnet die Zielkosten direkt den einzelnen Baugruppen und Teilen eines neuen Produkts zu. Hierfür analysiert sie in der Regel die Kostenrelationen der Komponenten eines vergleichbaren Produkts und überträgt diese analog auf die Komponenten des geplanten Produkts. Dies ist insofern problematisch, als mit diesem Vorgehen eine *Kostenstrukturfortschreibung* vom Vorgängerprodukt auf das aktuelle Produkt begünstigt wird, indem dieselben Kostenrelationen trotz eventueller Änderungen am Produkt auf die Komponenten übertragen werden (vgl. ARNAOUT 2001, S. 52). Aufgrund ihres geringen Abstraktionsgrades wird die Komponentenmethode daher eher bei Produktmodifikationen sowie bei der Entwicklung von Produkten mit geringerem Innovationsgrad angewandt.

4.2.3.3 Erreichung der Zielkosten

In dieser letzten Phase des Target Costing-Prozesses werden alle Unternehmensbereiche auf die *Erreichung der Zielkosten* ausgerichtet. Dies erfordert einerseits die Untersuchung der Kostenstrukturen und -arten, welche zur Kostenüberschreitung führen (Drifting Cost), sowie die Überprüfung und den Einsatz von Instrumenten und Maßnahmen, welche Kostensenkungspotentiale identifizieren und realisieren helfen. Eine Produktionsfreigabe für Produkte im Target Costing-Prozess kann daher auch erst dann erfolgen, wenn die Zielkostenerreichung sichergestellt ist (vgl. BUGGERT/WIEPÜTZ 1995 S. 99). Weiterhin müssen die notwendigen Kosteninformationen als Entscheidungsbasis für die Produktentwickler frühzeitig zur Verfügung gestellt werden. Hier leistet das Target Costing eine maßgebliche Hilfestellung für die Entscheidungsfindung der Produktentwicklung, indem es die frühzeitige (Produktkosten-) Kalkulation in den Dienst

einer aus Wettbewerbsgründen marktpreisorientierten Kostenpolitik stellt (vgl. MÄNNEL 1996, S. 3).¹⁰⁷

Zu den generellen Maßnahmen, mit denen vorwiegend *Einzelkosten* beeinflusst werden können, zählen beispielsweise eine Senkung der Arbeitskosten durch *Standortverlegungen*, eine *Prozessoptimierung* von Arbeitsvorgängen zur Senkung von Fertigungskosten, das *Outsourcing* von nicht strategischen Komponenten, die *Harmonisierung* von *Rohstoffen* zur Senkung der Beschaffungskosten, ein *Abbau* von *Beständen* zur Senkung von Lagerhaltungskosten (sofern Kapitalkosten den Produkten direkt zugeordnet werden) oder die Ausnutzung von kostensenkenden (Erfahrungskurven-) Effekten durch *kumulierte Produktionsvolumina* („Economies of Scale“), sowie durch Lerneffekte und durch *Fixkostendegression* („Economies of Scope“; BUGGERT/WIEPÜTZ 1995, S. 126ff.).¹⁰⁸

Sind im Sinne des Zielkostenprozesses auch *Gemeinkosten* ‚zurechenbar‘ (Abschnitt 4.2.3.2.2), so eignen sich besonders die fertigungsnahen Gemeinkostenbereiche für eine Kostenbeeinflussung, da sich entsprechende Maßnahmen teilweise direkt aus der Analyse der Funktionen- und Komponentenkosten ableiten lassen. Generell bietet sich hinsichtlich der *Gemeinkostenoptimierung* eine Differenzierung der in den indirekten Bereichen für produktspezifische Prozesse anfallenden Kosten an (vgl. MÄNNEL 1996, S. 6f.):

- *Volumenabhängige Kosten*: Zu ihnen zählen alle durch die Produktion unmittelbar entstehenden Kosten sowie die Prozesskosten der Qualitätsprüfung und der Logistik.
- *Auftragszahlabhängige Kosten*: Sie beinhalten die Prozesskosten der von Kundenaufträgen und Losgrößen abhängigen Bestell-, Abwicklungs- und Fertigungsvorgänge.
- *Periodenbezogene Kosten*: Darunter fallen hauptsächlich die Kosten des Kundendienstes und der Lieferantenbetreuung.
- *Lebenszyklusbezogene Kosten*: Zu diesen können die Kosten der Forschung und Entwicklung, der Anwendungstechnik und Fertigungsvorbereitung (Vorleistungskosten), der Entsorgung und des Recycling gezählt werden.

¹⁰⁷ Zu den Schwierigkeiten verschiedener Kostenrechnungssysteme, die Produktentwickler bei der Kosteninformation zu unterstützen, vgl. *Abschnitt 4.4.2*.

¹⁰⁸ Während die Materialkosten in der chemischen Industrie von hoher Bedeutung sind (vgl. *Abschnitt 3.1.4*), verlieren die Fertigungseinzelkosten in einer automatisierten und prozessorientierten Industrie wie der Chemie tendenziell an Bedeutung.

Weiterer Einfluss auf die Gemeinkosten kann auch durch eine verstärkte *Automatisierung*, welche fertigende bzw. fertigungsunterstützende Tätigkeiten verringert hilft, ausgeübt werden; dieser sind gegebenenfalls die notwendigen *Investitionen* bzw. *Ab-schreibungen* gegenüber zu stellen. *Strukturell* verursachten Kosten hingegen, welche aus suboptimalen Organisations- und Verwaltungsstrukturen resultieren, können durch produktbezogene Maßnahmen kaum beeinflusst, sondern allenfalls aufgezeigt werden; für die operative Restrukturierung und die Senkung von derartigen Kosten ist das Target Costing um Instrumente wie Benchmarking oder die Prozesskostenrechnung zu ergänzen (vgl. BUGGERT/WIEPÜTZ 1995, S. 128).

Neben den genannten *Einzelmaßnahmen* werden in der Literatur auch *Instrumente*, d.h. regelmäßig zur Ausführung bestimmter (wissenschaftlicher) Aufgaben eingesetzte ‚Werkzeuge‘, für die Kostensenkung im Rahmen des Target Costing aufgeführt. Zu den meistgenannten zählen u.a. *Design for Manufacture and Assembly*, *Wertgestaltung*, *präventives Qualitätsmanagement* (z.B. durch QFD) oder *Simultaneous Engineering* (vgl. GLEICH 1996, S. 90). Diese Instrumente stellen zusammen mit den genannten Maßnahmen eine Auswahl der Möglichkeiten dar, welche für eine Zielkostenerreichung in der chemischen Industrie von Bedeutung sein können. Welche Potentiale die Entwickler in der chemischen Industrie haben, derartige Kosten zu beeinflussen, wird Gegenstand der *Abschnitte 4.6, 5, 6 und 7* sein.

Die Ausführungen dieses Kapitels legen nahe, dass sich das Target Costing auch in der chemischen Industrie als konzeptioneller Handlungsrahmen für ein produktorientiertes Kostenmanagement eignet. Dies geht zum einen aus der *Kongruenz* der Anforderungen eines produktorientierten Kostenmanagements mit den Zielen des Target Costing hervor (vgl. *Abschnitt 4.2.1*): Die chemische Industrie agiert in einem wettbewerbsintensiven Käufermarkt, der eine durchgehende *Marktorientierung* der Unternehmen ebenso wie eine *Strategieorientierung* und *Dynamisierung* des Kostenmanagements erfordert. Gleichzeitig erfordern die häufig komplexen Produktstrukturen und zahlreichen Varianten einen *frühzeitigen Einsatz* des Kostenmanagements. Zum anderen belegen Untersuchungen (*Abschnitt 4.2.2*), dass dem Target Costing auch in der Praxis Potentiale für ein Kostenmanagement in der chemischen Industrie eingeräumt werden können. Schließlich erscheinen die einzelnen Phasen des Target Costing problemlos in den Innovationsprozess in der chemischen Industrie integrierbar, da sie sowohl von den Inhalten als auch von den beteiligten Funktionsbereichen her mit den Phasen und Teilprozessen des F&E-Prozesses verbunden werden können (vgl. *Abschnitte 3.2.1.1, 3.2.2 und 4.2.3* sowie *Abbildung 81*).

Nach der hier erfolgten Vorstellung des Zielkostenmanagements soll der nachfolgende *Abschnitt 4.3* eine bedeutende Ursache für das derzeitige, in der Regel zu hohe Kosten-niveau untersuchen: die *Komplexität* der *Unternehmen*, die Komplexität der sie umgebenden *Umwelt* und insbesondere die Komplexität ihrer *Produkte*. So werden beispielsweise nach Schätzungen der Unternehmensberatung *Arthur D. Little* in der verarbeitenden Industrie je nach Branche zwischen 15% und 20% der *Gesamtkosten* durch zu

hohe Komplexität verursacht (SCHULZ 1994, S. 130). Das Target Costing kann durch das Aufzeigen der Beziehungen zwischen einzelnen Entscheidungen zur Produkt- und Prozessgestaltung und dem Kostenanfall dabei helfen, die *Transparenz* über die *Komplexitätseffekte* von Entscheidungen zu verbessern und dadurch die Komplexität bereits frühzeitig und proaktiv zu verringern (vgl. HUNGENBERG 2000, S. 549). Insofern muss ein effektives Zielkostenmanagement die Komplexität als bedeutenden Kostentreiber in das Gesamtkalkül einbeziehen.

4.3 Bedeutung der Komplexität für das produktorientierte Kostenmanagement

4.3.1 Einführung

Der Begriff *Komplexität* wird häufig – meist im Sinne einer Überkomplexität – als Schlagwort bei der Beschreibung von schwerwiegenden betrieblichen Ineffizienzen und ihrer Ursachen angeführt. Der Tenor der Darstellung variiert dabei entsprechend ernst von „Komplexitätsfalle“ (ADAM/JOHANNWILLE 1998, S. 5) bis hin zu „Tödlicher Bedrohung“ (ROEVER 1991a, S. 218). Zur Untersuchung dieses für die Produktentwicklung wichtigen Phänomens soll hier zunächst kurz der Begriff Komplexität geklärt werden, bevor in den folgenden Kapiteln die verschiedenen Aspekte hinsichtlich ihrer Ursachen und Auswirkungen zu analysieren sind.

Bezeichnet man ein *System* als geordnete Gesamtheit von Elementen, zwischen denen Beziehungen bestehen oder hergestellt werden können, so lässt sich folgende Aussage treffen: Das betrachtete System ist als umso komplexer zu bezeichnen, je *mehr* Elemente es aufweist, je *verschiedenartiger* die *Beziehungen zwischen diesen Elementen* sind und je ungewisser es ist, wie sich die Zahl der Elemente, die Zahl der Beziehungen und die Verschiedenartigkeit der Beziehungen im *Zeitablauf* verändern (vgl. GÖPFERT 1998, S. 12ff.; ADAM 1998, S. 30). Unterstellt man, dass Unternehmen in diesem Sinne auch ein System betrieblicher Prozesse und Strukturen darstellen, kann man für die genannten Elemente z.B. Produkte, Teile, Zulieferer, Kunden oder Organisationseinheiten einsetzen und erhält anhand ihrer Anzahl und Beziehungen untereinander eine erste Näherung der ‚betrieblichen Komplexität‘ (ADAM 1998, S. 30).

Die *Erfassung* der das Unternehmen umgebenden Komplexität der Umwelt und ihre *Abbildung*, *Operationalisierung* und *Optimierung* innerhalb des Systems ‚Unternehmen‘ lässt sich zweifelsfrei als eine der vordringlichen Aufgaben der Unternehmen bzw. ihrer Führungen identifizieren. An der betroffenen *Schnittstelle* zwischen der Markt- und der Unternehmenswelt besteht ein entsprechend großes Potential zur Beeinflussung der unternehmensinternen Komplexität. Dabei erscheint es allerdings unvermeidlich, dass ein System, welches ein hohes Maß an Umweltvarietät verarbeiten können soll, auch selbst entsprechende Systemvarietät bzw. Komplexität vorhalten muss (vgl. BAECKER 1997, S. 22).¹⁰⁹ Vereinzelt wird sogar die Auffassung vertreten, dass

¹⁰⁹ Ein Vergleich mit der Biologie zeigt, dass Komplexität in gewisser Weise „in der Natur der Dinge liegt“ (BAECKER 1997, S. 21): Auch wenn es in der Regel traditionellem betriebswirtschaftlichen Verständnis entspricht, dass Komplexität unerwünscht ist und ‚beherrscht‘ werden muss, so darf man nicht übersehen, dass Komplexität als biologisches Phänomen ein Merkmal aller höher entwickelten lebenden Systeme ist und nicht unbedingt „ungewollter Nebeneffekt einer ansonsten geordneten Welt“. Alle

Unternehmen nur mit Hilfe solcher Lösungsansätze erfolgreich gesteuert werden können, welche den Herausforderungen der Zukunft mit „komplexitätsakzeptierenden und komplexitätssteigernden Maßnahmen“ begegnen und folglich „Komplexität (...) mit Komplexität“ bekämpfen (JAHNS 2001, S. 694).

Die betriebliche Komplexität kann dabei als Folge von zwei *Einflussfaktoren* verstanden werden: der *Leistungsbreite* und der *Leistungstiefe* der Unternehmen (vgl. BECKER 1992, S. 171). Die *Leistungsbreite* und die daraus resultierenden verschiedenen Produktgruppen, Produkte und Varianten haben einen erheblichen Anteil am Steuerungsaufwand des Betriebes, da die Vielfalt in fast alle Unternehmensbereiche hineingreift und dort die internen Prozesse in unterschiedlicher Intensität beeinflusst.¹¹⁰ Die *Leistungstiefe* kann als Indikator für die Anzahl der in die Produkte eingehenden Komponenten, der damit verbundenen Anzahl und das Ausmaß der Prozesse gelten, welche ihrerseits ebenfalls den Aufwand in den betroffenen Unternehmensbereichen beeinflussen.

Prinzipiell kann es sowohl durch *Überkomplexität* als auch *Unterkomplexität* in den Ablauf- und Aufbaustrukturen zu einem Verlust des optimalen „Fits“ von Unternehmens- und Umweltkomplexität und einer daraus resultierenden Minderung des Zielerreichungsgrades der Unternehmen kommen (vgl. BERENS/SCHMITTING 1998, S. 98). Im weiteren Verlauf der Untersuchung sollen jedoch nur noch diejenigen Kosteneinflussgrößen analysiert werden, welche durch eine zu *hohe* Komplexität verursacht werden bzw. deren Komplexität optimiert werden kann (vgl. REIB 1993, S. 14ff.).¹¹¹

4.3.2 Entstehung von Komplexität

4.3.2.1 Externe Komplexität

Die eingangs erwähnte Komplexitätsfalle kann primär als eine Folge des Verstoßes gegen das *Subsidiaritätsprinzip* verstanden werden (ADAM/JOHANNWILLE 1998, S. 6): Dieses soll sicherstellen, dass Entscheidungen stets auf derjenigen Hierarchieebene getroffen werden, welche noch einen ausreichenden Überblick über die Gesamtwirkung gewährleisten kann. Aufgrund eines hohen Komplexitätsgrads in den Unternehmen

Organismen entwickeln sich – nicht zuletzt auch oft geometrisch - aus einfachen Anfangszuständen zu komplexen Gebilden.

¹¹⁰ Bereits Erich Gutenberg hat die mit der Vielfalt einhergehende Betriebsgröße und das Fertigungsprogramm als wesentliche Kosteneinflussgrößen herausgestellt (vgl. GUTENBERG 1979, S. 346).

¹¹¹ Das mögliche Phänomen der unternehmensbezogenen „Unterkomplexität“ durch „minderkomplexe“ Produktstrukturen und die damit zusammenhängenden Kosten werden nicht untersucht, da derartige Wirkungszusammenhänge zumindest in der Chemie nicht unmittelbar einleuchtend erscheinen.

kann allerdings die Neigung zunehmen, die Entscheidungsverantwortung zu weit zu dezentralisieren, so dass der notwendige ‚Überblick‘ nicht mehr beibehalten werden kann. In Folge dieser mangelnden Orientierung an den Gesamtzielen bzw. durch die Verfolgung von Individualzielen (durch Funktionsbereiche oder Individuen) können dann Entscheidungen getroffen werden, welche die Komplexität zusätzlich erhöhen (ADAM 1997, S. 216f.). Dadurch kann es zu einer weiteren Dezentralisierung von Entscheidungen und zu einer Verstärkung der beschriebenen Effekte kommen.

Problematisch ist ebenfalls, dass die Kosten der Komplexität und die Kosten von komplexitätstreibenden Entscheidungen durch die vorhandenen Kostenrechnungssysteme nur unzureichend dargestellt werden können (vgl. *Abschnitt 4.3.3*); wichtige (Kosten-) Informationen für Entscheidungsprozesse in den Unternehmen können somit Ungenauigkeiten oder Fehler aufweisen. Im Umkehrschluss kann man folgern, dass die Entscheidungen (wieder) vermehrt aus unternehmerischer Gesamtsicht getroffen werden müssen, um die durch die Komplexität verursachten Kosten zu beherrschen und die Schwierigkeiten bei der Erfassung und beim Ausweis von Komplexitätskosten zu verringern (vgl. ADAM/JOHANNWILLE 1998, S. 23).

Hierfür muss beachtet werden, dass schon mit der Festlegung der Unternehmensstrategie über einen wesentlichen Teil der innerbetrieblichen Komplexität entschieden wird (vgl. ADAM/JOHANNWILLE 1998, S. 6). In diesem Stadium werden Entscheidungen über das Ausmaß der marktseitigen und strategischen *Komplexitätstreiber*¹¹² wie den *Zielmärkten* (Branchen), den *Marktsegmenten* (Kunden), den *Qualitäts- und Preisanforderungen* der hergestellten Produkte oder auch der Zahl der *Lieferanten* getroffen. Diese *externe Komplexität*, welche die Anzahl, den Umfang und die Verschiedenheit der Beziehungen beschreibt, durch welche das Unternehmen mit der ‚Außenwelt‘ verbunden ist, determiniert also unmittelbar die Anforderungen bezüglich Umfang und Art der nachgeordneten Prozesse des Leistungserstellungssystems und damit die *interne Komplexität* des Unternehmens (vgl. WILDEMANN 1998a, S. 48f.).

Besondere externe, marktseitige Anforderungen erwachsen aus *dynamischen Komplexitätstreibern* wie *Nachfrageschwankungen*, *Instabilitäten* von Produkt- oder Technologizeyklen und anderen Veränderungen der unternehmerischen *Rahmenbedingungen* (vgl. SCHULZ 1994, S. 132f.). Diese lassen sich beispielhaft an zwei Fällen verdeutlichen:

- Nach einer Studie des *Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquiums* hat die *Länge der Produktlebenszyklen* im Zeitraum zwischen 1990 und 1996 um 20% und die Länge der Lieferzeiten um 60% *abgenommen* (vgl. EVERSHEIM ET AL. 1998, S. 30). Weiterhin haben in der gleichen Zeit sowohl die *Funktionalität* der Produkte wie auch die *Anzahl der Wettbewerber* um 50% *zugenommen*.

¹¹² Unter Komplexitätstreibern sollen – im Sinne der in *Abschnitt 4.3.1* diskutierten Komplexität eines Systems – Faktoren verstanden werden, welche zu einer Erhöhung der Komplexität führen.

- Untersuchungen von WILDEMANN an 29 Unternehmen zeigen, dass innerhalb von 10 Jahren die *Artikelzahl* um bis zu 130% und die *Variantenzahl* um bis zu 420% *zugenommen* haben, während gleichzeitig eine *Verkürzung* der *Produktlebenszyklen* um 60% bis 80% und eine *Verringerung* der *Lieferzeit* um 30% bis 90% zu beobachten war (1991, S. 340).

Das Wettbewerbsumfeld der Chemie legt nahe, dass dort ähnliche Komplexitätstreiber wirksam sind. Eine derartig hohe Varietät des Absatzmarktes kann aber die Flexibilität der jeweiligen Leistungserstellungssysteme überfordern und „eine diskontinuierliche Auslastung mit der Konsequenz wechselnder Ressourcenengpässe und Überlastungen, zeitintensiver Prozessschleifen und -störungen sowie überhöhter Kosten im Leistungserstellungsprozess“ zur Folge haben (vgl. KÖSTER 1998, S. 33). Es ist daher unmittelbar einleuchtend, dass derartige Unwägbarkeiten den Aufbau möglichst ‚einfacher‘ und damit kostenoptimierter Unternehmensstrukturen mit niedrigem Komplexitätsgrad erschweren können.

4.3.2.2 Interne Komplexität

Sind im Zuge der beschriebenen strategischen Überlegungen die grundsätzlichen Entscheidungen hinsichtlich der Leistungsbreite (und teilweise der Leistungstiefe), und damit zugleich über einen – ebenfalls nur noch durch strategische Maßnahmen zu verändernden – Mindestgrad an betrieblicher Komplexität getroffen worden, so müssen diese im Leistungserstellungssystem umgesetzt werden.¹¹³ Dies hat den Aufbau und gegebenenfalls die Inanspruchnahme von – in Abgrenzung zu den bereits skizzierten *externen* Komplexitätstreibern – *internen* Komplexitätstreibern zur Folge, mit dem Ziel einer „möglichst optimalen Deckungsgleichheit von externer und interner Komplexität“ (vgl. WILDEMANN 1998, S. 50). Diese können in *strukturelle*, *informations-* bzw. *kommunikationsbezogene* sowie *individuelle* Komplexitätstreiber unterschieden werden (vgl. WILDEMANN 1998, S. 50f.; *Abbildung 26*).

Zu den *strukturellen* Komplexitätstreibern zählt die *Aufbau-* und *Ablauforganisation* eines Unternehmens: Indem für den betrieblichen Umgang mit der externen Komplexität die strategischen Ziele und Aufgaben z.B. durch *Arbeitsteilung*, *Dezentralisierung* und *Delegation* verteilt werden, wirken sich die resultierenden Organisations- und Prozessstrukturen unmittelbar auf den internen Komplexitätsgrad aus (vgl. REIß 1993, S. 8ff.). Beispielhaft lassen sich hier die Anzahl der *Hierarchieebenen*, die *Schnittstellendichte* oder die *Vielfalt* der ablaufenden *Wertschöpfungsprozesse* (Art, Aufbau und Anzahl der Produkte, Prozessqualität) nennen. Mit zunehmender Betriebsgröße besteht dabei die Gefahr, dass das in den „Aufbau- und Ablaufstrukturen integrierte Netz von

¹¹³ „Die Leistungsprogramm- und Produktgestaltung (...)“ kann als „(...) der ursächliche Schlüssel zur Reduktion der Komplexität im gesamten (...) Leistungserstellungssystem...“ verstanden werden (KÖSTER 1998, S. 65).

interdependenten Wirkungszusammenhängen“ durch einen Transparenzverlust mit immer höherer Wahrscheinlichkeit zu suboptimalen Partialentscheidungen führt – das Komplexitätsphänomen wird selbst zum Komplexitätstreiber (vgl. BERENS/SCHMITTING 1998, S. 98). Auch Anreizsysteme wie z.B. eine umsatzabhängige Bezahlung der Vertriebsmitarbeiter können durch eine Ausweitung des Sortiments komplexitätstreibend wirken und zu den strukturellen Komplexitätstreibern gezählt werden.

Von besonderer Bedeutung für das produktorientierte Kostenmanagement ist weiterhin die Rolle der *Produktstruktur* als struktureller Komplexitätstreiber (vgl. *Abbildung 19*): Produkte, welche sich durch hohe Anforderungen und eine große Vielfalt von Funktionen und Komponenten auszeichnen, können entlang der Wertschöpfungskette die Prozesse und den jeweiligen Ressourcenverbrauch in zahlreichen Funktionsbereichen betreffen, und dadurch den *Aufbau* zusätzlicher technischer, personeller und immaterieller Ressourcen notwendig machen (vgl. WÄSCHER 1987, S. 33). Die Komplexität der Produktstruktur kann in diesem Sinne auch als *strategischer Kostentreiber* aufgefasst werden, da sie die Kostenposition eines Unternehmens über den gesamten Produktlebenszyklus beeinflusst (vgl. *Abschnitt 4.3.2.3*). Können diese Kosten zudem nicht oder nicht ausreichend durch das installierte Kostenrechnungssystem des Unternehmens dargestellt und damit ‚unwissentlich‘ komplexitäts- bzw. kostentreibende Entscheidungen getroffen werden, kann sogar das *Kostenrechnungssystem* als struktureller Komplexitätstreiber wirken (vgl. *Abschnitt 4.3.3*).

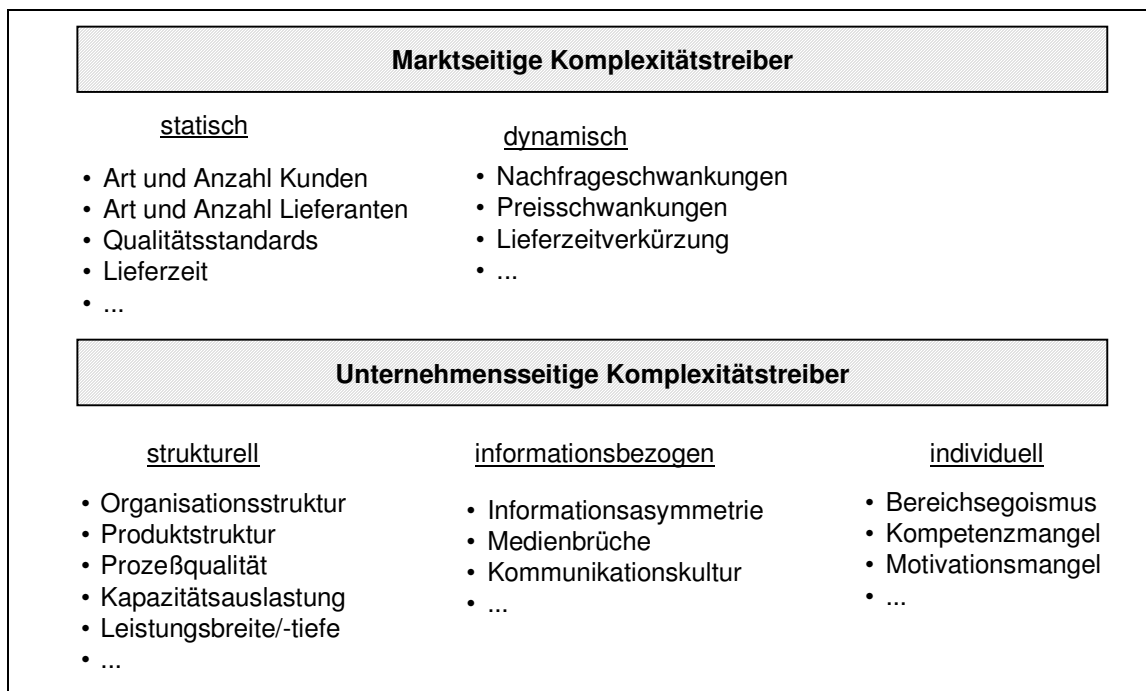


Abbildung 26: Entstehung von Unternehmenskomplexität (in Anlehnung an Wildemann 1998, S. 48)

Die *informations-* und *kommunikationsbezogenen* Komplexitätstreiber beschreiben Ineffizienzen des Kommunikationssystems. Dazu können ein falsch angewendetes *Hol-*

/Bringprinzip, ein überbordendes *Formularwesen* oder auftretende *Informationsasymmetrien* gezählt werden. *Individuelle* Komplexitätstreiber schließlich umfassen die informellen und aus persönlichen Motiven entstehenden Behinderungen. Stellvertretend seien hier *Bereichsegoismen*, Mangel an *Motivation* und an *Identifikation* mit den Unternehmenszielen oder *Machtstreben* aufgeführt (vgl. WILDEMANN 1998, S. 50f.).¹¹⁴

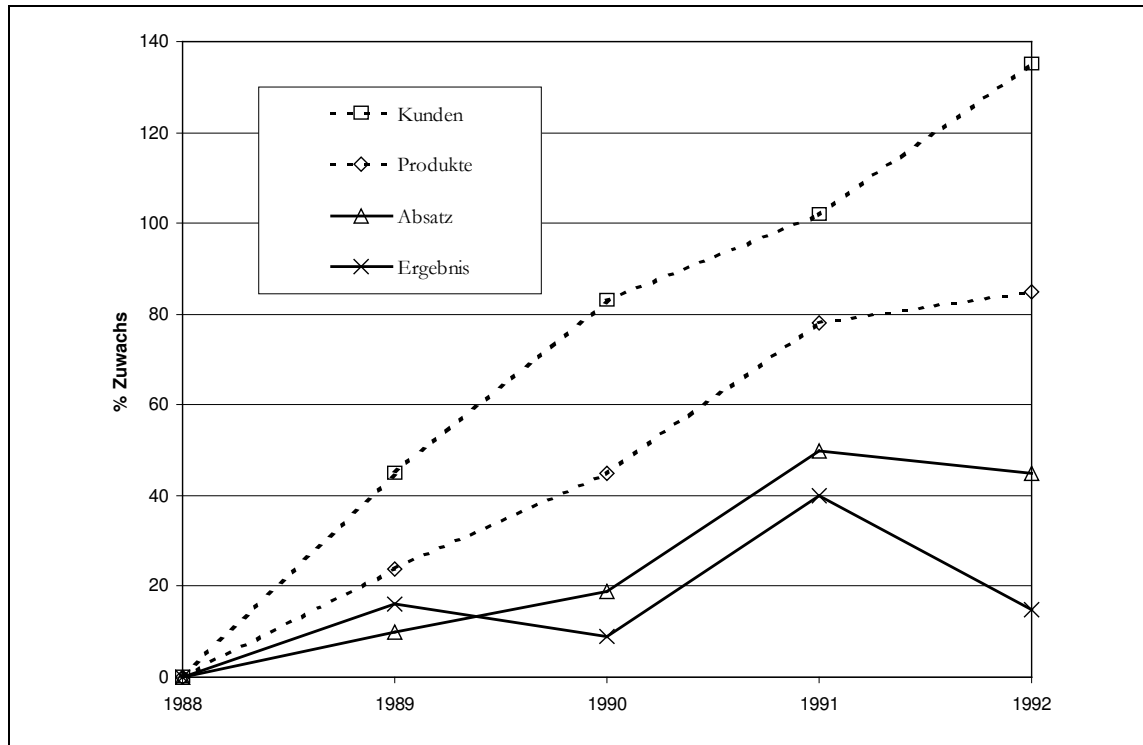


Abbildung 27: Komplexität in der Sortimentsbreite und Kundenvielfalt am Beispiel der chemischen Industrie beeinflusst das Ergebnis (SCHIMANK 1993, S. 194)

Anhand von *Abbildung 27* soll ein Beispiel für die durch die Umwelt in einem Unternehmen der chemischen Industrie induzierte interne Komplexität vorgestellt werden. Es verdeutlicht die negativen Auswirkungen, welche die durch die wachsende *Anzahl* an *Kunden* und *Produkten* hervorgerufene Komplexität auf den Ressourcenverbrauch haben kann. Das Beispiel zeigt, dass die Ausweitung der Anzahl an Kunden und des

¹¹⁴ In Abgrenzung zu den hier angeführten *emotionalen* Schwächen vgl. die allgemeinen *kognitiven* Schwächen im Umgang mit Komplexität bei MÜHLBRADT/MIRWALD 1992, S. 41. Laut DÖRNER/BUERSCHAPER stellen komplexe Realitätsbereiche hohe Anforderungen an die menschliche Denk- und Handlungsfähigkeit, die eher in ‚linearen‘ und einfachen Gesetzmäßigkeiten folgenden Situationen erfolgreich ist als in komplexen Konstellationen, in denen dynamische Prozesse gesteuert, zeitliche Verzögerungen berücksichtigt und teilweise mehrere Handlungsziele gleichzeitig verfolgt werden müssen (vgl. 1997, S. 79). Für den betrieblichen Umgang mit Komplexität werden deshalb die Aufgaben so zerlegt, dass die zu verrichtenden Tätigkeiten möglichst nicht die Fähigkeiten des Einzelnen übersteigen. Andernfalls können wie angedeutet Verhaltensirrationalitäten, Strukturwucherung, Ineffizienz von Abläufen und ein allgemeiner Verlust der Ausrichtung auf die übergeordneten Unternehmensziele zunehmen (vgl. BERENS/SCHMITTING 1998, S. 98).

Sortiments zwar (zunächst) zu höheren Absatzmengen führt, das Ergebnis im gleichen Zeitraum aber keinesfalls proportional mit ansteigt. Vielmehr wurde eine uneinheitliche Entwicklung beobachtet: Einem Anstieg um über 15% im ersten Jahr folgte, vermutlich aufgrund von hohen Aufwendungen für die weitere Expansion sowie ansteigender Komplexität, ein Rückgang des Ergebnisses um ca. 10%. Daraufhin stieg das Ergebnis im dritten Jahr um etwa 30% an, fiel aber im vierten Jahr wieder um ca. 25%; dies sollte Folge der in den beiden zurückliegenden Jahren durch 40% mehr Produkte und über 50% mehr Kunden erhöhten Komplexität sein.

Dieses Resultat stützt diejenigen Unternehmen der chemischen Industrie, die sich statt einer Diversifikation und eines komplexen Verbundmanagements auf einzelne Wertschöpfungsstufen, Produkte und Kunden konzentrieren (vgl. *Abschnitt 3.1.3*). Denn die als Antwort auf die Differenzierungsstrategie heutzutage propagierte *Konzentration auf das Kerngeschäft* ist im Prinzip nichts anderes als eine strategische Kunden- und Produktbereinigung im obigen Sinne: Auf dem Weg zum Zielkunden- und Zielproduktprogramm wird dabei schrittweise durch strategische und operative Entscheidungen die Komplexität reduziert.

Trotz der diskutierten negativen Effekte werden aber durch das Management immer wieder Entscheidungen getroffen, welche die Komplexität erhöhen. Als Ursache hierfür können drei Verhaltensmuster vermutet werden, welche in der Praxis durchaus *ökonomisch* begründbar sein können (vgl. ROEVER 1991a, S. 220ff.):

- *Ausweitung von Produktvarianten und (Nischen-) Kunden* als Antwort auf stagnierende Märkte, ohne eventuelle Kannibalisierungseffekte und erhöhten Kosten der Infrastruktur ausreichend zu berücksichtigen.
- *Integration von vorgelagerten Wertschöpfungsstufen* zur Gewinnverbesserung unter Inkaufnahme von dadurch möglicherweise steigenden Overhead-Kosten.
- *Zusammenlegung von Funktionen* einzelner Geschäftsbereiche in *Zentralbereiche* mit (vermuteter) besserer Kapazitätsauslastung, aber unter Vernachlässigung des zusätzlichen Aufwands für Kommunikation, Abstimmung und Entscheidungsfindung aufgrund der gestiegenen organisatorischen Entfernung vom eigentlichen Geschäft.

Auf die Bedeutung der Produkte für die Komplexität und die Kostensituation eines Unternehmens wurde in diesem Abschnitt bereits kurz eingegangen. Im folgenden Abschnitt wird die Komplexität chemischer Produkte anhand ihrer Strukturen und unter Zuhilfenahme eines selbst entworfenen Bewertungsportfolios diskutiert.

4.3.2.3 Komplexität chemischer Produkte

Die Produktkomplexität wird im Wesentlichen als eine Folge der Vielzahl an *Produktvarianten* (externe Vielfalt) und an *unterschiedlichen Teile-* bzw. *Baugruppen* (interne

Vielfalt), welche in ein Produkt eingehen, gesehen (vgl. KAJÜTER 2000, S. 172). Während durch eine Ausweitung der Variantenvielfalt möglicherweise noch zusätzliche Erlöspotentiale erschlossen werden können, steht der internen Vielfalt in der Regel kein Kundennutzen gegenüber.

Prinzipiell sind diese Erkenntnisse auf chemische Produkte übertragbar, insbesondere hinsichtlich der externen Vielfalt. Die Beschreibung der internen Vielfalt lässt sich jedoch nicht allein auf die Anzahl an Komponenten reduzieren:¹¹⁵

- Ein chemisches Produkt kann aus *einer* Substanz bestehen, welche aus *mehreren Ausgangsstoffen* durch die reaktive Verknüpfung im Rahmen einer Synthese entstanden ist (,Einstoffsystem‘).
- Ein chemisches Produkt kann aus *mehreren* Substanzen bestehen, welche jeweils aus *mehreren* Ausgangsstoffen synthetisiert und anschließend physikalisch vereint worden sind (,Vielstoffsystem‘, ,Zubereitung‘).

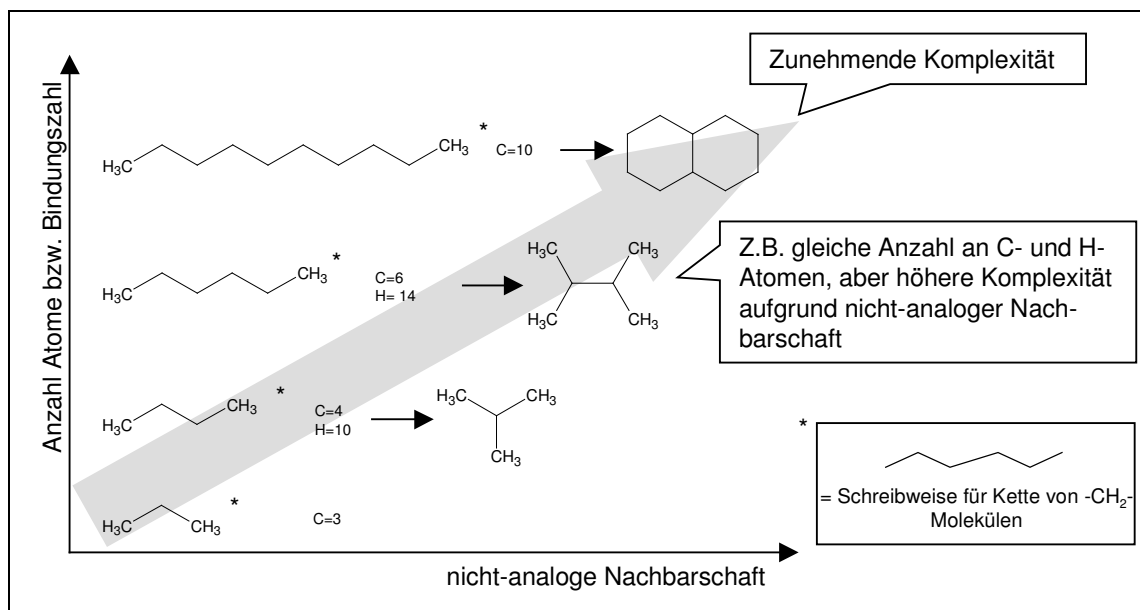


Abbildung 28: 2-dimensionale Formen der Komplexität von Kohlenwasserstoffen

Die Komplexität chemischer Produkte hängt also von der Zahl der darin enthaltenen Substanzen ab. Außerdem muss die Komplexität jeder einzelnen Substanzstruktur, unabhängig davon, ob sie alleine das Produkt darstellt oder ob sie in Verbindung mit anderen Substanzen vorliegt, berücksichtigt werden. Diese lässt sich anhand der Para-

¹¹⁵ Statt dem Begriff ,Komponenten‘ bietet sich bei chemischen Produkten z.B. die Bezeichnung ,Substanz‘ zur Beschreibung von Struktureinheiten chemischer Produkte an. Damit wird in der Regel eine Verbindung bezeichnet, welche bestimmte Eigenschaften aufweist und für bestimmte Anwendungen eingesetzt wird.

meter *Anzahl der Atome* (bzw. der *Bindungszahl*¹¹⁶) sowie der *analogen* bzw. *nicht-analogen Nachbarschaft* (,analogous/non-analogous vicinity‘) der betreffenden Atome beurteilen. Die Anzahl der Atome einer Substanz wird durch Zählen ermittelt: Je mehr Atome eine Substanz aufweist, umso komplexer ist sie (*Abbildung 28*). Die analoge bzw. nicht-analoge Nachbarschaft beschreibt die räumliche Umgebung jedes einzelnen Atoms, welches Bestandteil der Substanz ist: Ist das Atom an mehrere Nachbaratome verknüpft, welche aus Atomen bzw. Atomgruppen gleicher Elemente und gleicher räumlicher Anordnung bestehen, so handelt es sich um eine analoge Nachbarschaft (vgl. die CH₂-Atomgruppen innerhalb der linear aufgebauten Verbindungen in *Abbildung 28*, welche an beiden Seiten wiederum an gleichartige CH₂-Gruppen angrenzen).¹¹⁷ An den beiden ‚Enden‘ der linearen Verbindungen in *Abbildung 28* bestehen hingegen nicht-analoge Nachbarschaften, da dort CH₂-Gruppen an CH₃-Gruppen angrenzen (prinzipiell muss die Betrachtung nicht nur die nächsten, sondern auch alle anschließenden Nachbargruppen nacheinander einbeziehen; auf diese Weise erhält man nur noch eine rein analoge Atomgruppe: die mittlere CH₂-Gruppe der unten links gezeichneten, linearen Verbindung mit drei Kohlenstoffatomen weist eine vollkommen analoge Nachbarschaft auf, da durch sie eine Spiegelachse verläuft).

Abbildung 29 verdeutlicht am Beispiel von drei verschiedenen Vitaminen anschaulich die mit zunehmender Anzahl an Atomen und nicht-analogen Nachbarschaften steigende Komplexität chemischer Produkte. Der visuelle Eindruck, dass es sich bei dem *Vitamin B₁₂* um ein wesentlich komplexeres Produkt als beim *Vitamin C* handelt, bestätigt sich neben der Portfoliobetrachtung auch anhand der chemischen Totalsynthesen: Während die technische Synthese von Vitamin C in fünf Schritten verlaufen kann, erforderte die erste Totalsynthese des Vitamins B₁₂ im Jahr 1973 über 90 separate Syntheseschritte (mit erheblichen Folgen für die Fertigungskosten, vgl. *Abschnitt 5.2.3.1*). Vergegenwärtigt man weiterhin, dass pharmakologische Vitaminpräparate häufig eine Kombination von verschiedenen einzelnen Vitaminen darstellen, so wird zugleich die weitere Zunahme der Komplexität durch Einbringen mehrerer Substanzen in ein Produkt (z.B. in Tablettenform) deutlich.

¹¹⁶ Die ‚Bindungszahl‘ gibt die Anzahl an Atombindungen an, welche ein Atom eingeht.

¹¹⁷ Wieviele Bindungen ein Atom eingehen kann, hängt von der Anzahl seiner verfügbaren Elektronen ab, und wird u.a. durch die ‚Oktettregel‘ bestimmt.

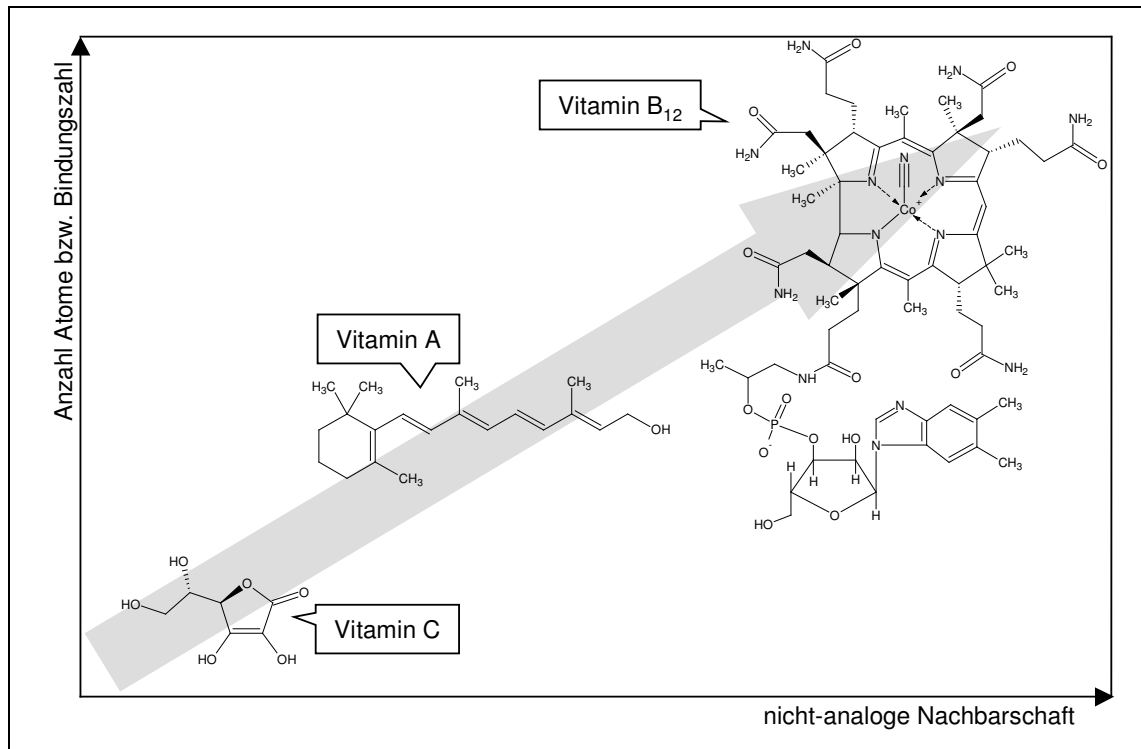


Abbildung 29: 2-dimensionale Formen der Komplexität von Vitaminen

Eine Erfassung der Komplexität chemischer Produkte erfordert demnach eine *3-dimensionale Betrachtung* (vgl. Abbildung 30): Die Komplexität nimmt sowohl mit der *Anzahl an Atomen* und *nicht-analogen Nachbarschaften* der Substanzen als auch mit der *Anzahl an unterschiedlichen Substanzen*, welche in ein chemisches Produkt eingehen, zu. Ein Produkt, welches nur aus einer Substanz mit wenigen und gleichartigen Atomen besteht, besitzt folglich eine niedrigere Komplexität als ein Produkt, welches aus mehreren Substanzen mit jeweils vielen Atomen und zahlreichen nicht-analogen Nachbarschaften zusammengesetzt ist. Für ein produktorientiertes Kostenmanagement bedeutet dies, dass ein Produkt mit einer hohen Komplexität – in der Regel – zu höheren (Entwicklungs-, Herstell-, Vertriebs-, Entsorgungs-) Kosten führt als eines mit niedriger Komplexität. Dabei können alle Produkte wiederum den in *Abschnitt 3.3.1* vorgestellten Klassen zugeordnet werden: *Grundchemikalien* stellen in der Regel niedrig komplexe Verbindungen und Einstoffsysteme dar, weshalb sie wenig Potential für komplexitätsorientierte Kostenmanagementansätze bieten. *Feinchemikalien* besitzen zwar meist eine komplexere Struktur, jedoch hängen ihre Produkteigenschaften so stark von den Details dieser Struktur ab, dass jeder Eingriff zugunsten einer verminderten Komplexität zu deutlich veränderten Produkteigenschaften führen sollte. Deutliche Potentiale für komplexitätsorientierte Ansätze bieten hingegen *Industrie- und insbesondere Spezialchemikalien*, welche sich häufig durch komplexe Strukturkomponenten und mehr als eine Substanz auszeichnen.

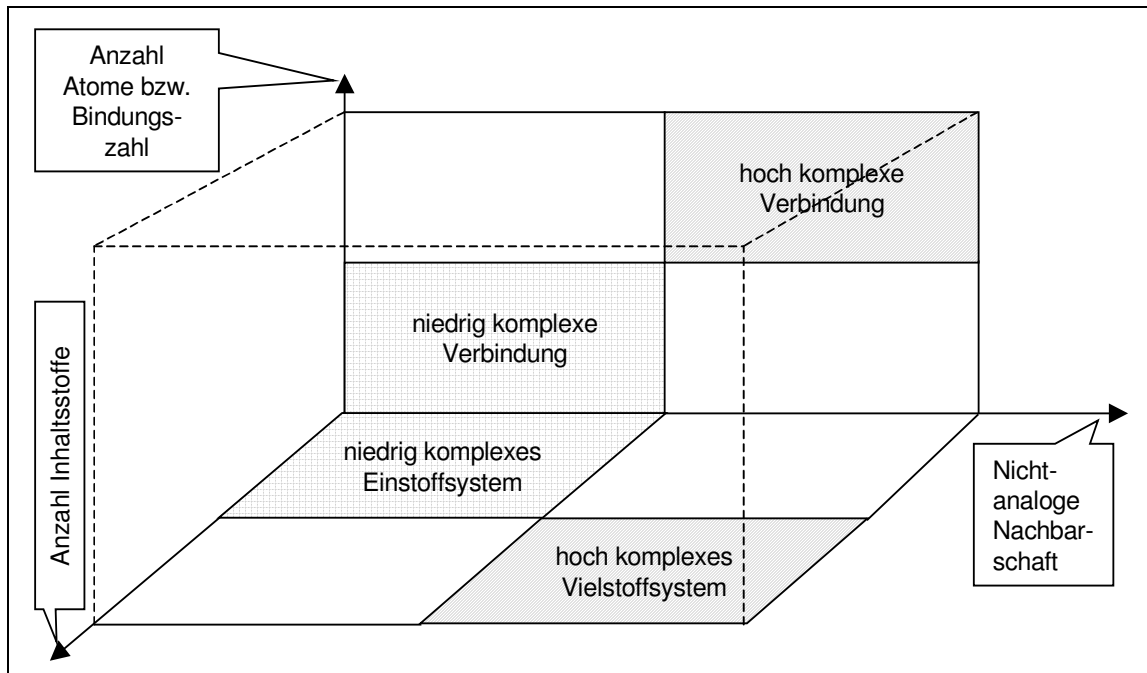


Abbildung 30: Dimensionen der Komplexität von chemischen Produkten

Das Ziel eines produktorientierten *Komplexitätsmanagements* ist zum einen die *Ver-ringerung* des internen Komplexitätsniveaus, weiterhin die *Beherrschung* der verbleibenden internen Komplexität sowie schließlich die *Dämpfung* der externen Komplexität (KÖSTER 1998, S. 45). Für die Entwickler in der chemischen Industrie ergeben sich dabei prinzipiell drei Ansatzmöglichkeiten (ROSENBERG 2002, S. 230ff.):

- Im Rahmen einer *Komplexitätsvermeidung* bzw. *-reduzierung* können sie z.B. die Material-, Substanz- und Variantenvielfalt u.a. durch Baukastenbildung und vermehrten Einsatz von Gleichsubstanzen reduzieren (Abschnitte 5.1.3.1, 5.2.1.2 und 5.2.1.1).¹¹⁸
- Eine *Komplexitätsbeherrschung* kann u.a. durch produktionstechnische Ansätze wie flexible Fertigungssysteme¹¹⁹ unterstützt werden. Diese werden in der chemischen Industrie häufig dann angewandt, wenn es sich um chargenweise produzierte Produkte mit einem nicht zu spezifischen Syntheseverfahren handelt (Abschnitt 5.2.4.1).

Auch die Verlagerung aller ähnlichen Produkte und Fertigungsprozesse an einen spezialisierten Standort innerhalb eines Produktionsverbundes kann zu Einsparun-

¹¹⁸ Eine Komplexitätsminimierung von Produkten kann auch zu einer Verbesserung der Wert-Kosten-Relationen gegenüber Wettbewerbern führen, welche vom Kunden entsprechend gewürdigt werden sollten (vgl. SEIDENSCHWARZ 1993, S. 55; PEEMÖLLER, 1993, S. 376f.).

¹¹⁹ Flexible Fertigungssysteme zeichnen sich durch die Möglichkeit aus, ohne hohen Rüstaufwand verschiedene Produkte auf gleichartigen Maschinen herzustellen.

gen führen (*Focused Factory*): Durch die Bildung von Fertigungsfamilien für ähnliche Reaktionsverfahren kann in der chemischen Industrie die Komplexität bei einer bestehenden Anzahl von Fertigungsverfahren beherrscht werden (*Abschnitt 5.2.4.1*). Gleiches gilt für produktbezogene Maßnahmen wie eine Familienbildung von Substanzen durch Standardisierung von reaktiven funktionellen Gruppen („Schnittstellenabgrenzung“) oder von chemischen Eigenschaften (*Abschnitt 5.2.1.4*). Ein weiteres produktbezogenes Konzept ist die Verschiebung des Variantenbestimmungszeitpunktes in Richtung des Fertigstellungszeitpunktes („Plattform“; *Abschnitt 5.2.1.3*).

- Durch eine *Komplexitätsverlagerung* werden beispielsweise Teile der Produktfertigung auf vor- oder nachgelagerte Wertschöpfungsstufen übertragen. Die ausgeprägte Arbeitsteilung (Outsourcing) in der chemischen Industrie (*Abschnitt 3.1.2*) ist teilweise Ergebnis einer Komplexitätsverlagerung, genauso wie die strategische Fokussierung mancher Chemieunternehmen auf nur noch einzelne Synthesestufen statt dem Unterhalt einer komplexen Verbundproduktion (*Abschnitt 3.1.3*). Beispielsweise sind in den vergangenen Jahren eine Vielzahl an ‚Biotech‘-Unternehmen entstanden, welche im Auftrag der Pharmaindustrie ein ‚Screening‘ von möglichen Wirkstoffen durchführen. Wird dadurch aber die Kostensituation der ausgelagerten Aktivitäten auf Seiten der Zulieferer nicht – z.B. durch Economies of Scale – gesenkt, so können sich aufgrund insgesamt gleichgebliebener Komplexitätskosten die Bezugskosten langfristig erhöhen und eine mögliche Kostensenkung kompensieren. Eine Verlagerung der Produktkomplexität auf Absatzmittler wie beispielsweise Händler ist in der chemischen Industrie kaum möglich, da jenen die Infrastruktur für technisch anspruchsvolle Zusatzaufgaben fehlt.

Die Entwickler in der chemischen Industrie sollten demnach insbesondere die durch die Komplexität verursachten Kosten in den Bereichen der *Forschung* und *Entwicklung* von Produkt- und Prozesstechnologien, bei den Vorlauf- und Anlaufkosten der eigentlichen *Produktion*, einen Teil der Kosten der *logistischen Steuerung* des gesamten Material- und Warenflusses, die *Sorten-* bzw. *Variantenwechselkosten*, die Kosten der *Qualitätssicherung*, die Kosten der *Leistungsverwertung* sowie die Kosten der späteren *Entsorgung* beeinflussen können (BECKER 1992, S. 172). Die Messung der Ergebnisse der vorgestellten Handlungsoptionen kann anhand von Erlös- und Kostenveränderungen erfolgen, auf die im nächsten Abschnitt eingegangen wird.

4.3.3 Kosten der Komplexität

Komplexität bindet Ressourcen, und durch den Verbrauch von Ressourcen entstehen Kosten. *Komplexitätskosten* lassen sich in diesem Sinne als „Mehrkosten durch Komplexität auf der Produkt-, Prozess- und Ressourcenebene“ beschreiben (MÄNNEL 1993, S. 213): „Sie fallen infolge einer großen Vielfalt von Kunden, Produkten, Varianten, Baugruppen, Teilen, Materialien und auch Lieferanten insbesondere in den Bereichen

Forschung und Entwicklung, Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Logistik, Einkauf und Vertrieb an“. Sie sind als Resultat von intensitätsmäßigen und kapazitätsmäßigen Anpassungen der Produktions-, Management- und Informationskapazitäten an eine steigende Vielfalt zu verstehen (vgl. MÄNNEL 1994, S. 383). Dies kann eine Abflachung der – normalerweise mit ansteigender Beschäftigung degressiv verlaufenden – Stückkostenkurve bewirken; im Extremfall muss sogar mit einem komplexitätsinduzierten progressiven Stückkostenverlauf gerechnet werden (vgl. *Abbildung 31*).

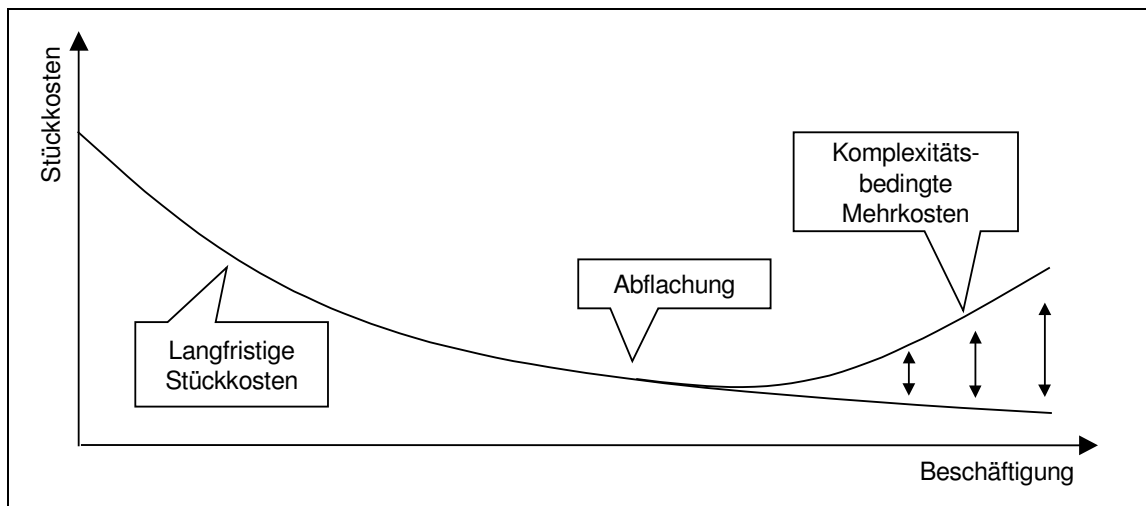


Abbildung 31: Veränderung des langfristigen Stückkostenverlaufs in Folge der Erhöhung der Komplexitätskosten (vgl. BECKER 1992, S. 172)

Je nachdem, ob die Kosten in einem direkten, proportionalen Zusammenhang mit dem Grad der betrieblichen Komplexität stehen oder (im Sinne von Opportunitätskosten) durch entgangenen Nutzen im Vergleich zu einer besseren Verwendungsalternative der Ressourcen entstehen, lassen sich diese in *direkte* und *indirekte Komplexitätskosten* unterscheiden (vgl. HUNGENBERG 2000, S. 545f.; *Abbildung 32*). *Direkte Komplexitätskosten* können einmaliger Natur sein, wie z.B. der Entwicklungsaufwand für eine neue Produktvariante, oder auch dauerhaft anfallen wie die zusätzlichen Lagerkosten oder der Qualitätssicherungsaufwand derselben Produktvariante (vgl. WILDEMANN 1998, S. 52f.). Die *indirekten Komplexitätskosten* entstehen durch die komplexitätsinduzierten Engpässe bzw. Ressourcenbindungen (z.B. langsame Auftragsannahme aufgrund zahlreicher Kleinbestellungen; Kapitalbindungskosten aufgrund von Verzögerungen in der Logistik; Schnittstellen in der Aufbau- und Ablauforganisation; Inkonsistenz von informations- und kommunikationstechnologiebezogenen Daten). Phänomenologisch äußern sich Komplexitätskosten vornehmlich als erhöhter Aufwand für die betriebliche Steuerung und Koordination, mit der Folge sinkender Produktivität (vgl. HOEVEL 1996, S. 23).¹²⁰

¹²⁰ Zur Systematisierung von innerbetrieblichen ‚Koordinationskosten‘ führt WILDEMANN „Kostenarten der Komplexität“ ein, zu denen z.B. Such- bzw. Informationskosten, Abstimmungs- und Entscheidungs-

Die häufig allgemein gehaltene Definition von ‚Komplexitätskosten‘ als ‚durch Komplexität bedingte Kosten‘ ist allerdings ungenau. Diese Begriffsfassung würde eine Aufteilung der Kostensituation in *selbstverständliche* Kosten (z.B. der Fertigung) und *komplexitätsinduzierte* Kosten infolge der Herstellung z.B. mehrerer Produktvarianten voraussetzen; eine derartige Unterscheidung ist zwangsläufig willkürlich (BATTENFELD 2001, S. 138). Durch eine Beschränkung auf nur noch eine Produktvariante könnte demnach der Komplexitätsgrad ‚auf Null‘ zurückgeführt werden. Da diese Annahme nicht plausibel ist, kann die Definition der Komplexitätskosten allenfalls relativ zu einem bestimmten Ausgangsgrad der Komplexität erfolgen. Somit würden prinzipiell alle gegenüber dem *Status Quo* zusätzlich anfallenden Kosten, welche durch einen Komplexitätstreiber verursacht werden, zu den Komplexitätskosten gerechnet werden können – ohne damit auszuschließen, dass die vorhandenen Kosten zum Teil ebenfalls eine Folge von zuvor gestiegener Komplexität sein können.

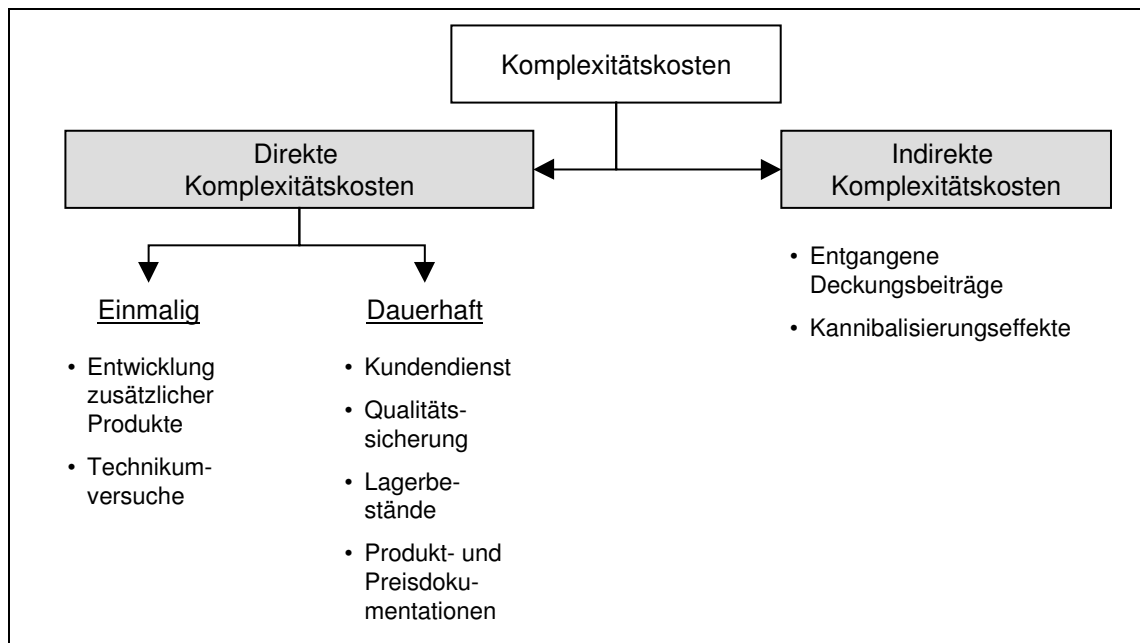


Abbildung 32: Gliederung der Komplexitätskosten (in Anlehnung an HUNGENBERG 2000, S. 546)

Diese Betrachtung könnte auch Einzelkosten wie z.B. die Fertigungslöhne für die oben genannten Varianten einschließen. Da diese Kosten aber kostenrechnerisch beanspruchungsproportional dem Kostenträger – hier der Variante – zugewiesen werden können und damit sichergestellt ist, dass diese zusätzlichen Kosten keinen anderen Kostenträgern angelastet werden, sind diese Einzelkosten eher für die Kalkulation bzw. kurzfristi-

kosten, Planungs-, Steuerungs-, Kontrollkosten oder Konfliktkosten gezählt werden (1998, S. 53f.; vgl. ALBACH 1988, S. 1164). Er differenziert anschließend, ob diese Kosten prozessinhärent sind oder durch die Produktgestaltung hervorgerufen werden und welche Volumina besonders kostenintensiv sind. Auf diese Weise kann schrittweise eine Optimierung der unternehmensbezogenen Komplexität eingeleitet werden in Richtung auf Reduzierung, Vermeidung und Beherrschung von Komplexität.

ge Erfolgsrechnung von Interesse als für eine – wie auch immer geartete – Komplexitätskostenbetrachtung. Für diese sind vielmehr die kostenrechnerisch schwieriger zu erfassenden, zusätzlich anfallenden Kosten indirekter Bereiche von Interesse, welche durch Komplexitätstreiber erzeugt werden, aber – je nach Kostenrechnungsmethode – als mehr oder weniger unspezifische Gemein- und Overheadkosten *allen* Kostenträgern zugewiesen werden – auch jenen, welche nachgewiesenermaßen nicht an ihrer Entstehung beteiligt waren.

Wenn im Rahmen eines produktorientierten Kostenmanagements die Entwickler komplexitätstreibende Entscheidungen vermeiden sollen, so müssen die Komplexitätskosten bereits bei der Zielkostenfestlegung im Target Costing-Prozess berücksichtigt werden. Allerdings ist eine direkte Einbindung der Komplexitätskosten mit Schwierigkeiten verbunden, da die Definition der Zielkosten zwar meist auf den Herstellkosten beruht, welche auch Komplexitätskosten enthalten können, diese jedoch in der Regel nicht ausweisen (vgl. BOHNE 1998, S. 31f.).¹²¹ Den jeweiligen (Komplexitäts-) Kosten wäre dann die Preisbereitschaft der Kunden (Marktpreis) gegenüber zu stellen, so dass auch eine Abwägung zwischen vermeintlichem Kundennutzen und der dadurch induzierten Komplexität möglich wäre: Der Kundennutzen einer Leistung, welche direkte Komplexitätskosten verursacht, wäre zumindest fraglich, und der Entstehung von indirekten Komplexitätskosten stünde keinerlei Kundennutzen gegenüber (vgl. WILDEMANN 1998, S. 52).¹²² Jede Aktivität und jede Produktfunktion, deren Kosten die Zielkosten eines Produkts überschreitet, müsste demnach vermieden werden, um eine Übererfüllung des Kundenwunsches im Sinne eines ‚Overengineering‘ ausschließen zu können.¹²³ Folglich darf eine komplexitätstreibende Maßnahme nur dann ergriffen werden, wenn die zu-

¹²¹ Eine Erweiterung des Zielkostenmanagements um eine komplexitätskostenorientierte Betrachtung müsste die nach erfolgter Zielkostenspaltung in den ‚Drifting Cost‘ enthaltenen Komplexitätskostenanteile explizit ausweisen und das Kostensenkungspotential ihrer Verringerung prognostizieren. In der Praxis ist jedoch das Erreichen des Kostenziels unabhängig von der semantischen Differenzierung von ‚normalen‘ und ‚durch Komplexität verursachten‘ Kosten.

¹²² Hierzu herrschen unterschiedliche Ansichten vor. RAUFEISEN bezeichnet einen definierten Prozess dann als optimal komplex, wenn alle komplexitäts- und damit kostentreibenden Faktoren eliminiert sind (1997, S. 136). Der „theoretisch optimale komplexe Prozess“ sei dann vorhanden, wenn nur noch wertschöpfende Aktivitäten prozessbildende Elemente sind, was für jeden Prozess bedeutet, dass er einen „Wertschöpfungsgrad“ von 100% aufweist. Wertschöpfende Aktivitäten können jedoch im obigen Sinne direkte Komplexitätskosten verursachen, ohne dass der Kunde dafür zu zahlen bereit ist; ein solcher Prozess kann dann aber nicht mehr als optimal komplex bezeichnet werden. Demgegenüber führt Wildemann aus: „Komplexitätskosten dürfen nicht unbedingt mit den Kosten der Vielfalt gleichgesetzt werden. Der Grund liegt in der Betrachtungsweise der Vielfalt: Denn zur Erfassung der Komplexitätskosten ist eine zwingende Unterscheidung von kundennutzenbeeinflussenden und -neutralen Kosten relevant. Sowohl produkt- als auch dadurch ausgelöste prozessbezogene Vielfaltskosten, die zu keiner Erhöhung des Kundennutzens führen, sind echte Komplexitätskosten. Irrelevant ist, ob die aufgedeckten Kostenarten wertschöpfenden oder nicht-wertschöpfenden Charakter aufweisen“ (WILDEMANN 1998, S. 52).

¹²³ Allerdings erfordert dies die – in praxi nicht umsetzbare – verursachungsgerechte Verrechnung der gesamten angefallenen Kosten auf das Absatzobjekt. Immerhin können aber so die zulässigen Kosten als *eine* Maßgröße zur Komplexitätsmessung dienen; da jedoch ein *eindeutiges* Maß für Komplexität fehlt, können auch Ersatzgrößen wie die Kunden-, Teile- oder Variantenzahl herangezogen werden (vgl. ADAM/JOHANNWILLE 1998, S. 11).

sätzlich erreichbaren Erträge die als Folge der zunehmenden Komplexität (über-) proportional ansteigenden Kosten überkompensieren (*Abbildung 33*).

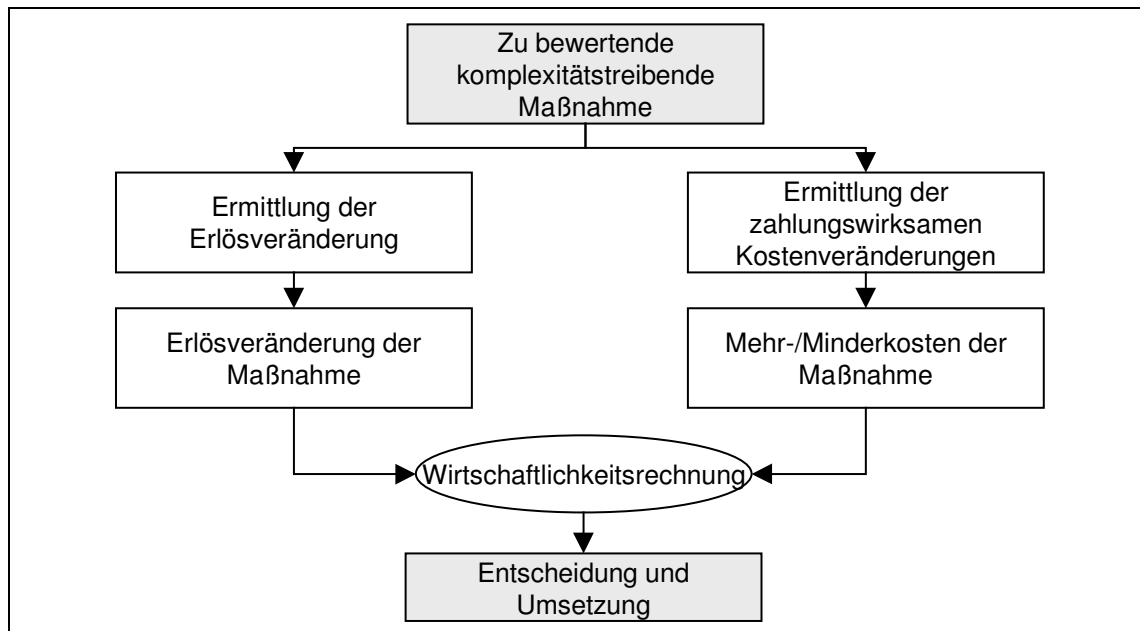


Abbildung 33: Bewertung von komplexitätstreibenden Maßnahmen (vgl. ROSENBERG 2002, S. 235)

In der Praxis liegen jedoch die für eine solche Beurteilung notwendigen Informationen aufgrund mangelnder Transparenz der Komplexitätskosten häufig nicht (ausreichend) vor. Dies kann auf mehrere Ursachen zurückgeführt werden, welche die Entscheidungssicherheit der Entwickler einschränken (vgl. ADAM/JOHANNWILLE 1998, S. 12ff.):

- Komplexitätskosten fallen typischerweise als *Gemeinkosten* in indirekten, steuernden Bereichen an.
- Es fehlt an genauen *Maßgrößen* zur Bestimmung der (Produkt-) Komplexität – nur so ließen sich Kosten oder Erlöse als Funktion der Komplexität darstellen¹²⁴ (es gibt z.B. keine eindeutige Möglichkeit – unter sonst gleichbleibenden Bedingungen – den Komplexitätsunterschied eines Unternehmens mit 50 Produkten à 100 Teilen oder mit 100 Produkten à 50 Teilen zu bestimmen; eine Grobbestimmung wäre aber immerhin über den Gesamtkostenblock möglich). Eine Beeinflussung der häufig als Ersatzgrößen verwendeten Kostentreiber wie beispielsweise die Varianten- oder Bauteilvielfalt oder auch eine Untersuchung der Kosten- und Ertragssituation der beiden Alternativen erlaubt allenfalls globale Aussagen über die Zu- oder Abnahme von Komplexität. Auch diese gelten jedoch nur unter der Voraussetzung, dass die

¹²⁴ RAUFEISEN hat einen Versuch unternommen, die Komplexität der Prozesse in der Auftragsabwicklung eines Anlagenbauers zu messen (1997, S. 133). Dazu wurden Kennzahlen wie die abteilungs- und mitarbeiterbezogene Schnittstellendichte je Prozess ermittelt.

ausgewählten Treiber ausschließlich in einem direkt proportionalen Verhältnis zu den (unbekannten) Komplexitätskosten stehen.¹²⁵

- Komplexitätskosten können eine *räumliche Trennung* bezüglich ihrer Entstehung und des Anfalls aufweisen: Diejenigen betrieblichen Bereiche, in denen komplexitätserzeugende Entscheidungen getroffen werden, sind nicht notwendigerweise dieselben, in denen die durch die Maßnahme verursachten Kosten anfallen.
- Komplexitätskosten können einer *heterogenen Kostenverursachung* unterliegen: Zunächst können sie durch eine Vielfalt voneinander unabhängiger komplexitätsinduzierender Maßnahmen hervorgerufen werden. Weiterhin beeinflusst die Veränderung eines Kostentreibers wie der Variantenvielfalt in der Regel nicht nur eine Komplexitätskostenart, sondern zeichnet sich durch vielfältige Auswirkungen in mehreren betrieblichen Bereichen aus, z.B. auf die Beschäftigung, den Qualitätssicherungsaufwand oder auf Einkaufsrabatte.
- Komplexitätskosten treten *zeitlich verzögert* auf: Sie können als Folge von strategischen Entscheidungen entstehen, deren kostenmäßige Auswirkungen erst nach gewissen Zeiträumen einsetzen.¹²⁶ Sie können aber auch durch operative Entscheidungen hervorgerufen werden, wenn diese z.B. in der Summe zu Kapazitätsengpässen führen: Zunächst kommt es zu einem unspezifischen Kostenanstieg durch zunehmende Ineffizienzen, dann erfolgt die Anpassung des Betriebes an die erhöhte Komplexität in mehreren Schritten und in Form eines sprungfixen Kostenverlaufs. Wenn also durch eine operative Entscheidung (z.B. neue Variante) ein gewisser Koordinationsengpass zu Tage tritt, können taktische (z.B. zusätzliche Entwickler) und strategische (z.B. neue Kundensegmente) Anpassungsentscheidungen getroffen werden, deren Kosten zum Zeitpunkt der operativen Entscheidung nicht bedacht worden sind.¹²⁷ Dieses progressive Kostenverhalten erschwert die Abschätzung von Folgewirkungen bei Ergreifung komplexitätswirksamer Maßnahmen.

¹²⁵ Dies bedeutet, dass die Verringerung eines Kostentreibers ausschließlich eine Senkung der gesamtbetrieblichen Komplexität herbeiführt, und nicht gleichzeitig zu einer Erhöhung der Komplexität, z.B. in einem anderen als dem betrachteten Bereich, führen kann.

¹²⁶ Unter *strategischen Entscheidungen* sollen hier Entscheidungen grundsätzlicher bzw. *erfolgskritischer* sowie *langfristiger* (Zeithorizont drei Jahre und länger) Natur verstanden werden, welche überwiegend den gesamten Betrieb und die Ordnung und Strukturierung von Zielen, Aufgaben und Prozessen betreffen. In Abgrenzung hierzu sollen *taktische Entscheidungen* im Zusammenhang mit der *Durchführung* der Strategie stehen und eher einen *mittelfristigen Zeithorizont* (ein bis drei Jahre) aufweisen; Sie betreffen ‚nur‘ noch größere (Teil-) Einheiten des Betriebes. *Operative Entscheidungen* schließlich wirken sich hauptsächlich auf die *laufende Rechnungs-* bzw. *Berichtsperiode* (Zeithorizont unter einem Jahr) aus und betreffen Teileinheiten des Betriebes.

¹²⁷ Während durch die zunehmenden Koordinationsengpässe zunächst Opportunitätskosten entstehen, fallen bei den anschließend notwendigen Entscheidungen zur Kapazitätserweiterung direkte Komplexitätskosten an.

- Komplexitätskosten zeigen ein *remanentes Verhalten* bei der Reduktion des Komplexitätsgrades: Die aktuelle Kostensituation ist weitestgehend auf in Vorperioden gefasste Entscheidungen zurückzuführen, und die aufgebauten Managementkapazitäten sinken keinesfalls automatisch mit einer Verringerung eines Komplexitätstreibers (wie z.B. der Variantenzahl), ebensowenig wie sich flexible Fertigungssysteme nicht einfach in standardisierte umwandeln lassen.

Die hier aufgeführten Eigenschaften von Komplexitätskosten sind u.a. verantwortlich dafür, dass die Komplexität als eine unmittelbare *Vorsteuergröße* für die *Kostenstruktur*, den *Kostenverlauf* und das *Kostenniveau* aufgefasst werden kann (vgl. HORVÁTH/GLEICH 1998, S. 175). Das bereits vorgestellte, proaktive (Ziel-) Kostenmanagement hat demnach die Aufgabe, die komplexitätstreibenden Faktoren zu *analysieren* und frühzeitig – während des Entwicklungsprozesses – die Komplexität zu *gestalten* (vgl. HUNGENBERG 2000, S. 548). Dieser Gestaltungsaspekt unterliegt aber den oben aufgeführten Einschränkungen hinsichtlich der Eigenschaften von Komplexitätskosten. Weiterhin führen auch Unzulänglichkeiten vor allem von *vollkostenorientierten Kostenrechnungssystemen* zu *Einschränkungen* bei der *zielkostenorientierten Produktentwicklung*, da sie die Folgen von komplexitäts- bzw. kostentreibenden Entscheidungen nicht korrekt abbilden können. Auf diese Schwierigkeiten der Kostenrechnung wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

4.4 Unterstützung des produktorientierten Kostenmanagements durch die Kostenrechnung

4.4.1 Entwicklung der Kostenstruktur

Sehen sich Unternehmen in ihrem Umfeld mit einer Zunahme der Wettbewerbsintensität konfrontiert, so zieht dies häufig eine Intensivierung von marktbezogenen bzw. kundennahen Aktivitäten nach sich. Neben verstärkten Anstrengungen im Marketing-, Vertriebs- und Forschungs- und Entwicklungsbereich versuchen die Unternehmen auch, Rationalisierungspotentiale z.B. durch eine (noch stärker) automatisierte Produktion zu erschließen (vgl. CORSTEN/STUHLMANN 1997, S. 19).¹²⁸ Dadurch kann es neben einem Anstieg des Kostenniveaus auch zu einer *Verschiebung* der *Kostenstruktur* hin zu den Gemeinkosten kommen. In der Vergangenheit konnten z.B. MILLER und VOLLMANN eine derartige Entwicklung der Kostenstruktur empirisch anhand ausgewählter Unternehmen der US-amerikanischen Industrie in einer wegweisenden Studie belegen (vgl. 1985, S. 143ff.). Demnach ist in den USA in 100 Jahren der Anteil der Overhead-Kosten an der Wertschöpfung („Added Value“) kontinuierlich gestiegen und erreichte zum Zeitpunkt der Untersuchung deutlich über 70% der Produktionskosten. Ursächlich machen die Autoren die – in Unternehmen mit hoch automatisierten, personalarmen Fertigungsbereichen im Verhältnis besonders bedeutsame – Anzahl an *Transaktionen* (im Sinne von ‚Aktivitäten‘ und ‚Prozessen‘) dafür verantwortlich. Auch weisen sie auf das Potential zur Kostensenkung von Transaktionen durch eine Beeinflussung des *Produkt-* und *Prozessdesigns* hin.

In Deutschland erbrachte eine Umfrage unter Chemie- bzw. Pharmaunternehmen hinsichtlich der Fixkostenentwicklung seit 1970 hingegen ein – auf den ersten Blick überraschend – heterogenes Bild: Von 5 befragten Unternehmen vermutet nur eines (subjektiv) steigende Fixkosten im genannten Zeitraum, wohingegen die anderen von konstanten bzw. alternierenden und einmal sogar von fallenden Fixkostenanteilen ausgingen (vgl. FRANZ/KAJÜTER 1997a, S. 495f.). Aufgrund der gestiegenen Anlagenintensität und des gestiegenen Automatisierungsgrades in der chemischen Industrie wäre eigentlich eine deutlich steigende Fixkostenentwicklung zu erwarten gewesen. Allerdings könnten die Fixkostenanteile an den Gesamtkosten z.B. durch die im Zeitraum ebenfalls stark angestiegenen (variablen) Rohstoff- und Energiekostenanteile teilweise kompensiert worden sein, was das Ergebnis der Untersuchung relativieren würde. Es erscheint vielmehr realistisch, auch für die chemische Industrie eine deutliche Kosten-

¹²⁸ „Heute liegen die strategischen Wettbewerbsvorteile von Unternehmen nicht mehr in ihrer Produktivität und ihrer Fertigungstechnik. Sie liegen im Markt. Kundennähe ist strategisch wichtiger als Kostenbewußtsein in der Produktion“ (vgl. ALBACH 1988, S. 1159).

strukturverschiebung hin zu den Gemeinkosten anzunehmen. Dies erfordert eine Diskussion der Abbildungsmöglichkeit und -genauigkeit der entsprechenden Kosten durch die Kostenrechnung, welche im nächsten Abschnitt durchgeführt wird.

4.4.2 Anforderungen an die Kostenrechnung

Eine der wesentlichsten Forderungen an die Kostenrechnung, neben der *Wirtschaftlichkeitskontrolle* und der *Kostendokumentation*, ist die Bereitstellung *entscheidungsrelevanter Kosteninformationen*. Neben der Versorgung mit *vollständigen* und *zutreffenden* Informationen umfasst dieser Anspruch vor allem die zeitbezogenen Merkmale *Zukunftsbezogenheit*, *Erwartungsbestimmtheit*, *Beeinflussbarkeit* sowie die *Einzelzurechenbarkeit* (vgl. HUMMEL 1992, S. 77ff.). Während die zeitbezogenen Anforderungen verlangen, dass nur zukünftige Kosten, die zugleich zuverlässige Aussagen über die zu erwartende Kostenhöhe enthalten und die darüber hinaus auch zum Zeitpunkt der Entscheidungsfindung noch beeinflussbar sind, als entscheidungsrelevant einzustufen sind, setzt das sachliche Merkmal Einzelzurechenbarkeit voraus, dass eine verursachungsgerechte Kostenzuordnung betrachteter Maßnahmen bzw. Alternativen auf einzelne Kostenträger vorgenommen werden kann.

Durch die zuvor beschriebene Kostenstrukturentwicklung haben sich nicht nur die Anforderungen an das Kostenmanagement, sondern auch an die Kostenrechnung geändert. Die *Entscheidungsrelevanz* von *herkömmlichen Kostenrechnungssystemen* für ein produktorientiertes Kostenmanagement muss vor dem geschilderten Hintergrund in Zweifel gezogen werden. Hinsichtlich der diskutierten Kostenstrukturentwicklung müssen vor allem ihre Probleme bei der adäquaten Abbildung von Fix- bzw. Gemeinkosten angeführt werden, da sie (als Voll- oder Teilkostenrechnung) vornehmlich für die Erfassung von Einzel- bzw. variablen Kosten konzipiert wurde (BERENS/SCHMITTING 1998, S. 99). Denn die traditionellen Anforderungen an entscheidungsrelevante Informationen bestanden in der Unterstützung sachlich eingeschränkter, rein operativer Entscheidungsfelder (‘Partialmodell’), in deren Mittelpunkt die Fertigung standardisierter, homogener Leistungen und die Produktion als betriebliche Engpassfunktion standen (ADAM/JOHANNWILLE 1998, S. 14f.).¹²⁹

Die erwähnte Verschiebung der Kostenstruktur bedeutet jedoch für die Erfassung von Gemeinkosten – und damit auch für die Abbildung von Komplexitätskosten – dass sie nicht (mehr) als periodenbezogen bewertete Verbräuche erfasst, den Kostenstellen zugeordnet und mit Verteilungsschlüsseln auf die Produkte und auf die einzelnen Produkteinheiten verrechnet werden dürfen, da die so ermittelten Kosten zu *falschen Ent-*

¹²⁹ Solange die Kosten zum überwiegenden Teil in den direkten Fertigungsbereichen anfielen, wurde die traditionelle Kostenrechnung daher den gestellten Anforderungen weitgehend gerecht.

scheidungen hinsichtlich *gemeinkosten-* und *komplexitätsverändernder Maßnahmen* führen können (vgl. *Abschnitt 4.4.2.1*).

Für die verursachungsgerechte Erfassung von Komplexitätskosten und zur Beurteilung einer Maßnahme des Komplexitätsmanagements ist es notwendig, die komplexitätstreibende Maßnahme *isoliert* betrachten zu können, da Aussagen über die Wirkung der Komplexität nur Sinn machen, wenn sich alle übrigen Determinanten, über die Kosten beeinflusst werden können – Beschäftigung, Arbeitskosten usw. – nicht verändern (ADAM/JOHANNWILLE 1998, S. 11; *Abbildung 33*). Dies setzt voraus, dass alle durch die Entscheidung hervorgerufenen Komplexitätsveränderungen einschließlich der resultierenden Kosten und Erlöse ausgewiesen werden können. Nur so kann sichergestellt werden, dass diese Kosten ausschließlich – im Sinne von Zusatzkosten – der entsprechenden Maßnahme zugeordnet werden, ohne z.B. *vor* Ergreifen der Maßnahme bestehende Kostenanteile von vorhandenen Kostenträgern zusätzlich zu belasten. Diese Forderung kann durch die bekannten Instrumente der Kostenrechnung nicht oder nur eingeschränkt erfüllt werden. Als im entscheidungsrelevanten Sinne besonders kritisch muss dabei die *Prognose der Kostenhöhe* und ihre *Zurechenbarkeit* angesehen werden. Die Betrachtung ausschließlich zukünftiger und beeinflussbarer Kosten dürfte dagegen in den meisten Fällen gewährleistet sein.

Für ein produktorientiertes Kostenmanagement und eine Bewertung möglicher kosten-senkender Maßnahmen müssen also Systeme gefunden bzw. eingesetzt werden, welche die veränderten Anforderungen an die Kostenrechnung aufgrund steigender Gemeinkostenanteile abbilden können (vgl. MUFF 1990, S. 85):¹³⁰

- Schaffung einer *Kostentransparenz* in den *indirekten Bereichen* (vor allem vernachlässigten, nicht-fertigungsnahen Kostenstellenbereichen),
- Erklärung der *Gemeinkostenentstehung*,
- Ermittlung von *kostentreibenden Einflussgrößen* auf die Gemeinkosten und
- Ermittlung von geeigneten *Verfahren* für die *Zurechnung* dieser Kosten auf die indirekten Leistungen.

Das Anwachsen der Fixkosten engt die *kurzfristigen Entscheidungsspielräume* ein (vgl. HORVÁTH ET AL. 1993a, S. 622; EVERSHEIM/KÜMPER 1996, S. 47). Dies weist zugleich auf die gestiegene Kostenverantwortung der Entwickler (auch in der chemischen Industrie) hin, da diese nicht nur kurz-, sondern auch *mittel-* und teilweise sogar *langfristige Entscheidungsspielräume* haben. Entsprechend gewinnen *frühzeitige* Produktkosteninformationen immer mehr an strategischer Bedeutung, und „die ‚time-lag‘-Problematik

¹³⁰ Vgl. zur Erarbeitung eines konzeptionellen Handlungsrahmens für das Gemeinkostenmanagement ROOLFS 1996, S. 154ff.

herkömmlicher Kostenrechnungsverfahren“ kann sich zu einem erfolgsgefährdenden Faktor entwickeln (PFEIFFER ET AL. 1992, S. 862): „Nicht rechtzeitig erkannte Produktkosten, die zur Überschreitung der Zielkosten führen, ergeben entweder zu teure Produkte oder zeit- und kostenintensive Änderungsvorgänge“ (EHRENSPIEL 1992, S. 295). Um die zuvor im Rahmen des Target Costing definierten, ehrgeizigen Kostenziele einhalten zu können, müssen demnach schon die Entwickler alle Freiheitsgrade zugunsten der kostengünstigsten Produktalternative ausschöpfen und damit idealerweise das Lebenszyklus-Kostenminimum eines Produkts erreichen können (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 170). Eine *Überschreitung* der Zielkosten führt indessen entweder zu *nachträglichen Kostensenkungsmaßnahmen* oder gar zum *Abbruch der Entwicklung* bzw. der *Produktion* (vgl. BOTTA 1997, S. 81).

Hierzu benötigen die Entwickler einerseits ein profundes *Verständnis* der kostenmäßigen Zusammenhänge von Produktkomponenten, Produktfunktionen und Herstellverfahren und andererseits eine frühzeitige und größtmögliche *Transparenz* über die sachliche Kostenauswirkung ihrer Entscheidungen: Der Entwickler möchte wissen, warum und durch welche seiner Entscheidungen Kosten entstehen und wie er sie beeinflussen kann (vgl. SCHOLL 1998, S. 25). Andernfalls nimmt im Verlauf der Konzept- und Entwicklungsphase zwar der *technische Kenntnisstand* des Produktentwicklers kontinuierlich zu, die *betriebswirtschaftlichen Konsequenzen* seiner im gleichen Zeitraum getroffenen Entscheidungen bleiben ihm dagegen weitgehend unbekannt.

Die „traditionellen Kostenrechnungssysteme“¹³¹ sind für eine derartige, frühzeitige Kosteninformation ungeeignet und können nur aufzeigen, *welche Kosten* (Kostenarten) *wo* (Kostenstellen) *für was* (Kostenträger) angefallen sind (vgl. SCHOLL 1998, S. 25). Aber auch in der Methodik der Zurechnung fortschrittlichere Systeme wie eine Prozesskostenrechnung scheitern immer noch an dem geringen Ausmaß an Kosteninformationen während der Entwicklungsphase. So ist beispielsweise die möglichst verursachungsgerechte Zuweisung der Gemeinkosten von neuen Produkten zu Projektbeginn nur schwer vorzunehmen, da auch eine Prozesskostenrechnung selbst bei massiver Parallelisierung der Produkt-, Fertigungs- und Prozessentwicklung zu diesem Zeitpunkt kaum realisierbar ist. Aber auch Pauschalansätze können an dieser Stelle versagen, da sie immer auf verallgemeinerten Erfahrungswerten basieren müssen (vgl. BEHR 1998, S. 50).¹³²

¹³¹ ‚Traditionelle Kostenrechnungssysteme‘ verrechnen die Kosten über Bezugsgrößen (z.B. Maschinenstunden, Fertigungslöhne, Materialkosten) auf die Produkte, welche für den Entwickler keine Aussagekraft haben und zum Zeitpunkt der Entwicklung noch nicht vorliegen; weiterhin setzt die ‚traditionelle Kostenrechnung‘ erst nach Vorliegen der vollständigen Produktinformationen ein (vgl. SCHOLL 1998, S. 25).

¹³² Die frühzeitige Kosteninformation sollte zudem Parameter enthalten, welche für die Entwicklungstätigkeit typisch sind, d.h. weg von z.B. fertigungstechnischen Bezugsgrößen und hin zu Kennzahlen wie z.B. der Strukturkomplexität des Moleküls, der Reaktionsenthalpie oder der Anzahl an Syntheseschritten (vgl. BINDER 1998b, S. 50).

Für die *Kalkulation*, welche aus Sicht der Produktentwicklung das wichtigste Instrument der Entscheidungsunterstützung ist, können daher folgende prinzipielle Schwierigkeiten zusammengefasst werden (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 1996, S. 71):

- Die Kosteninformationen werden *nicht rechtzeitig* bereitgestellt.
- Die kostenmäßigen Auswirkungen von Entwicklungsentscheidungen bzw. von Maßnahmen zur Senkung der produktbezogenen Kosten werden *unzureichend* dargestellt.

Das Problem der *späten Verfügbarkeit von Kosteninformationen* hat andere Branchen veranlasst, Methoden für eine ‚frühzeitige Kalkulation‘ zu erarbeiten, welche im Rahmen der Kostenmanagementmaßnahmen im *Abschnitt 6.2.2* vorgestellt werden. Mittlerweile lässt sich auch in der chemischen Industrie eine Weiterentwicklung der Kalkulation weg von einer isolierten Istkostenrechnung (im Sinne einer monatlichen Nachbetrachtung) hin zu einer ‚controllingorientierten Funktion mit deutlicher Verknüpfung zur Vorkalkulation‘ beobachten (VCI 1997, S. 13), wenngleich noch keine entsprechenden Ergebnisse veröffentlicht wurden. Vor dem Hintergrund dieser Entwicklung kann auch das frühzeitig einsetzende Target Costing als ideales Instrument für das Kostenmanagement in der chemischen Industrie gewertet werden.

Das Problem der *unzureichenden Kosteninformation* wird in den nachfolgenden *Abschnitten 4.4.2.1 bis 4.4.2.5* diskutiert. Dort werden verschiedene Kostenrechnungsverfahren auf ihre Eignung zur Erfüllung der veränderten Anforderungen und hinsichtlich der Schwierigkeiten bei der Abbildung von Gemeinkosten und Komplexitätskosten untersucht.

4.4.2.1 Zuschlagskalkulation

Die Zuschlagskalkulation wurde für die zuvor beschriebenen ‚traditionellen‘ Anforderungen entwickelt und ist noch heute – nicht nur in der chemischen Industrie – eine verbreitete Kalkulationsmethode. Sie weist die in der Kostenartenrechnung angefallenen Einzelkosten den Produktarten oder Aufträgen *direkt* zu und verrechnet die aus der Kostenstellenrechnung ermittelten Gemeinkosten mit Hilfe prozentualer *Zuschläge* auf die Einzelkosten. Aufgrund dieser pauschalen Umlage der Gemeinkosten versagt sie bei der beanspruchungsproportionalen Zuweisung von Gemeinkosten, da es keinerlei ursächlichen Zusammenhang zwischen den (meist) volumen-, mengen- oder einzelkostenorientierten Bezugsgrößen und den hieraus prozentual abgeleiteten Gemeinkostenzuschlägen gibt: Es kommt zu einer *willkürlichen Proportionalisierung* von Gemeinkosten. Solange aber der Gemeinkostenanteil an den Gesamtkosten verhältnismäßig gering war und in der Fertigung die Erbringung von homogenen Leistungen dominierte, wurde der Informationsgehalt der Zuschlagskalkulation nicht notwendigerweise unzulässig verzerrt.

Mit dem beobachteten Anstieg der Gemeinkosten stiegen aber die Zuschlagssätze entsprechend, und aufgrund der nicht beanspruchungsgerechten Umlage führte die Zuschlagskalkulation zu zunehmend falschen Ergebnissen. Damit scheiterte sie schon an Situationen, welche die Berücksichtigung der spezifischen Eigenschaften von Komplexitätskosten noch gar nicht vorsahen. Komplexitätstreibende Aspekte, wie z.B. eine Erhöhung der Variantenzahl, kann sie nicht korrekt erfassen, da sie die Kosten bzw. Investitionen für die neuen Varianten pauschal über alle Produkte schlüsselt, auch die Altprodukte. Unter Bezug auf ihre *Entscheidungsunterstützung* für das produktorientierte Kostenmanagement weist die Zuschlagskalkulation daher folgende Mängel auf:

- Da die Zuschlagskalkulation die *Gemeinkosten* nur nach *Kostenstellen erfassen* kann, erlaubt sie keinen detaillierten Einblick in deren Verbrauchsgestüt und kann daher den Entwicklern keine korrekten Hinweise auf die Kosten ihrer Entscheidungen geben. Genauso kann sie auch keine Hinweise zur Identifizierung und Lokalisierung von Kosten- und Komplexitätstreibern liefern.¹³³ Alle Komplexitätskosten werden in der Zuschlagskalkulation *unspezifisch* als Gemeinkosten *erfasst* und nicht verursachungsgerecht auf die Kostenträger geschlüsselt. Damit werden auch solchen Produkten Komplexitätskosten zugewiesen, die schon vor Ergreifen der Komplexitätstreibenden Maßnahme bestanden und diese somit zu Unrecht mit Zusatzkosten belastet. Die Zuschlagskalkulation kann daher sogar eine *Zunahme* der Komplexität unterstützen, indem sie ‚quersubventionierte‘ Spezialprodukte zu günstig kalkuliert und Standardprodukte aus dem Markt drängt (ADAM/JOHANNWILLE 1998, S. 18f.).¹³⁴
- Da die Zuschlagskalkulation *einperiodig ausgerichtet* ist, kann sie weder frühzeitige Kosteninformationen liefern noch die Auswirkungen einer (gegebenenfalls komplexitätsinduzierenden) Maßnahme abschätzen: Die zeitliche *Verzögerung* der Komplexitätswirkung bleibt ebenso wie die *Kostenremanenz* beim Komplexitätsabbau intransparent. Allenfalls ein Vergleich der Kalkulationsergebnisse verschiedener Perioden könnte diesbezüglich Veränderungen aufzeigen, ohne sie jedoch auf Komplexitätsphänomene zurückführen zu können.

¹³³ Aus diesem Grund kann sie z.B. die häufig auftretende, räumliche Trennung von Komplexitätskostenentstehung und -anfall nicht nachvollziehen.

¹³⁴ Der Nachteil der ungerechtfertigten Belastung von ‚Altprodukten‘ mit den Zusatzkosten durch gestiegene Komplexität lässt sich durch Verwendung einer ‚modifizierten Zuschlagskalkulation‘ abmildern (vgl. Adam/JOHANNWILLE 1998, S. 18). Diese unterscheidet sich von der zuvor beschriebenen Vorgehensweise dadurch, dass z.B. durch neue Produkte oder Varianten zusätzlich anfallende Gemeinkosten getrennt erfasst und nur den sie verursachenden Kostenträgern angelastet werden. Einen weiteren, pragmatischen Praxisansatz zur Verbesserung der Zuschlagsproblematik schildert WÄSCHER (1987, S. 308ff.): Um die gemeinkostentreibenden Faktoren in die strategischen Produktkalkulationen miteinzubeziehen, werden aus den pauschalen Gemeinkosten-Zuschlagssätzen die ‚auflagenfixen‘ Kosten, also jene Kosten, die vorgangsbezogen von (repetitiven) ‚Prozesssteuerungsvorgängen‘ hervorgerufen werden (z.B. Einkaufsabwicklungskosten, Wareneingangskontrolle, Werkzeugvorbereitung, Rechnungsprüfung etc.) herausgenommen und nach dem Verursachungsprinzip auf Teile bzw. Produkte verteilt.

4.4.2.2 Prozesskostenrechnung

Die Prozesskostenrechnung wurde zur *Erfassung* von *Gemeinkosten* und insbesondere von Kosten der fertigungsunterstützenden Bereiche entwickelt. Sie stellt im Vergleich zur Zuschlagskalkulation einen wichtigen Schritt auf dem Weg zu einer (*per definitionem* nicht vollständig erreichbaren) verursachungsgerechten Kostenerfassung und beanspruchungsproportionalen Kostenallokation dar: Sie „unternimmt durch ihre Orientierung an Prozessen bzw. Mengengrößen den Versuch, die durch die Änderung der Kostenstrukturen aus der Kostenrechnung herausgefallenen Kosteneinflussgrößen wieder zu integrieren“ (vgl. BERENS/SCHMITTING 1998, S. 101). Da sie jedoch ‚bewusst‘ Einzelkosten ausspart und meist nur schwerpunktmäßig einzelne betriebliche Bereiche untersucht, sollte sie eher als *Ergänzung* von weiteren unternehmensinternen Rechnungskonzepten verstanden werden.

Die Prozesskostenrechnung verfolgt zwei wesentliche Ziele: die *Optimierung* der *Prozessstruktur* sowie die *Produktkalkulation* als Entscheidungshilfe bei der strategischen Produkt- und Sortimentsauswahl. Es handelt sich jedoch um kein völlig neues Kostenrechnungssystem, sondern im Prinzip bedient sich die Prozesskostenrechnung der traditionellen Kostenarten- und Kostenstellenrechnung (HORVÁTH/MAYER 1989, S. 216). Im Gegensatz zur Zuschlagskalkulation werden aber nicht die in den Kostenstellen angefallenen Kosten aufgrund von Wert- oder Volumengrößen den Kostenträgern zugewiesen; vielmehr werden die in den Kostenstellenbereichen ausgeführten Tätigkeiten kostenmäßig bewertet und nur gemäß ihrer Beanspruchung weiterverrechnet. Dabei ist für jede Tätigkeit ein Kostentreiber als Maßgröße zu bestimmen, der das Kostenvolumen in den betroffenen Kostenstellen ‚treibt‘. Dies erlaubt einen besseren Einblick in das Verbrauchsgüst der indirekten Bereiche und in die dort entstehenden Gemeinkosten.

Der Einbezug der Vollkosten schränkt allerdings gleichzeitig die Aussagekraft der Prozesskostenrechnung für operative Entscheidungen ein, da die Prozesskosten auf den Fixkosten der indirekten Bereiche beruhen, welche meist nicht kurzfristig beeinflusst werden können. So können beispielsweise vermeintlich identifizierte Einsparpotentiale bei den ausgewiesenen Produktkosten Verbundeffekten unterliegen, so dass die entsprechenden Kosten erst nach „Wegfall einer bestimmten Summe von Produkt- und damit Prozessmengen entfallen, und zwar nicht automatisch, sondern aufgrund von Dispositionen“ (FRANZ 1992a, S. 610).

Um das Ziel der *Prozessoptimierung* zu erreichen, sind zunächst durch Annahmen und Untersuchungen die für den Unternehmenszweck zwingend erforderlichen Tätigkeiten und ihre *Planprozessmengen* zu bilden. Diese sind anschließend mit entsprechenden *Planprozesskosten* zu bewerten und den *Istkosten* der vorhandenen Prozesse gegenüberzustellen.¹³⁵ Abweichungen hinsichtlich der Ist- und Planmengen bzw. -kosten können

¹³⁵ Zu den prinzipiellen Schwierigkeiten dieses Vorgehens vgl. GLASER 1992, S. 280.

dann Hinweise auf (Kostensenkungs-) Potentiale durch eine Neustrukturierung von Prozessen liefern.

Hauptprozesse	Cost Driver	Anzahl	Prozesskosten € (gesamt)	Prozesskosten € (pro Durchführung)
Rezepturänderung vornehmen	Anzahl Rezepturänderungen	1.000	1.750.000	1.750
Rezepturvarianten betreuen	Anzahl Rezepturvarianten	200	345.000	1.725
Rohstoffe beschaffen	Anzahl Rohstoffe	12.000	1.200.000	100
Chargen steuern	Anzahl Chargen	1.000	705.000	705
Reklamationen bearbeiten	Anzahl Reklamationen	2.000	1.500.000	750

Tabelle 1: Ergebnisse einer Prozessanalyse in der pharmazeutischen Industrie (SCHIMANK 1993, S. 195)

Für die *Produktkalkulation* werden die in den jeweils betrachteten Stellen ausgeführten Tätigkeiten¹³⁶ – genauer: die die Tätigkeiten auslösenden Kostentreiber – als Bezugsgrößen für die Weiterverrechnung bestimmt. Die beanspruchte Menge wird mit einem Kostensatz bewertet und den Kostenträgern, zusammen mit den sonstigen angefallenen Kosten (Einzelkosten, nicht untersuchte Gemeinkosten), belastet. Durch diese Verbindung von Tätigkeiten mit (in den Kostenstellen) angefallenen Gemeinkosten soll der Ressourcenverbrauch in den dispositiven Bereichen weitgehend beanspruchungsproportional auf die Kostenträger umgelegt werden.

Tabelle 1 verdeutlicht das Vorgehen anhand der Ergebnisse einer Prozessanalyse in der pharmazeutischen Industrie (vgl. SCHIMANK 1993, S. 195). Hier stellen die *Bezugsgrößen* für die Kalkulation eines Produkts die jeweiligen *Cost Driver* (Kostentreiber) dar: Für die „Rezepturänderung“ eines vorhandenen Produkts (*Kostenträger*) und die anschließende Betreuung dieser „Rezepturvariante“ fallen beispielsweise einmalige Prozesskosten in Höhe von 3.475 € (1.750 € + 1.725 €) an. Angenommen, es werden pro herzustellender Produktionscharge 13 Rohstoffe benötigt, fallen weiterhin 2.005 € an Prozesskosten für die Beschaffung der Rohstoffe und die Steuerung des Produktionsvorganges an (13 × 100 € + 705 €). Hierauf werden die Einzelkosten sowie weitere, nicht untersuchte Gemeinkosten geschlagen. Kommt es außerdem zu produktbezogenen Reklamationen, so müssen diese ebenfalls mit 750 € pro Reklamation in der Produkterfolgsrechnung berücksichtigt werden. Das Beispiel zeigt, dass die Prozesskostenrechnung nicht nur einen verbesserten Einblick in das Gemeinkostengerüst geben kann, sondern auch die durch Komplexität (z.B. Anzahl Rezepturvarianten, Anzahl Rohstoffe)

¹³⁶ Unter „Tätigkeiten“ werden Prozesse verstanden, welche im wesentlichen Planungs- und Steuerungsfunktionen sowie Überwachungsaufgaben beinhalten.

hervorgerufenen Kosten erfassen und weiterverrechnen kann, sofern sie *spezifische Ressourcenverbräuche* generieren (vgl. FRANZ 1992a, S. 608f.).

Da die chemische Industrie typischerweise durch einen vielstufigen Produktions- und Leistungsprozess gekennzeichnet ist, lassen sich jedoch aus den den Erzeugnissen zugeordneten Prozesskosten nicht immer Erkenntnisse über die zu Grunde liegenden Kostentreiber gewinnen, ohne zusätzliche Rückrechnungen durchzuführen (vgl. VCI 1995, S. 28). Dies kann die Transparenz der Kosten von Entwicklungsentscheidungen und mögliche produktbezogene Kostensenkungsmaßnahmen stärker einschränken, als dies in Branchen mit weniger Produktionsstufen der Fall sein kann. Diese Schwierigkeit soll anhand des nachstehenden einfachen Beispiels erläutert werden (vgl. *Abbildung 34*).

Rohstoff	Gesamt bezug	Anzahl Beschaffungs- vorgänge	MGK pro Vorgang	Verbrauchs- menge für D	Summe MGK für D
A	60.000 KG	3	500 €	6.000 KG	150 €
B	10.000 KG	10	600 €	7000 KG	4.200 €
C	150.000 KG	3	800 €	75.000 KG	1.200 €
					5.550 €

Abbildung 34: Berechnung von Materialgemeinkosten des chemischen Erzeugnisses D durch die Prozesskostenrechnung (VCI 1995, S. 27)

Zur Produktion eines fiktiven *Erzeugnisses D* werden die drei *Rohstoffe A, B* und *C* benötigt. Diese werden in der betrachteten Periode in Mengen von 60.000 kg, 10.000 kg und 150.000 kg bezogen, wofür je drei, zehn und drei Beschaffungsvorgänge notwendig sind. Im Zuge einer Prozesskostenbetrachtung werden jedem dieser Rohstoffe prozessabhängige Materialgemeinkosten (MGK) pro Bezugsvorgang zugeordnet. Erfolgt die Weiterverrechnung dieser Kosten auf das *Produkt D* mit einem verbrauchsmengenbezogenen Kostensatz für den unterschiedlichen Bedarf des jeweiligen Rohstoffs, so erhält man für die Materialgemeinkosten eine Summe von 5.550 €. Dieser Summe fehlt aber bereits der Bezug zu den Kostentreibern aus dem Materialgemeinkostenbereich: Die vorgangsabhängigen Materialgemeinkosten für das Erzeugnis *D* sind von vielen Parametern abhängig, welche – besonders bei Verbundunternehmen – außerhalb des verbrauchenden Produktionsbetriebes liegen können und auch nicht im Zusammenhang mit den in diesem Betrieb existierenden Kostentreibern (z.B. Anzahl der Chargen und Produkte) stehen (vgl. VCI 1995, S. 26f.).

Auch wenn es also in der Chemie zu Problemen bei der Interpretation von Prozesskosten kommen kann, hat es sich in der Praxis durchaus als nützlich erwiesen, den Ent-

wickeln „Prozesskosten als Richtlinie vorzugeben und in die Produktkostenkalkulation einzubeziehen“ (vgl. MÄNNEL 1996, S. 4). Sofern sie in der Interpretation der ausgewiesenen Prozesskosten geschult worden sind, können sie z.B. durch die gezielte Reduzierung der Volumina besonders kostenintensiver und komplexitätstreibender Prozesse zur Zielkostenerreichung beitragen (vgl. *Abschnitt 5*). Weiterhin ermöglicht die Prozesskostenbetrachtung auch die Unterscheidung zwischen Aktivitäten bzw. Prozessen, welche die Wertschöpfung von Produkten erhöhen oder wertschöpfungsneutral sind (vgl. FRANZ 1992b, S. 1504).

Das konkrete kostenrechnerische Vorgehen der Prozesskostenrechnung lässt sich in zwei Schritten darstellen. Im ersten Schritt werden durch eine Tätigkeitsanalyse in den betrachteten Kostenstellen die dort ausgeführten *Aktivitäten* nach ihrem sachlichen Zusammenhang zunächst zu *Teilprozessen* und dann, über die Kostenstellen hinweg, zu *Hauptprozessen* zusammengefasst und die Häufigkeit ihrer Durchführung ermittelt.¹³⁷ Hierdurch sollen die Zusammenhänge und Abhängigkeiten der Prozesse untereinander sowie ihre volumenmäßige Beanspruchung durch die Kostenstellen deutlich gemacht werden. Der zweite Schritt versucht die Ergebnisse des ersten kostenmäßig zu bewerten: Unter der Voraussetzung, dass die verschiedenen Tätigkeiten die gleichen Bezugs- bzw. Maßgrößen aufweisen, lassen sich die Kosten eines Prozesses aus der Addition der – durch die Inanspruchnahme der Kostentreiber hervorgerufenen – Kosten seiner Tätigkeiten errechnen. Sind die Tätigkeiten bzw. Aktivitäten von bestimmten Maßgrößen abhängig, so spricht man auch von *leistungsmengeninduzierten* Aktivitäten, andernfalls von *leistungsmengenneutralen* Aktivitäten (z.B. Leiten einer Abteilung).¹³⁸ Für die Produktkalkulation muss der Prozesskostensatz noch mit einem Koeffizienten, welcher die Inanspruchnahme der Prozesse pro Kostenträger wiedergibt, multipliziert werden, um die prozessbezogenen Stückkosten bestimmen zu können.

Trotz eines gewissen Fortschritts bei der beanspruchungsproportionalen Zuweisung von Kosten indirekter Bereiche fehlt es auch der Prozesskostenrechnung an Entscheidungsrelevanz für ein produktorientiertes Kostenmanagement (vgl. FRANZ 1992a, S. 610; vgl. GLASER 1992, S. 287f.).¹³⁹

- Die Prozesskostenrechnung nimmt eine *Proportionalisierung der fixen Kosten* vor: Die „Höhe der Kosten, die bei produktpolitischen Entscheidungen beeinflussbar

¹³⁷ Unter einem *Prozess* soll hier die zur Erbringung eines Leistungsoutputs notwendige Kette von Aktivitäten verstanden werden; er beeinflusst ein bestimmtes Gemeinkostenvolumen. Die Bestimmungsgröße hierfür wird Kostentreiber genannt (z.B. Anzahl an...).

¹³⁸ Die Prozesskosten können außerdem noch in einen volumen- und einen variantenabhängigen Teil aufgespalten werden, was die Genauigkeit der Kostenerfassung bezüglich der variantenbezogenen Vielfaltskosten erhöhen dürfte – zumal prinzipiell auch noch andere prozessstreibende und komplexitätsrelevante Faktoren berücksichtigt werden könnten –, wenn auch in der Durchführung die erforderliche Abschätzung dieser Faktoren Schwierigkeiten hervorrufen könnte (vgl. HORVÁTH/MAYER 1989, S. 218f.). Zur Kritik an dieser Vorgehensweise vgl. GLASER 1992, S. 284; FRANZ 1990, S. 131.

¹³⁹ Vgl. zu dieser Kritik auch HORVÁTH ET AL. 1993a, S. 618ff.

sind, und der Zeitpunkt der Kostenveränderung sind aus Prozesskostenkalkulationen (...) nicht ermittelbar“, da sich die produktbezogenen Fixkosten nicht proportional z.B. zum Produktions- oder Absatzvolumen verhalten (vgl. FRANZ 1992a, S. 610).¹⁴⁰

- Durch *Entwicklungsentscheidungen* entstehende *Gemeinkosten* werden ebenso wie die *Implementierungskosten* für die Einführung der Prozesskostenrechnung über die Prozesskostensätze und dahinter stehende Schlüsselungen auch den ‚Altprodukten‘ *angelernt*.
- Das *dynamische Verhalten* von Komplexitätskosten, wie den progressiven Anstieg mit steigender Komplexität, kann die Prozesskostenrechnung *nicht ausweisen*, da sie mit konstanten Prozesskostensätzen rechnet, statt sie an die unterschiedlichen Komplexitätsgrade anzupassen. Auch die Eigenschaften von Komplexitätskosten, zeitlich *verzögert* aufzutreten und beim Abbau von Komplexität ein remanentes Verhalten zu zeigen, können durch die Prozesskostenrechnung *nicht dargestellt* werden.
- Die Prozesskostenrechnung kann nur auf die *repetitiven Aktivitäten* der indirekten Bereiche angewandt werden. Komplexitätskosten können aber auch durch nicht standardisierbare Prozesse hervorgerufen werden, wie sie z.B. im Entwicklungsbereich häufig vorkommen.

Trotz dieser Kritikpunkte kann sie aber wertvolle Anregungen zur Prozessverbesserung und zur Identifikation von Komplexitätskosten bereitstellen (vgl. BERENS/SCHMITTING 1998, S. 102; vgl. FRANZ 1992a, S. 610). In der *chemisch-pharmazeutischen Industrie* ist sie laut einer Studie unter 12 deutschen Großunternehmen mit 58% relativ weit verbreitet (vgl. FRANZ/KAJÜTER 1997a, S. 491). Da die Entwicklungsteams auch dort sehr frühzeitig Produktlebenszyklusergebnisse prognostizieren, planen und steuern müssen, kann ein dort praktiziertes prozesskostenrechnerisches Zielkostenmanagement nur dann erfolgreich sein, wenn das Kostenrechnungssystem die Kostenstruktur der Produktlebenszyklen jeweils exakt erfasst und dokumentiert (vgl. BERLINER/BRIMSON 1988, S. 139ff.).

4.4.2.3 Deckungsbeitragsrechnung

Die *Deckungsbeitragsrechnung* beruht auf der strikten *Trennung* der Gesamtkosten in *fixe* und *proportionale Kosten*. Die allein relevante Einflussgröße ist die *Beschäftigung* und der aus ihr, durch Abzug der variablen Kosten von den Erlösen, ermittelte *Deckungsbeitrag*. Daher erlaubt sie keinen Einblick in das Verbrauchsgestühl der Gemeinkosten und bietet daher auch *keine Entscheidungsunterstützung* zur Beeinflussung und Steuerung der Gemeinkosten indirekter Bereiche: Hohe Deckungsbeiträge sind daher

¹⁴⁰ Vgl. auch FRANZ 1991, S. 538.

keineswegs als Hinweis für die Aufnahme neuer Produkte oder Kunden zu werten, da sie die langfristigen Komplexitätskosten außer Acht lassen.

Empirisch schildert ROEVER das *Versagen* der Deckungsbeitragsrechnung für ein Komplexitätsmanagement am Fall der ‚Photopapierdivision‘ eines Chemieunternehmens. Diese erhöhte die Variantenzahl der hergestellten Photopapiere immer weiter, da diese positive Deckungsbeiträge aufwiesen. In einer dann vorgenommenen Vollkostenbetrachtung überwog jedoch der Aufwand u.a. für die Rüstarbeiten bei Schneidemaschinen, die Verpackung und die Lagerung der Photopapiere die erwirtschafteten Deckungsbeiträge bei weitem (1991a, S. 218). „Während die herkömmliche Zuschlagskalkulation bei der Beurteilung von Varianten nur unsystematische Fehlentscheidungen fördert, führt die Deckungsbeitragsrechnung Entscheidungsträger systematisch in die falsche Richtung“ (BERENS/SCHMITTING 1998, S. 100).

Dieses Kostenrechnungsverfahren ist also nur für rein operative Entscheidungen geeignet. Die stufenweise Deckung der fixen Kosten bietet zwar einen besseren Einblick in die Erfolgsstruktur, doch fehlt (auch hier) der Gestaltungsansatz. Zudem sind in den einzelnen Fixkostenblöcken auch nicht abbaubare *sunk cost* enthalten, welche für eine Komplexitätsbetrachtung gar nicht relevant wären. Positiv anzumerken ist jedoch, dass die Schlüsselung von fixen Kosten entfällt und nur noch die variablen Kosten bzw. die Summe der Deckungsbeiträge entscheidungsrelevant sind.¹⁴¹

4.4.2.4 Produktlebenszyklusrechnung

Theoretisch kann die *verursachungsgerechte Ausweisung* von Maßnahmen, welche die Fix- bzw. Gemeinkosten beeinflussen, nur durch die *Investitionsrechnung* erzielt werden. Nur diese kann die *langfristigen* und *dynamischen Auswirkungen* der Maßnahme, wie beispielsweise die Erfassung von Vorleistungs- und Nachsorgekosten, korrekt darstellen. Es empfiehlt sich daher, „ein neu zu entwickelndes Produkt als Investitionsvorhaben zu betrachten und die Planungen zur Kostenbeeinflussung auf der Grundlage dynamischer Verfahren zu betreiben“ (FRANZ 1997b, S. 281). „Der Planung der Ein- und Auszahlungsströme sollte dabei das bewährte Modell der Produktlebenszyklusrechnung zugrundegelegt werden“ (FRANZ 1997b, S. 281; WÜBBENHORST 1992, S. 246ff.).

¹⁴¹ Um die Anwendbarkeit der Deckungsbeitragsrechnung für die Komplexitätsbetrachtung zu verbessern und Zusammenhänge zwischen den fixen Kostenblöcken der Deckungsbeitragsrechnung und den sie verursachenden Prozessen und Strukturen aufzuklären, schlugen BERENS/SCHMITTING eine Erweiterung der stufenweisen Fixkostendeckung um Elemente der Prozesskostenrechnung vor (vgl. 1998, S. 103ff.). Zur Erfassung einer durch Variantenvielfalt verursachten Komplexität beschreiben ADAM/JOHANNWILLE weiterhin eine proaktive „stufenweise Fixkostendeckungsrechnung“ als pragmatische Weiterentwicklung der einfachen Deckungsbeitragsrechnung (vgl. 1998, S. 20ff.).

Die Informationen der Produktlebenszyklusrechnung dienen der „Planung, Steuerung und Kontrolle von Produkten“ (BRÜHL 1996, S. 322). Dafür wird der Produktlebenszyklus in einzelne Zyklen und Phasen unterteilt, welche bereits in *Abbildung 11* vorgestellt wurden. In diesen Phasen können *Vorlaufkosten* (z.B. Forschungs- und Entwicklungskosten, Anschaffungsausgaben für Sachinvestitionen), *Produktions-* und *Vertriebskosten* sowie *Nachlauf-* bzw. *Folgekosten* (z.B. Kulanz- und Garantiekosten, Kosten für Service, Wartung, Reklamationen und Entsorgung) anfallen (FRANZ 1997b, S. 281).

Produktlebenszyklusorientierte Entscheidungs- und Kontrollrechnungen können in der Praxis anhand der *Kapitalwertmethode* durchgeführt werden (vgl. RÜCKLE/KLEIN 1994, S. 351). Mit ihrer Hilfe wird es möglich, den Entwicklern – im Vergleich zu den vorher vorgestellten Methoden – bessere Informationen über die Folgekosten der von ihnen ergriffenen Maßnahmen aufzuzeigen. Für die Bewertung dieser Kosten muss der *Kapitalwert* C_0 aus der Anfangsinvestition a_0 und den durch die Einzahlungsveränderungen ΔE_{xt} , die Mehrkosten $\Delta K_{m,xt}$ und die Kosteneinsparungen $\Delta K_{e,xt}$ im Zeitablauf veränderten Zahlungsströmen ΔZ_{xt} der Maßnahme x in der Periode t gebildet werden (ROSENBERG 2002, S. 234f.):

$$C_0 = -a_0 + \sum_{t=1}^n \Delta Z_{xt} \cdot \frac{1}{(1+i)^t} = -a_0 \sum_{t=1}^n (\Delta E_{xt} - \Delta K_{m,xt} + \Delta K_{e,xt}) \cdot \frac{1}{(1+i)^t}$$

Ergibt sich aus dieser Betrachtung ein Kapitalwert C_0 größer als Null, so ist die Maßnahme aus Sicht des Gesamtunternehmens als vorteilhaft einzustufen. Dies könnte z.B. bedeuten, dass zusätzliche Kosten zur Erhöhung der Synthesereinheit einer Substanz (z.B. höhere Investition in Syntheseanlage) durch geringere Recyclingkosten bei der Aufarbeitung (z.B. Recycling aufgrund von Rücknahmepflichten) gerechtfertigt wären. Ist der Kapitalwert negativ, so weist dies – im Verständnis des *statischen Ansatzes* – auf eine Kostenlücke zwischen den Zielkosten und den Drifting Cost hin (*Abschnitt 4.2.3.2*; FRANZ 1997b, S. 286). Gemäß der hier vorgestellten Lebenszykluskostenrechnung und dem ebenfalls in *Abschnitt 4.2.3.2* skizzierten *dynamischen Target Costing*-Ansatz bedeutet ein negativer Kapitalwert, dass die diskontierten zahlungswirksamen Kosten bei vorhandenen Verfahren und Technologien (einschließlich der Vorleistungskosten bzw. der ‚Anfangsinvestition a_0 ‘) nicht durch die erwarteten diskontierten Zahlungsüberschüsse kompensiert werden (vgl. FRANZ 1997b, S. 286f.).

In der Praxis stößt allerdings auch dieses Vorgehen auf zwei wesentliche Problemereiche, wenn es um die Bewertung von produktorientierten und komplexitätswirksamen Entscheidungen geht: Der erforderlichen zeitlichen und sachlichen Abgrenzung einer (komplexitätswirksamen) Maßnahme steht auch hier die häufig *heterogene Kostenverursachung*, die *räumliche Trennung* von Entstehung und Anfall sowie der kontinuierliche und *langfristige Charakter* der (Komplexitäts-) Kosten einer *isolierten* Betrachtung eines einzelnen Investitionsprojekts entgegen (vgl. BERENS/SCHMITTING 1998, S.

107f.). Zum Anderen unterliegen die Annahmen der Kostenwirkungen aufgrund der längerfristigen Betrachtung erheblichen *Prognoseunsicherheiten*, wodurch die Güte des investitionsrechnerischen Resultates beeinträchtigt werden kann (dieses Problem weisen allerdings auch die anderen genannten Methoden auf).

4.4.2.5 Besonderheiten der chemiespezifischen Kalkulation

Die zuvor teilweise allgemein diskutierten Probleme bei der Erfassung von entscheidungsrelevanten Kosten für die Produktentwicklung sind auch in der Chemie von großer Bedeutung. Der Anpassungsdruck in der chemischen Industrie hat zudem im vordergründig so traditionsgebundenen Bereich wie der Kalkulation zu *Umorientierungen* geführt, welche sich in einer stärker *integrativen Sicht* der Kalkulation (weg von der isolierten Betrachtung von Einzelproblemen), einem ausgeprägteren *Denken* in operativen *Prozessketten*, dem erweiterten *Einsatz* von *Standardkosten-Ansätzen*, der zunehmenden Bedeutung von gewonnenen *kalkulatorischen Wertansätzen* für ein entscheidungsorientiertes Controlling und dem verstärkten Einsatz von *Standard-* statt *Individual-Software* ausdrückt (vgl. VCI 1997, S. 3).

Die Kostenrechnung in der chemischen Industrie weist weiterhin Spezifika auf, die vor allem auf den Besonderheiten in den Produktions- und Logistikprozessen beruhen, welche sich durch die intensive *Verbundenheit* von *Produktionsstufen* auszeichnen. Hier sind insbesondere die Produktionsverfahren wie *Verbundproduktion*, *Fließfertigung* oder *zyklische Fertigung* zu nennen.¹⁴² Während die dort zu beobachtenden *Reihenprozesse* (hintereinandergeschaltete Produktionsprozesse) oder *konvergierenden Prozesse* (zusammenlaufende, verbundene Produktionsprozesse) aufgrund der meist problemlosen Zuordnung des Ressourcenverbrauchs auf die Produkte kaum Schwierigkeiten für die Kalkulation darstellen, gilt dies nicht für die ebenfalls häufig auftretenden *divergierenden Prozesse*, wie z.B. die Kuppelproduktion (vgl. VCI 1997, S. 123). Aufgrund ihrer Bedeutung für die Interpretation von Kalkulationsdaten durch die Entwickler sollen diese Spezifika kurz diskutiert werden.

Die *Kuppelproduktion* stellt einen Produktionsprozess dar, bei welchem aus technologischen Gründen in einem Arbeitsgang zwangsläufig mehrere Produktarten gleichzeitig entstehen, deren Mengenrelationen entweder konstant oder nur innerhalb bestimmter

¹⁴² Ein Verbund kann prinzipiell entweder linear, vernetzt oder zyklisch ausgestaltet sein. In einem *linearen* Verbund werden ‚Reihenprozesse‘ durchgeführt, die sich durch hintereinander geschaltete Produktionsprozesse auszeichnen. *Vernetzte* Verbundstrukturen können aus ‚divergierenden‘, d.h. auseinanderlaufenden einstufigen bzw. mehrstufigen verbundenen Prozessen (z.B. Teerdestillation) oder aus ‚konvergierenden‘, d.h. zusammenlaufenden verbundenen Prozessen (Herstellung und Mischung von Lacken) bestehen; Mischformen sind ebenfalls möglich (vgl. VCI 1997, S. 123). Als *zyklisch* werden schließlich Verbundproduktionen bezeichnet, die ein Produkt aus der Fertigungsstufe ‚n‘ wieder als Rohstoff in einer vorhergehenden Stufe ‚n-m‘ einsetzen (z.B. N-Methylpyrrolidon-Zyklus; vgl. VCI 1997, S. 132).

Intervallgrenzen variierbar sind (vgl. KILGER 1987, S. 354; *Abbildung 49*). Eine Zuordnung der Kosten, die bei der Produktion der zwangsläufig entstehenden Produktgruppe anfallen, ist gemäß dem strengen *Kostenzuordnungsprinzip* nicht verursachungsgerecht möglich, so dass die für die Kostenträgerstückrechnung einzelner Kuppelprodukte notwendige individuelle Zurechnung von Kosten immer willkürlich bleibt.¹⁴³ In Abhängigkeit von der ökonomischen Bedeutung der beim Kuppelprozess entstandenen Produkte kommen bei der Kuppelproduktkalkulation zwei Methoden¹⁴⁴ zum Einsatz (vgl. KILGER 1987, S. 356ff.):

- *Das Äquivalenzziffern- oder Verteilungsverfahren:*

Gibt es nicht nur ein, sondern mehrere höherwertige Hauptprodukte in einem Kuppelprozess, so müssen Gewichtungsfaktoren angewendet werden, mit denen die Gesamtkosten der Kuppelproduktion auf die einzelnen Hauptprodukte aufgeteilt werden können. Als Verteilungsschlüssel werden in der Praxis die *Ausbringungsmenge*, die *Werthaltigkeit* (welche über Äquivalenzziffern wie Wirkstoffgehalt oder andere physikalisch-chemische Kenngrößen die Zuordnung der Gesamtkosten auf die Hauptprodukte bestimmt) oder gegebenenfalls auch die *Marktpreise* auf den Absatz- oder Beschaffungsmärkten angewendet. Der Aussage von KILGER, dass „chemischen und physikalischen Maßgrößen (...) jede kausale Beziehung zur Kostenverursachung“ fehlt, muss allerdings widersprochen werden (1987, S. 362): Wie der *Exkurs in Abschnitt 4.6.3* zeigen wird, bestehen eindeutig Korrelationen zwischen den *anfallenden Kosten* von chemischen (Kuppel-) Prozessen und chemischen oder *physikalischen Maßgrößen*, u.a. auch hinsichtlich des von KILGER zitierten „Molekulargewichts“ (welches beispielsweise die Energiekosten für eine Destillation oder den Aufwand bei der Produktaufbereitung beeinflussen kann) oder des „Heizwertes“. Allerdings sind diese Kostentreiber – wie in *Abschnitt 4.6.3* ebenfalls aufgezeigt – (teilweise) nur *eingeschränkt* durch die Produktentwickler beeinflussbar und hinsichtlich ihrer Kostenwirkung bisher auch nicht quantifizierbar; zudem sind derartige Maßgrößen produktspezifisch.

- *Das Subtraktions- oder Restwertverfahren:*

Dieses Verfahren kommt zur Anwendung, wenn sich die Kuppelprodukte in *ein Hauptprodukt*, dessen ökonomischer Wert weit über den Nebenprodukten liegt, und *ein oder mehrere Nebenprodukte* einteilen lassen. Letztere können sowohl verkaufsfähige Produkte oder wieder einsetzbare Zwischenprodukte als auch Stoffe, die nach Wiederaufbereitung weiterverwendet werden können (z.B. Katalysatoren), sowie Abfallprodukte umfassen. Nebenausbeuten, welche wertlos sind oder Entsorgungskosten verursachen, werden mit Null bzw. den entstehenden Entsorgungskosten be-

¹⁴³ „Da bei der Kuppelproduktion gleichzeitig mehrere Produkte entstehen, kann es keine kausale Zurechnungsmöglichkeit variabler Kosten auf die Kuppelprodukte geben“ (KILGER 1987, S. 355).

¹⁴⁴ Genaugenommen handelt es sich weniger um ‚Methoden‘ als um bilanzielle Bewertungsverfahren.

wertet; sie werden mittels einer negativen Gutschrift dem entsprechenden Zielprodukt zugeordnet. Die übrigen Nebenprodukte werden durch Marktpreise oder Kalkulationswerte, sofern der Stoff mit einem alternativen Produktionsverfahren herstellbar ist, bewertet. Für die Kalkulation des Hauptproduktes werden die *gesamten Herstellkosten* der Kuppelproduktion um die *Nettoerlöse* der Nebenprodukte abzüglich der von diesen zusätzlich verursachten Kosten vermindert und der Saldo dem Hauptprodukt nach dem *Divisionsverfahren* zugerechnet.

4.5 Ableitung des Forschungsbedarfs

Wie ausführlich dargelegt wurde, sieht sich die chemische Industrie mit *ansteigenden Faktorpreisen*, zunehmendem *Druck* auf die *Absatzpreise* sowie *Veränderungen* des *Kostengefüges* konfrontiert, welche ein *systematisches* und *nachhaltiges Kostenmanagement* erforderlich machen. Als Ansatzpunkte kommen hierbei insbesondere die *Produkte* in Frage, welche sich in der Chemie durch *komplexe Strukturen* und *Funktionsweisen* auszeichnen, die zu *aufwändigen Prozessen* in anderen Funktionsbereichen führen können. Daher sollte ein erfolgreiches Kostenmanagement schon in der *chemischen Produktentwicklung* einsetzen und die Entwickler in die Lage versetzen, durch ihre Entscheidungen die Kosten der Unternehmen zu minimieren.

Als strategischer Ausgangspunkt dieser Kostenbeeinflussung wurde das *Target Costing* vorgestellt, welches sich – wie gezeigt werden konnte – für eine *Anwendung auf chemische Produkte* anbietet bzw. eignet. Weiterhin wurden die *Komplexität* als *strategischer Kostentreiber* und Gegenstand von Kostensenkungsmaßnahmen diskutiert sowie die prinzipiellen *Möglichkeiten* ihrer *Beeinflussung* erläutert. Für eine wirkungsvolle Einflussnahme müssen den Entwicklern aber auch die *kostenmäßigen Auswirkungen* ihrer Entscheidungen rechtzeitig und transparent zur Verfügung gestellt werden, weshalb im vorangegangenen Abschnitt auf die kostenrechnerischen Probleme bei der Abbildung der relevanten Kosten eingegangen wurde.

Die theoretischen und empirischen Erkenntnisse über geeignete *Maßnahmen*, welche frühzeitig durch die Produktentwickler angewendet und gleichzeitig einen maßgeblichen Beitrag zu einer Kostensenkung liefern können, sind bisher noch nicht *systematisch untersucht* und *dokumentiert* worden. Auch wenn in der Praxis intuitiv teilweise die ‚richtigen Dinge getan werden‘ – wenngleich ohne ausreichende theoretische Fundierung –, so muss bezweifelt werden, ob diese ‚richtigen Dinge‘ vollständig *erkannt*, *ausgeschöpft* und jeweils auch ‚richtig getan‘, d.h. *umgesetzt* werden.

Aus diesem Grund scheint eine breit angelegte Untersuchung über Art und Umfang der Einflussmöglichkeiten von Entwicklern in der chemischen Industrie notwendig, um durch eine *theoretische* und *empirische Fundierung* ein *effektives* und *effizient* durchgeführtes *Produktkostenmanagement* zu unterstützen. Auf Basis dieser Ergebnisse ließen sich dann *Implementierungsmöglichkeiten* und *Anwendungsempfehlungen* für die *Unternehmenspraxis* ableiten. Genau diese Zielsetzungen liegen dem hier beschriebenen Forschungsprojekt und insbesondere den nachfolgenden *Abschnitten 4.6, 4.7, 5, 6 und 7* zu Grunde.

4.6 Kostenbeeinflussung durch die Produktentwickler

4.6.1 Ermittlung relevanter Kostentreiber

Eine nachhaltige Kostenbeeinflussung verlangt von den Entwicklern, dass sie gezielt auf die *Ursachen* der Kostenentstehung Einfluss nehmen. Dazu müssen die *relevanten Kostentreiber* identifiziert und in ihrer Wirkungsweise analysiert werden (vgl. KAJÜTER 2000, S. 122).¹⁴⁵ In der Literatur sind unterschiedliche Systeme von Kostenbestimmungsfaktoren (Kostentribern) vorgeschlagen worden (vgl. in einer Übersicht BROKEMPER 1998, S. 62ff.). Diese beziehen sich jedoch meist auf den Bereich der *Produktion*, obwohl die betrieblichen Aktivitäten in den *Gemeinkostenbereichen*, wie bereits angedeutet, ebenfalls kostenverursachend und in ihrer Bedeutung gestiegen sind (vgl. FRANZ/KAJÜTER 1997a, S. 11).

Nachfolgend sollen diejenigen Kostentreiber vorgestellt werden, welche im Einflussbereich der *Produktentwickler* in der *chemischen Industrie* von Bedeutung sind. Die inhaltlichen Anforderungen an ein derartiges System von Kostenbestimmungsfaktoren bestehen hauptsächlich in seiner „Vollständigkeit“, seiner „Operationalisierbarkeit“ sowie in der „aktiven Beeinflussbarkeit“ der Elemente (BROKEMPER 1998, S. 74f.). Der Anspruch auf *Vollständigkeit* kann dabei nur aufrecht erhalten werden, solange er nicht empirisch falsifiziert wird. Eine vollständige Abbildung aller Einflussgrößen erscheint jedoch kaum möglich, da noch nicht alle Wirkungszusammenhänge erforscht sind, so dass diese Forderung vorläufig auf die *empirische Bedeutsamkeit* zu reduzieren ist. Das Kriterium der *Operationalisierbarkeit* beschreibt diejenigen Vorgehensweisen, mit deren Hilfe entscheidbar wird, ob und in welchem Ausmaß der mit dem Begriff bezeichnete Sachverhalt in der Realität vorliegt (vgl. KROMREY 1983, S. 84). Durch die *Beeinflussbarkeit* soll sichergestellt werden, dass die ermittelten Kosteneinflussgrößen auch die Möglichkeit für ein produktorientiertes Kostenmanagement bieten (vgl. BROKEMPER 1998, S. 75). Ausgangspunkt der folgenden Überlegungen ist stets das chemische Produkt, welches sich ‚gedanklich‘ in Funktionen und Komponenten ‚zerlegen‘ lässt und das nach unterschiedlichen Verfahren hergestellt werden kann.

Der Analyse der Kostentreiber, welche in der chemischen Produktentwicklung und in anderen Funktionsbereichen der chemischen Industrie auftreten, liegen – aufgrund fehlender Erkenntnisse in der Literatur – zunächst *inhaltliche Analysen* ähnlicher Frage-

¹⁴⁵ *Kostentreiber* bilden neben den kostenrechnerischen Konsequenzen der in Anspruch genommenen Ressourcen zusätzlich auch die Leistungsentstehung ab. Um die durch den Ressourcenverbrauch entstandenen Kosten auf ein Kalkulationsobjekt weiterzuerrechnen, muss ein möglichst quantitativer Beziehungszusammenhang zwischen den einzelnen, messbaren Merkmalsausprägungen eines Produkts und den Kostentribern hergestellt werden.

stellungen aus den *ingenieurwissenschaftlichen Bereichen* zugrunde (vgl. hierzu stellvertretend EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 105ff.). Diese Informationen wurden anschließend um *eigene Erkenntnisse* ergänzt bzw. modifiziert und mit *Experten* aus dem Bereich der Chemie ausführlich diskutiert. Dabei wurde die Untersuchung auf die Bereiche *Forschung* und *Entwicklung*, *Einkauf*, *Produktion* und *Logistik* sowie teilweise *Verwaltungs-* und *Vertriebsfunktionen* beschränkt, da diesen – neben z.B. den Materialkosten und Kapitalkosten – die höchste Bedeutung für die Kosten von Unternehmen der chemischen Industrie beigemessen wurde (vgl. *Abschnitt 3.1.4*). Die Ergebnisse dieser Analyse wurden in einer *Matrix* mit den wesentlichen produktabhängigen Kostentreibern dieser Bereiche dokumentiert (*Abbildung 35*); sie können jedoch innerhalb der Branche variieren.

F&E	Einkauf	Produktion & Logistik	Vertrieb & Verwaltung
<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl an Analysen der Produktanforderungen (Pflichten-/Lastenhefte) • Anzahl an Produktkonzepten (Workshops/Literaturrecherchen) • Anzahl an Funktionen und Komponenten/Produkt • Anzahl an Synthesestufen/Produkt • Anzahl an Versuchsansätzen • Anzahl an Strukturanalysen/Qualitätskontrollen • Anzahl an Dokumentationen (Laborberichte) • Anzahl an zu verwaltenden Rezepturen 	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl an Angeboten und Verhandlungen • Anzahl an Bestellvorgängen • Anzahl an Warenverfolgungen • Anzahl an Rechnungskontrollen • Umfang von Mindermengenzuschlägen 	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl an Fertigungsplanerstellungen • Anzahl an Umrüstungen • Anzahl an Rohstoffen • Anzahl an Synthesestufen/ Fertigungssteuerungen • Anzahl an Qualitätskontrollen • Anzahl der Ausschusschergen • Umfang der Fertigungszeiten • Anzahl an Eingangskontrollen • Anzahl an Ein-/Auslagerungsvorgängen • Anzahl an Verpackungen/ Versendungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl an Produktkalkulationen • Anzahl an Kostenberatungen • Anzahl an Stammdaten • Anzahl an Fachberatungen • Anzahl Produktschulungen • Anzahl an Serviceleistungen (z.B. Reklamationsbearbeitung) • Umfang der Investitionen (z.B. EDV)

Abbildung 35: Überwiegend operative, produktrelevante Kostentreiber im F&E-Prozess und in dispositiven Bereichen

Nach einer Einteilung von FRANZ/KAJÜTER können die aufgezeigten Kostentreiber überwiegend den „operativen“ bzw. „taktischen Kostentreibern“ zugeordnet werden,

welche auf den „Produktionsbereich“ (Produktion, Logistik) bzw. die „Dienstleistungsbereiche“ (F&E, Einkauf, Vertrieb und Verwaltung) ausgerichtet sind (vgl. FRANZ/KAJÜTER 2002a, S. 16). Sie erklären eher kurzfristige Kostenabhängigkeiten bei gegebenen Strukturen und Kapazitäten bzw. mittelfristige Kostenabhängigkeiten, vor allem im Hinblick auf fixe Gemeinkosten.

Kostentreiber	Bezugsobjekt	Erläuterung
Anforderungen	Produkt	Darunter sind die von den internen und externen Kunden an das Produkt gestellten Leistungsanforderungen zu verstehen. In der Regel steigen die Kosten mit der Anzahl an realisierten Produkthanforderungen.
	Prozess	Fertigungs- und Dienstleistungsprozesse können sowohl internen als auch externen Anforderungen unterliegen (z.B. Qualitätsmanagement, Gesetze). In der Regel steigen die Kosten mit der Anzahl an zu berücksichtigenden Anforderungen.
Konzept	Produkt	Das Konzept beschreibt die Wirkungsweise eines Produktes, woraus u.a. die Art und Anzahl der Rohstoffe, seine Leistungsfähigkeit und der notwendige Schulungsbedarf resultieren. Damit werden die Kosten vielfältig beeinflusst.
	Prozess	Das Prozesskonzept legt fest, in welchen Reaktoren nach welchen Fertigungsmechanismen der <i>Herstellungsprozess</i> verläuft. Dadurch werden insbesondere die Kosten des Fertigungsbereichs und über die Ausbeute auch die Produktivität beeinflusst.
Vielfalt	Produkt	Die Produktvielfalt beschreibt zum einen die Anzahl an Varianten (externe Produktvielfalt). Zum anderen erfasst sie die Anzahl an unterschiedlichen Komponenten bzw. Substanzen, welche in das Produkt eingehen (interne Produktvielfalt). Die Kosten steigen in der Regel mit einer Zunahme der externen und internen Vielfalt.
	Prozess	Die Prozessvielfalt ist ein Maß für die Anzahl an unterschiedlichen Fertigungstechnologien, welche an einem Standort oder innerhalb eines Unternehmens zur Anwendung kommen. Die Kosten steigen in der Regel mit einer Zunahme der Prozessvielfalt.

Tabelle 2: Überwiegend strategische Kostentreiber chemischer Produkte und Prozesse, die von den Entwicklern prinzipiell beeinflusst werden können

Um die Vielzahl der dargestellten Kostentreiber zu systematisieren, wurde im nächsten Analyseschritt versucht, durch Aggregation der Inhalte *übergeordnete Kostentreiber* zu identifizieren, welche eher *strategische* Bedeutung haben (vgl. Tabelle 2). Diese sollen einerseits die mittel- bis langfristige Kostenposition des Unternehmens bestimmen und andererseits frühzeitig in der Produktentwicklung durch produktorientierte Maßnahmen beeinflusst werden können. Abgeleitet aus dem strategischen Kostentreiber ‚Komplexität‘, welche durch die Struktur chemischer Produkte und ihre Herstellung hervorgerufen wird, wurden für die Produkte und für die zu ihrer Herstellung und ihrem Vertrieb notwendigen Prozesse jeweils *drei Kategorien* an bedeutenden *Kosteneinflussgrößen*

identifiziert: die *Anforderungen* an das Produkt, das *Konzept* des Produkts sowie die *Vielfalt* der in das Konzept eingehenden Elemente, d.h. der Produkte und Prozesse.¹⁴⁶

Für die in *Tabelle 2* dokumentierten *strategischen Kostentreiber* wurde im nächsten Schritt *überprüft*, inwieweit diese mit Kosten in den betrachteten Funktionsbereichen korrelieren. Hierfür wurden weitere Matrizen erarbeitet, welche in *Abbildung 36* zusammengefasst sind. Wie die Übersicht zeigt, besteht eine Korrelation zwischen den *Anforderungen*, den *Konzepten* und der *Vielfalt* von *Produkten* und *Prozessen* einerseits und den produktrelevanten Kostentreibern in den verschiedenen Bereichen andererseits (im Detail gehen diese Daten aus der im Anhang befindlichen *Tabelle 6*, der *Tabelle 7* und der *Tabelle 8* hervor). Damit ist die geforderte *empirische Bedeutsamkeit* dieser Kostentreiber grundsätzlich dargelegt. Aufgrund der fehlenden Datenlage kann bisher aber keine Aussage getroffen werden, wie die quantitative Wirkung in den einzelnen Bereichen ausfällt.

Kosten- treiber	Kosten- anfall	F&E	Einkauf	Produktion &Logistik	Allgemeine Verwaltung
Produkt- anforderungen		X	X	X	X
Produktkonzept		X	X	X	X
Produktvielfalt		X	X	X	X
Prozess- anforderungen		X	0	X	X
Prozess- konzept		X	X	X	0
Prozessvielfalt		X	0	X	X

Abbildung 36: Zusammenfassung der Korrelationen der Kostentreiber eines produktorientierten Kostenmanagements in der chemischen Industrie

Die geforderte *Operationalisierbarkeit* und die *Beeinflussbarkeit* sind dann sichergestellt, wenn den Entwicklern *Maßnahmen* aufgezeigt werden können, mit denen sie die

¹⁴⁶ Die Komplexität wird auch von SHANK als strategischer Kostentreiber hervorgehoben (vgl. 2002, S. 79f.). Er zählt sie zusammen mit anderen Kostentreibern wie den angewandten Prozesstechnologien (vgl. entsprechend das *Prozesskonzept* in *Tabelle 2*) zu den strukturellen (strategischen) Kostentreibern. Weiterhin definiert er *operationale* (strategische) Kostentreiber, unter denen er z.B. die Produktkonfiguration anführt („is the design or formulation effective?“; vgl. entsprechend das *Produktkonzept* bzw. die *interne Produktvielfalt* in *Tabelle 2*).

Kosten in den diskutierten Bereichen senken können. Für ein systematisches Kostenmanagement reicht jedoch nicht die fall- oder projektweise Formulierung von (Einzel-) Maßnahmen aus, sondern im Sinne einer permanenten Suche nach Verbesserungsmöglichkeiten sind die meisten der in den nachfolgenden Abschnitten vorgestellten Maßnahmen *langfristiger Natur* (vgl. FRANZ/KAJÜTER 2002a, S. 17f.); diese wurden methodisch analog zu den Kostentreibern ermittelt. Das Ausmaß der möglichen Beeinflussung ist jedoch unterschiedlich, weshalb eine Unterscheidung in *voll „beeinflussbare“* sowie *„bedingt beeinflussbare“* Kostentreiber vorgenommen wurde (SCHOLL 1998, S. 99ff.). Kostentreiber, auf die die Entwickler keinen Einfluss ausüben können, werden hingegen im weiteren Verlauf nicht mehr diskutiert, da sie nur in anderen Funktionsbereichen optimiert werden können. Dabei kann es sich z.B. um Kostentreiber wie die *Standortbedingungen* (Tariflöhne, Infrastruktur) oder auch um die *Komplexität* des Unternehmens und seiner Organisation handeln, die u.a. durch die Organisationsstruktur (struktureller Komplexitätstreiber), durch Medienbrüche (informationsbezogener Kostentreiber) oder durch Bereichsegoismen (individueller Komplexitätstreiber) beeinflusst wird.

Die Untersuchung ergab außerdem, dass neben den genannten, produktorientierten Kostentreibern noch weitere *strategische Kostentreiber* formuliert werden können, welche für den *Gesamterfolg* eines produktorientierten Kostenmanagements von hoher Bedeutung sind, auch wenn sie *nicht unmittelbar* an den *Produkten* ansetzen; sie werden unter den Begriffen *Entwicklungsproduktivität*¹⁴⁷ und *Kostentransparenz* zusammengefasst.¹⁴⁸ Dabei handelt es sich um die *Fokussierung* innerhalb der F&E-Abteilung, um konsequentes *Projektmanagement*, um die methodische Unterstützung der *Entwicklungsqualität* sowie um die *frühzeitige* Bereitstellung von *Kosteninformationen* über die Produkte. Letztere schafft überhaupt erst die informatorische Grundlage für die Kostenbeeinflussung (vgl. FRANZ/KAJÜTER 2002a, S. 17). Diese Kostentreiber werden in *Tabelle 3* und zusammen mit den zuvor genannten ebenfalls in den *Abschnitten 4.6.2* und *4.6.3* erläutert. Alle in diesen beiden Abschnitten behandelten Kostentreiber und die zugehörigen Maßnahmen werden dann ausführlich in den *Abschnitten 5* und *6* diskutiert. Dort erfolgt die Systematisierung jedoch nicht mehr nach dem *Grad der möglichen Beeinflussung* der Kostentreiber durch die Entwickler („voll beeinflussbar“ bzw. „bedingt beeinflussbar“), sondern nach der *inhaltlichen Relevanz* der – in unterschiedlichem Ausmaß beeinflussbaren – Kostentreiber für den *Umsetzungserfolg* des Kostenmanagements in der chemischen Produktentwicklung. Entsprechend wird dort zwischen „*unmittelbaren*“ Kostentreibern, die grundsätzlich in ihrer ‚Kostenwirkung‘ quantifizierbar sind, und „*unterstützenden*“ Kostentreibern, deren Wirkung weniger messbar

¹⁴⁷ Die Entwicklungsproduktivität kann als das Verhältnis zwischen mengenmäßigem Input und Output des Ressourceneinsatzes verstanden werden (vgl. *Abschnitt 6*).

¹⁴⁸ Diesen Kostentreibern können im Gegensatz zu den zuvor aufgeführten, unmittelbaren Kostentreibern keine exakten Entsprechungen auf der operativen Ebene zugewiesen werden, da es sich um schwierig erfassbare Kostenverursacher wie die ‚Anzahl an technisch bedingten Fehlentwicklungen‘, die ‚Anzahl an ineffizient durchgeführten Projekten‘ oder die ‚Anzahl an kalkulatorischen Fehlprognosen‘ handelt, welche zwar empirisch bedeutsam, aber kaum operationabel sind.

ist, unterschieden (vgl. *Abbildung 39*). Durch diese Systematisierung soll die *empirische Bedeutsamkeit* und die *Operationalisierbarkeit* der vorgestellten Kostentreiber und damit der Ergebnisse dieser Arbeit hervorgehoben werden.

Kostentreiber	Bezugsobjekt	Erläuterung
Fokussierung	F&E-Prozess	Unter Fokussierung soll die zielgerechte Allokation von Sach- und Personalmitteln verstanden werden. Je höher die Fokussierung auf die erfolgversprechenden Produktentwicklungen ist, umso effektiver und kostengünstiger sollte der Produktentwicklungsprozess verlaufen.
Projektmanagement	F&E-Prozess	Ein Projektmanagement ist unerlässlich für die effiziente Umsetzung der F&E-Ziele. Je konsequenter die F&E-Projekte durchgeführt werden, desto effizienter und kostengünstiger sollte der Produktentwicklungsprozess verlaufen.
Entwicklungsqualität	Produkte und F&E-Prozess	Die Entwicklungsqualität beschreibt, wie gut eine Entwicklung die Kundenanforderungen erfüllt und welcher Zeitaufwand und wieviel sonstige Kosten dafür notwendig sind. Je höher die Entwicklungsqualität, umso niedriger sollten die Kosten für das Erreichen eines bestimmten Entwicklungsergebnisses ausfallen.
Frühzeitige Kosteninformationen	Produkt und verbundene Prozesse	Eine möglichst hohe Kostentransparenz im Zeitraum der Produktentwicklung soll den Entwicklern ermöglichen, die Kosten ihrer Entscheidungen auch hinsichtlich nachgelagerter Bereiche zu beurteilen. Je höher die Kostentransparenz, umso wahrscheinlicher ist die Vermeidung nachträglicher und kostenintensiver Änderungsvorgänge und das Erreichen der gesetzten Kostenziele.

Tabelle 3: Strategische Kostentreiber der chemischen Produktentwicklung, welche hier durch die Begriffe ‚Entwicklungsproduktivität‘ und ‚Kostentransparenz‘ subsummiert werden

4.6.2 Voll beeinflussbare Kostentreiber

Voll beeinflussbare Kostentreiber können von den Entwicklern *direkt* in den einzelnen Phasen der Produktentwicklung beeinflusst werden (vgl. *Abschnitt 3.2.2.1*). So können die Entwickler bereits in der *Vor- und Analysephase* des Entwicklungsprozesses den im vorangegangenen Abschnitt genannten Kostentreiber *Entwicklungsproduktivität* (‚Fokussierung‘, ‚Projektmanagement‘, ‚Entwicklungsqualität‘) beeinflussen. Beispielsweise können die Entwickler schon bei der Formulierung von Lastenheft und Pflichtenheft durch konsequentes und methodisches Vorgehen Zeit und Kosten sparen.

In den sich anschließenden *Konzept- und Entwicklungsphasen* können die Entwickler neben der Entwicklungsproduktivität insbesondere auf die *interne Produktvielfalt* (Ab-

schnitt 5.2.1), die *Prozessanforderungen* (Abschnitt 5.2.2), das *Prozesskonzept* (Abschnitt 5.2.3) sowie die *Prozessvielfalt* (Abschnitt 5.2.4) Einfluss nehmen.¹⁴⁹

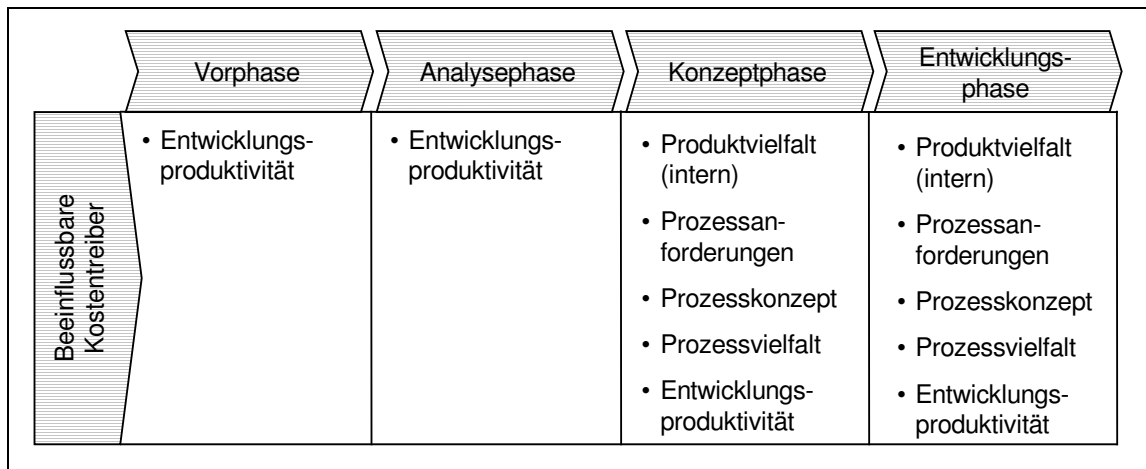


Abbildung 37: Voll beeinflussbare Kostentreiber in den Teilphasen der Produktentwicklung

Die *interne Produktvielfalt* und die durch sie verursachten Kosten können durch verschiedene *komplexitätswirksame* Maßnahmen reduziert werden, welche alle auf den im Produkt enthaltenen *Substanzen* beruhen und sich an der Komplexität chemischer Produkte orientieren (Abschnitt 4.3.2.3). So kann der Einsatz von mehrfach verwendbaren, standardisierten *Gleich- und Wiederholsubstanzen* (Abschnitt 5.2.1.1) und gegebenenfalls ihre Kombination in einem *Baukasten* (Abschnitt 5.2.1.2) z.B. durch Vereinfachung der unternehmensweiten Abläufe maßgeblich Kosten reduzieren. Kann eine bestimmte Substanz in mehrere Produkte bzw. Varianten ausdifferenziert werden, so handelt es sich um eine *Plattform*, die durch eine *späte Differenzierung* Einsatzstoffe und Prozesse standardisieren hilft (Abschnitt 5.2.1.3). Gelingt es, unternehmensweit eingesetzte Substanzen mit unterschiedlichen Eigenschaften durch solche mit ähnlichen Eigenschaften zu ersetzen und diese in *Substanzfamilien* zu bündeln, können sie sowohl bei den Syntheseverfahren wie auch bei den der Produktion vor- und nachgelagerten Prozessen die vorhandene Infrastruktur (z.B. Sicherheitseinrichtungen, Umweltschutzeinrichtungen, Mitarbeiterqualifizierung) gemeinsam nutzen und dadurch ebenfalls Kosten senken helfen (Abschnitt 5.2.1.4).

Auch die *Anforderungen an den Fertigungsprozess* sind durch *komplexitätssenkende Maßnahmen* beeinflussbar, sofern es sich um interne Vorschriften und Standards handelt. Erlaubt die erwartete Produktqualität eine Senkung der Anforderungen und damit die Einschränkung oder den Verzicht auf prozessbestimmende Normen, so können die Kosten für die Prozesssteuerung verringert werden (Abschnitt 5.2.2.1). Die Kosten,

¹⁴⁹ Die Validierung der Wirkungen dieser Kostentreiber kann allerdings frühestens in der Technikumphase erfolgen, da die Laborergebnisse nicht selten von denjenigen größerer Produktionsansätze abweichen, auch in ihrem Kostenverhalten.

welche aufgrund des Kostentreibers *Prozesskonzept* entstehen, können ebenfalls durch *komplexitätswirksame Maßnahmen* gesenkt werden. Eine in diesem Sinne sehr wirkungsvolle Maßnahme ist die Reduzierung der Anzahl der zur Herstellung des Produkts notwendigen *Syntheseschritte* (Abschnitt 5.2.3.1). Auch kann eine Steigerung der Effizienz des Fertigungsprozesses die *Ist-Ausbeute* erhöhen (Abschnitt 5.2.3.2). Durch eine *fertigungsgerechte Rezeptur*, die z.B. aufwändiges manuelles Abwiegen statt der Zugabe ganzer Verpackungseinheiten vermeidet, kann darüber hinaus eine Verringerung z.B. der Fertigungsgemeinkosten erzielt werden (Abschnitt 5.2.3.3). Die Wahl zwischen einer *kontinuierlichen* oder einer *diskontinuierlichen* Fertigungsweise ist ebenfalls von hoher Bedeutung für die Herstellkosten (Abschnitt 5.2.3.4). Die kontinuierliche Produktion dürfte dabei i.A. eine geringere Komplexität aufweisen als die diskontinuierliche.

Schließlich kann der Kostentreiber *Prozessvielfalt* ebenfalls durch eine *komplexitätssenkende* Maßnahme beeinflusst werden: Die Bildung von *Technologiefamilien* kann – ähnlich den Substanzfamilien – durch eine Anpassung der gewählten Reaktionspartner und ihrer Reaktionswege an die vorhandene Anlageninfrastruktur u.a. die Verringerung von Investitionen und Qualitätssicherungskosten ermöglichen (Abschnitt 5.2.4.1).

Im Rahmen der Verbesserung der Entwicklungsproduktivität kann die Beeinflussung des Kostentreibers *Fokussierung* durch eine Bündelung der Entwicklungskapazitäten und eine *Priorisierung* der erfolversprechendsten Projekte zu niedrigeren Kosten führen, da dadurch der Ressourcenaufwand im Verhältnis zu den Erlösen verbessert und gleichzeitig die Entwicklungsdauer verkürzt wird (Abschnitt 6.1.1 und 6.1.1.1). Auch mangelndes *Projektcontrolling* kann die Kosten erhöhen und die Entwicklungseffizienz verringern (Abschnitt 6.1.2). Um dem dadurch drohenden Kostenanstieg zu begegnen, sollten die Projekte durch ein *Projektcontrolling* konsequenter umgesetzt werden (Abschnitt 6.1.2.1), zur Verbesserung der F&E-Prozessqualität standardisierte *Checklisten* verwendet (Abschnitt 6.1.2.2) und eine *Beratung* der Entwickler (z.B. durch das Controlling) in Anspruch genommen werden (Abschnitt 6.1.2.3). Eine unzureichende *Qualität* der Entwicklung wirkt ebenfalls kostenerhöhend (Abschnitt 6.1.3) und kann durch den Einsatz von *Qualitäts-* und *Kreativitätstechniken* positiv beeinflusst werden, wodurch das häufig intuitive Vorgehen systematisiert werden soll (Abschnitte 6.1.3.1 und 6.1.3.2).

4.6.3 Bedingt beeinflussbare Kostentreiber

Die *bedingt beeinflussbaren Kostentreiber* können nur *indirekt* bzw. *eingeschränkt* durch Entscheidungen der Entwickler beeinflusst werden. Hierbei sind zwei grundsätzlich verschiedene Fälle zu unterscheiden: Zum Einen handelt es sich um Kostentreiber, welche teilweise von den Kunden (z.B. *Kundenanforderungen*) oder auch den (system-)technischen Voraussetzungen der Unternehmen (*frühzeitige Kosteninformationen*) vorgegeben werden. Zum anderen stehen der Beeinflussbarkeit physikalisch-chemische Faktoren entgegen, die auf Naturgesetzen beruhen und quasi *Randbedingungen* darstel-

len, welche die Beeinflussung von Kostentreibern behindern können (vgl. nachstehenden ‚Exkurs‘).

Während der *Vor-* und *Analysephase* können die Entwickler die *Produktanforderungen* (Abschnitt 5.1.1) sowie die Bereitstellung *frühzeitiger Kosteninformationen* bedingt beeinflussen (Abschnitt 6.2.2). Obwohl die *Produktanforderungen* maßgeblich durch die Kunden formuliert werden, können nur die Entwickler die zur Erfüllung der Anforderungen notwendigen Funktionen und Spezifikationen beurteilen (oftmals werden Kunden der chemischen Industrie bei der Formulierung des Pflichtenhefts von den Entwicklern beraten). Kosten können gesenkt werden, wenn die *Anzahl* und der *Umfang* der *Funktionen* und *Spezifikationen* verringert werden können (Abschnitte 5.1.1.1 und 5.1.1.2). Ohne *frühzeitige Kosteninformationen* können die Entwickler weiterhin zu hohe Produktkosten nicht rechtzeitig erkennen, wodurch es zu überbewerteten Produkten oder zu zeit- und kostenintensiven Änderungsvorgängen kommen kann (vgl. EHRENSPIEL 1992, S. 295; vgl. Abschnitt 6.2.1). Wenn auch die Verantwortung für die Kostenrechnungs- und Kalkulationssystematik nicht im Bereich der Produktentwicklung liegt, tragen deren Mitarbeiter jedoch durch ihr Datenwissen und ihre Erfahrung maßgeblich zum Erfolg einer frühzeitigen Produktkostenabschätzung bei. Hierfür werden später Methoden zur entwicklungsbegleitenden Kalkulation wie *Regeln* (Abschnitt 6.2.2.2.1), *Cost Tables* (Abschnitt 6.2.2.2.2), *Kostenmodelle* (Abschnitt 6.2.2.3.1) und *Kurzkalkulationen* (Abschnitt 6.2.2.3.2) vorgestellt.

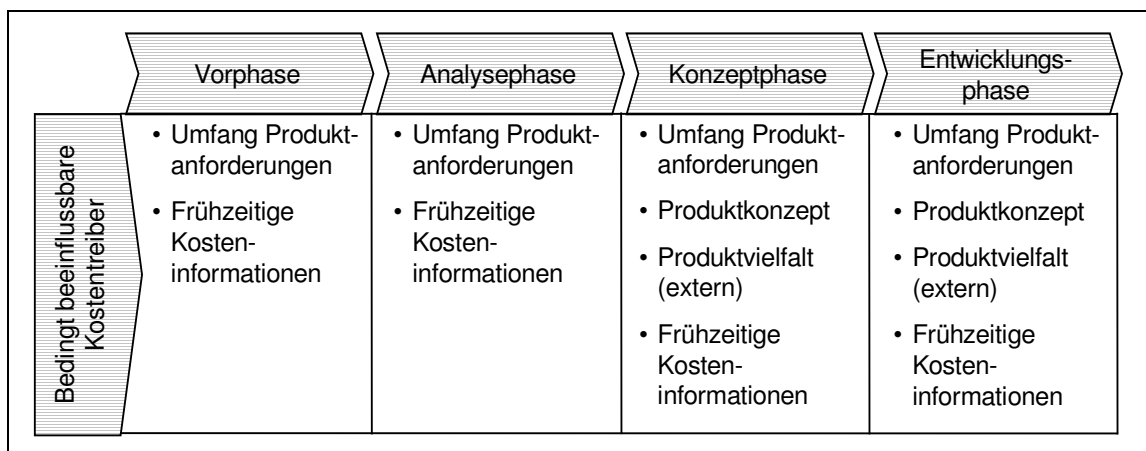


Abbildung 38: Bedingt beeinflussbare Kostentreiber in den Teilphasen der Produktentwicklung

Neben den *Produktanforderungen* und den *Kosteninformationen* können die Entwickler in der anschließenden *Konzept-* und *Entwicklungsphase* weiterhin (teilweise) das *Produktkonzept* (Abschnitt 5.1.2) und die *externe Produktvielfalt* beeinflussen (Abschnitt 5.1.3). Das *Produktkonzept* leitet sich aus den gestellten Anforderungen ab: Nicht selten gibt es z.B. mehrere *Wirkprinzipien*, mittels derer die geforderten Produktfunktionen – bei gleichzeitig unterschiedlichem Ressourcenverbrauch bzw. Kostenanfall – erfüllt

werden können (*Abschnitt 5.1.2.1*).¹⁵⁰ Auch können die Entwickler für alternative Konzepte einen veränderten *Wirkungsgrad* erreichen und damit das Verhältnis von angefallenen (Herstell-) Kosten zur Leistungsentfaltung eines Produkts beeinflussen (*Abschnitt 5.1.2.2*). Da die präferierte Lösung in vielen Fällen nicht nur aus verschiedenen Rohstoffen, sondern auch nach verschiedenen Verfahren hergestellt werden kann, ergeben sich aus dem Konzept unmittelbar Auswirkungen auf die unternehmensweiten Abläufe und Kosten (vgl. *Abschnitt 5.2.4*).

Die *externe Produktvielfalt* schließlich beschreibt die Anzahl der aus Kundenperspektive unterschiedlichen Produkte. Auch wenn das Marketing hauptsächlich für die Anzahl an Varianten verantwortlich ist, so kann die Produktentwicklung durch die Kombination von Eigenschaften und Funktionen oder die Harmonisierung von Rezepturen zur Vereinheitlichung von Produkten und damit zu einer *Reduktion* von *Varianten* und der durch sie verursachten Kosten beitragen (*Abschnitt 5.1.3.1*).

Bei den oben bereits erwähnten *physikalisch-chemischen Randbedingungen* handelt es sich einerseits insbesondere um solche Faktoren, welche die *Triebkraft* einer *Reaktion*, also die Ursachen für die Möglichkeit der Umsetzung von Stoffen und daraus folgend den theoretisch möglichen Grad der Umsetzung (*Ausbeute*) bestimmen. Andererseits stehen jene Einflussgrößen im Mittelpunkt des Interesses, welche die *Geschwindigkeit* der *Stoffumwandlung* (Zeit bis zum Erreichen der geplanten *Ausbeute*) beeinflussen können. Diese Faktoren werden in *ökonomischer* Hinsicht bisher nur in ihren makroskopischen Ausprägungen (z.B. Energiebilanz einer Reaktion) untersucht, ohne dass die dahinter liegenden Ursache-Wirkungsbeziehungen immer explizit hinterfragt werden. Diese sind äußerst komplex und können daher im nachfolgenden Exkurs nur qualitativ zum besseren Verständnis skizziert werden.

Exkurs: Wie physikalisch-chemische Naturgesetze Einfluss auf die Handlungsfreiheiten der Entwickler und den ökonomischen Erfolg chemischer Umsetzungen ausüben

Im Prinzip kann eine chemische Reaktion nur dann *freiwillig* ablaufen, wenn sie dadurch einen ‚energieärmeren‘ Zustand erreicht. Aus Erfahrung ist man geneigt, derartig *spontane chemische Reaktionen* oder *physikalische Vorgänge* stets mit der Freisetzung von *thermischer Energie* zu verbinden (z.B. Verbrennung von Benzin zu Kohlendioxid und Nebenprodukten oder freier Fall eines Körpers unter Wärmeentwicklung durch Reibung und Aufprall). Ein Beispiel aus der Physik zeigt anhand des Verdunstens von Wasser, welches bei Raumtemperatur aus einem gefüllten Glas entweicht (verdampft) – und damit freiwillig in einen höheren Ener-

¹⁵⁰ Beispielsweise können Kopfschmerzen durch unterschiedliche Substanzen mit verschiedenen biologischen Wirkprinzipien bekämpft werden (vgl. *Abschnitt 5.1.2.1*). Gleiches gilt z.B. auch für das Verkleben zweier Materialien (z.B. Sekundenkleber, 2-Komponenten-Kleber).

giezustand überwechselt (der Verdampfungspunkt von Wasser liegt bekannterweise bei 100°C) –, dass die *thermische Energiebilanz* (praktisch null, denn es wurde keine zusätzliche Wärme zur Verdampfung zugeführt) einer molekularen Zustandsänderung (flüssig \rightarrow gasförmig) keine hinreichende Bestimmungsgröße für den Ablauf eines physikalischen Prozesses ist. Gleiches gilt auch für chemische Prozesse, wenn auch weniger anschaulich: Die Umwandlung von N_2O_4 in 2NO_2 verläuft ebenfalls spontan und *verbraucht* dabei zusätzliche *thermische Energie*.

Offenbar existiert neben der thermischen Energie (genauer: der *Reaktionsenthalpie* H) noch eine weitere Energiegröße, welche die Wahrscheinlichkeit eines physikalischen und chemischen Vorgangs bestimmt. Diese Größe wird als *Entropie* S bezeichnet und stellt den *entscheidenden Faktor* für das Zustandekommen einer Reaktion dar. Die Entropie drückt das prinzipielle Bestreben von Atomen und Molekülen aus, bei freiwilligen Prozessen einen *ungeordneteren Zustand* als zuvor einzunehmen.

Auch in der Praxis der chemischen Industrie wird die Triebkraft einer Reaktion hauptsächlich durch dieses Zusammenspiel der Bilanzen der Reaktionsenthalpie ΔH und der Entropie ΔS bestimmt, welches sich in einer *Gibbs-Helmholtzschen-Gleichung*¹⁵¹ genannten Formel ausdrücken lässt. Betrachtet man zum Verständnis ein idealisiertes – nur in der Theorie vollkommen darstellbares – vollständig *isoliertes* System¹⁵² (das Universum als ganze Einheit kommt einem vollständig isolierten System nahe), so zeigt sich, dass die Entropie die *alleinige Triebkraft* einer Reaktion darstellt: Nur wenn diese insgesamt *zunimmt*, kann eine Reaktion spontan ablaufen. Für die tägliche Praxis bedeutet dies, dass kein Prozess, der Ordnung erzeugt (die Entropie erniedrigt), ohne äußere Hilfe ablaufen kann; wenn allerdings genug Energie zugeführt wird, lässt sich eine Reaktion gegebenenfalls ‚erzwingen‘.¹⁵³ Die Werte¹⁵⁴ für ΔH und ΔS bestimmen also über die Energie- und

¹⁵¹ Diese Formel, welche die Triebkraft einer Reaktion ΔG (‚freie Enthalpie‘, ‚Gibbs-Funktion‘) ausdrückt, ist zusätzlich eine Funktion der absoluten Temperatur T (in Kelvin): $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$. Sie wurde 1875 durch *Gibbs* formuliert und bedeutet, dass eine Reaktion dann freiwillig verläuft, wenn die Bilanz aller freien Enthalpien der Endprodukte abzüglich der Ausgangsverbindung(en), vermindert um die mit der Temperatur multiplizierte Entropiebilanz von End- und Ausgangsprodukten, *negativ* ist. Der Wert der ‚Gibbs-Helmholtzschen-Gleichung‘ kann sich im Reaktionsverlauf ändern und ist – neben der Freiwilligkeit – entscheidend für das Ausmaß der Umsetzung der Reaktion von den Ausgangsprodukten zu den Endprodukten.

¹⁵² Ein isoliertes System verhindert jeglichen Wärme-, Energie- und Materieaustausch mit der Umgebung.

¹⁵³ Der Reaktionsbehälter einer chemischen Fertigungsanlage ist durch seine Metallummantelung nur bedingt isoliert, da er thermische Energie aufnehmen oder abführen kann. Die Entropie einer im (nicht vollkommen isolierten) Behälter ablaufenden Reaktion kann deshalb solange abnehmen, wie sie durch eine positive Entropieveränderung in der Umgebung des Behälters (durch Abgabe von Reaktionswärme an die Umwelt) überkompensiert wird – im Gesamtsystem ‚Universum‘ nimmt die Entropie mit jeder Reaktion zu.

Ausbeutebilanz chemischer Reaktionen und damit über einen erheblichen Anteil der Fertigungskosten: Je ‚freiwilliger‘ eine Reaktion verläuft, desto niedriger sollten ihre Fertigungskosten sein.

Allerdings erlaubt die Aussage, dass eine Reaktion (freiwillig) möglich ist, noch keine Rückschlüsse über die *Geschwindigkeit*, mit der die Reaktion ablaufen wird, und damit über eine weitere bedeutende Kostenart der Fertigung, die Maschinenbelegungsdauer (Anlagenproduktivität). Denn neben der Bilanz der freien Enthalpie ΔG ist die Geschwindigkeit einer chemischen Umsetzung der zweite maßgebliche Kostentreiber. In der Regel beansprucht die ausreichende Umsetzung einer chemischen Reaktion mehrere Stunden, nicht selten 5-15 Stunden. Diese wird durch physikalisch-chemische Gesetzmäßigkeiten bestimmt (den Mechanismus chemischer Reaktionen, die ‚Kinetik‘¹⁵⁵), welche unabhängig von der zuvor beschriebenen prinzipiellen Umsetzbarkeit der Reaktion sind. Mit anderen Worten: Es besteht kein Zusammenhang zwischen der *Triebkraft* einer Reaktion (der ‚Stabilität des Systems‘) und der *Geschwindigkeit* ihrer Umsetzung (der ‚Reaktivität des Systems‘).¹⁵⁶

Um die Geschwindigkeit einer Reaktion unmittelbar zu beeinflussen, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Eine davon ist die Veränderung der Konzentration der Ausgangssubstanzen: Da ein chemischer Vorgang zwischen zwei Stoffen nur eintreten kann, wenn die reagierenden Teilchen zusammenstoßen, lässt sich die Umsetzungsgeschwindigkeit z.B. durch eine Konzentrationserhöhung beschleunigen. In ähnlicher Weise wirkt eine Erhöhung der Temperatur, da sie den Anteil der Teilchen, welche die zur Reaktion notwendige ‚Aktivierungsenergie‘ besitzen, erhöht und somit ebenfalls die Umsetzung beschleunigt. Dies hängt mit der durch die Energiezufuhr erhöhten Anzahl an Zusammenstößen zusammen (*Stoßtheorie*).¹⁵⁷ Allerdings reicht der Zusammenstoß von aktivierten Teilchen alleine nicht aus, um eine Reaktion herbeizuführen. Vielmehr muss auch die räumliche Ausrichtung der

¹⁵⁴ Diese Werte sind für alle Reaktionen unter Standardbedingungen (Druck, Temperatur) normiert und lassen sich nur durch eine Änderung der Reaktionsbedingungen gemäß der genannten Formelabhängigkeiten verschieben. So beträgt beispielsweise die Reaktionsenthalpie der Chlorierung von Methan ($\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$) unter Standardbedingungen stets $\Delta H = -104 \text{ KJ mol}^{-1}$.

¹⁵⁵ Die chemische Kinetik befasst sich mit der Geschwindigkeit eines Reaktionsablaufs ohne Berücksichtigung von physikalischen Transportvorgängen (wie Wärme- oder Stofftransport). Bei heterogenen oder schnellen homogenen Reaktionen kann aber die Umsetzungsgeschwindigkeit durch die Geschwindigkeit solcher Transportvorgänge entscheidend beeinflusst werden (vgl. FITZER/FRITZ 1989, S. 35).

¹⁵⁶ Beispielsweise können die beiden hochreaktiven Elemente Wasserstoff und Sauerstoff als Gemisch bei Raumtemperatur theoretisch beliebig lange unverändert gelagert werden, obwohl sie bei einer starken Temperaturerhöhung (Zündung) explosionsartig reagieren. Obwohl es sich hierbei offensichtlich um ein sehr instabiles System handelt, reagieren diese Stoffe ohne Zündung nicht miteinander, d.h. das System besitzt keine Reaktivität (bei Raumtemperatur).

¹⁵⁷ Das in *Fußnote 156* angeführte Beispiel der Wasserstoff-Sauerstoff-Mischung zeigt deutlich, dass speziell bei Oxidationen eine Änderung der Temperatur eine wirksame Methode zur Beschleunigung der Umsetzung ist.

Teilchen zueinander, die durch strukturelle Charakteristika wie sperrige Seitenketten oder eine elektromagnetische Abstoßung behindert werden kann, den ‚Übergangszustand‘ ermöglichen (*sterischer Faktor*¹⁵⁸): In diesem Zustand haben sich die Teilchen so weitgehend wie möglich angenähert, so dass sich alte Bindungen lösen und gleichzeitig neue Bindungen bilden können.

Der Mechanismus einer chemischen Reaktion, also die Beschreibung des molekularen Ablaufs, durch den die reagierenden Partikel in die Produkte verwandelt werden, ist folglich für die praktische Durchführung einer Reaktion und die Wahl geeigneter Bedingungen von großer Bedeutung; die Untersuchung von *Reaktionsmechanismen* gehört zu den aktuellsten Forschungsgebieten in der chemischen Industrie. *Katalysatoren* stehen häufig deshalb im Fokus der chemischen Forschung, weil sie in diesem Sinne bestimmte Reaktionen beschleunigen können. Sie bilden dabei mit einem der Ausgangsstoffe eine reaktionsfähige Zwischenverbindung, die anschließend mit dem Reaktionspartner so weiterreagiert, dass der Katalysator im Laufe der Reaktion wieder freigesetzt wird. Eine Reaktion, die unter Mitwirkung eines Katalysators verläuft, folgt einem anderen Mechanismus, für den weniger Aktivierungsenergie (z.B. niedrigere Temperaturen bzw. Energieverbrauch) benötigt wird. Der Einsatz von Katalysatoren besitzt daher hohe wirtschaftliche Bedeutung, nicht zuletzt, weil er manche Reaktionen überhaupt erst (technisch und ökonomisch) möglich macht.¹⁵⁹

In Praxi ist also aufgrund der komplexen Zusammenhänge – wie weiter oben bereits angedeutet – die quantitative Verknüpfung der im vorangegangenen Exkurs diskutierten, naturgesetzlichen Kostentreiber mit einzelnen Produktfunktionen oder Komponenten bisher nicht möglich. So ist zwar im Rahmen des Target Costing-Prozesses das Aufteilen der Allowable Cost auf die verschiedenen Funktionen als *Top-Down-Prozess* durchaus darstellbar, doch die *Bottom-Up-Zuordnung* von Kosten, die durch z.B. Entropieveränderungen auf geplante Produktfunktionen hervorgerufen werden, dürfte, abgesehen von den prinzipiellen Schwierigkeiten bei der Ermittlung entsprechender Ursache-Wirkungs-Beziehungen, unter Aufwand-Nutzen-Gesichtspunkten in der Regel nicht opportun sein. Auf Komponentenebene sind zwar prinzipiell ähnliche Schwierigkeiten anzutreffen, jedoch ist es aufgrund der höheren Konkretisierungsstufe gegebenenfalls eher möglich, den Komponenten und ihren Merkmalsausprägungen (z.B. Geometrie, Oberflächenbeschaffenheit) in der Folge verschiedene Kostenarten zuzurechnen (z.B. Reaktionsgeschwindigkeit aufgrund von Konzentration, Energiebedarf, Beschaffungs-, Material-, Bearbeitungs- oder Logistikkosten).

¹⁵⁸ Der *sterische Faktor* bzw. die *sterische Hinderung* ist für eine bestimmte Kombination von Substanzen gegeben, kann aber durch strukturelle Modifikationen der Moleküle vom Entwickler beeinflusst werden; dadurch können jedoch die gewünschten chemischen Eigenschaften verändert werden.

¹⁵⁹ Ist allerdings eine Reaktion unter den gegebenen Bedingungen nicht umsetzbar (da ΔG positiv ist), so ist die aufwändige Forschung nach einem Katalysator verlorene Zeit.

4.7 Zwischenfazit

Im Mittelpunkt dieser Arbeit stehen die *Möglichkeiten* der *Produktentwickler* in der *chemischen Industrie*, durch geeignete *produktorientierte Maßnahmen* ein *frühzeitiges Kostenmanagement* zu unterstützen. Nach einer Einführung in die Problemstellung und die Grundlagen des Kostenmanagements wurde zunächst ausführlich auf die Rahmenbedingungen der Branche, die Prozesse der Produktentwicklung und die Klassen und Strukturen chemischer Produkte eingegangen. Auf dieser Grundlage wurde im *Abschnitt 4* der Gestaltungsrahmen für ein produktorientiertes Kostenmanagement in der chemischen Industrie aufgezeigt, wobei auch auf mögliche Defizite und Einschränkungen hingewiesen wurde. Ausgangspunkt hierbei war das strategische Kostenmanagement durch Anwendung des Target Costing: Aufgrund der Wettbewerbs- und Kostensituation der chemischen Industrie und der Eigenschaften der von ihr erstellten Produkte eignet sich dieses Instrument ideal, um eine durchgehende Marktorientierung des Unternehmens und ein frühzeitig in der Produktentwicklung einsetzendes Zielkostenmanagement umzusetzen. Sein Vollkostenansatz ist weiterhin geeignet, auch die durch Komplexität verursachten Kosten in das Zielkostenkalkül einzubeziehen. In diesem Zusammenhang wurde die Komplexität – insbesondere die Komplexität von chemischen Produkten – in *Abschnitt 4.3* als strategischer Kostentreiber für die Produktentwicklung herausgestellt. Auch auf die Schwierigkeiten, das produktorientierte Kostenmanagement durch die Kostenrechnung zu erfassen, wurde hingewiesen (*Abschnitt 4.4*).

Der vorangegangene *Abschnitt 4.6* schließlich war der Untersuchung der relevanten *Kostentreiber* gewidmet, welche die Produktentwickler zur Kostensenkung beeinflussen können. Für die untersuchten Funktionsbereiche F&E, Einkauf, Produktion und Logistik sowie ausgesuchte Bereiche im Vertrieb und in der Verwaltung wurden zunächst die wichtigsten operativen bzw. taktischen Kostentreiber erarbeitet. Diese wurden daraufhin überwiegend *strategischen* Kostentreibern zugeordnet, die im Verlauf der Produktentwicklung von den Entwicklern beeinflusst werden können und in Wechselwirkung mit den Kosten der untersuchten Funktionsbereiche bzw. deren operativen und taktischen Kostentreibern stehen. Dabei wurde deutlich, dass nicht alle strategischen Kostentreiber im *gleichen Umfang* von den Entwicklern beeinflusst werden können. Auch wurden weitere Kostentreiber identifiziert, welche zwar nicht unmittelbar im Zusammenhang mit den Produkten stehen, aber für den Erfolg eines produktorientierten Kostenmanagements außerordentlich wichtig sind. Für beide Gruppen wurden daher *Maßnahmen* vorgestellt, welche von den Produktentwicklern zur Senkung der von den diskutierten Kostentreibern verursachten Kosten eingesetzt werden können. Aufgabe der *Abschnitte 5* und *6* wird es sein, auf Grundlage der bisher gewonnenen Erkenntnisse *alle Kostentreiber* und die *entsprechenden Maßnahmen* detailliert auf ihre Anwendung in der chemischen Produktentwicklung zu untersuchen und *konkrete Handlungshinweise* für die Entwickler zu geben. Dabei wird besonders auf *branchen-* bzw. *produktspezifische Charakteristika* eingegangen, die im Vergleich zu Kosten-

managementansätzen anderer Branchen zu (teilweise) abweichenden Ergebnissen und Empfehlungen führen.

Einflussgröße	Kostentreiber	Maßnahme
Kundengerechte Produktentwicklung (bedingt beeinflussbar)	Produktanforderungen	Reduktion Funktionen
		Reduktion Spezifikationen
	Produktkonzept	Alternatives Wirkprinzip
		Erhöhung Wirkungsgrad
	Produktvielfalt (extern)	Reduktion Varianten
Kostengünstige Produktgestaltung (voll beeinflussbar)	Produktvielfalt (intern)	Verwendung Gleich-, Wiederholsubstanzen
		Aufbau Baukasten
		Bildung Plattform
		Bildung Substanzfamilie
	Prozessanforderungen	Reduktion Normen
	Prozesskonzept	Reduktion Synthesestufen
		Erhöhung Ist-Ausbeute
		Fertigungsgerechte Rezeptur
		Kontinuierliche/diskontinuierliche Produktion
	Prozessvielfalt	Bildung Technologiefamilie

Tabelle 4: Unmittelbare Einflussmöglichkeiten zur Kostensenkung durch produktbezogene Maßnahmen während der chemischen Produktentwicklung

Tabelle 4 und Tabelle 5 geben nochmals eine Übersicht der bisher erarbeiteten Kenntnisse über Kostentreiber und Maßnahmen. Zum besseren Verständnis und zur Systematisierung wurden vier ‚Überschriften‘ hinzugefügt, welche die prinzipiellen ‚Einflussgrößen‘ der einzelnen Themenbereiche inhaltlich zusammenfassen sollen. Die *kundengerechte Produktentwicklung* soll die Entwicklung marktkonformer Produkte sicherstellen, ohne jedoch durch eine ‚Über-Erfüllung‘ der Anforderungen unnötige Kosten zu verursachen (sofern die kundenseitigen Anforderungen dadurch nicht beeinträchtigt werden). Eine *kostengünstige Produktgestaltung* soll weiterhin die Einhaltung von Kostenzielen gewährleisten, die allein aus unternehmensinternen Maßnahmen resultieren.¹⁶⁰ Diese beiden werden im weiteren Verlauf als *unmittelbare Einflussgrößen* bezeichnet, da alle ihre Kostentreiber und Maßnahmen direkten Einfluss auf die produktbezogenen Zielkosten haben.

¹⁶⁰ Während sich die *kundengerechte Produktentwicklung* primär auf die Produkte, ihre Funktionen und Komponenten bezieht, beinhaltet die *kostengünstige Produktgestaltung* auch (fertigungs-) prozessbezogene Kostensenkungen, welche aufgrund der engen Verbindung von Produkten und Prozessen in der chemischen Industrie mit berücksichtigt werden müssen (vgl. Abschnitt 3.2.1.1).

Entsprechend werden die qualitativen Faktoren einer verbesserten *Entwicklungsproduktivität* und einer verbesserten *Kostentransparenz* als *unterstützende Einflussgrößen* bezeichnet. Sie sind hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Kosten schwer messbar, d.h. nicht auf einzelne Kostenträger zurechenbar. Sie sollen die Effektivität und Effizienz des Entwicklungsprozesses verbessern, woraus sich entsprechende Kostensenkungen ergeben sollten (vgl. *Tabelle 5*).

Einflussgröße	Kostentreiber	Maßnahme
Entwicklungsproduktivität (voll beeinflussbar)	Fokussierung	ABC-Verteilung Entwicklungsressourcen
	Projektmanagement	Straffes Projektcontrolling
		Checkliste
		Beratung
	Entwicklungsqualität	Qualitätstechniken
		Kreativitätstechniken
Kostentransparenz (bedingt beeinflussbar)	Bereitstellung frühzeitiger Kosteninformationen	Regeln
		Cost Tables, Kostenstruktur, Grenzstückzahlen
		Kostenmodelle
		Kurzkalkulationen

Tabelle 5: Unterstützende Einflussmöglichkeiten zur Kostensenkung während der chemischen Produktentwicklung

Wie aus beiden Tabellen ersichtlich wird, gehen die produktbezogenen Einflussgrößen der Entwickler über die in diesem Zusammenhang häufig genannten, sowohl komplexitätswirksamen als auch komplexitätsunabhängigen, Kostentreiber wie die ‚Variantenvielfalt‘ und die ‚Teilevielfalt‘ deutlich hinaus (vgl. BINDER 1998b, S. 62). Damit dokumentieren *Tabelle 4* und *Tabelle 5* erstmalig für die chemische Industrie eine systematische Darstellung aller relevanten Einflussgrößen, Kostentreiber und Maßnahmen und damit den *gesamten Gestaltungsspielraum* für ein *Kostenmanagement* in der *chemischen Produktentwicklung*.

Abbildung 39 fasst den Sachverhalt noch einmal schematisch zusammen. Wie bereits in *Abschnitt 1.2* sowie am Ende von *Abschnitt 4.6.1* ausgeführt, steht bei dieser Arbeit die Systematisierung aller „relevanten Einflussgrößen und -möglichkeiten von Produktentwicklern zur Kostensenkung“, und damit die „empirische Bedeutsamkeit“ und „Operationalisierbarkeit“ der entsprechenden Kostentreiber, im Vordergrund. Daher orientiert sich die Gliederung der nachfolgenden *Abschnitte 5* und *6* an der *inhaltlichen Relevanz* der dort vorgestellten Einflussgrößen, Kostentreiber und Maßnahmen für den *Umsetzungserfolg* des Kostenmanagements in der chemischen Entwicklung, unabhängig davon, inwieweit z.B. Naturgesetze oder organisatorische Strukturen von Fall zu Fall den Einfluss der Entwickler begrenzen können: Es geht zunächst vor allem darum, die ‚richtigen Dinge‘ zu tun!

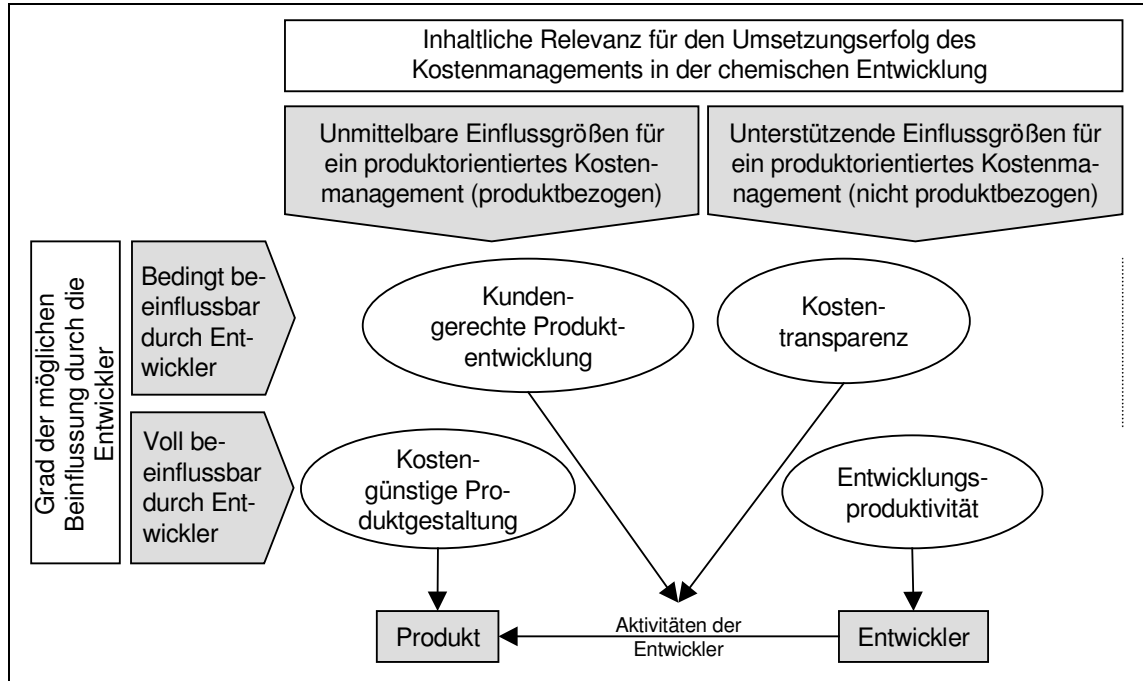


Abbildung 39: Schematischer Überblick über die Einflussgrößen für ein produktorientiertes Kostenmanagement in der chemischen Entwicklung

5 Unmittelbare Einflussgrößen, Kostentreiber und Maßnahmen

Die nachfolgenden *Abschnitte 5.1* und *5.2* greifen die in *Tabelle 4* vorgestellten Potentiale eines Kostenmanagements in der chemischen Entwicklung auf. Dabei werden die ‚unmittelbaren Einflussgrößen‘ *kundengerechte Produktentwicklung* und *kostengünstige Produktgestaltung* auf ihre Relevanz und Anwendbarkeit in der chemischen Industrie eingehend untersucht. Hierzu werden die jeweiligen Kostentreiber ausführlich vorgestellt und die jeweils möglichen Maßnahmen auf ihre empirische Bedeutsamkeit hin analysiert. Jede Maßnahme wird dabei beispielhaft anhand eines Funktionsbereichs und seiner Kosten auf ihre Operationalisierbarkeit überprüft.

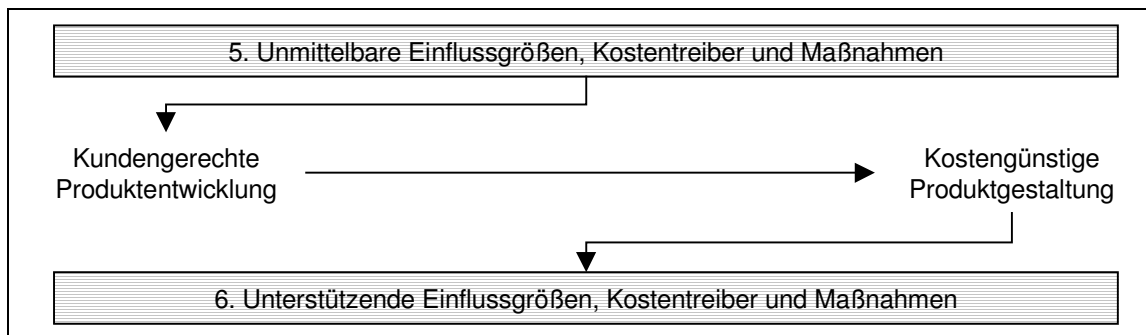


Abbildung 40: Aufbau des Abschnitts 5 und Überleitung zu Abschnitt 6

5.1 Einflussgröße kundengerechte Produktentwicklung

5.1.1 Kostentreiber Produkthanforderungen

Die Anforderungen an ein Produkt bestehen in Form von bestimmten *Funktionen* und *Spezifikationen* (Bedingungen), welche dieses zu erfüllen hat (vgl. GÖPFERT 1998, S. 72). Die Anforderungen lassen sich unterscheiden in solche, welche vom Markt herrühren und über den Vertrieb, das Marketing und das Produktmanagement an die F&E-Abteilung kommuniziert werden (*externe Anforderungen*), sowie die von den Produktentwicklern aus ihrem technischen Verständnis heraus als zur Funktionserfüllung notwendig erachteten, *internen Anforderungen*. Bevor ein Entwickler mit der Lösungssuche beginnen kann, müssen die Anforderungen analysiert und präzise formuliert werden (‚Lastenheft‘, vgl. *Abschnitt 3.2.2.2*). Dementsprechend ist deren Überprüfung und Dokumentation sowie die genaue Analyse aller Marktanforderungen (z.B. auch

Lebensdauer, Preis) für den kommerziellen Erfolg eines Produkts von besonderer Bedeutung (,Pflichtenheft', vgl. *Abschnitt 3.2.2.2*; vgl. DYLLA/FRICKE 1995, S. 119f.).

Kostenseitig ist es offensichtlich, dass mit steigenden Produkthanforderungen meist sowohl der Aufwand in der Entwicklung als auch in den nachgelagerten Funktionsbereichen steigt: Ein Produkt mit mehr oder höherwertigen Funktionen sollte in der Regel eine *längere Entwicklungsdauer* beanspruchen, gegebenenfalls aus *mehr Substanzen* bestehen, einen *höheren Qualitätssicherungsaufwand* in der Fertigung benötigen und auch einer *intensiveren Kundenbetreuung* bedürfen. Gleiches gilt auch für die Spezifikationen: Je detaillierter diese die Funktionen konkretisieren, umso höher werden die Anforderungen an das Produkt in Bezug auf Leistungsumfang, Zuverlässigkeit und Toleranzschwankungen. Auch die Wahrscheinlichkeit eines *Scheiterns* der *Entwicklungsaufgabe* nimmt mit der Steigerung der Produkthanforderungen und Spezifikationen zu.

Weiterhin kann die Berücksichtigung *interner Verfahrensanweisungen* (z.B. zertifiziertes Qualitätsmanagement) und *externer Normen* (z.B. DIN-Normen) ebenfalls zu einer Erhöhung der Anforderungen und des damit verbundenen Aufwands führen. „Jede Forderung und ihre Einengung durch Toleranzen darf nicht nur nach ihrer technischen Erfüllbarkeit, sondern muss auch hinsichtlich der dadurch verursachten Kosten betrachtet werden. Anforderungen kosten Geld“ (EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 140).

5.1.1.1 Maßnahme: Reduktion der Funktionen

Nachdem alle verfügbaren Informationen über die Entwicklungsaufgabe eingeholt wurden, die externen Anforderungen (Pflichtenheft) überprüft, die unternehmensinternen Anforderungen hinzugefügt sowie das Formulieren der Aufgabenstellung aus Sicht der Entwickler abgeschlossen wurde (,Lastenheft', ,Frozen Requirement List'), erfolgt im nächsten Arbeitsabschnitt die Skizzierung des Produktkonzeptes und das Ermitteln der zugehörigen Funktionen (vgl. VDI 1993, S. 9f.). Dazu werden zunächst die Gesamtfunktion und dann die wesentlichen, vom Produkt zu erfüllenden Teilfunktionen erarbeitet. Deren Gliederung und Kombination zu Strukturen bildet die Grundlage, um nach Lösungen für das Gesamtprodukt zu suchen (vgl. VDI 1993, S. 10).

Durch eine Verringerung der Anzahl an Funktionen eines chemischen Produkts sollte der Aufwand für dessen Entwicklung verringert werden können: Die Lösungssuche kann sich auf weniger Funktionen beschränken, was in der Regel eine Vereinfachung der Synthesekonzeption, der experimentellen Überprüfung oder der Dokumentationen mit sich bringt; dadurch kann eine *Verkürzung* der *Entwicklungsdauer* erreicht werden. Geht man davon aus, dass weniger Funktionen in der Regel auch weniger eingesetzte (Ausgangs-) Substanzen bzw. Synthesestufen pro Produkt bedeuten kann, so wird durch eine Verringerung der Funktionen weiterhin auch z.B. der Aufwand für die *Fertigungssteuerung*, die *Qualitätskontrolle* oder die *Materialbereitstellung* reduziert. *Abbildung 41* zeigt beispielhaft anhand der Kostenkategorien *Arbeitsvorbereitungs- und Ferti-*

gungs-Gemeinkosten sowie *Materiallager- und Logistik-Gemeinkosten*, wie die entsprechenden Kostentreiber mit einer *Reduktion* der *Funktionen* eines chemischen Produkts korrelieren; ein „+“ bedeutet, dass die Reduktion der Funktionen den jeweiligen Kostentreiber beeinflusst (die Darstellungsweise von *Abbildung 41* ist den im Anhang befindlichen Tabellen entnommen und wird in den folgenden Abschnitten fortgeführt; vgl. *Abschnitt 9.1*). Weitere Einsparungen erscheinen im Bereich der F&E, des Einkaufs, der allgemeinen Verwaltung und des Vertriebs möglich (vgl. Anhang). Dabei bleibt zu beachten, dass die Entwickler vor allem die internen Anforderungen beeinflussen können, wohingegen ihnen bei den externen Anforderungen eine wichtige Beratungsfunktion zukommt, da sie die technischen Möglichkeiten der Umsetzung („Feasibility“) am besten beurteilen können.

Maßnahme	Kostenkategorien der Funktionsbereiche	Arbeitsvorbereitungs- und Fertigungs-Gemeinkosten						Materiallager- und Logistik-Gemeinkosten		
	operativ-taktische Kostentreiber	Anzahl Fertigungsplanerstellungen	Anzahl Umrüstungen	Anzahl Rohstoffe	Anzahl Synthesestufen/Fertigungssteuerungen	Anzahl Qualitätskontrollen	Anzahl Ausschusschargen	Anzahl Eingangskontrollen	Anzahl Ein-/Auslagerungsvorgänge	Anzahl Verpackungen/Versendungen
Reduktion Funktionen	Korrelation	0	+	+	+	+	+	+	+	0

Abbildung 41: Korrelation von Kosten der Fertigung und Logistik mit der Anzahl an Funktionen (vgl. Tabelle 7 im Anhang)

Eine Hilfestellung bei der Verringerung von Funktionen kann eine Einteilung der Produktanforderungen in drei Kategorien nach *Kano*¹⁶¹ sein: *Basismerkmale* („Dissatisfiers“), *Zufriedenheitsmerkmale* („Satisfiers“) und *Begeisterungsmerkmale* („Exciters“). Eine Einschränkung von Funktionen, welche *Basismerkmale* unterstützen, dürfte auf Kundenseite unmittelbar zu Unzufriedenheit und zurückhaltendem Kaufverhalten führen und sollte daher vermieden werden. Funktionen, welche *Zufriedenheitsmerkmale* erfüllen, können hingegen leichter mit Einschränkungen hinsichtlich Umfang und Leistung versehen werden; Funktionen, welche zur Darstellung von *Begeisterungsmerkmalen* gefordert werden, lassen am ehesten eine Reduzierung zu, ohne dass es zu einem nachteiligen Kaufverhalten kommen sollte – allerdings wird in diesem Fall eventuell nicht der ursprüngliche Preis erzielbar sein. Entscheidend ist demnach, ob die Kostenveränderung durch die Erlösveränderung überkompensiert werden kann.

¹⁶¹ KANO, N. ET AL.: Attractive Quality and Must-be-Quality. In: *Quality*, Heft 2 (1984), S. 39-48.

Anhand des Beispiels eines chemischen Waschmittels kann die vorgestellte Klassifizierung verdeutlicht werden: Zu dessen Basismerkmalen können u.a. die Lösung von anorganischen (z.B. Staub, Erde) und organischen Schmutzteilchen (z.B. Ruß, Proteine) und eine geringe Empfindlichkeit gegen Härtebildner im (Wasch-) Wasser gezählt werden. Als Zufriedenheitsmerkmal ließen sich beispielsweise eine gute biologische Abbaufähigkeit und dermatologische Verträglichkeit oder ein angenehmer Geruch einordnen. Zu möglichen Begeisterungsmerkmalen könnte die zusätzliche chemisch-physikalische ‚Verkapselung‘ der Duftstoffe in die Hohlräume von *Cyclodextrinen* gezählt werden, welche die Duftmoleküle über längere Zeiträume kontinuierlich emittieren, statt sie in kurzfristigen Zeiträumen (im Falle nicht verkapselter Duftstoffe) freizusetzen. Es erscheint also denkbar, dass auf die Funktion ‚Duftmoleküle speichern‘ (in Cyclodextrinen) gegebenenfalls verzichtet werden kann, da die Funktion ‚Duftmoleküle freisetzen‘ schon in den Zufriedenheitsmerkmalen enthalten ist und gegebenenfalls auch durch eine höhere Duftmolekülkonzentration ein länger anhaltender Effekt erzielt werden kann. Dafür könnte u.a. auf Experimente mit der Speicherkapazität und Speicherdauer der speziellen Duftmolekül-Cyclodextrin-Wirkungskomplexe verzichtet werden sowie auf den Einkauf, die Ein- und Auslagerung, die Zugabe in der Fertigung, die Dokumentation und die Kommunikation dieses für den Endkunden nicht unmittelbar verständlichen Wirkprinzips.

5.1.1.2 Maßnahme: Reduktion der Spezifikationen

Während von Kundenseite aus Anforderungen an Produkte eher in qualitativen Beschreibungen formuliert werden, ist es für die Produktentwicklung unerlässlich, diese Anforderungen aus technischer Sicht unmissverständlich und messbar als Entwicklungsziel zu dokumentieren. In diesem Sinne sollen *Spezifikationen* den Kundenwunsch in der Sprache der Entwickler ausdrücken; sie stellen ‚Bedingungen‘¹⁶² dar, welche sich auf Umfang und Leistungen von Funktionen beziehen und stets aus einer *Maßgröße* und einem (*Mess-*)*Wert* bestehen (vgl. CHANDRASEKARAN 1989, S. 76; ULRICH/EPPINGER 1995, S. 55). Die *Produkt-Spezifikation* ist die Summe der einzelnen Spezifikationen.

Die Erstellung einer Produktspezifikation ist ein entscheidender Teilprozess der Produktentwicklung, da hierdurch die Zielsetzung für das Entwicklungsteam definiert wird (vgl. REINERTSEN 1998, S. 175ff.): Zum einen stellen sie den *Input für den Entwicklungsprozess* dar, indem sie die kundenrelevanten Funktionen an das Team kommunizieren. Dabei hat es sich als hilfreich erwiesen, nicht alle Merkmale vollständig zu spezifizieren, sondern sich auf die Schlüsselmerkmale, welche die Kaufentscheidung der Kunden beeinflussen können sowie auf eine Leitbotschaft („value proposition“) als generelle Orientierung bzw. Priorisierung zu beschränken. Auf diese Weise werden eine

¹⁶² Zur begrifflichen Definition von Bedingungen („constraints“) und der Abgrenzung von Funktionen, welche eine ‚Bedingung für die Eigenschaften eines Produkts‘ darstellen, von den Spezifikationen, welche eine ‚Bedingung für die Funktionen‘ bedeuten, vgl. CHANDRASEKARAN 1989, S. 76f.

zu starke Beschränkung und damit Verkomplizierung der Entwicklungsaufgabe vermeiden und Freiräume für während der Entwicklung auftretende Kompromisse geschaffen, die beispielsweise für kostengünstigere Lösungen von wenig kundenrelevanten Funktionen genutzt werden können. Zum anderen dienen die Spezifikationen als Referenzwert für die Überprüfung von Entwicklungsergebnissen und damit als *Kontrollinstrument* bei der Beurteilung eines Entwicklungsprojekts.

Der Erarbeitung der konkreten Produktspezifikationen geht eine *Segmentierung* des Zielmarktes und der Zielkunden voraus, an welcher neben dem Marketing auch die Entwicklung und die Fertigung beteiligt sein sollten, da für ein produktorientiertes Kostenmanagement außer dem *Produktwert* (Marketing) ja auch die durch die Entwicklung und Fertigung entstehenden *Produktkosten* einbezogen werden müssen (vgl. REINERTSEN 1998, S. 166). In dynamischen Märkten und bei komplexen Produkten wie in der chemischen Industrie kann es sich weiterhin anbieten, statt einer vor Entwicklungsbeginn festgelegten ‚Frozen Requirement List‘ eine progressive Festschreibung der Spezifikationen auszuüben, um durch parallele Entwicklungs- und Spezifikationsaktivitäten die ‚Time to Market‘ zu verkürzen; kann es zu teurer Nacharbeit kommen, so ist der *Trade-Off* zwischen Entwicklungsgeschwindigkeit und Entwicklungsaufwand abzuschätzen (vgl. REINERTSEN 1998, S. 179f.). Das Erarbeiten der Spezifikationen kann sich dabei an folgendem Vorgehen orientieren (vgl. ULRICH/EPPINGER 1995, S. 57ff.):

- *Bestimmung der Maßgrößen:* Der Auswahl der Maßgrößen kommt als direkter und quantifizierbarer Übersetzung des Kundenwunsches große Bedeutung zu. Je exakter sie die Kundenanforderung beschreiben können, umso eher wird das Entwicklungsergebnis den Anforderungen entsprechen.
- *Vergleich mit Wettbewerbsinformationen:* Ob die im ersten Schritt geplanten Zielspezifikationen realistisch sind und sich das auf dieser Basis geplante Produkt im Wettbewerbsumfeld behaupten können wird, muss durch einen Benchmark mit den Spezifikationen von konkurrierenden Produkten verifiziert werden.
- *Definition der erlaubten Streuung:* Auf Grundlage der internen und externen Informationen muss die Spannweite der Spezifikationen, innerhalb derer die Zielwerte schwanken dürfen, festgelegt werden. Zu diesem Zweck werden die Mindestwerte sowie die maximal erreichbaren Werte der jeweiligen Spezifikationen definiert.
- *Plausibilisierung und Entscheidung:* Im letzten Schritt sollten in einer Teamsitzung die festgelegten Maßgrößen und Werte der Spezifikationen kritisch hinterfragt und bei positivem Befund anschließend verbindlich verabschiedet werden.

Maßnahme	Kostenkategorien der Funktionsbereiche	Arbeitsvorbereitungs- und Fertigungs-Gemeinkosten						Materiallager- und Logistik-Gemeinkosten		
	operativ-taktische Kostentreiber	Anzahl Fertigungsplanerstellungen	Anzahl Umrüstungen	Anzahl Rohstoffe	Anzahl Synthesestufen/Fertigungssteuerungen	Anzahl Qualitätskontrollen	Anzahl Ausschusschargen	Anzahl Eingangskontrollen	Anzahl Ein-/Auslagerungsvorgänge	Anzahl Verpackungen/Versendungen
Reduktion Spezifikationen	<i>Korrelation</i>	0	+	0	+	+	+	+	0	0

Abbildung 42: Korrelation von Kosten der Arbeitsvorbereitung, der Fertigung und der Logistik mit der Anzahl an Spezifikationen (vgl. Tabelle 7 im Anhang)

Die Bedeutung der Beschränkung der Anzahl an bzw. des Umfangs von Spezifikationen lässt sich anhand der Korrelation von Kosten, welche durch die Festlegung von Spezifikationen entstehen, belegen (Abbildung 42): Führen die Spezifikationen nicht zu aufwändigen Verfahrensanweisungen, so können z.B. durch weniger bzw. weniger aufwändige *Umrüstungen* und *Synthesen* Kostensenkungen erzielt werden. Besonders deutliche Effekte sollten sich auch in der *Qualitätskontrolle*, der *Anzahl an Ausschusschargen* sowie der *Anzahl an Rohstoffeingangskontrollen* niederschlagen. Daneben können z.B. auch die Kosten für Dokumentationen (Laborberichte) gesenkt werden (vgl. Tabelle 6). Dabei steigen die Kosten nicht nur mit dem Umfang der Spezifikationen, sondern auch mit deren Genauigkeit: Diese schränkt mögliche Toleranzschwankungen ein und erfordert präzisere Abläufe und schärfere Qualitätskontrollen.

In Abhängigkeit vom ausgewählten Lösungskonzept sollten die angestrebten Spezifikationen innerhalb der angestrebten Varianz erreicht werden. Werden die Mindestwerte herabgesetzt und damit die Spannbreite nach unten erweitert, so ist davon auszugehen, dass der oben beschriebene organisatorische Aufwand insbesondere in zeitlicher Hinsicht reduziert werden kann, da die Ziele nun weniger ehrgeizig gesteckt sind. Darüber hinaus kann sich die Auswahl an Lösungsalternativen erweitern, wenn die Mindestanforderungen an die Spezifikationen entsprechend weit gesenkt wurden, woraus sich durch Auswahl von vormals den Anforderungen nicht genügenden Konzepten durchaus neue Möglichkeiten bei der Kosteneinsparung ergeben können.

5.1.2 Kostentreiber: Produktkonzept

Der Einfluss des Produktkonzepts – im Sinne einer ‚prinzipiellen Lösung‘ für die gestellten Produkthanforderungen – auf die gesamten Produktkosten ist grundlegend und bedeutend (vgl. BURKHARDT 1994, S. 96). Es legt die wesentlichen Eigenschaften und

die hierfür notwendige Produktstruktur vorläufig fest (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 142).

Ausgangspunkt des Konzepts eines chemischen Produkts ist die ‚strukturelle Produktarchitektur‘. Diese beschreibt den Aufbau der verwendeten *Molekülstrukturklassen*, die zur Erfüllung der Produktfunktionen geeignet scheinen, ohne bereits die möglicherweise zum Einsatz kommenden Komponenten bzw. Substanzen zu definieren. *Abbildung 43* zeigt dabei einen Ausschnitt einer hierarchischen bzw. strukturellen Gliederung der strukturellen Produktarchitektur eines chemischen Produkts, welche bei der Ausarbeitung des Konzepts entsprechend in die Molekülstrukturklassen verfeinert werden muss. Aus ihrer Konkretisierung resultieren später das *Wirkprinzip* (*Abschnitt 5.1.2.1*) sowie der *Wirkungsgrad* (*Abschnitt 5.1.2.2*).

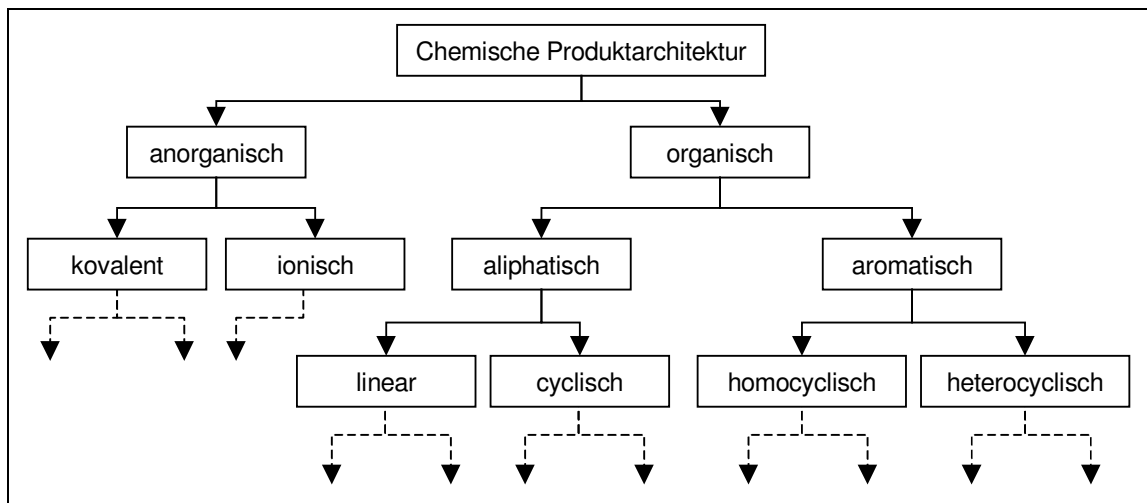


Abbildung 43: Ansätze für die Untergliederung der strukturellen Produktarchitektur eines chemischen Produktes

Als weitere Aspekte des Produktkonzeptes sind die *Modularität*, die *Variabilität* und die *Schnittstellen* zu nennen (vgl. REINERTSEN 1998, S. 146ff.). Die *Modularität* beschreibt die Möglichkeit, durch Einsatz von mehrfach verwendbaren Substanzen Kosten und Zeit in der Entwicklung und den nachfolgenden Funktionsbereichen einzusparen (vgl. *Abschnitt 5.2.1.1*). Die *Variabilität* des geplanten Produkts ist ein Maß für die Vorhersagbarkeit der notwendigen Entwicklungsaktivitäten und der Änderungen der Marktanforderungen¹⁶³: Je ausgeprägter die Variabilität, um so mehr ist der Entwicklungsprozess mit Unsicherheiten behaftet. Die *Schnittstellen* schließlich entstehen bei der Kombination von Subsystemen (z.B. in der Chemie durch Verknüpfung von Moleküleinheiten) und können bei unzureichender Definition bzw. Abstimmung schnell zur

¹⁶³ Um das Problem der Variabilität zu entschärfen, muss man die Variabilität vom Gesamtsystem entkoppeln: So kann man z.B. die Technologieentwicklung, deren zeitlicher Verlauf und Kosten schwerer zu prognostizieren sind, getrennt von den übrigen Entwicklungsaktivitäten durchführen, welche in der Regel leichter vorhersagbar und planbar sind (vgl. REINERTSEN 1998, S. 91).

Ursache von Problemen von Produkteigenschaften werden (z.B. wenn die Verknüpfungsstelle zwischen den Moleküleinheiten nicht die gleichen Umweltbedingungen toleriert, wie es für die Funktionalität des gesamten Produkts vonnöten ist, und es in der Folge zu chemischen Abspaltungen von Strukturbausteinen kommen kann). Die nachfolgend beschriebenen beiden Maßnahmen können die Kosten des Produktkonzeptes senken.

5.1.2.1 Maßnahme: Alternatives Wirkprinzip

Das ‚Wirkprinzip‘ beschreibt die *Wirkungsweise*, durch welche die Funktionen des geplanten Produkts erfüllt werden. Oftmals können in der Chemie die gestellten Anforderungen durch unterschiedliche Wirkprinzipien erreicht werden: Chemische Produkte können also *identische Funktionen* durch *unterschiedliche Wirkprinzipien* erfüllen. Beispielsweise können pharmakologische Wirkstoffe zur Schmerzbekämpfung (Analgetika) biochemisch unterschiedliche Wirkungsweisen aufweisen. So sind *Acetylsalicylsäure* (Aspirin[®]) und *Paracetamol* zwei vergleichbare Wirkstoffe gegen Kopfschmerz, welche eine unterschiedliche chemische Struktur aufweisen und die Schmerzlinderung durch unterschiedliche biochemische Wirkungsmechanismen erzielen: Acetylsalicylsäure vermindert durch die Hemmung der *Cyclooxygenasen*¹⁶⁴ (besonders ‚Typ 2‘) die Prostaglandinebildung¹⁶⁵, während bei Paracetamol nicht ein enzymbasierter Mechanismus, sondern eine zentrale antinozizeptorische Wirkung auf das zentrale Nervensystem vermutet wird.¹⁶⁶

Aufgrund der unterschiedlichen Struktur verursacht jede Substanz u.a. unterschiedliche Entwicklungs-, Fertigungs- oder Logistikkosten. Auch die Bereiche Controlling, allgemeine Verwaltung und Vertrieb sind davon betroffen (*Abbildung 44*): Da *Acetylsalicylsäure* aus anderen Ausgangssubstanzen über andere Synthesewege als *Paracetamol* synthetisiert wird, kann es z.B. zu unterschiedlichen Aufwendungen bei der Kalkulation, bei der Schulung für und Beratung durch den Außendienst und die Serviceeinheiten oder zu notwendigen Neuanschaffungen im IT-Bereich durch veränderte Abläufe und Anforderungen kommen. Durch die Erarbeitung und Auswahl des für ein Produkt eingesetzten Wirkprinzips haben die Entwickler folglich maßgeblich Einfluss auf die

¹⁶⁴ Cyclooxygenasen sind Enzyme, welche zur Bildung von Prostaglandinen notwendig sind und eine Schlüsselrolle bei der Entstehung von Schmerzen spielen.

¹⁶⁵ Prostaglandine sind verantwortlich für die Empfindlichkeit von Schmerzrezeptoren. Sinkt die Prostaglandin-Konzentration infolge eines Mangels an Cyclooxygenasen, ist das Schmerzempfinden verringert.

¹⁶⁶ Aktuelle Forschungen haben eine bisher unbekannt, dritte Variante von Cyclooxygenasen „COX-3“ identifiziert, zu der Paracetamol – im Gegensatz zu den beiden anderen Formen „COX-1“ und „COX-2“ – eine hohe Affinität aufweist. Die Inhibierung dieses Isozyms könnte daher ebenfalls ein Hauptmechanismus für die analgetische Wirkungsweise von Paracetamol sein (vgl. HOHMANN, 2002, S. 32). Dies bedeutet aber nicht gleichzeitig, dass es sich um den gleichen Wirkungsmechanismus handelt.

Produktkosten.¹⁶⁷ Dabei können chemische Produkte neben *chemischen* und *biologischen* auch *physikalische Wirkmechanismen* aufweisen.

Maßnahme	Kostenkategorien der Funktionsbereiche	Einkauf-Gemeinkosten					Controlling-, Verwaltungs- und Vertriebs-Gemeinkosten						
	operativ-taktische Kostentreiber	Anzahl Angebote/Verhandlungen	Anzahl Bestellvorgänge	Anzahl Warenverfolgungen	Anzahl Rechnungskontrollen	Umfang Mindermengenzuschläge	Anzahl Produktkalkulationen	Anzahl Kostenberatungen	Anzahl Stammdaten	Anzahl Fachberatungen	Anzahl Produktschulungen	Anzahl Serviceleistungen (z. B. Reklamationsbearbeitung)	Umfang Investitionen (z. B. EDV)
Alternatives Wirkprinzip	Korrelation	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Abbildung 44: Korrelation von Kosten der allgemeinen Verwaltung und des Vertriebs mit dem verwendeten Wirkprinzip (vgl. Tabelle 8 im Anhang)

5.1.2.2 Maßnahme: Erhöhung des Wirkungsgrads

Der Wirkungsgrad beschreibt das Verhältnis von *Nutzleistung* zur *aufgewendeten Leistung* (vgl. BÜRCEL ET AL. 1996, S. 36). Bezogen auf das im vorangegangenen *Abschnitt 5.1.2.1* angeführte Beispiel von pharmakologischen Wirkstoffen könnte als *Nutzleistung* hier die bei einer bestimmten Substanzkonzentration messbare Funktionserfüllung dienen. Eine noch bessere Beurteilung ist anhand der für eine Funktionserfüllung notwendigen Kosten möglich: So könnten zwar die Lebenszykluskosten für eine Gewichtseinheit eines reinen Wirkstoffes A unter denjenigen eines reinen Wirkstoffes B liegen; trotzdem könnte die biologische Aktivität von B höher als die von A sein und daher schon bei niedrigeren Wirkstoffkonzentrationen die gleichen pharmakologischen Ergebnisse erzielen, was die auf die Nutzleistung bezogenen Kosten von B unter diejenigen von A sinken lassen würde. Wenn es also den Entwicklern gelingt, bei gleichen Kosten den Wirkungsgrad der Funktionserfüllung zu erhöhen, so können sie dadurch signifikant zur Kostensenkung beitragen.

Neben der Verbesserung des Wirkungsgrads durch die Wahl eines alternativen Wirkprinzips besteht weiterhin die Möglichkeit, durch Verbesserungen einer ausgewählten Substanz ebenfalls zu einer Erhöhung des Wirkungsgrads zu gelangen. Dies kann bei pharmakologischen Wirkstoffen beispielsweise durch eine räumliche Optimierung der Molekülstruktur erreicht werden, welche die Effizienz der Wirkungsweise erhöht (z.B. Verbesserung der ‚Passgenauigkeit‘ im Falle eines ‚Schlüssel-Schloss-Prinzips‘). Wer-

¹⁶⁷ Die naturwissenschaftlichen Rahmenbedingungen sind aber dafür verantwortlich, dass diese Maßnahme den Kostentreiber nur bedingt beeinflussen kann.

den dadurch die Syntheseverfahren modifiziert oder gegebenenfalls zusätzliche Ausgangssubstanzen verwendet, so kann dies die Kosten für die *Erstellung des Fertigungsplans*, für den *innerbetrieblichen Transport* bei der Materialbereitstellung oder auch die Materialkosten und die Investitionskosten in Anlagegegenstände beeinflussen (Abbildung 45).

Maßnahme	Kostenkategorien der Funktionsbereiche	Arbeitsvorbereitungs- und Fertigungs-Gemeinkosten						Materiallager- und Logistik-Gemeinkosten		
	operativ-taktische Kostentreiber	Anzahl Fertigungsplanerstellungen	Anzahl Umrüstungen	Anzahl Rohstoffe	Anzahl Synthesestufen/Fertigungssteuerungen	Anzahl Qualitätskontrollen	Anzahl Ausschusschargen	Anzahl Eingangskontrollen	Anzahl Ein-/Auslagerungsvorgänge	Anzahl Verpackungen/Versendungen
Erhöhung Wirkungsgrad	Korrelation	+	+	+	+	+	+	+	+	0

Abbildung 45: Korrelation von Kosten der Fertigung mit der Erhöhung des Wirkungsgrades (vgl. Tabelle 7 im Anhang)

5.1.3 Kostentreiber: Externe Produktvielfalt

Im Wettbewerb um die Kundenaufträge bietet die *Differenzierungsstrategie* den Unternehmen die Möglichkeit, durch Individualisierung der Produkte Wettbewerbsvorteile aufzubauen (vgl. PORTER 1992, S. 65f.). Gerade in Verbindung mit stagnierenden oder sinkenden Umsätzen mag es für Unternehmen opportun erscheinen, auf die veränderten Kundenbedürfnisse mit einer Ausweitung des Sortiments und der zugehörigen Dienstleistungen zu reagieren. Dieses Verhalten konnte u.a. in der Automobilindustrie beobachtet werden (vgl. EVERSHEIM ET AL. 1988, S. 45f.): In den Jahren 1970 – 1985 nahm dort die „Wiederholhäufigkeit“¹⁶⁸ von Varianten um mehr als 2/3 ab, d.h. es wurden trotz nur mäßiger Steigerung der Pkw-Stückzahlen zahlreiche neue Varianten in das Sortiment aufgenommen.¹⁶⁹ Weiterhin stieg in der Automobilindustrie – auch dies ein Hinweis auf die zunehmende Variantenvielfalt – im Zeitraum zwischen 1975 und 1990 die Anzahl an Teilenummern um 400% an (vgl. LEHMANN/KÜMPER 1992, S. 143).

¹⁶⁸ Die Wiederholhäufigkeit gibt das Verhältnis von produzierter Stückzahl zu Variantenzahl an.

¹⁶⁹ Unter dem Begriff *Varianten* sollen hier allgemein Produkte ähnlicher Gestalt und/oder Funktion verstanden werden. Da sie für verschiedene Anwendungen entworfen wurden, werden sie mit unterschiedlicher Häufigkeit nachgefragt und deshalb meist auch nicht kontinuierlich produziert (vgl. EVERSHEIM ET AL. 1988, S. 47).

Dabei wird i.A. durch die zuständigen Entscheider unterstellt, dass die erhöhte Anpassung an Kundenwünsche oder Länderspezifika neben einem Umsatzwachstum auch ein entsprechendes Ertragswachstum generiert.

Durch den Begriff ‚externe Produktvielfalt‘ sollen diejenigen Produktvarianten beschrieben werden, welche mit dem Ziel eines aus Kundensicht wahrnehmbaren Nutzens entwickelt worden sind. Zusammen mit den bereits genannten, vertriebsgetriebenen Differenzierungsbemühungen aufgrund von diversifizierenden Anwendungen und Märkten können weiterhin auch nachstehende Ursachen für die Entstehung von Varianten angeführt werden (vgl. FRANKE 1998, S. 2; EVERSHEIM ET AL. 1988, S. 46):

- *Neue Anwendungen*: Durch den technischen Fortschritt kann eine Veränderung bzw. Anpassung der bisherigen Produkte zu neuen Anwendungen geeignet sein.
- *Mangelnde Abstimmung zwischen Vertrieb und F&E*: Statt schon im Entwicklungsstadium gemeinsam Einfluss auf die Variantenvielfalt zu nehmen, kann es z.B. zum unabgestimmten Austausch von Produktkomponenten kommen.
- *Verschiedene Lieferanten*: Der Bezug von gleichen Produktkomponenten von unterschiedlichen Lieferanten kann zu mehr Varianten als technisch notwendig führen.
- *Zunehmendes Produktalter*: Je länger Produkte vertrieben werden, umso größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Produkte den aktuellen Anforderungen angepasst werden müssen. Bleiben neben den Anpassungsvarianten die Vorgängerprodukte noch bestehen (z.B. für Exportmärkte mit niedrigeren Anforderungen), so erhöht dies die Produktvielfalt.
- *Mangelnder Kostenausweis*: Defizite bei der Information über Kosten, welche durch Varianten entstehen, können deren Entstehung begünstigen.

Auch wenn Produktvielfalt teilweise – besonders durch die Praxis – durchaus positiv gewürdigt wird (vgl. BOHNE 1998, S. 17), hat sich gezeigt, dass im Zeitverlauf die Anzahl der *kaufenden* Kunden nur unterproportional mit der gleichzeitig – infolge der zusätzlichen Kombinations- und Wahlmöglichkeiten – steigenden Anzahl an *existierenden* und *potentiellen* Kunden zunimmt (vgl. WILDEMANN 1998, S. 49). In der Folge verringert sich sowohl die Anzahl der Kunden als auch der Umsatz je angebotener Produktvariante. Erfolgreiche Unternehmen versuchen daher, nicht irgendwelche oder möglichst viele Verbesserungen ihres Produktsortiments anzubieten, sondern konzentrieren sich auf Verbesserungen, welche in der Wahrnehmung des Kunden eine *Nutzenschwelle* überschreitet (vgl. ROMMEL 1993, S. 143).

Auch in der chemischen Industrie ist die Versuchung, auf den zunehmenden Wettbewerbsdruck mit dem historisch lange Zeit erfolgreichen Handlungsmuster ‚Preisstabilisierung durch Produktdifferenzierung‘ zu antworten groß, hat aber gerade im Veredelungsbereich chemischer Produktklassen die Abstimmung zwischen dem durch Pro-

duktdifferenzierung erzielbaren höheren Kundennutzen und den durch die Komplexitätserhöhung bedingten Mehrkosten erschwert und nicht selten zuungunsten letzterer verschoben. Die Differenzierungsstrategie müsste statt dessen die Folgewirkung der Produktindividualisierung und damit die Kostensituation der Unternehmen miteinbeziehen und in der Kostenrechnung abbilden: Die „kostenrechnerische Konsequenz des Vielfaltphänomens ist der Anfall von Komplexitätskosten“ (MÄNNEL 1994, S. 382f.; vgl. *Abschnitt 4.3.3*). Die auf den Komplexitätstreiber ‚Variantenvielfalt‘ zurückzuführende Kostenerhöhung lässt sich dabei vornehmlich auf zwei Ursachen zurückführen (vgl. ADAM/JOHANNWILLE 1998, S 13; *Abbildung 46*):

- Jedes Produkt bzw. jede Variante verursacht produktproportionale bzw. *variantenproportionale Komplexitätskosten*, welche die von einem Produkt bzw. einer Variante über alle Wertschöpfungsstufen der Infrastruktur ausgelösten Kosten umfassen (ROEVER 1991b, S. 255). Da sie unabhängig vom produzierten Volumen sind, verhalten sie sich bezogen auf die Variante weitgehend „auflagefix“ und beinhalten z.B. die Kosten für die Entwicklung oder anwendungstechnische Weiterentwicklung, für die Auswahl von Lieferanten und Lieferbedingungen durch die Einkaufsabteilung, für die Dokumentation in Stücklisten, Arbeitsvorschriften, Preislisten und Verkaufsunterlagen oder für die Produktkalkulation durch die Kostenrechnung (vgl. SCHULZ 1994, S. 131). Sie gehören damit in die Kategorie der ‚direkten Komplexitätskosten‘. In der *chemischen Industrie* und anderen *prozessorientierten Branchen* fallen die produktproportionalen Kosten besonders als laufende Kosten in der Infrastruktur an, beispielsweise beim „anwendungstechnischen Kundendienst“, in der Qualitätssicherung, dem Umweltschutz oder den Werkstätten (vgl. ROEVER 1991b, S. 256). Auch im immer kostenintensiveren Entsorgungszyklus sollten die variantenproportionalen Kosten in der chemischen Industrie von besonderer Bedeutung sein (z.B. durch Aufbau einer speziellen Entsorgungsanlage; vgl. PFEIFFER ET AL. 1992, S. 862).
- Die durch die Komplexität entstehenden Engpässe (‚indirekte Komplexitätskosten, vgl. *Abschnitt 4.3.3*) führen zu *Opportunitätskosten*, welche einen überproportionalen Kostenverlauf aufweisen. Die Engpässe können dabei sowohl in den dispositiven Bereichen (ineffizientes Management durch zunehmenden Koordinationsaufwand, unzureichende Neuproduktentwicklung aufgrund hoher Ressourcenbindung durch Pflege vorhandener Varianten) als auch in der Fertigung (erhöhte Rüstzeiten, zunehmende Stillstandszeiten) auftreten. Letztere können kapitalintensive Investitionen in flexible Fertigungssysteme nach sich ziehen, die bei geringerer Vielfalt unnötig wären, nach Anschaffung aber meist alle Produkte mit hohen Fixkosten belasten.

Der hier beschriebene Sachverhalt, bei dem ab einer kritischen Variantenzahl (Vielfalt) der Gewinn bei steigender Komplexität sinkt, wurde bereits als „Komplexitätsfalle“ bezeichnet (*Abschnitt 4.3.1*). Die in diesem Zusammenhang genannten Opportunitätskosten können durchaus die produktproportionalen Kosten übersteigen und dadurch den

optimalen Komplexitätsgrad, im Vergleich zur Situation ohne Opportunitätskosten, hin zu kleineren Variantenzahlen verschieben (visualisiert durch die Pfeile in *Abbildung 46*). Trotz grundsätzlicher Skaleneffekte durch zunehmende Produktionsauslastung kommt es also ab einer gewissen Anzahl an Varianten zu „Diseconomies of (large) Scale“, da die vielfaltinduzierten Deckungsbeiträge mit steigender Variantenzahl lediglich degressiv ansteigen, wohingegen die Komplexitätskosten der Variantenvielfalt langfristig progressiv zunehmen (vgl. BOHNE 1998, S. 18; KLUGE 1994, S. 42). Mit erhöhter Variantenzahl kommt es daher nicht nur zu einem Anstieg der Gesamtkosten, sondern in der Regel auch zu *steigenden Stückkosten*. Steigende Gesamtkosten bei gleichzeitig sinkendem Volumen der Aufträge aufgrund der stärkeren Produktdifferenzierung können dann zu überproportionalen Steigerungsraten der Durchschnittskosten führen („umgekehrte Erfahrungskurve“).

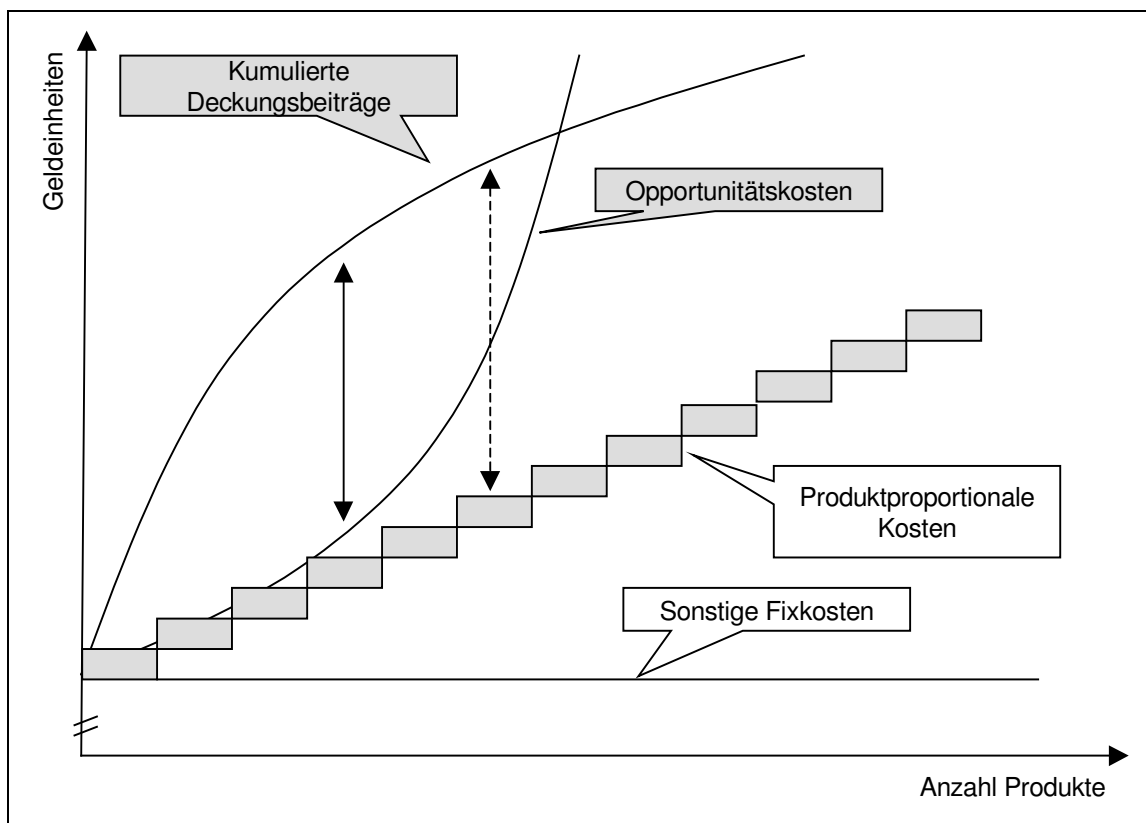


Abbildung 46: Kostenwirkung der Variantenvielfalt (in Anlehnung an ADAM/JOHANNWILLE 1998b, S. 13 und ROEVER 1991b, S. 256)

Die Kostenwirkung der beiden beschriebenen Effekte sind für die Chemieindustrie bisher nicht untersucht worden; für andere Branchen (vornehmlich Maschinenbau) werden in der Literatur uneinheitliche Werte genannt, meist ohne dass auf die Arten der Kosten oder Varianten detaillierter eingegangen wird. So gibt beispielsweise WILDEMANN die Kostensteigerung bei einer Verdoppelung der Variantenzahl generell mit 20-30% an (vgl. 1998, S. 49; SCHUH 1988, S. 10). Nach ROEVER wachsen branchenabhängig zwischen 20% und 50% der Gemeinkosten um einen bestimmten Betrag,

wann immer eine neue Variante hinzukommt (1991b, S. 255). Auch SCHULZ sieht eine Proportionalität von 20% bis 50% der Gemeinkosten mit der (Varianten-)Vielfalt (1994, S. 131) und schätzt wie EVERSHEIM/KÜMPER (1993, S. 235) einen Anteil von 15% bis 20% an den *Gesamtkosten* durch die Variantenvielfalt verursacht; davon sollten 20% in den *direkten* und ca. 40% in den *indirekten Bereichen* anfallen (vgl. EVERSHEIM ET AL. 1998, S. 31). ROMMEL führt bis zu 20% der Gesamtkosten auf die Sortimentskomplexität zurück (1993, S. 24). EHRENSPIEL ET AL. gehen ebenfalls von Variantenkosten von 15% bis 20% aus (2000, S. 268), beziehen diesen Anteil jedoch nicht auf die Gesamtkosten, sondern auf die *Herstellkosten* einschließlich der Kosten für die Forschung und Entwicklung (aber ohne Verwaltungs- und Vertriebsgemeinkosten und Sondereinzelkosten des Vertriebs).¹⁷⁰ Das Potential an diesen gesamten Variantenkosten, welches durch die Produktentwicklung beeinflusst werden kann, schätzt er wiederum auf 15% bis 25%. Trotz unterschiedlicher Produktstrukturen können auch für die chemische Industrie ähnliche Kostenrelationen vermutet werden, da deren industrielle Fertigung und die zugehörigen Prozesse prinzipiell vergleichbar erscheinen.

Ob der erhöhte Aufwand durch höhere Erträge gerechtfertigt ist, hängt vom Einzelfall ab. Manche empirischen Untersuchungen belegen zwar einen positiven Zusammenhang zwischen einer Erhöhung der Produktvielfalt und einer Steigerung des Umsatzes (vgl. GINGRICH/METZ 1990, S. 64). Doch erscheint zweifelhaft, ob damit auch eine Verbesserung der Ertrags- bzw. Kostensituation einhergeht, obwohl die Praxis vermutlich teilweise unterstellt, dass die Gemeinkosten trotz einer Produktdifferenzierung konstant bleiben und somit bei erhöhten Produktions- bzw. Absatzmengen eine Fixkostendegression für einen Ertragszuwachs sorgt. Empirische Untersuchungen im Maschinenbau weisen aber eher darauf hin, dass gerade diejenigen Unternehmen, die in Relation zu ihren Konkurrenten nur eine *geringe Zahl an Varianten* anbieten, zu den *rentabelsten* Unternehmen ihrer Branche gehören (vgl. ROMMEL 1993, S. 128f.; PRILLMANN 1996, S. 203). In der *chemischen Industrie* wurden derartige Zusammenhänge ebenfalls beobachtet: So konnte ein Unternehmen im Bereich Feinchemikalien durch eine Sortimentsbereinigung um 80% schon im Folgejahr eine deutliche Zunahme des Marktanteils sowie der Umsatzrendite um 15% feststellen (vgl. ROEVER 1991b, S. 264).

Die Verringerung der Variantenvielfalt wird meist als Aufgabe der Vertriebsabteilungen gesehen, welche durch die Streichung von Artikeln eine Straffung des Produktprogramms herbeiführen können. Handelt es sich – wie in der chemischen Industrie – um technisch aufwendigere Produkte, so existiert in der Regel auch ein mehr oder weniger intensiver Dialog zwischen den Entwicklungsabteilungen und den Kunden, welche z.B. die chemischen Produkte meist als Vorstufen in ihren Produkten verwenden (*Business to Business*). Die Entwickler in der chemischen Industrie haben daher häufig einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss, wenn es um das ‚Maßschneidern‘ oder die Anpassung von kundenindividuellen Produkten geht. Daher können sie an der Reduktion

¹⁷⁰ Dort findet sich auch ein Beispiel für mögliche Varianten anhand einer Instrumententafel eines PKW (EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 267).

von Varianten mitwirken, indem sie beispielsweise zusammen mit den Kunden Produkte mit integrierten Funktionen entwickeln, welche zuvor auf verschiedene Varianten verteilt waren (z.B. Waschmittel für weiße *und* farbige Wäsche). Auch wenn die Entscheidung über die Aufnahme oder Streichung einer Variante in der Regel der Vertriebs- und Marketingabteilung obliegt, ist eine enge Konsultation der Produktentwickler üblich, da nur von ihnen die Leistungsfähigkeit und Ersetzbarkeit von Funktionen und Komponenten beurteilt werden kann (die Variantenbildung und damit die Zahl an möglichen Kombinationen der Funktionen und Komponenten unterliegen gewissen *Beschränkungen*, welche durch die spezifischen Eigenschaften der beteiligten Atome wie Reaktivität oder räumliche Struktur einerseits und die möglichen Reaktionsbedingungen wie Temperatur oder Druck andererseits vorgegeben werden; vgl. hierzu den entsprechenden „Exkurs“ in *Abschnitt 4.6.3*).

In der Chemie lassen sich prinzipiell zwei unterschiedliche Formen der Variantenbildung unterscheiden: *Differenzierung* durch *physikalische* und durch *chemische* Verfahren. Verhältnismäßig einfach ist die Variantenbildung dann, wenn die geforderten Eigenschaften durch *physikalische* Variationen beeinflussbar sind (z.B. wenn ein zähfließenderes Produkt durch physikalischen Entzug von Lösemittel, z.B. Destillation, erhalten werden kann oder durch ein anderes Mischungsverhältnis bei der Zubereitung von speziellen Kunststoffen ein Material mit anderen Eigenschaften erzeugt wird). Bei physikalisch vorgenommenen Differenzierungen ist der Übergang von einer Merkmalsausprägung zur nächsten in aller Regel fließend bzw. innerhalb gewisser Bandbreiten kontinuierlich. Auf *chemischem* Weg lassen sich Produkteigenschaften variieren, indem die Struktur (und dadurch ebenfalls die Eigenschaften) der Endprodukte bzw. ihre Synthese verändert wird. Hierzu müssen entweder unterschiedliche Ausgangssubstanzen oder modifizierte Reaktionsbedingungen gewählt werden. Der folgende *Abschnitt 5.1.3.1* führt die Möglichkeiten zur Verringerung der Variantenvielfalt in der Chemie aus.

5.1.3.1 Maßnahme: Reduktion der Varianten

Am Anfang eines Abbaus der Variantenzahl steht eine Analyse der Variantenvielfalt, welche die kostenoptimale Anzahl an Varianten ermitteln soll.¹⁷¹ Erste Hinweise kann eine einfache ABC-Analyse des Sortiments nach Artikelzahl und Umsatz geben; das resultierende Verhältnis von vorgehaltenen und nachgefragten Varianten ermöglicht zumindest Plausibilitätsrückschlüsse auf die Profitabilität von Varianten. Nicht selten

¹⁷¹ In der Literatur sind zahlreiche Vorschläge zur Variantenkostenerfassung gemacht worden, welche vom einfach durchzuführenden Durchschnittskostenverfahren bis zur Prozesskostenrechnung reichen (vgl. BOHNE 1998, S. 20). PFEIFFER ET AL. beispielsweise schlägt zur Ermittlung der optimalen Variantenzahl ein Verfahren mit drei Verfeinerungsstufen vor, welches die Kosten jeder Variante verursachungsgerecht für den gesamten Lebenszyklus zu ermitteln sucht und in Form einer Variantenrechnung zur Entscheidungsfindung bereitstellt (1992, S. 861ff.).

erhält man als Ergebnis, dass über 80% des Umsatzes mit weniger als 20% der Artikel getätigt wird, was durch Erfahrungswerte in der Chemie bestätigt werden konnte.

Genauere Informationen lassen sich durch eine prozesskostenorientierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erhalten: Die zusätzlichen Kosten einer oder mehrerer Varianten müssen durch zusätzliche Deckungsbeiträge überkompensiert werden.¹⁷² Neben einer prozessbezogenen Wirtschaftlichkeitsuntersuchung, die sich vornehmlich auf die Zahlen des *internen Rechnungswesens* stützen wird, können weiterhin produkt- oder prozessbezogene *Benchmarks* mit Wettbewerbern hilfreich sein. Vorgeschlagen werden systematische Vergleiche von Kennzahlen wie Umsatz- oder Kapitalrenditen oder von Gemeinkosten-Kennzahlen, um Hinweise auf die unterschiedlichen Komplexitätsgrade der betrachteten Unternehmen zu erhalten, welche dann einzelfallspezifisch auf die Variantenvielfalt zurückgeführt werden können (vgl. SCHULZ 1994, S. 135; HORVÁTH/GLEICH 1998, S. 176ff.); konkrete Zusammenhänge dürften aber insbesondere bei globalen Kennzahlen wie Umsatz- und Kapitalrenditen schwierig zu ermitteln sein.

Ergibt die Untersuchung, dass eine Variante nicht den geforderten Deckungsbeitrag erzielt, so verbleiben prinzipiell nur zwei Möglichkeiten (vgl. SCHIMANK 1993, S. 199):

- Entweder wird der *Deckungsbeitrag* durch Preiserhöhung, Rabatt- und Konditionen-senkung oder Kostensenkung bei Produkt oder Kunden *erhöht*, oder
- die Variante muss *gestrichen* und auf *Ersatzprodukte* ausgewichen werden, welche möglichst viele Funktionen der ehemaligen Variante beinhalten; der Wegfall der Erlöse ist möglichen Kosteneinsparungen gegenüberzustellen.

Die *Streichung* von Varianten führt zu Einspareffekten, die sich durch einen Abbau der Strukturkosten ausdrücken, welche zur Aufrechterhaltung der nicht optimalen Variantenvielfalt bisher vorgehalten wurden. Eine anschließende Anpassung der Kapazitäten sollte weitere Kostensenkungen nach sich ziehen. Selbst wenn aber beim Abbau der Variantenvielfalt keine Strukturen abgebaut werden können, so können trotzdem durch den Abbau von Managementengpässen – sofern diese existierten – Erlössteigerungs- respektive Kostensenkungspotentiale erschlossen werden (vgl. PFEIFFER ET AL. 1993, S. 863). Produktbezogene Möglichkeiten können weiterhin beispielsweise durch *Normung*, *Standardisierung* und *Integration* von vormalis auf mehrere Varianten verteilten Funktionen und Komponenten eine Angleichung zwischen den verschiedenen Varianten herbeiführen.

¹⁷² Dabei ist die möglichst beanspruchungsproportionale Kostenzuordnung der Schlüssel zu einer erfolgreichen Variantenbeurteilung.

Maßnahme	Kostenkategorien der Funktionsbereiche	F&E-Gemeinkosten								F&E-Einzelkosten
	operativ-taktische Kostentreiber	Anzahl Analysen Produktanforderungen (Lasten-, Pflichtenheft)	Anzahl an Produktkonzepten (Workshops, Literaturrecherchen)	Anzahl Funktionen und Komponenten/ Produkt	Anzahl Synthesestufen/ Produkt	Anzahl Versuchsansätze	Anzahl Qualitätskontrollen	Anzahl Dokumentationen	Anzahl verwalteter Rezepturen	Höhe Materialkosten
Reduktion Varianten	Korrelation	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Abbildung 47: Korrelation von Kosten in der Forschung und Entwicklung mit der Variantenvielfalt (vgl. Tabelle 6 im Anhang)

Eine Analyse des durch Varianten chemischer Produkte zusätzlich verursachten Aufwands in der Forschungs- und Entwicklungsabteilung zeigt deutlich, dass die Prozesse in diesem Bereich durchgehend betroffen sind (Abbildung 47). Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Untersuchung der Bereiche Fertigung, Lager, Einkauf, Verwaltung und Vertrieb: Die Variantenvielfalt betrifft mehr als alle anderen hier aufgeführten Kostentreiber *alle* Bereiche und die meisten Prozesse des Wertschöpfungsprozesses in der chemischen Industrie, was ihre Bedeutung für die Kosten unterstreicht (vgl. Abschnitt 9.1).¹⁷³

ROEVER beschreibt anhand des Beispiels einer Sortimentserweiterung von einfach formulierten Chemikalien wie Reinigungsmitteln oder Anstrichfarben die dadurch entstandenen erheblichen *Einmal-* und *Betriebskosten* sowie die *Opportunitätskosten* (1992, S. 102). Selbst wenn sich das Produkt nur durch einen Zusatzstoff und eine Spezialverpackung unterscheidet, entstehen u.a. Kosten für die Suche nach dem Lieferanten des Zusatzstoffes und der Verpackung, die laufenden Bestellvorgänge im Einkauf, die Sicherstellung und Durchführung der Rohstofflagerung oder die Verwaltung der Rezepturen und Spezifikationen. Er kommt zu dem Ergebnis, dass je nach den spezifischen Geschäften sich wenigstens 20% der Infrastrukturkosten proportional zur Breite der Sortimente, deren Verfügbarkeit sie sicherstellen sollen, verhalten (ROEVER 1992, S. 103). Hinzu kommen die bereits erwähnten Opportunitätskosten z.B. aufgrund von kurz- bis mittelfristigen Engpässen in Forschung und Entwicklung (nicht vermehrbare kreative Talente, Belegung von Analytik-Instrumenten), eingebüßten Fertigungskapazitäten (zusätzliche Rüstvorgänge) oder hoher Beanspruchung im Kunden- und

¹⁷³ Werden die Varianten durch die gleichen Ausgangsstoffe, aber unter Variation z.B. der Struktur des Endproduktes (die z.B. durch die Wahl unterschiedlicher Reaktionsbedingungen beeinflusst werden könnte) gewonnen, so sind Teile der variantenproportionalen Kosten, beispielsweise die Kosten der Einkaufsabteilung, nicht mehr komplexitätswirksam.

Außendienst, der aufgrund der Sortimentsbreite die Kernprodukte nicht mehr mit der gleichen Intensität betreuen kann.

Generell sollte eine Beeinflussung der Variantenvielfalt stets bei den Ursachen, d.h. der Produktgestaltung, und nicht bei den Symptomen der produktionsseitigen (z.B. durch Installation flexibler Fertigungssysteme bis hin zur Losgröße „eins“) und anderweitiger Engpässe ansetzen (vgl. LEHMANN/KÜMPER 1992, S. 144). Die Rolle der Produktentwicklung umfasst daher neben der technischen Ausführung auch eine *beratende Funktion* im Hinblick auf das Potential zur Variantenreduzierung durch Vermeidung und Integration von Funktionen in schon vorhandene Produkte.

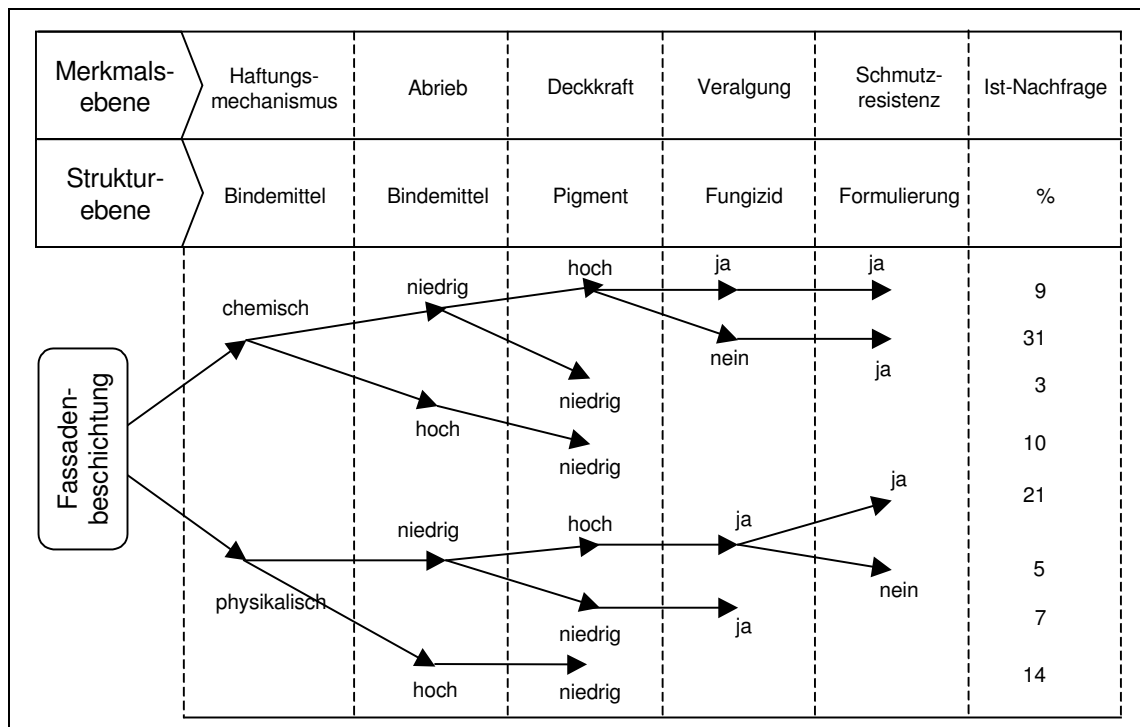


Abbildung 48: Variantenbaum einer chemischen Außenbeschichtung für Baustoffe (in Anlehnung an BEHR 1998, S. 39)

Ein für die Automobilindustrie entwickeltes, anschauliches Hilfsmittel bei der Erfassung und Systematisierung der Variantenvielfalt stellt der ‚Variantenbaum‘ dar, der in individuell gewünschter Genauigkeit zur Systematisierung von Produktmerkmalen dienen kann (vgl. SCHUH 1988, S. 45ff.; EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 271; *Abbildung 48*). An den Stellen, an denen sich seine Äste gabeln, findet eine Ausdifferenzierung des Produkts statt. Auf diese Weise können beispielsweise Variantenteile ermittelt werden, deren Standardisierung unmittelbar die Variantenzahl bzw. die Zahl verwendeter Strukturbausteine reduzieren kann. Optisch lässt sich die Variantenreduzierung an einem im Vergleich zum Ausgangszustand schmaleren Variantenbaum erkennen. Dies lässt sich an dem hier gewählten Beispiel aus der Chemie, das die Unterstützung der Entwickler bei der Begrenzung der Variantenvielfalt verdeutlichen soll, leicht nachvollziehen. An die so vorgenommene Variantenanalyse schließt sich gegebenenfalls eine

variantenorientierte Produktentwicklung an, welche den Variantenbaum bis zum vollständigen Produkt so eng wie möglich zu halten sucht (EVERSHEIM ET AL. 1992, S. 47ff.).¹⁷⁴

¹⁷⁴ Der Variantenbaum ist in diesem Sinne auch visuell unterstützender Bestandteil der für eine variantenorientierte Entwicklung und Produktion entworfenen "Variante Mode and Effets Analysis" (VMEA; EVERSHEIM ET AL. 1992, S. 47ff.; EVERSHEIM/KÜMPER 1993, S. 235ff.). Diese für den Maschinenbau entwickelte Methode soll die von einer Variante induzierten Ressourcenverbräuche möglichst verursachungsgerecht ermitteln, um die notwendigen Informationen zur Entscheidungsunterstützung bei der Produktgestaltung bereitzustellen.

5.2 Einflussgröße kostengünstige Produktgestaltung

Neben der Entwicklung von kundengerechten Produkten, welche die Anforderungen des Marktes erfüllen, spielt die kostengünstige Gestaltung von Produkten eine bedeutende Rolle bei der Kostensenkung durch die Entwickler. Generell wird unter einer *kostengünstigen Produktgestaltung* der Aspekt der Entwicklung von Produkten verstanden, der aus interner Sicht sicherstellt, dass ihre Herstellung, ihr Vertrieb und damit ihre Selbstkosten das Niveau der Zielkosten nicht überschreiten (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 20). Andernfalls kommt es durch „defizitär gestaltete Produkte, deren Standardisierungsgrad, Mehrfachverwendungsgrad und Normteilquote nicht optimiert ist“, zur Beanspruchung zusätzlicher Aktivitäten, „für die der Kunde nicht zu zahlen bereit ist“ und welche das Kostenniveau unzulässig erhöhen (WILDEMANN 1998, S. 51).¹⁷⁵

Durch die kostengünstige Produktgestaltung sollen also *Kostensenkungen ohne Einbußen des Kundennutzens* erzielt werden, indem die ‚chemische Produktarchitektur‘ und die Herstellungsprozesse optimiert werden, welche aus Kundensicht in der Regel weder erkennbar noch von Bedeutung sein sollten. Aus diesem Grund ergeben sich bei der kostengünstigen Produktgestaltung auch weniger Einschränkungen hinsichtlich ihrer Beeinflussbarkeit durch die Produktentwickler als bei der kundengerechten Produktentwicklung (vgl. *Abschnitt 4.6.2*).

Zum besseren Verständnis der nachfolgenden Abschnitte sei an dieser Stelle noch kurz auf die Eigenarten von chemischen Produktionsprozessen eingegangen, welche zwar den Grundprinzipien industrieller Fertigung gehorchen, sich gleichzeitig aber deutlich von den Fertigungsverfahren anderer Branchen unterscheiden. Dort finden vornehmlich *physikalische Prozesse* der Wertschöpfung statt, wie die Montage von Bauteilen in der *Automobil- und Maschinenbauindustrie*, die Programmierung von Speichermedien in der *Informations- und Kommunikationsindustrie* oder die Vermischung von – häufig auch auf chemischem Weg erzeugten – Stoffen in der *Konsumgüterindustrie*. Allerdings werden dort und in anderen Branchen wie beispielsweise in der *Hüttenindustrie* (zur Gewinnung von Metallen), der *Zementindustrie* oder der *Nahrungsmittelindustrie* Produktionsverfahren eingesetzt, welche zum Teil auf chemischen Prozessen beruhen und eine überschaubare Anzahl von chemischen Produkten herstellen.

In der ‚klassischen‘ chemischen Industrie dominiert hingegen die *chemische Stoffumwandlung* eindeutig die Fertigungsprozesse und die Anzahl der dort hergestellten Produkte. Fast immer sind den (einzelnen) chemischen Prozessen jedoch physikalische Prozesse vor- und nachgelagert, welche der Vorbereitung der Einsatzstoffe für die

¹⁷⁵ Falluntersuchungen von WILDEMANN in den Ingenieurwissenschaften zeigen, dass aus Sicht des Kundennutzens zwischen 20% und 40% der mechanisch erzeugten oder extern zugelieferten Komponentenvielfalt einer Produktpalette vermeidbar sind (vgl. 1998, S. 51).

Reaktion (z.B. Erwärmen, Abkühlen, Mischen, Fördern) und dem Aufarbeiten der Reaktionsprodukte (z.B. Trennung durch Destillieren, Trocknen, Extrahieren, Ab- bzw. Adsorbieren, Kristallisieren, Filtrieren) dienen (vgl. *Abbildung 49*). Die in den folgenden Abschnitten diskutierten Maßnahmen zur Kostensenkung zielen – neben der eigentlichen Produktgestaltung – sowohl auf die chemischen als auch die physikalischen Prozesse.

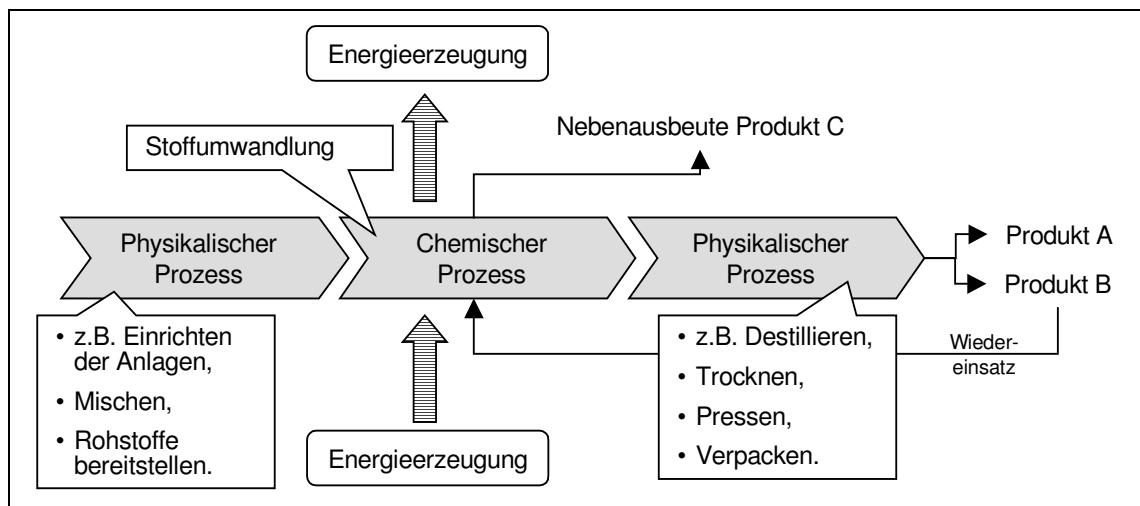


Abbildung 49: Grundzüge des betrieblichen Herstellungsprozesses in der chemischen Industrie (in Anlehnung an VCI 1997, S. 74)

5.2.1 Kostentreiber: Interne Produktvielfalt

Ingenieurwissenschaftlich orientierte Betrachtungen des Produktkostenmanagements betonen vor dem Hintergrund der Kosten indirekter Bereiche immer wieder die besondere Bedeutung der *Teilevielfalt*. So steigt beispielsweise mit zunehmender Anzahl der in einem Produkt verwendeten Teile auch die Anzahl der Bestellvorgänge, der Materialeingangsprüfungen, der Ein- und Auslagerungsvorgänge oder der Arbeitsschritte der Fertigung. Dabei wird von – meist nur durch die Konstruktionsform unterscheidbaren – einzelnen Bauteilen ausgegangen, welche im Zuge der Fertigung durch ‚Montage‘ zum gewünschten Produkt zusammengefügt werden. Ein ‚Produkt‘ ist dementsprechend das Ergebnis einer (mechanischen) Verbindung einzelner Komponenten (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 270):¹⁷⁶

¹⁷⁶ Unter einem ‚Neuteil‘ wird ein bisher noch nicht im Unternehmen bzw. Produkt verwendetes Bauteil verstanden, welches jedoch selbst im Unternehmen erzeugt wurde; ein ‚Wiederholteil‘ ist ebenfalls ein intern gefertigtes Bauteil, welches jedoch schon in anderen Produkten unter nur geringer Modifikation Verwendung findet; ein ‚Kaufteil‘ ist ein von außen bezogenes Bauteil, welches speziell für die jeweilige Produktanwendung entworfen wurde; unter einem ‚Normteil‘ versteht man ein ebenfalls zugekauftes Bauteil mit bestimmten, technischen Eigenschaften, welche durch eine interne oder externe Normung

$$\text{Komplexes Produkt} = \sum \text{Neuteile} + \text{Wiederholteile} + \text{Kaufteile} + \text{Normteile}$$

Aus Sicht der chemischen Produktentwicklung muss demgegenüber festgestellt werden, dass weniger die *geometrischen Unterschiede* der Produktkomponenten als vielmehr ihre *stofflichen Eigenschaften* als Differenzierungskriterium für die Vielfalt („interne Produktvielfalt“) und die von ihr beeinflussten Kosten angeführt werden müssen. Dabei kann es sich entweder um chemisch unterschiedliche Einsatzstoffe bzw. Substanzen (verschiedener Molekülstruktur) oder um gleichartige Substanzen, die jedoch in verschiedenen Konzentrationen oder Modifikationen (z.B. kristallin oder flüssig) vorliegen, handeln. Keinesfalls kann jedoch die Beziehung zwischen den einzelnen ‚Teilen‘ eines chemischen Produkts (d.h. den Atomen) als additiv kombinierbar wie im oben ange deuteten Beispiel aus dem Maschinenbau beschrieben werden: Während dort z.B. durch die (fachgerechte) mechanische Verbindung von Zylinder, Dichtungen, Kolben und anderen Einzelteilen die Erstellung eines Motors mit vorhersehbaren Eigenschaften erzielt werden kann, lassen sich Atome nur nach bestimmten naturwissenschaftlichen Gesetzmäßigkeiten miteinander verbinden, welche die Kombinationsmöglichkeiten und die Vorhersage von Funktionalitäten signifikant einschränken.¹⁷⁷ Vielmehr entstehen durch die Reaktion von Atomen bestimmte Moleküle bzw. Verbindungen (vgl. *Abschnitt 3.3.2*), die aufgrund der – durch die Reaktion – modifizierten Eigenschaften und neuen räumlichen Anordnung neuartige Eigenschaften besitzen können, welche sich aber nicht im Sinne einer ‚additiven‘ Kombination ergeben. Beispielsweise ergibt die Reaktion der beiden hochreaktiven, gasförmigen Elemente Wasserstoff und Sauerstoff (bei entsprechender Temperatur) flüssiges und unreaktives Wasser (eine Verbindung, die aus Molekülen der Summenformel H₂O besteht).

Ausgangspunkt für die Verringerung der internen Produktvielfalt von chemischen Produkten ist eine möglichst weitreichende Standardisierung von verwendeten Substanzen und deren Klassifizierung in *Gruppen* mit ähnlichen physikalischen und/oder chemischen Eigenschaften.¹⁷⁸ Zu den physikalischen Eigenschaften gehören beispielsweise die *Viskosität*, *Flüchtigkeit* (Dampfdruck) und *Entflammbarkeit* einer Flüssigkeit oder die *Härte* und *Korngröße* einer festen Substanz. Die chemischen Eigenschaften betreffen u.a. die *Toxizität* und *Korrosivität* der eingesetzten Substanzen. Analog zur Teilere-

(d.h. das einmalige Lösen und Beschreiben einer sich wiederholenden technischen Eigenschaft oder auch eines Vorgangs mit den zum Zeitpunkt der Erstellung der Norm bekannten optimalen Mitteln des Standes der Technik) standardisiert wurde.

¹⁷⁷ Dies ist kein Widerspruch zur Aussage, dass es in der Chemie große Einflussmöglichkeiten auf die Verfahren und die Kosten der Produkterstellung durch die Wahl der Stoffumwandlung (Synthese) gibt (*Abschnitt 4.1*): Es ist typisch für die chemische Wertschöpfung, dass es oft mehr als einen Syntheseweg zur Herstellung einer bestimmten Substanz gibt; trotzdem ist eine Modifikation der Atome einer Substanz hinsichtlich der räumlichen Anordnung und der Verbindungsstellen in der Regel nicht möglich, ohne die Substanz und ihre Eigenschaften zu verändern.

¹⁷⁸ Zu den allgemeinen Prinzipien der Teileklassifizierung in den Ingenieurwissenschaften vgl. GÖTTKER 1990, S. 16ff.

duzierung im Maschinenbau kann daher auch in der chemischen Industrie durch eine *Verringerung* der Zahl der in der Fertigung eingesetzten unterschiedlichen *Substanzen* (Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe) eine Kostensenkung erreicht werden (*Abschnitt 5.2.1.1*). Ebenso kann durch den Einsatz eines *Baukastens* (*Abschnitt 5.2.1.2*) oder den Aufbau einer *Produktplattform* (*Abschnitt 5.2.1.3*) die Anzahl an eingesetzten Substanzen und somit u.a. der Aufwand für entsprechende Prozessaktivitäten verringert werden. Gelingt es schließlich, die stofflichen Eigenschaften der unternehmens- bzw. standortweit eingesetzten *Substanzen* zu gruppieren und zu *vereinheitlichen*, so kann dadurch eine Senkung der Infrastruktur- und Prozesskosten erreicht werden, welche durch die chemisch-physikalischen Eigenschaften der Einsatzstoffe bedingt sind (z.B. Umweltsicherungsmaßnahmen, Personalqualifikation; *Abschnitt 5.2.1.4*).

5.2.1.1 Maßnahme: Verwendung von Gleich- und Wiederholsubstanzen

Komplexe, aus vielen heterogenen Teilen und Baugruppen zusammengesetzte Produkte verursachen durch Prozesssteuerungsvorgänge höhere Kosten als einfache, mit ‚Mehrfachverwendungsteilen‘ erstellte Produkte. Durch die Standardisierung und mehrfache Verwendung von Substanzen bzw. molekularen Untereinheiten von Substanzen im gleichen Produkt (‚Gleichsubstanz‘) oder in unterschiedlichen Produkten (‚Wiederholsubstanz‘) ergeben sich verschiedene Möglichkeiten zur Kostensenkung durch die Produktentwickler: Im Bereich Materiallager kann z.B. der Aufwand für die *Eingangskontrolle* und *logistische Aktivitäten* verringert und somit der Materialfluss und die Durchlaufzeiten verbessert werden (vgl. WÄSCHER 1987, S. 305). Da durch diese Maßnahme auch weniger Komponenten insgesamt eingekauft werden müssen, entfallen auch im Einkaufsbereich kostentreibende Aktivitäten wie das *Einholen* von *Angeboten* verschiedener Lieferanten, *Bestellvorgänge* oder die *Kontrolle* von *Rechnungen* (vgl. *Abbildung 50*). Dies resultiert u.a. in *niedrigeren Materialkosten* aufgrund höherer Einkaufsvolumina in der Fertigung.

Weiterhin kann im Bereich Forschung und Entwicklung der Aufwand für die *Rezeptur- und Spezifikationsverwaltung* gesenkt werden. Auch die *Qualitätsanalysen* (Molekülstrukturanalysen) können in Labor und Fertigung schneller verlaufen, da die Produkte nun zum Teil aus ähnlichen Struktureinheiten bestehen, wodurch die Auswertung, z.B. durch Infrarot- und NMR-Analysen oder massenspektrometrische Messungen, erleichtert werden sollte.¹⁷⁹

¹⁷⁹ Die „Infrarot-Spektroskopie“ ist ein Verfahren, welches über die Anregung von Schwingungen und Rotationen der Atome und die entsprechenden Absorptionsbanden im Bereich infraroter Strahlung zur Strukturaufklärung organischer Moleküle dient. Die „Nuclear Magnetic Resonance“ (NMR)-Spektroskopie („Kernresonanzspektroskopie“) beruht auf der Abschirmung von Protonen durch die sie umgebenden Elektronen bei Anlegen eines äußeren Magnetfeldes, wodurch ein charakteristisches Absorptionssignal entsteht, welches ebenfalls zur Strukturaufklärung herangezogen wird. Bei der Massenspektrometrie werden organische Moleküle durch die Bestrahlung mit schnellen Elektronen in Bruchstücke fragmentiert, welche – sofern sie elektrisch geladen sind – durch elektromagnetische Felder

Maßnahme	Kostenkategorien der Funktionsbereiche	Materiallager- und Logistik-Gemeinkosten			Einkauf-Gemeinkosten				
	operativ-taktische Kostentreiber	Anzahl Eingangskontrollen	Anzahl Ein-/Auslagerungsvorgänge	Anzahl Verpackungen/Versendungen	Anzahl Angebote/Verhandlungen	Anzahl Bestellvorgänge	Anzahl Warenverfolgungen	Anzahl Rechnungskontrollen	Umfang Mindermengenzuschläge
Gleich-, Wiederholsubstanzen	Korrelation	+	+	+	+	+	+	+	+

Abbildung 50: Korrelation von Kosten der Logistik und des Einkaufs mit dem Einsatz von Gleich- und Wiederholsubstanzen (vgl. Tabelle 7 und Tabelle 8 im Anhang)

Für chemische Produkte können prinzipiell *drei mögliche Formen* von Standardisierungen unterschieden werden. Zunächst wäre es denkbar, eine unternehmensweite Standardisierung durch Konzentration auf *bestimmte Atome* bzw. die entsprechenden *Elemente* durchzuführen. Da jedoch die weit überwiegende Anzahl chemischer Produkte aus Verbindungen besteht, welche in ihren Eigenschaften kaum mehr von denjenigen der enthaltenen Atome bestimmt werden, führt eine ‚Standardisierung‘ von Atomen zu keinen relevanten Einsparungen. Ausnahmen bestehen eventuell dort, wo die Charakteristika der jeweiligen Atome so ausgeprägt sind, dass sie auch die Eigenschaften der entsprechenden Verbindungen (und ihre Herstellverfahren und allgemeine Handhabung) dominieren (z.B. Fluorchemie; vgl. *Abschnitt 5.2.4.1*).

Ähnlich verhält es sich mit der Standardisierung der *funktionellen Gruppen* der Substanzen, worunter charakteristische Atomkombinationen verstanden werden, die oft die gesamten Eigenschaften einer Substanz (und damit auch ihre Reaktivität) maßgeblich bestimmen (vgl. die gestrichelten Atomgruppen in *Abbildung 51*). Deren Standardisierung und mehrfache Verwendung in gleichen oder verschiedenen Produkten führt nur dann zu Einsparungen, wenn die mit der funktionellen Gruppe verknüpfte entsprechende Struktureinheit mehrfach verwendet werden kann (Wiederholsubstanz). Eine funktionelle Gruppe kann prinzipiell an die unterschiedlichsten Struktureinheiten gebunden sein und allenfalls durch eine Konzentration auf die mit einer funktionellen Gruppe verbundene ‚Chemie‘ (d.h. die in der Produktion durchgeführten Synthesereaktionen) zu Kostensenkungen führen (*Abschnitt 5.2.4.1*).

Dieser Sachverhalt soll am Beispiel der Synthese von *Methylmethacrylat*, dem monomeren Vorprodukt des *Polymethacrylats* („Plexiglas“), erläutert werden. Gemäß

getrennt werden und anschließend die Teilchen gleicher Masse detektiert werden können. Alle drei Methoden sind aufwändig, da sie hochwertige Messgeräte und qualifiziertes Personal benötigen.

Abbildung 51 werden für die Fertigung von *Methylmethacrylat* im Prinzip drei Ausgangssubstanzen benötigt: *Aceton*, *Blausäure* und *Methanol*. Alle drei zeichnen sich durch unterschiedliche funktionelle Gruppen aus (gestrichelte Ovale: *Keto-Funktion*, *Cyanid-Funktion*, *Hydroxy-Funktion*, *Ester-Funktion*). Der erste Reaktionsschritt verbindet Aceton und Blausäure zu *Acetoncyanhydrin*, welches unter Zugabe von Methanol zu *Methylmethacrylat* weiterreagiert.

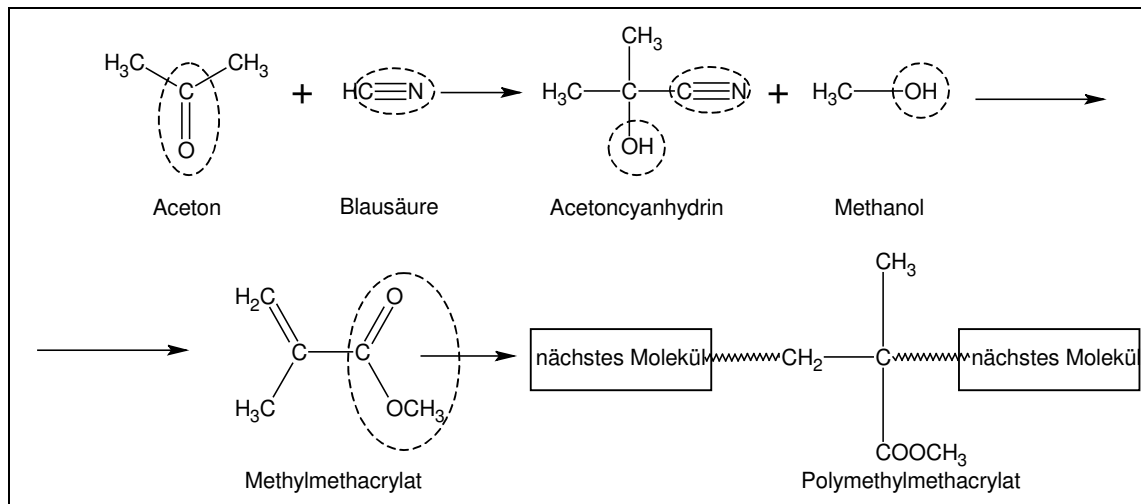


Abbildung 51: *Methylmethacrylatsynthese aus Aceton und Blausäure*

In diesem Beispiel würde eine *Standardisierung* von *einzelnen Atomen* – wie bereits erwähnt – keinen Sinn ergeben, da die einzelnen Atomsorten wie *Kohlenstoff* (C), *Wasserstoff* (H) oder *Sauerstoff* (O) über alle Substanzen verteilt sind, denen sie die charakteristischen Eigenschaften verleihen. Eine Fokussierung auf *funktionelle Gruppen* wie z.B. die *Cyanidfunktion* der Blausäure könnte dagegen von Vorteil für die Kostensituation sein: Aufgrund der hohen Reaktivität und der toxischen Eigenschaften wird für eine sichere Durchführung der Cyanid-Chemie spezielle Erfahrung benötigt, so dass eine unternehmensweite Konzentration an einem Standort zu Kostensenkungen führen könnte.

Die *Ketofunktion* des Acetons (C=O) und die *Alkoholfunktion* des Methanols (OH) sind weitere Beispiele für funktionelle Gruppen, welche nach ähnlichen Mechanismen reagieren und an unterschiedlichen Struktureinheiten auftreten können. Zum Beispiel werden Aceton und Methanol, die stets diese funktionellen Gruppen aufweisen, in zahlreichen Reaktionen eingesetzt, so dass sie in vielen Fällen im Sinne eines ‚Wiederholteils‘ (bzw. ‚Wiederholsubstanz‘) verwendet werden, auch wenn die chemische Reaktion durch die Bindungsbildung stets zu gewissen Strukturveränderungen der Ausgangssubstanzen führt, d.h. die ursprüngliche Substanzstruktur bei der Reaktion

abgewandelt wird.¹⁸⁰ Das Zwischenprodukt *Methylmethacrylat* (Abbildung 51) hingegen wird bei der Folgereaktion zum *Polymethylmethacrylat* als ‚Gleichteil‘ eingesetzt, da es mit sich selber zu einer langen, aus denselben Strukturbausteinen bestehenden Kette reagiert.

Eine *absolute Senkung* der Teilezahl – als dritter Möglichkeit der Standardisierung – wie sie beispielsweise in einem Automobil (vgl. ROSENBERG 2002, S. 231) oder einem Walkman (vgl. OESS 1989, S. 148) erzielt werden konnte, ist für chemische Substanzen (gerade auf atomarer) Ebene nicht zielführend, abgesehen von den technischen Schwierigkeiten. Der Verzicht auf eine Substanz bzw. eine molekulare Untereinheit einer Substanz würde eine völlige Veränderung der Produkteigenschaften hervorrufen, denn so wie einerseits eine bestimmte Kombination von Atomen die Eigenschaften dieser spezifischen Verbindung festlegt, führt andererseits die – nur theoretisch mögliche – Entfernung eines Atoms (z.B. Wasserstoff aus der Verbindung H_2O) unweigerlich zur Zerstörung der Substanz.¹⁸¹ Auch eine Integration mehrerer Funktionen im Sinne einer im Maschinenbau verwendeten ‚Integralbauweise‘, welche die Anzahl an Bestandteilen eines Produkts dadurch verringert, dass mehrere der zu erfüllenden Produktfunktionen in Bestandteile integriert werden, die vorher nur Träger einer Funktion waren, erscheint in der Chemie nur eingeschränkt möglich (vgl. hierzu auch *Abschnitt 5.1.3.1*).¹⁸² Prinzipiell können jedoch auf molekularer Ebene mehrere funktionelle Gruppen auf einem Trägermolekül verankert werden, sofern es zu keinen unbeabsichtigten inter- und intramolekularen Wechselwirkungen kommt.

Für eine Standardisierung durch ‚Senkung der Teilezahl‘ sind in der chemischen Industrie also zwei Fälle zu unterscheiden: Entweder können die Funktionalitäten durch *eine einzige Substanz* erfüllt werden, dann können nur durch eine veränderte Synthese dieser Substanz Kosten eingespart werden. Oder statt einer absoluten Senkung der Teilezahl einer Substanz kann die Anzahl an unterschiedlichen Substanzen innerhalb eines chemischen Produkts reduziert werden. Dies trifft prinzipiell auf *Vielstoffprodukte* zu, deren geforderte Produktmerkmale auf einer (physikalischen) Vermengung der Substanzen beruhen („Zubereitung“), wie es z.B. bei vielen Kunststoffen, Kosmetika, Reinigungsmitteln, Anstrichstoffen oder Klebstoffen der Fall ist. Diese Produkte sind für eine absolute Verringerung der Substanzen durchaus geeignet, da sie sich durch eine größere Anzahl an Wirk- und Hilfsstoffen auszeichnen, die als einzelne Komponenten

¹⁸⁰ Auch *Ethylen* ist in diesem Sinne eine oft verwendete Wiederholsubstanz, welche in *Abschnitt 5.2.1.3* ausführlicher behandelt wird.

¹⁸¹ Hinzu kommt, dass die Atome nicht wie einzelne Bauteile z.B. im Maschinenbau zusammengesetzt werden können, sondern dass sie schon als Rohstoff häufig in anderen Verbindungen vorliegen, die durch (mehrfache) chemische Reaktionen zu den gewünschten Stoffen umgewandelt werden müssen.

¹⁸² Da bei der *Integralbauweise* das Augenmerk besonders auf den multifunktionellen Produktbestandteilen liegt, entfaltet sich das Kostensenkungspotential der reduzierten Anzahl an Bestandteilen am ehesten bei großen Stückzahlen (vgl. BINDER 1998b, S. 165f.).

im Produkt vorliegen und deren Kombination die geforderten Produkteigenschaften hervorruft.

Aufgrund der vielfältigen Wechselwirkungen zwischen den Komponenten eines Vielstoffprodukts wird eine Veränderung der Zusammensetzung aber meist Auswirkungen auf die Produkteigenschaften haben. Entsprechend muss bei der Vereinheitlichung und dem Austausch von Komponenten gegebenenfalls das Produktkonzept geändert werden, mit (möglicherweise negativen) Folgen für den Entwicklungsaufwand. Dies dürfte sich insbesondere bei den Maßnahmen bemerkbar machen, welche die *Wirkstoffe* betreffen, wohingegen die Vereinheitlichung von *Hilfsstoffen* (z.B. Lösemittel, Füllstoffe, Emulgatoren, Weichmacher) das Eigenschaftsprofil des Produkts weniger beeinträchtigen sollte.

Problematisch an jeder Form der Standardisierung kann eine mögliche *Einbuße* der *Produktqualität* sein, wenn die neu verwendeten, vereinheitlichten Teile nicht mehr so gut wie zuvor die entsprechende Funktion unterstützen. Generell sollten für eine Standardisierung daher insbesondere jene Produkteigenschaften, welche den ‚funktionellen Kern‘ und den Know-how-Schwerpunkt bilden, in den Mittelpunkt der Bemühungen gestellt werden, wohingegen Kundenanpassungen an die Peripherie bzw. die Schnittstellen der Anwendung durch den Kunden verlagert werden sollten (wenn sie überhaupt noch vorgenommen werden müssen; vgl. FRANKE 1998, S. 10). Einerseits können so die internen Wissenspotentiale am effektivsten eingesetzt und – unter der Voraussetzung, dass die Kernfunktionen noch anderweitig im Unternehmen eingesetzt werden können – in größtmöglichem Ausmaß zur Kostensenkung verwendet werden, andererseits dürften die ‚peripheren‘ Differenzierungsmaßnahmen kostengünstiger zu realisieren sein.

5.2.1.2 Maßnahme: Aufbau eines Baukastens

In den Ingenieurwissenschaften versteht man unter einem *Baukasten* eine Gesamtkonzeption zur Kombination von Bausteinen mit unterschiedlicher oder gleicher Funktion und Gestalt (EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 304). Im Falle von *unterschiedlichen* Bausteinen erhält man Produkte, die eine unterschiedliche (Gesamt-) Funktion aufweisen (z.B. Maschine mit Schleif-, Fräse- und Sägeaufsatz), bei Baukästen aus Bausteinen *gleicher Funktion* besitzen auch die Produkte gleiche Funktionen (z.B. Industriehalle aus identischen Einzelsegmenten). Durch den Einsatz eines Baukastensystems kann somit entweder eine bestehende Anzahl an Produkten mit weniger Komponenten dargestellt oder aus der gleichen Anzahl an Komponenten können mehr Produkte bzw. Varianten als vorher hergestellt werden.

In der chemischen Industrie können die Entwickler durch die Erarbeitung eines Baukastensystems u.a. Kosten der *Fertigung* und *Logistik* einsparen (vgl. *Abbildung 52*): Durch die verstärkte Standardisierung können die Anzahl an *Umrüstungen* und die Zahl unterschiedlicher *Rohstoffe* eingeschränkt werden. Ein aus einem Baukasten zusammengesetztes Produkt verursacht pro mehrfach verwendeter Komponente weiterhin

nur einmal *auflagenfixe Kosten*, wodurch es auch bei Verwendung in mehreren verschiedenen Produkten zu Kostendegressionen aufgrund von Größeneffekten kommen kann (z.B. Entwicklungszeit, Fertigungsplanerstellungen, Einkaufsverhandlungen).¹⁸³ Weitere Einsparungen kommen u.a. durch die Verminderung der Zahl der eingesetzten Substanzen und die damit verbundene Senkung der Lagerkosten (höherer Materialumschlag) oder Skaleneffekte beim Einkauf mit entsprechenden Preisnachlässen zustande.¹⁸⁴ Durch den repetitiven Molekülaufbau und die weitreichende Standardisierung der Synthesewege kann weiterhin der Aufwand für die Synthesekonzeption, die experimentelle Überprüfung einschließlich der analytischen Qualitätskontrolle und die sich anschließende Dokumentation verringert werden (vgl. *Tabelle 6*); dem ist gegebenenfalls die Zeitdauer für die Entwicklung des Baukastensystems gegenüberzustellen.

Maßnahme	Kostenkategorien der Funktionsbereiche	Arbeitsvorbereitungs- und Fertigungs-Gemeinkosten						Materiallager- und Logistik-Gemeinkosten		
	operativ-taktische Kostentreiber	Anzahl Fertigungsplanerstellungen	Anzahl Umrüstungen	Anzahl Rohstoffe	Anzahl Synthesestufen/Fertigungssteuerungen	Anzahl Qualitätskontrollen	Anzahl Ausschusschargen	Anzahl Eingangskontrollen	Anzahl Ein-/Auslagerungsvorgänge	Anzahl Verpackungen/Versendungen
Aufbau Baukasten	<i>Korrelation</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	0

Abbildung 52: Korrelation von Kosten der Fertigung und Logistik mit dem Einsatz eines Baukastensystems (vgl. *Tabelle 7 im Anhang*)

Ein Baukastensystem erfordert generell eine einheitliche Abgrenzung von Schnittstellen zwischen den unterschiedlichen Komponenten. Bei chemischen Substanzen, welche im Sinne eines Baukastensystems miteinander verknüpft werden, kann dies durch eine Vereinheitlichung der reaktiven Gruppen der Ausgangssubstanzen bzw. damit einhergehend durch die Standardisierung der dafür notwendigen Reaktionsmechanismen und Reaktionstechnologien erreicht werden (vgl. hierzu auch *Abschnitt 5.1.3.1*). Ein an-

¹⁸³ Diese Kostensenkungen sollten dabei besonders bei komplexeren Produkten und kleineren Losgrößen zum Tragen kommen (vgl. BINDER 1998b, S. 166), wodurch die Entwicklungszeit für kundenspezifische Produkte verkürzt wird, da es sich nicht mehr um eine Neuentwicklung, sondern ‚nur‘ noch um Anpassungen vorhandener Komponenten und Technologien an spezifische Kundenwünsche handelt.

¹⁸⁴ Ein Baukastensystem kann weiterhin durch einen ‚intelligenten‘ Entwurf des Baukastensystems, welcher in der frühen Entwicklungsphase entsteht, einen zusätzlichen Wettbewerbsvorteil darstellen, da er für Wettbewerber wenig transparent ist (BINDER 1998b, S. 165).

schauliches Beispiel hierfür liefert die aktuelle Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der *Dendrimere*¹⁸⁵.

Unter *Dendrimeren* versteht man dreidimensional geordnete, oligomere und polymere Verbindungen, die ausgehend von einem im Zentrum liegenden ‚Initiatorkern‘ durch wiederholten Anbau von identischen, sich verzweigenden Einheiten gebildet werden. Diese können u.a. als Trägermoleküle für pharmakologische Wirkstoffe eingesetzt werden, mit deren Hilfe der Ort der physiologischen Freisetzung gesteuert und dadurch toxikologische Effekte reduziert werden können, da sie nicht mehr den gesamten Organismus in gleichem Maße belasten. Um an die jeweils geforderte biologische Umgebung optimal angepasst werden zu können, muss das Trägermaterial (das Dendrimer) möglichst maßgeschneidert zugänglich sein, was hohe Anforderungen an die Synthesewege, die *Monodispersität* und die *Charakterisierbarkeit* der Makromoleküle stellt. Genau hier haben die Dendrimere ihre Stärken.

Um mit einem vertretbaren Syntheseaufwand strukturell perfekte und kundenspezifisch modifizierte Dendrimere herstellen zu können, haben SCHLÜTER ET AL. eine *repetitive* Strategie für ‚Hydroxy-funktionalisierte‘ Dendrimere entwickelt (vgl. 1996, S. 1330ff.; *Abbildung 53*).¹⁸⁶ Diese basiert auf einem *Dendrimer-Baukasten*, welcher aus einem *Initiatorkern* sowie etwa fünf grundlegenden *Strukturbausteinen* besteht (diese Zahl erhöht sich, wenn man die Modifikation der Bausteine durch Schutzgruppen etc. einbezieht). Diese werden durch *standardisierte* Reaktionen mit dem Initiator kern verknüpft und ermöglichen bei unterschiedlicher Kombination und endständiger Funktionalisierung (z.B. mit pharmakologischen Wirkstoffen oder derivatisierten Zuckermolekülen als spezifischen Zelldetektoren) eine Vielzahl *maßgeschneiderter Produktstrukturen*.

Da Baukastensysteme auf standardisierten Komponenten beruhen, können sie gegebenenfalls technisch nicht so bedarfsgerecht wie eine kundenindividuelle Entwicklung sein. Um das durch die eingeschränkte Flexibilität bei der Erfüllung von Marktanforderungen – gerade in der chemischen und pharmazeutischen Industrie – häufig beträchtliche Entwicklungsrisiko zu reduzieren, „hat es sich (in den Ingenieurwissenschaften, Anm.d.V.) bewährt, ein komplexes Produkt zunächst nicht insgesamt als Baukastensystem zu entwerfen, sondern im Rahmen einer Gesamtkonzeption nur lokale Baukastensysteme zu realisieren“ (EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 307). Damit sind solche Baukästen gemeint, die nur *einen Teil* eines komplexen Produkts darstellen. Andernfalls ist das Entwicklungsrisiko davon abhängig, ob die Gesamtkonzeption

¹⁸⁵ Der Begriff „Dendrimer“ leitet sich von dem griechischen Wort für ‚Baum‘, *dendron*, und dem Wort ‚Polymer‘ ab. Sie ähneln in ihrer molekularen Form den Verzweigungen von Ästen.

¹⁸⁶ „Facile access to large quantities of dendronized polymers would be desirable. The total number of steps, purification procedures, and feasibility of individual operations, etc., still make for considerable synthetic effort. We therefore sought a highly efficient, and easy to do, synthetic sequence through which dendronized macromolecules could become available (...) within a short time...“ (SCHLÜTER ET AL. 2001, S. 3301).

kundengerecht ausgeführt ist, denn für eine nachträgliche Modifikation hält ein Baukastensystem wenig Flexibilität vor, und die Entwicklung wäre vermutlich gescheitert. Für das Beispiel in *Abbildung 53* wäre ein lokales Baukastensystem realisierbar, wenn die gezeigte Aufbaureaktion mit einem weiteren Baustein des ‚Dendrimer-Baukastens‘ kombinierbar wäre und damit der Gesamterfolg des Systems nicht nur von einem Baustein und seiner Aufbaureaktion abhängig wäre.

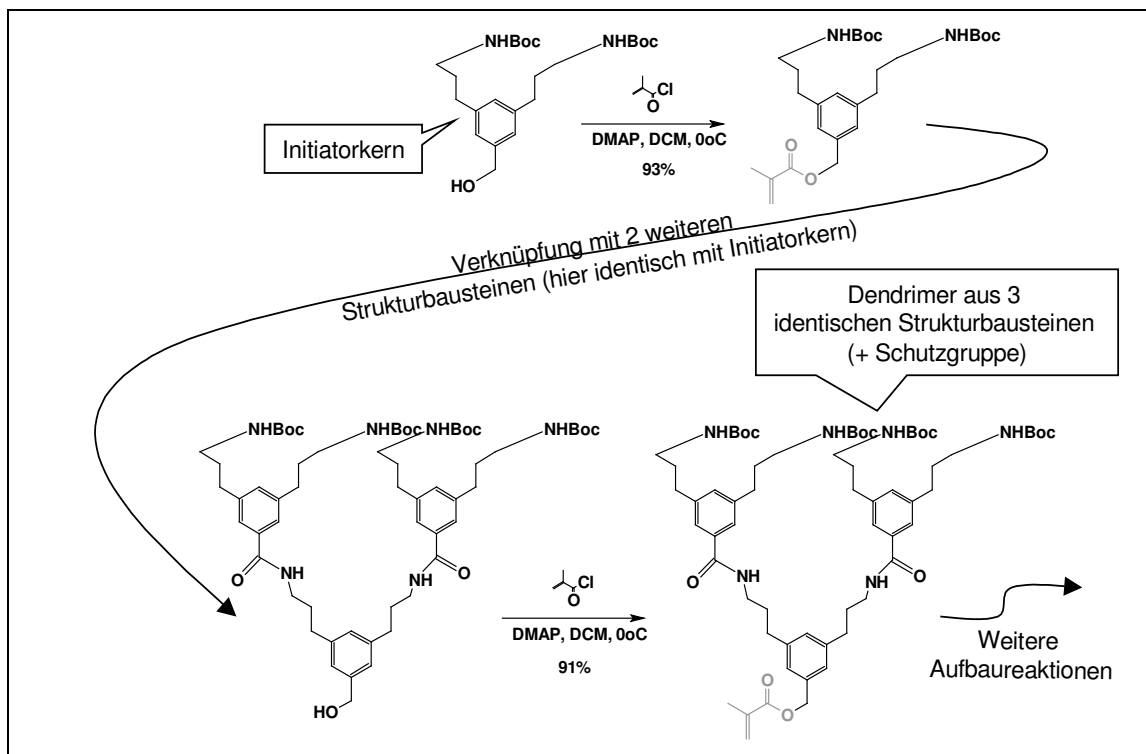


Abbildung 53: Schematischer Aufbau eines Dendrimerbaukastens (interne Darstellung der Arbeitsgruppe Prof. Schlüter)

5.2.1.3 Maßnahme: Bildung einer Plattform

Eine *Produktplattform* besteht aus einer Menge von Teilsystemen bzw. -strukturen, „die in verschiedenen Einzelprodukten vorhanden sind und die eine effiziente Entwicklung neuer Produkte/Varianten ermöglichen“ (MEYER/LEHNERD 1997, S. 39). In ‚High-Tech‘-Industrien hat die *Plattform* oft die Aufgabe, mit einer technologisch überragenden Basis für die schnelle Abdeckung von Marktsegmenten mit Produktvarianten zu sorgen (vgl. VÖLKER/VOIGT 2000, S. 138). Bekannt geworden sind sie insbesondere in der Automobilindustrie (vgl. DUDENHÖFFER 2000, S. 145ff.). In der chemischen Industrie sollten vor allem die *Beschleunigung* der *Entwicklungszeit* bzw. der *Time-to-Market* sowie mögliche *Kostenvorteile* durch *Skaleneffekte* bei der Verwendung von entsprechenden Plattformen, d.h. *Wiederholsubstanzen höherer Strukturkomplexität* (welche in der Regel bereits aus mehreren Substanzen synthetisiert worden sind), von Interesse sein.

Während bei einem Baukasten das Produkt aus einzelnen Substanzen bereits von niedrigen Hierarchiestufen ausgehend synthetisiert wird und in der Regel mehr Kombinationsmöglichkeiten hinsichtlich der Gesamtstruktur bestehen, stellt eine *Plattform-Substanz* bereits eine komplexere Ausgangsstruktur dar, welche nach Möglichkeit nur noch kundenspezifisch ausdifferenziert wird (vgl. BINDER 1998b, S. 163). Dieses Konzept ist auch unter dem Begriff *späte Differenzierung* bekannt, welcher die Verschiebung des Variantenbestimmungszeitpunkts in Richtung auf den Zeitpunkt der Fertigstellung des Endprodukts beschreibt, mit allen positiven Kostenwirkungen der vorangehenden Standardisierung (vgl. ROSENBERG 2002, S. 233). Diesen Effekt beschreibt auch ROEVER: Die „Verringerung der produktproportionalen Kosten durch einen möglichst ‚späten Differenzierungszeitpunkt‘ in der Fertigung unterschiedlicher Produkte führte zu dramatischen Konstruktionsänderungen mit massiven Kostensenkungen – und das in vielen Branchen, von Maschinenbau über Chemiespezialitäten bis zu Lacken, Waschmitteln oder Klebstoffen“ (1991b, S. 264).

Die *Abgrenzung* der Plattformen von einem Baukasten oder auch einem Wiederholteil ist in der Chemie nicht unproblematisch. Beispielsweise beruht die Herstellung von zahlreichen organisch-chemischen Substanzen auf Folgereaktionen von *organischen Zwischenprodukten*¹⁸⁷, welche als komplexes *Wiederholteil* oder auch als *Plattform* verstanden werden können. *Abbildung 54* verdeutlicht die Bedeutung von derartig ‚ambivalenten‘ Zwischenprodukten anhand des ‚Ethylenstammbaums‘ (vgl. ONKEN/BEHR 1996, S. 302). Das im Zentrum dargestellte *Ethylen* ist ein chemisches Vor- bzw. Zwischenprodukt, welches im Sinne einer Wiederholsubstanz ein Edukt für eine sehr große Zahl an Endprodukten darstellt, von denen einige beispielhaft im äußeren Bereich der Grafik angedeutet sind. Deren Synthesen führen – ausgehend vom Ethylen – über die durch gestrichelte Ovale hervorgehobenen ‚Zwischenprodukte‘, welche durch – meist einstufige – Aufbaureaktionen aus Ethylen gewonnen werden können. Diese können sowohl als *Wiederholteile* als auch als *Plattformen* aufgefasst werden, da sie eine Wiederholsubstanz höherer Hierarchie bzw. Komplexität darstellen. Allerdings zeigen die Beispiele des *Ethylenoxids* oder des *Vinylchlorids* deutlich, dass die aus ihnen aufgebauten Produkte wiederum nur noch wenige strukturelle Gemeinsamkeiten mit der ursprünglichen Plattformstruktur haben und eher wieder (im Sinne eines Wiederholteils) die Struktur des Ethylens abbilden.

Je komplexer eine Plattform ist, desto schwieriger wird es sein, daraus Substanzen mit deutlich unterschiedlichen Funktionalitäten zu erarbeiten, da die Eigenschaften von chemischen Produkten – wie bereits mehrfach betont – stark von der Art der gebundenen Atome und ihrer räumlichen Anordnung abhängen. Eine Ausdifferenzierung in Produkte mit erkennbar unterschiedlichen Funktionen wird dann nur noch durch zahl-

¹⁸⁷ Darunter versteht man Substanzen, welche aus chemischen Rohstoffen bzw. Vorprodukten gewonnen und die in zahlreichen Aufbaureaktionen für Endprodukte eingesetzt werden (vgl. zu den Begriffen der Vor- und Zwischenprodukte auch *Abbildung 9*).

reiche Aufbausynthesen möglich sein, was aber den Sinn des Plattformkonzeptes in Frage stellt.

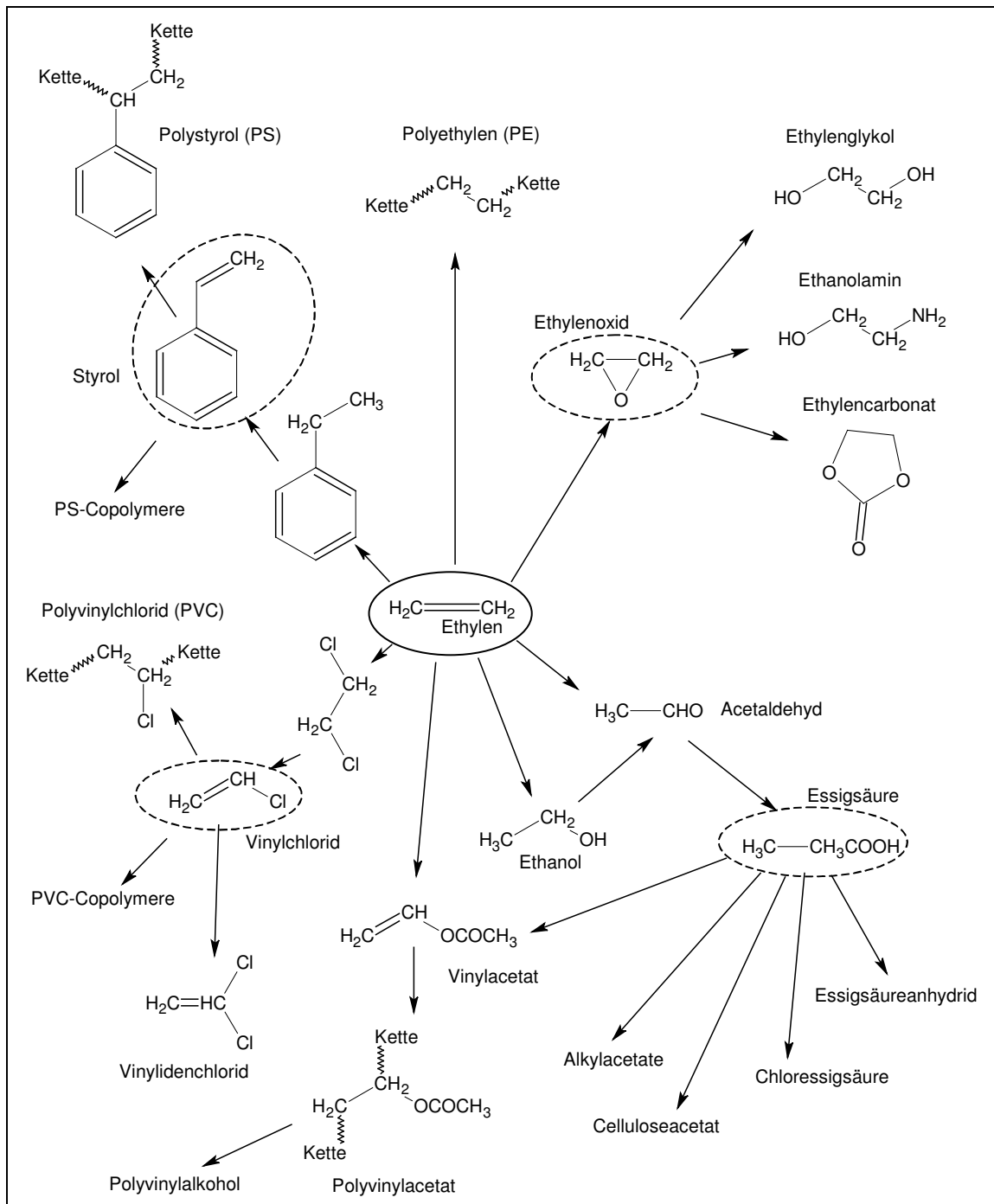


Abbildung 54: Der Auszug aus dem ‚Ethylenstammbaum‘ zeigt Wiederholteile bzw. Plattformen (gestrichelt; in Anlehnung an ONKEN/BEHR 1996, S. 302)

Weiterhin hängt die Eignung als Plattform auch von den Substanzgruppen ab: So sind z.B. die Strukturen von pharmazeutischen Wirkstoffen häufig das Ergebnis von äußerst umfangreichen und im Resultat wenig planbaren Screeningvorgängen (z.B. von Natur-

stoffen). Für eine wirkungsvolle Plattformstrategie in dieser Branche müsste aber frühzeitig mindestens das Grundgerüst der späteren Wirkstoffmoleküle bekannt sein, und später zu entwickelnde Substanzen für andere Anwendungen müssten auf einer ähnlichen Molekülstruktur beruhen, was nur selten der Fall sein dürfte (vgl. VÖLKER /VOIT 2000, S. 139).

Wie *Abbildung 55* zeigt, ergibt sich durch den Einsatz einer Plattform in der chemischen Produktentwicklung schon bei der *Synthesekonzeption* eine Aufwandsverringering, da die Verknüpfung weiterer Strukturkomponenten an den schon bekannten Schnittstellen durchgeführt wird, meist mittels standardisierter Reaktionen.¹⁸⁸ Insofern tritt hier schon die enge Verwandtschaft mit dem im vorigen Abschnitt behandelten Baukasten zutage, welche sich entlang der meisten anderen Prozessschritte bzw. Kostenkategorien fortpflanzt.

Maßnahme	Kostenkategorien der Funktionsbereiche	F&E-Gemeinkosten								Materiallager- und Logistik-Gemeinkosten		
	operativ-taktische Kostentreiber	Anzahl Analysen Produktanforderungen (Lasten-, Pflichtenheft)	Anzahl an Produktkonzepten (Workshops, Literaturrecherchen)	Anzahl Funktionen und Komponenten/ Produkt	Anzahl Synthesestufen/ Produkt	Anzahl Versuchsansätze	Anzahl Qualitätskontrollen	Anzahl Dokumentationen	Anzahl verwalteter Rezepturen	Anzahl Eingangskontrollen	Anzahl Ein-/Auslagerungsvorgänge	Anzahl Verpackungen/ Versendungen
Bildung Plattform	Korrelation	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Abbildung 55: Korrelation von Kosten der Forschung und der Logistik mit dem Einsatz von Plattformen (vgl. Tabelle 6 und Tabelle 7 im Anhang)

5.2.1.4 Maßnahme: Bildung von Substanzfamilien

Unter *Substanzfamilien* versteht man die Strukturierung der unternehmens- bzw. standortweit eingesetzten Substanzen und Produkte nach ausgewählten Kriterien und ihre Klassifizierung – in Abhängigkeit von deren Nutzung der Betriebsmittel – zu Gruppen mit ähnlichen Eigenschaften (vgl. HABENICH 1996, S. 2040).¹⁸⁹ In der Fertigungstechnik spricht man von ‚Teilefamilienfertigung‘: „Als Teilefamilie wird eine Gruppe von Teilen verstanden, die, hinsichtlich zuvor entsprechend der Zielsetzung der Gruppierung

¹⁸⁸ Allerdings muss diesen Einsparungen – ebenso wie beim Baukastensystem – möglicherweise ein erhöhter Entwicklungsaufwand für die Entwicklung des eigentlichen Plattformkonzeptes (im Vergleich zu einer einmal zu entwickelnden Variante) gegenübergestellt werden.

¹⁸⁹ Dabei kann die Zuordnung einer Substanz (und eines Produkts) zu einer ‚Familie‘ auch Kostenprognosen, und zwar insbesondere der direkten Kosten, aufgrund der fertigungstechnischen Verwandtschaft erleichtern (vgl. SCHOLL 1998, S. 113f.; *Abschnitt 6.2.2*).

aufgestellter Merkmale, Gleichheiten oder zumindest Ähnlichkeiten aufweisen. Im wesentlichen stützen sich die Merkmalsbeschreibungen auf geometrische, funktionale oder fertigungsbezogene Charakteristika der Teile“ (GÖTTKER 1990, S. 6).

Gelingt es den Entwicklern von chemischen Produkten, derartige Gruppen zu bilden, so können ähnlich wie bei den Baukästen oder Plattformkonzepten die Kosten für die *Synthesekonzeption*, die *experimentelle Entwicklung* oder die anschließende analytische *Qualitätskontrolle* verringert werden, da die eingesetzten Substanzkategorien in der Regel bekannte Verhaltensweisen aufzeigen werden (vgl. *Abbildung 56*). Ein Beispiel für die Familienbildung von ‚organischen‘ Chemikalien könnte die Unterteilung anhand der chemischen Stoffeigenschaften sein, welche durch die *funktionellen Gruppen* (z.B. Alkohole, Ketone, Carbonsäuren, Sulfide, Cyanide) oder durch die *jeweilige Reaktivität* (hoch, mittel, niedrig) vorgegeben werden.

Maßnahme	Kostenkategorien der Funktionsbereiche	F&E-Gemeinkosten							
	operativ-taktische Kostentreiber	Anzahl Analysen Produktanforderungen (Lasten-, Pflichtenheft)	Anzahl an Produktkonzepten (Workshops, Literaturrecherchen)	Anzahl Funktionen und Komponenten/ Produkt	Anzahl Synthesestufen/ Produkt	Anzahl Versuchsansätze	Anzahl Qualitätskontrollen	Anzahl Dokumentationen	Anzahl verwalteter Rezepturen
Bildung Substanzfamilie	<i>Korrelation</i>	0	+	+	+	+	+	+	+

Abbildung 56: Korrelation von Kosten der Forschung und Entwicklung mit dem Einsatz von Substanzfamilien (vgl. Tabelle 6 im Anhang)

Auch im Fertigungsbereich können die Kosten reduziert werden, da ähnliche Moleküleigenschaften oft auch ähnliche Synthesetechnologien nach sich ziehen: Auf diese Weise lassen sich möglicherweise *Rüstzeiten* verkürzen und die *Fertigungssteuerung* kann weniger aufwändig gestaltet werden (vgl. *Tabelle 7*). Auf diese Weise können gegebenenfalls Lagertanks, Rohrleitungen und Produktionsbehälter („Reaktoren“) teilweise standardisiert bzw. gemeinsam genutzt werden (z.B. Behältermaterialien, Druckbeständigkeit, Rühr- und Heizeinrichtungen sowie die dafür notwendigen Überwachungssensoren). In der Mehrzahl der Fälle werden – ohne die Berücksichtigung der Anforderungen von anderen eingesetzten Ausgangssubstanzen – aus den ähnlichen Substanzeigenschaften auch *ähnliche Fertigungstechnologien* resultieren (z.B. Produktion: Rühren, Heizen, Kondensieren; z.B. Aufarbeitung: Extrahieren, Destillieren, Kristallisieren). Die Ablaufstruktur in der Fertigung sollte sich also durch Familienbildung verbessern und zu einer *Verringerung* der *Durchlaufzeiten* führen. Insbesondere in der diskontinuierlichen ‚Batch‘-Fertigung sollten diese Effekte zum Tragen kommen, da

hier ansonsten – bei weiterhin unterschiedlichen Verfahrensabläufen – höhere Umrüst-, Fertigungssteuerungs- oder Reinigungskosten auftreten würden, welche insbesondere Produkte mit kleineren Durchsatzmengen belasten würden.

Allerdings können durch die Bildung von Substanzfamilien nicht im gleichen Maße wie bei Gleich- und Wiederholteilen bzw. Baukästen und Plattformen Material- oder Logistikkosten senken realisiert werden, da sich durch die Typisierung der Substanzen zunächst noch keine Reduzierung ihrer Vielfalt ergibt; diese könnte aber Resultat einer kontinuierlichen Anpassung sein. Auch sollte die Familienbildung helfen, durch eine Vereinheitlichung von Arbeitsabläufen und die Möglichkeit der gemeinsamen Nutzung der technischen Infrastruktur z.B. die Kosten in der Fertigungsüberwachung oder dem Lager aufgrund ähnlicher umwelt- und sicherheitstechnischer Anforderungen zu verringern (vgl. *Abschnitt 5.2.4.1*).

5.2.2 Kostentreiber: Prozessanforderungen

Der ‚unmittelbare Einflussbereich‘ der Produktentwickler beschränkt sich nicht nur auf die Produkte, sondern gerade in der chemischen Industrie auch auf die Fertigungsprozesse, welche häufig eng mit der Produktgestalt zusammenhängen, in der Regel hochkomplex sind und entsprechend anspruchsvolle Verfahrenstechnik benötigen. Die Ausgangsstoffe der Reaktionen sowie die Produktstruktur definieren dabei maßgeblich die Anforderungen an den Fertigungsprozess (vgl. *Abschnitt 5.2.3*).

Die bedeutendsten Anforderungen an chemische Fertigungsprozesse entstehen aus *externen Normen* und *internen Richtlinien* (*Abschnitt 5.2.2.1*). Die Einhaltung dieser *extern bestimmenden Normen* engt die Flexibilität der Unternehmen ein und kann die Kosten der betroffenen Prozesse und den Aufwand für ihre Qualitätssicherung deutlich erhöhen. Dies ist nicht zuletzt vor dem Hintergrund von Bedeutung, dass die chemische Industrie ohnehin schon zusammen mit der Automobilindustrie als Vorreiter bei der Zertifizierung von Qualitätsmanagementsystemen nach DIN EN ISO 9000ff. gilt (vgl. GORELLA/MARLON 1998, S. 330). Aber auch die *internen Vorschriften* können schlanken, kostengünstigen Prozessen entgegenwirken. Darüber hinaus können die Prozessanforderungen durch Festlegungen hinsichtlich der zu fertigenden Stückzahlen, der Auslieferungstermine oder durch umfangreiche Garantieforderungen erhöht werden und dadurch ebenfalls zusätzliche Kosten verursachen (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 139).

5.2.2.1 Maßnahme: Reduktion von Normen

Normen werden zur Vereinheitlichung von gleichartigen Produkten und Verfahren gebildet. Dadurch sollten i.A. eine rationelle Herstellung, die Austauschbarkeit der Produkte und Verfahren und ihre Sicherheit gewährleistet werden. In Deutschland

werden Normen vom *Deutschen Institut für Normung e.V.* in Form von *DIN-Normen* erarbeitet und veröffentlicht. Weiterhin werden von verschiedenen Verbänden ‚Technische Richtlinien‘ veröffentlicht, wie beispielsweise die *VDI-Richtlinien* vom *Verein Deutscher Ingenieure* oder die *VDE-Richtlinien* vom *Verband Deutscher Elektrotechniker*. Die internationale Entsprechung des *DIN* ist die Organisation *ISO* (International Standardizing Organisation); auf europäischer Ebene formuliert das *Europäische Komitee für Normung CEN* die *EN-Normen*.

In der chemischen Industrie gilt – insbesondere für die *Prozesssicherheit* der Fertigungsanlagen – eine sehr große Anzahl an technischen Regelwerken: hierfür sind etwa 35.000 DIN/EN/ISO-Normen, 19.000 ISO-Normen, 3.000 VDE-Normen und 1.500 VDI-Normen zu berücksichtigen (vgl. MELZER/STIELER 1999, S. 2). Diese reichen von chemikalien-, umwelt- und sicherheitsbezogenen Regelungen über Arbeitsschutzregelungen, Regelungen des Baurechts, Umweltverträglichkeitsprüfungen bis hin zu Regelungen zur Gentechnologie, zur Produkthaftung oder zur Umwelthaftung (vgl. POHLE 1991, S. 39ff.). Beispielsweise müssen für den Umgang mit chemischen Stoffen und Zubereitungen ihre Gefährdung beurteilt und Betriebsanweisungen erstellt werden, in denen auf die mit dem Umgang mit Gefahrstoffen verbundenen Gefahren für Mensch und Umwelt hingewiesen wird und in denen die erforderlichen Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln festgelegt werden; auch auf die sachgerechte Entsorgung entstehender gefährlicher Abfälle muss hingewiesen werden.

Die *produktbezogenen* Vorschriften schlagen sich beispielsweise in Rechtsnormen (mit Schutzgesetzcharakter¹⁹⁰) wie dem *Chemikaliengesetz* oder dem *Arzneimittelgesetz* nieder (vgl. ROTHE 1999, S. 9).¹⁹¹ Zudem gibt es für die deutsche chemische Industrie über 30 Selbstverpflichtungen, welche z.B. vom Verzicht des Einsatzes von *pentachlorphenolhaltigen* Mitteln in der Holzschutzmittelindustrie (1986) über die Rohstoff-*Ausschlussliste* für Druckfarben, Primer, Lacke und Überdrucklacke (1995) bis hin zur Reduzierung schwer abbaubarer *Komplexbildner* in der Photobranche reicht (vgl. VCI 1998, S. 7f.). Nachfolgend soll die Bedeutung verschiedener Regelwerke für die Kosten eines Unternehmens anhand von drei Anforderungen beispielhaft vorgestellt werden:

- Für die *Lagerung* von giftigen bzw. sehr giftigen Stoffen und Zubereitungen müssen bei chemischen Anlagen u.a. die Vorschriften für den *Brand- und Explosionsschutz* (baurechtliche Anforderungen; arbeitsstättenrechtliche Anforderungen; chemikalienrechtliche Anforderungen; immissionsschutzrechtliche Anforderungen; Anforderungen für Gifte, die zugleich brennbare Flüssigkeiten sind; Anforderungen an Löschwasserrückhaltung; Anforderungen an elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Räumen; Zusammenlagerungsverbote), für die *Warn-, Alarm- und*

¹⁹⁰ Schützt nicht nur die ‚Allgemeinheit‘, sondern explizit auch das ‚Individuum‘.

¹⁹¹ Unter einer Produktnorm versteht man „die für einen Hersteller verbindliche Festlegung des Produktprogramms, der Leistungsdaten, der Ausführungsarten und der Gestalt eines Produktbereichs bzw. der Produkte“ (EHRENSPIEL 2000, S. 269).

Sicherheitseinrichtungen, für die *Schutzmaßnahmen* gegen *Eingriffe Unbefugter* (Zugangsregelung; Sicherung gegen unbefugte Entnahme; Schutz sicherheitstechnisch bedeutender Anlagenteile), für die Maßnahmen zur *Begrenzung* von *Störfallauswirkungen* (bauliche Maßnahmen; sicherheitstechnische Maßnahmen; organisatorische Maßnahmen; Maßnahmen der Zusammen- bzw. Getrenntlagerung) und für die *Überwachung* und *Wartung* der Anlage berücksichtigt werden (TAA¹⁹²1994, S. 13ff.).

- Pharmaorientierte Chemieunternehmen müssen neben dem oben erwähnten *Arzneimittelgesetz*¹⁹³ und dem *Medizinproduktgesetz*¹⁹⁴ auch die *Pharmabetriebsverordnung*¹⁹⁵ befolgen. Weiterhin müssen die *Grundsätze der Guten Laborpraxis*¹⁹⁶ sowie der *Good Manufacturing Practice*-Leitfaden¹⁹⁷ berücksichtigt werden.
- Weitere Prozessanforderungen entstehen aus *Werksnormen* einzelner Firmen, welche innerhalb der entsprechenden Firmen oder teilweise auch z.B. für deren Lieferanten gelten. Beispielsweise werden in der petrochemischen Industrie neue Anlagen jeweils aufgrund der spezifischen Daten und Betriebsbedingungen des jeweiligen Prozesses entworfen. Die Auslegung und Fertigung der Einzelkomponenten kann dabei sowohl nach unterschiedlichen internationalen Normen wie *EN* oder *British Standard* oder auch nach unterschiedlichen Werksnormen oder Spezifikationen, wie sie z.B. *Shell* oder *BASF* vorhalten, erfolgen. Zudem gibt es vielfach *interne Richtlinien* wie z.B. die „Leitlinien zu Umwelt, Sicherheit, Gesundheit und Qualität der Degussa“: Hierbei handelt es sich um ein *verbindliches* Regelwerk, mit dem Degussa weltweit einheitliche und verbindliche Standards geschaffen hat und welches der kontinuierlichen Verbesserung des Umwelt- und Gesundheitsschutzes

¹⁹² Der Technische Ausschuss für Anlagensicherheit (TAA) ist ein nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz beim Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gebildeter Ausschuss. Sind alle Anforderungen des Ausschusses bzw. seiner Zusammenstellung erfüllt, so sind damit auch die relevanten Gesetze, Verordnungen und technischen Regeln und Normen erfüllt.

¹⁹³ Das „AMG“ definiert Arzneimittel und soll für die Sicherheit im Verkehr mit Arzneimitteln, und hier insbesondere für die Qualität, Wirksamkeit und Unbedenklichkeit der Arzneimittel, sorgen.

¹⁹⁴ Das „MPG“ regelt in erster Linie den freien Warenverkehr von Medizinprodukten innerhalb der europäischen Gemeinschaft und soll einen hohen Grad an Gesundheitsschutz, Leistungsfähigkeit und Sicherheit für Patienten gewährleisten.

¹⁹⁵ Die „PharmBetrV“ findet Anwendung auf Betriebe, Einrichtungen und Personen, die Arzneimittel oder Wirkstoffe gewerbsmäßig herstellen, prüfen, lagern, verpacken, in den Verkehr bringen oder in den Geltungsbereich des Arzneimittelgesetzes verbringen.

¹⁹⁶ Bei den „OECD-GLP-Grundsätzen“ handelt es sich um Vorschriften und Arbeitsanweisungen zur Qualitätssicherung von nicht-klinischen, gesundheitsrelevanten Sicherheitsprüfungen, die mit dem Ziel in das deutsche Chemikalienrecht übernommen worden sind, durch eine Vereinheitlichung der Prüfmethoden den internationalen Handel mit Chemikalien zu erleichtern.

¹⁹⁷ Der „EG-GMP-Leitfaden“ ist ein Qualitätsregulationssystem, das die Anforderungen an die Herstellungsmethode, die Einrichtung und Kontrolle beim Herstellen, Gestalten, Verpacken, Kennzeichnen, Lagern und beim Service für medizinische Geräte, die für den menschlichen Gebrauch bestimmt sind, regelt.

sowie der Verbesserung von Sicherheit und Qualität dient (vgl. DEGUSSA 2001, S. 44f.).

Maßnahme	Kostenkategorien der Funktionsbereiche	Arbeitsvorbereitungs- und Fertigungs-Gemeinkosten					
	operativ-taktische Kostentreiber	Anzahl Fertigungsplanerstellungen	Anzahl Umrüstungen	Anzahl Rohstoffe	Anzahl Synthesestufen/Fertigungssteuerungen	Anzahl Qualitätskontrollen	Anzahl Ausschusschargen
Reduktion Normen	Korrelation	0	+	0	+	+	+

Abbildung 57: Korrelation von Kosten der Fertigung mit der Reduzierung von Normen (vgl. Tabelle 7 im Anhang)

Die Entscheidungen der Entwickler über Produkte und ihre Verfahren stehen also in enger Beziehung mit den Regelwerken der Organisationsstrukturen, woraus sich kosten-trächtige Prozesse und Aktivitäten ergeben können. Allerdings haben die Entwickler begrenzten Einfluss auf diese extern vorgegebenen Standards, sofern sie nicht über eine Mitgliedschaft in den entsprechenden Gremien verfügen. Wenn es ihnen jedoch gelingt, durch vorausschauende Auswahl von Produkten und Verfahren die Anwendung einzelner – externer und interner – Normen zu vermeiden, so können Kosteneinsparungen u.a. im Bereich der *Fertigungssteuerung*, durch weniger *Umrüstungen* und *geringere Fehlerkosten* realisiert werden (vgl. *Abbildung 57*). Weiterhin können z.B. der *Schulungsaufwand* für das Fachpersonal und der Aufwand für sicherheitstechnisches *Dokumentationsmaterial* für Kunden verringert werden (vgl. *Tabelle 8* im Anhang).

Neben den erläuterten Kostenerhöhungen darf weiterhin nicht außer Acht gelassen werden, dass die Sicherheitsstandards in Form von Gesetzen, Verordnungen, Normen und sonstigen Vorschriften für die chemische Industrie auch *Absatzhemmnisse* darstellen können: Zum einen sind Produkte, die einen hohen Sicherheitsstandard besitzen, in der Regel teuer und daher schwerer zu verkaufen, zum anderen gelten diesbezüglich häufig länderspezifisch sehr unterschiedliche und teilweise sich widersprechende Bestimmungen, was sich negativ auf die Absatzchancen auf internationalen Märkten auswirken kann (vgl. JAHN 1998, S. 1).

5.2.3 Kostentreiber: Prozesskonzept

In der *chemischen Fertigung* kann dasselbe Produkt in vielen Fällen nicht nur aus *verschiedenen Rohstoffen*, sondern auch nach *verschiedenen Verfahren* hergestellt werden (vgl. FITZER/FRITZ 1989, S. 14). Daher kommt der Entscheidung über das *Prozesskonzept* erhebliche Bedeutung für die Kosten, nicht nur in der Fertigung, zu. Eine systematische Betrachtung des bestehenden Beziehungszusammenhangs zwischen der Produktgestalt und dem Prozesskonzept führt zu *drei Klassen* von *Produktstrukturen* und den mit ihnen verbundenen *Freiheitsgraden* der *Prozessgestaltung*, welche unmittelbar die Kosten des Prozesskonzeptes beeinflussen (vgl. EILHAUER 1993, S. 77ff.):

- Im Falle einer *deterministischen Produktstruktur* mindert jede Strukturveränderung im Aufbau der Zielsubstanz ihren Gebrauchswert, d.h. die Produktentwicklung benötigt eine individuelle Verfahrensentwicklung und –durchführung. Hierunter fallen die Mehrzahl der *Grundchemikalien* und *Feinchemikalien* wie *Schwefelsäure* oder *Farbstoffe*, aber auch manche Spezialprodukte wie z.B. *pharmakologische Wirkstoffe*. Damit sind die Freiheitsgrade bei der Entwicklung des Prozesskonzeptes eingeschränkt, was für chemische Produkte nicht untypisch und eine Begründung für die dort anfallenden hohen Investitionskosten ist, da eine fertig installierte Chemieanlage in der Regel nur für Prozessbedingungen mit geringer Variationsbreite verwendet werden kann (insbesondere bei Fließproduktion).
- Handelt es sich um eine *semivariable Produktstruktur*, so „sind Strukturveränderungen am Produkt ohne Gebrauchswertminderung innerhalb bestimmter Grenzen möglich“. Eine Orientierung der Synthese und der Zielstruktur an den vorhandenen Anlagen und ihren Reaktionsbedingungen ist in der chemischen Industrie bei Standardreaktionsschritten in diskontinuierlichen Reaktoren (gut) möglich (Rühren, Heizen, Destillieren, Dekantieren); allerdings ist eine Produktstrukturänderung ohne gleichzeitige Änderung der Produkteigenschaften in der Chemie kaum darstellbar (häufiger treten semivariable Produktstrukturen hingegen im Maschinenbau oder Automobilbau auf). Jedoch sind gerade *Industrie- und Spezialprodukte*, welche oft aus einer Mischung von mehreren Substanzen bestehen (‘Zubereitungen’), eher an den Erfordernissen vorhandener Prozesse ausrichtbar, da hier die Produktfunktionen nicht von einer Struktur, sondern von der Kombination mehrerer Strukturen abhängen, die oftmals innerhalb bestimmter Grenzen variiert werden können. Ein Beispiel aus der chemischen Industrie ist die Herstellung von Dispersionsfarben: Hier können die Verfahrensentwickler durch eine Anpassung der Rezepturen eine automatische statt einer halbautomatischen Abfüllung durchführen, ohne dass die Produktfunktionen merklich beeinflusst werden.
- Liegt eine *variable Produktstruktur* vor, so sind Strukturveränderungen sehr weitgehend möglich, ohne dass dadurch Nutzenminderungen auftreten. Die Produkt- und Verfahrensentwicklung können parallel bzw. einheitlich verfolgt werden, und die technologisch im Unternehmen derzeit möglichen Grenzen der Produktgestal-

tung bzw. -fertigung werden bereits als Sollwerte für die Produktentwicklung vorgegeben (z.B. Textilindustrie, Lebensmittelindustrie).

Ist ein möglicher Syntheseweg für das Zielprodukt erarbeitet, wird in einer Projektstudie zunächst ein *vorläufiges Verfahrenskonzept* entwickelt, um die technischen und wirtschaftlichen Erfolgsaussichten abzuschätzen. Dabei sind insbesondere die verschiedenen möglichen Synthesewege und die resultierenden alternativen chemischen Prozesse unter gegebenen Standort-, Rohstoff- und Verfahrensvoraussetzungen durch Chemiker und Ingenieure zu optimieren, unter Zuhilfenahme von Informationen aus der Kostenrechnung. Die Auswahl des Prozesskonzeptes orientiert sich dabei insbesondere an den folgenden Kriterien (vgl. ONKEN/BEHR 1996, S. 52ff.):

- *Stoffliche Gesichtspunkte* beziehen sich besonders auf Kosten und Verfügbarkeit der Ausgangsprodukte sowie die Bildung von Neben- bzw. Koppelprodukten bei der geplanten Synthese. Diese sind auch unter dem Aspekt möglicher zukünftiger Verfahrensentwicklungen zu betrachten, welche z.B. aufgrund der immer besseren Beherrschbarkeit höherer Drücke und Temperaturen die Verwendung von preisgünstigeren Einsatzstoffen vernünftig erscheinen lassen können.
- Der *Energieaufwand* ist ein wesentlicher Kostenfaktor und abhängig von den verschiedenen Energiearten (vgl. *Abschnitt 3.1.4*). So ist thermische Energie (Dampf, Abgase) preiswerter als elektrische und aus verschiedenen Energieträgern darstellbar (Reaktionsabwärme, Brennstoffe). Die Prozessführung ist also so zu gestalten, dass eine möglichst hohe Energieausnutzung erreicht wird.
- Die *Sicherheit* von Chemieanlagen hängt von den Gefahrenquellen chemischer Prozesse ab, welche im Wesentlichen auf exotherme (Wärme freisetzende) Reaktionen sowie brennbare, explosive Stoffe und toxische Stoffe zurückzuführen sind.
- Zur Vermeidung von *Umweltbelastungen* müssen entweder Reaktionsverfahren eingesetzt werden, welche weniger relevante Stoffe freisetzen, oder die Aufarbeitung der Abfallprodukte muss gesichert werden (Abluft, Abwasser, feste Abfälle).

Wirtschaftliches Optimierungsziel für das Prozesskonzept wird in der Regel die Darstellung der *preisgünstigsten Herstellungsbedingungen* sein (vgl. FITZER/FRITZ 1989, S. 34). Dafür sind gerade bei Massengütern (‘Commodities’) oftmals auch *Verfahrensinnovationen* zum Erreichen der Kostenführerschaft erforderlich (vgl. MARCINOWSKI 2001, S. 1). In Hochtechnologiebereichen wie der pharmazeutischen Produktentwicklung (‘Specialities’) können Prozessinnovationen darüber hinaus auch zum Auslöser für die kommerzielle Erschließung von neuen Substanzen werden (vgl. PISANO 1997, S. 103ff.).

Neben der Optimierung der Herstellkosten kann aber auch das Ziel eines *technologischen Optimums* gelten, welches z.B. in Zeiten knapperer Rohstoffe die Maximierung der Reaktionsausbeute – möglicherweise unter Inkaufnahme höherer Herstellkosten –

anstrebt. Da die Optimierung einer einzelnen chemischen Prozessstufe nicht zwangsläufig zum Optimum des Gesamtprozesses führt, ist weiterhin eine *ganzheitliche Sichtweise* des Prozesses sicherzustellen, denn bei der getrennten Optimierung der einzelnen Prozessstufen stimmen die Randbedingungen zweier benachbarter Stufen nicht automatisch überein (dies gilt im größeren Maßstab besonders für Verbundproduktionen).

Der nächste Schritt der Verfahrensentwicklung beschäftigt sich nach der Erarbeitung des Verfahrenskonzeptes mit *experimentellen Untersuchungen* in Labor und Technikum sowie dem Bau und Betrieb einer *Versuchsanlage* bzw. der Anpassung vorhandener Anlagen an die geforderten Reaktionsbedingungen (vgl. ONKEN/BEHR 1996, S. 132ff.). Denn selbst wenn eine Synthese im Labor zufriedenstellend verläuft, kann sie unter den veränderten Bedingungen eines großvolumigen Reaktionsreaktors (hervorgerufen u.a. durch unterschiedliche Temperaturverteilung bzw. Wärmeleitfähigkeit, Scherkräfte beim Rühren) zu anderen Ausbeuten und sogar Produkten führen (vgl. BAMFIELD 1996, S. 144f.). Deshalb müssen unter Prozessbedingungen u.a. die Synthesequalität, das Langzeitverhalten von Werkstoffen und Katalysatoren und die Bildung von Nebenprodukten analysiert werden. Diese Ergebnisse fließen dann ergänzend in die parallel verfolgte Weiterentwicklung des Prozesskonzeptes mit ein.

Für die Produktentwickler existieren innerhalb des beschriebenen Vorgehens im Wesentlichen *fünf Einflussgebiete* auf das Prozesskonzept. Von besonderer Bedeutung ist dabei der von ihnen gewählte Syntheseweg: Er definiert die einzusetzenden Ausgangsstoffe, und anhand der Art und Anzahl der zum Endprodukt führenden *Synthesestufen* bzw. Fertigungsschritte auch die theoretisch erzielbare Ausbeute und die hierfür notwendigen Aktivitäten (vgl. *Abschnitt 5.2.3.1*). Weiterhin wirken die Entwickler an der Beeinflussung der jeweiligen Prozessparameter mit dem Ziel der *Erhöhung der Ist-Ausbeute* mit, unter gleichzeitiger Minimierung der Prozesskosten (vgl. *Abschnitt 5.2.3.2*). Einfluss auf die Fertigungs- und andere Gemeinkosten können die Entwickler dadurch nehmen, dass sie durch eine *fertigungsgerechte Rezeptur-* bzw. *Fertigungsvorschrift* nicht wertschöpfende Aktivitäten vermeiden (vgl. *Abschnitt 5.2.3.3*). Die Fertigungskosten hängen darüber hinaus auch noch von einer entweder *kontinuierlichen* oder *diskontinuierlichen Fertigungsweise* ab, über welche zwar überwiegend von den Verfahrensentwicklern entschieden wird, jedoch nicht ohne die Beratung durch die Produktentwickler einzuholen (vgl. *Abschnitt 5.2.3.4*). Denn diese Entscheidung hängt weniger von dem herzustellenden Produkt als von der prognostizierten Absatzmenge und der geplanten Amortisationsdauer von Anlageinvestitionen ab. Sind die Absatzchancen mit größeren Unsicherheiten behaftet und stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, so sollte jenes ausgewählt werden, welches unter Umständen auch anderweitig zum Einsatz kommen könnte (vgl. FITZER/FRITZ 1989, S. 15; *Abschnitt 5.2.4.1*). In der Praxis bedeutet dies meist den Einsatz eines diskontinuierlichen Verfahrens.

Weitere Kosten des Verfahrenskonzeptes, welche allerdings nicht von den Entwicklern beeinflusst werden können, sind beispielsweise die *Art* und *Größe* des *Reaktors* (und damit die Kapazitätsauslastung) oder die *Reaktorwerkstoffe*. Zudem stellt sich auf der

Ebene der Gesamtprozesse die (strategische) Frage nach entweder *isolierten Reaktionsanlagen* oder dem Betreiben eines chemischen Produktionsnetzwerkes in Form eines *Verbundes*. Da bei chemischen Reaktionen häufig ‚zwangsläufig‘ Kuppelprodukte anfallen, kann die Errichtung von Verbundanlagen ihre ‚Verwertung‘ begünstigen; ein weiterer Grund für die Einrichtung eines Verbundes sind die nicht unerheblichen Einsparungen, welche durch das Vermeiden langer und sicherheitsproblematischer Transportwege erzielt werden können (ONKEN/BEHR 1996, S. 3).

5.2.3.1 Maßnahme: Reduktion der Synthesestufen

Die chemische Synthese befasst sich mit der Aufgabe, (meist organische) Zielverbindungen ausgehend von einfacheren, käuflichen oder selbsterzeugten Substanzen in einer möglichst rationellen Abfolge von Reaktionen herzustellen. In den einzelnen Reaktionsstufen werden dabei funktionelle Gruppen in andere funktionelle Gruppen umgewandelt und/oder – meist die wichtigste und schwierigste Aufgabe – das (Kohlenstoff-) Gerüst des Zielmoleküls durch Ausbildung neuer (C-C) Bindungen aufgebaut. Schwierigkeiten treten immer dann auf, wenn die für die Veränderung eines Strukturabschnitts benötigten Reaktionsbedingungen eine andere Teilstruktur des Moleküls ebenfalls angreifen. In diesem Fall muss der gefährdete Teil durch ‚Schutzgruppen‘ geschützt, die beabsichtigte Umwandlung durchgeführt, und am Schluss die Schutzgruppe unter möglichst milden Bedingungen wieder abgespalten werden.

Jede Stufe verläuft aber nur mit einer bestimmten *Ausbeute*. Daher muss oft mit verhältnismäßig großen Mengen begonnen werden, um am Schluss einer vielstufigen Synthese eine kleine Menge Endprodukt zu gewinnen. Ziele einer effizienten Synthese sind deshalb nicht nur eine möglichst hohe Ausbeute jeder einzelnen Stufe, sondern auch die Durchführung in möglichst wenig Stufen. Aus den gleichen Gründen ist es auch effizienter, ein großes Molekül aus zwei Hälften aufzubauen als durch lineares Synthetisieren vieler kleiner Teilstücke.

Kann man sich bei der Fertigung des Zielproduktes zwischen verschiedenen Synthesewegen entscheiden, so wird man i.A. denjenigen Weg wählen, bei dem die *wenigsten Reaktionsschritte* vonnöten und die Ausgangsstoffe möglichst preiswert und leicht zugänglich sind (vgl. PINE ET AL. 1987, S. 800). Denn nur in seltenen Fällen wird die theoretisch mögliche Ausbeute durch einen Syntheseweg erhöht, der mehr Synthesestufen aufweist als ein anderer Weg, welcher zum identischen Produkt führt. Die Gesamtausbeute eines solchen mehrstufigen Prozesses errechnet sich dabei aus dem mathematischen *Produkt* der *Ausbeuten* der einzelnen *Teilreaktionen* (in %), so dass beim Durchlaufen von *zusätzlichen* Teilreaktionen eine deutliche Abnahme der Gesamtausbeute zu erwarten ist. Dies ist der Grund für die hohe Bedeutung der Anzahl an Synthesestufen für den wirtschaftlichen Erfolg eines Herstellverfahrens.

Maßnahme	Kostenkategorien der Funktionsbereiche	Arbeitsvorbereitungs- und Fertigungs-Gemeinkosten						Materiallager- und Logistik-Gemeinkosten		
	operativ-taktische Kostentreiber	Anzahl Fertigungsplanerstellungen	Anzahl Umrüstungen	Anzahl Rohstoffe	Anzahl Synthesestufen/Fertigungssteuerungen	Anzahl Qualitätskontrollen	Anzahl Ausschusschargen	Anzahl Eingangskontrollen	Anzahl Ein-/Auslagerungsvorgänge	Anzahl Verpackungen/Versendungen
Reduktion Synthesestufen	Korrelation	0	+	+	+	+	+	+	+	0

Abbildung 58: Korrelation von Kosten der Fertigung und Logistik mit der Anzahl der Synthesestufen (vgl. Tabelle 7 im Anhang)

Neben der meist höheren Ausbeute kürzerer Synthesewege können durch eine *Ver-
ringerung* der Stufen auch die bei jedem Reaktionsschritt anfallenden *Aktivitäten*, wie die Rüstvorgänge, die Dosierung der Ausgangsstoffe und Beschickung des Reaktionsbehälters, die Synthesesteuerung (Heizen, Kühlen, Rühren, Destillieren, Dekantieren etc.), die anschließende Entladung des Reaktionsbehälters und seine Reinigung vermieden und dadurch überwiegend Fertigungsgemeinkosten gesenkt werden. Dieser Aufwand für die einzelnen Reaktionsschritte muss also bei Entscheidungen über alternative Reaktionswege den Erträgen aus der Gesamtausbeute des jeweiligen Synthesewegs gegenübergestellt werden. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass eine Synthese mit weniger Einzelschritten auch zu einer Verkürzung der Belegungsdauer eines Reaktors führen und dadurch den Durchsatz pro Zeiteinheit erhöhen kann. *Abbildung 58* verdeutlicht nochmals die mögliche Beeinflussung der Kosten durch die Entwickler anhand der Fertigung und Logistik.

5.2.3.2 Maßnahme: Erhöhung der Ist-Ausbeute

Ziel jeder chemischen Synthese ist es, das gewünschte Produkt zuverlässig und mit *hoher Ausbeute* bzw. *Selektivität* herzustellen. Als *Ausbeute* wird prinzipiell das Mengenverhältnis zwischen Ausbringung und Einsatz bezeichnet; sie stellt eine wichtige Steuerungsgröße für Entscheidungen über das Prozesskonzept dar. Man unterscheidet dabei zwischen

- der *theoretischen* Ausbeute,
- der *technisch geplanten* Ausbeute und
- der *Ist-Ausbeute*.

Die *theoretische Ausbeute* eines chemischen Prozesses wird ermittelt, indem man die Molekulargewichte der Zielprodukte und der Einsatzstoffe ins Verhältnis setzt. Die *technisch geplante Ausbeute* stellt die auf dieser Reaktion basierende und unter den gegebenen technischen Voraussetzungen wirtschaftlich sinnvoll erreichbare Ausbeute dar; sie ist in der Regel kleiner als die theoretische Ausbeute. Die *Ist-Ausbeute* schließlich ist die im Produktionsprozess tatsächlich erreichte Ausbeute; ihre Abweichung von der technisch geplanten Ausbeute wird als *Verbrauchsabweichung* ausgewiesen.

Wie bereits zuvor erwähnt, arbeiten die Produktentwickler beim ‚Scale-Up‘, also der Übertragung der Synthese vom Labormaßstab auf die gewünschten Fertigungseinheiten, eng mit den Verfahrensentwicklern zusammen, um die für den gewählten Reaktionsweg (basierend auf der theoretischen Ausbeute) maximale Ist-Ausbeute zu erzielen.¹⁹⁸ In den dabei durchzuführenden einzelnen Verfahrensstufen des chemischen Prozesses sind die wichtigsten Einflussgrößen zur Beeinflussung der Ist-Ausbeute die *quantitativen* und die *qualitativen Prozessvariablen* (FITZER/FRITZ 1989, S. 34f.). Zu den *quantitativen Prozessvariablen* zählen vor allem Konzentration, Druck, Temperatur, Reaktionszeit und die Reinheit der Ausgangsstoffe. Diese Parameter können günstigenfalls so eingestellt werden, dass die jeweilige Zielgröße des Prozesses, in der Regel die Minimierung der Herstellkosten, erreicht wird. Die *qualitativen Prozessvariablen* beeinflussen ebenfalls den Umsatz und die Selektivität der Reaktionen, können jedoch im Gegensatz zu den quantitativen Variablen nicht in gleicher Weise systematisch variiert werden, da hier eher schwer abzuschätzende Einflüsse wie z.B. das material- und formbedingte Eigenschaftsprofil eines Reaktionsreaktors wirksam werden. Beiden Variablentypen sind weiterhin durch die *physikalischen* (z.B. Erstarrungs- oder Siedetemperatur) und *chemischen Charakteristika* (z.B. Säurestärke oder Explosionsgrenze) des Reaktionsmediums sowie durch die technische Machbarkeit (z.B. Werkstoffbeständigkeit oder Stofftransport) von Reaktionen Grenzen gesetzt.

Wie aus *Abbildung 59* hervorgeht, können die Produktentwickler durch eine Erhöhung der Ist-Ausbeute Einfluss auf mehrere Kostentreiber, wie die Zahl der *Umrüstungen*, der *Synthesestufen* oder der *Qualitätskontrollen* ausüben. Von besonderer Bedeutung ist weiterhin die Senkung der *Materialkosten*, da mit der gleichen Menge an Ausgangsstoffen eine größere Menge des Produkts hergestellt werden kann.¹⁹⁹ Da die Optimierung des Gesamtprozesses auf der Optimierung der Einzelstufen beruht, sind für die Optimierung der Einzelstufen naturwissenschaftliche Daten wie die Lage der *Gleichgewichtszustände* (Phasengleichgewichte und chemische Gleichgewichte), Informationen über die Geschwindigkeit der *Stoff-, Energie- und Impulstransportvorgänge* sowie möglichst umfassende Angaben zur chemischen *Kinetik* unabdingbar (vgl. *Abschnitt 4.6.3*; FITZER/FRITZ 1989, S. 35).

¹⁹⁸ Für ein ausführliches Beispiel zum Einfluss der theoretischen und der Ist-Ausbeute auf die Herstellkosten des Zielprodukts vgl. BAMFIELD 1996, S. 131ff.

¹⁹⁹ Auf die besondere Bedeutung der Materialkosten in der chemischen Industrie wurde bereits in *Abschnitt 3.1.4* hingewiesen.

Maßnahme	Kostenkategorien der Funktionsbereiche	Arbeitsvorbereitungs- und Fertigungs-Gemeinkosten						Materiallager- und Logistik-Gemeinkosten		
	operativ-taktische Kostentreiber	Anzahl Fertigungsplanerstellungen	Anzahl Umrüstungen	Anzahl Rohstoffe	Anzahl Synthesestufen/Fertigungssteuerungen	Anzahl Qualitätskontrollen	Anzahl Ausschusschargen	Anzahl Eingangskontrollen	Anzahl Ein-/Auslagerungsvorgänge	Anzahl Verpackungen/Versendungen
Erhöhung Ist-Ausbeute	Korrelation	0	+	0	+	+	+	0	0	0

Abbildung 59: Korrelation von Kosten der Fertigung und Logistik mit der Erhöhung der Ist-Ausbeute (vgl. Tabelle 7 im Anhang)

5.2.3.3 Maßnahme: Fertigungsgerechte Rezeptur

Neben den zahlreichen vorgestellten Prozessen in unterstützenden Bereichen, welche durch die Festlegung des Synthesewegs bzw. die Produktstruktur hervorgerufen werden können, hat auch die den Syntheseablauf beschreibende *Herstellungsvorschrift* erheblichen Einfluss auf die betrieblichen Abläufe in den Fertigungsbereichen. Gerade wenn das Produkt und der Herstellungsprozess so eng miteinander verbunden sind, dass Produktkonzeptdetails oft nur unter Annahme bestimmter Prozessdetails definiert werden können, müssen die Produktentwickler frühzeitig die technologischen Gegebenheiten und Grenzen der Fertigung berücksichtigen und eine fertigungsgerechte Produktsynthese aufbauen (vgl. BOOTHROYD ET AL. 1994, S. 32).

Ausführlich diskutiert wird dieser Ansatz seit vielen Jahren im Maschinenbau, wo er unter den Begriffen *Montagegerechtes Konstruieren* oder *Design for Manufacture* bzw. *Design for Manufacture and Assembly* (DFM, DFMA^{®200}) bekannt ist: „Montagegerechtes Konstruieren heißt, Produkte so zu gestalten, dass deren Montageaufwand ein Minimum erreicht. Dabei sind die Herstellkosten des Produkts insgesamt zu minimieren“ (WARNECKE ET AL. 1986, S. 605).²⁰¹ Es wird also im Maschinenbau versucht, durch eine Verringerung der Zahl der Produktteile, die Zerlegung des Gesamtproduktes in abgegrenzte Funktionsmodule oder die Zugänglichkeit von Baugruppen und den Einsatz einfacher Fügeverbindungen den Aufwand der Konstruktion zu verringern (vgl.

²⁰⁰ DFMA[®] ist ein Instrument und ein registrierter Markenname der Boothroyd Dewhurst Inc., welches den Entwicklungsprozess systematisch nach Kostensenkungspotentialen untersucht und in gewissem Umfang auch Produktkosten ausweisen kann.

²⁰¹ Der Begriff Design steht in diesem Zusammenhang vor allem für die detaillierte Festlegung von Formen, Toleranzen und Materialeigenschaften.

GERPOTT/WINZER 1996, S. 137). Derartige Ansätze wurden teilweise schon in den vorangegangenen Abschnitten auf chemische Produkte angewandt (z.B. Wiederholsubstanzen, Plattformen).

Chemische Produktionsprozesse verlaufen überwiegend abgeschlossen innerhalb eines Reaktors und werden – physikalisch – meist nur durch Rühren, Temperatur- und Druckregelungen unterstützt. ‚Makroskopisch‘ orientierte Optimierungsansätze wie im Maschinenbau, welche im Sinne einer fertigungsgerechten Entwicklung und Montage z.B. die Vereinfachung der Fügeprozesse anstreben, lassen sich auf chemisch-molekularer Ebene nicht realisieren. Deshalb kann es in der Chemie neben den schon zuvor genannten Einflussgrößen im Sinne eines *fertigungsgerechten Designs* (Gleich- und Wiederholsubstanzen sowie Baukästen und Plattformen) nur noch um die Beeinflussung der Fertigungsabläufe durch eine *fertigungsgerechte Rezeptur* gehen. Ziel dieser Maßnahme ist es, dass die Entwickler die Fertigungsvorschrift so optimieren, dass die durch sie initiierten Aktivitäten möglichst geringen Aufwand generieren. Ob beispielsweise ein Rohstoff sackweise statt durch händische Wägung kleinerer Einheiten (Toleranzen!) in den Produktionsprozess eingebracht wird, oder ob die zur Reaktion notwendige physikalische Vermengung der Stoffmischung in den bereits vorhandenen Reaktoren ausreichend gewährleistet wird, sind wichtige Aspekte, welche in das Entwicklungskalkül einbezogen werden müssen. Die aus derartigen Ansätzen resultierenden Kostensenkungspotentiale im Fertigungs- und Logistikbereich sind in *Abbildung 60* aufgeführt. Auch die Qualität der Vorprodukte spielt beispielsweise eine wichtige Rolle für die fertigungsgerechte Rezeptur, denn mangelnde Substanzreinheit oder fehlerhafte (z.B. Aggregatzustand teilweise gasförmig statt flüssig) Materialeigenschaften der eingesetzten Stoffe können aufwändige Aufarbeitungs- und Reinigungsaktivitäten verursachen.

Dass die Eigenschaften potentiell gefährlicher chemischer Stoffe zur Beachtung und Einhaltung von kostentreibenden Regeln führen können, wurde bereits in *Abschnitt 5.2.2.1* dargelegt. Aber auch schon ohne derartige Vorschriften können alleine manche Eigenschaften chemischer Stoffe in der Fertigung mehr Aufwand als andere generieren: Entsteht beispielsweise ein Produkt in Form einer *sirupösen* statt einer schnell *fließenden* Flüssigkeit, so wird durch einen verzögerten Entleerungsvorgang die *Belegungs-dauer* des Reaktors verlängert; ist ein Inhaltsstoff *korrosiv*, so erfordert er eine höhere *Wartungsintensität* der verwendeten Reaktionsapparaturen. Weniger reaktive Stoffe *vermindern* zwar in der Regel die *Ausbeute* einer Synthese, können auf der anderen Seite aber auch eine Absenkung von *Versicherungsprämien* bewirken (geringere Gefahr für die Umwelt).

Maßnahme	Kostenkategorien der Funktionsbereiche	Arbeitsvorbereitungs- und Fertigungs-Gemeinkosten						Materiallager- und Logistik-Gemeinkosten		
	operativ-taktische Kostentreiber	Anzahl Fertigungsplanerstellungen	Anzahl Umrüstungen	Anzahl Rohstoffe	Anzahl Synthesestufen/Fertigungssteuerungen	Anzahl Qualitätskontrollen	Anzahl Ausschusschargen	Anzahl Eingangskontrollen	Anzahl Ein-/Auslagerungsvorgänge	Anzahl Verpackungen/Versendungen
Fertigungsge-rechte Rezeptur	Korrelation	+	+	0	+	+	+	0	+	0

Abbildung 60: Korrelation von Kosten der Fertigung und Logistik mit der Erstellung einer fertigungsge-rechten Rezeptur (vgl. Tabelle 7 im Anhang)

5.2.3.4 Maßnahme: Kontinuität der Produktion

Fast jedes chemische Verfahren lässt sich als Chargenprozess oder als Fließbetrieb realisieren (vgl. ONKEN/BEHR 1996, S. 121). Während in den Anfangszeiten der chemischen Industrie die chemischen Umsetzungen stets diskontinuierlich ausgeführt wurden, geht die Tendenz in der modernen chemischen Technik immer mehr dahin, die Reaktionsführung kontinuierlich zu gestalten (vgl. FITZER/Fritz 1989, S. 62). Es lassen sich demnach zwei Gruppen von Produktionsprozessen unterscheiden:²⁰²

- die *kontinuierliche* Fertigung (Fließfertigung) und
- die *diskontinuierliche* (chargenweise) Fertigung.

Bei der *kontinuierlichen Fertigung* werden die Reaktionspartner ununterbrochen zusammen mit den anderen Reaktionskomponenten (z.B. Lösungsmittel, Trägergas) einem chemischen Reaktionsraum zugeführt. Nach Durchführung der Reaktion verlassen die Erzeugnisse und Nebenprodukte in einem ununterbrochenen Fluss die Apparatur. Kontinuierliche Prozesse können über einen längeren Zeitraum (Monate) laufen und eignen sich aufgrund der gleichbleibenden Bedingungen für eine weitgehende Automatisierung. Man setzt die Fließfertigung daher meist dort ein, wo ein auf Massendurchsatz konzipiertes Produktionsprogramm einen eindeutig festgelegten und nur gering beeinflussbaren Fertigungsablauf notwendig macht. Der Vorteil derartiger Anlagen liegt

²⁰² Weiterhin wird bei vielen technischen Umsetzungen auch eine Verbindung von beiden Verfahren in Form eines „halbkontinuierlichen“ Betriebs angewandt („Teilfließbetrieb“; vgl. FITZER/FRITZ 1989, S. 64f.).

hauptsächlich in der Kostendegression der kontinuierlichen und rationalisierten Massenfertigung (vgl. VCI 1997, S. 122).

Darüber hinaus können durch eine kontinuierliche Produktion in der Regel auch die *Investitionskosten* im Vergleich zur diskontinuierlichen Fertigung gesenkt werden: Aufgrund der entfallenden Totzeiten (Füllen, Entleeren, Heizen, Abkühlen etc.) reicht bei gleicher Ausbringungsleistung meist ein geringeres Reaktorvolumen aus. Dem sind jedoch die höheren Investitionen aufgrund der höheren Anzahl an Einzelapparaten (z.B. Rührkesselkaskade zur kontinuierlichen Temperaturerhöhung) und der aufwändigen Förder- und Dosiereinrichtungen gegenüberzustellen, welche z.B. bei petrochemischen Anlagen bis zu 25% der Gesamtinvestitionen der Produktionsanlage betragen können (vgl. FITZER/Fritz 1989, S. 63f.). Weiterhin sind derartige Monoproduktanlagen der Fließfertigung starr gegenüber Marktveränderungen, und andere Produktionsprozesse (z.B. erforderlich aufgrund veränderter Rohstoffsituation) sind auf der Anlage nicht bzw. nur mit teilweise sehr hohem Rüst- und Umbauaufwand zu bewältigen.

In einer *diskontinuierlichen Fertigung* wird die Apparatur dagegen mit einer bestimmten Menge an Reaktionspartnern, Lösungsmitteln, Katalysatoren usw. gefüllt. Nach Ablauf des chemischen Prozesses wird die Gesamtmenge an Erzeugnissen und Nebenprodukten entnommen. Vorteilhaft bei dieser Fertigungsform ist die *Flexibilität*, durch kampagnen- oder chargenweise Produktion auf Marktveränderungen in Nachfrage- und Sortimentsstruktur leichter reagieren zu können (vgl. VCI 1997, S. 122). Auch Produktvarianten können auf diese Weise leichter und kostengünstiger hergestellt werden (Umrüstungen kaum erforderlich). Weitere wirtschaftliche Vorteile weisen diskontinuierliche Verfahren bei der Produktion von kleineren Mengen auf (z.B. pharmakologische Wirkstoffe oder Farbstoffe), da diese die Investition bzw. Installation einer Fließfertigung nicht rechtfertigen und weil die der Produktion vor- und nachgeschalteten physikalischen Stufen (Filtration, Trocknung, Destillation usw.) in diesen Fällen günstiger durchzuführen sind. Demgegenüber entstehen Nachteile aus der schlechteren Kapazitätsauslastung, höheren Energiekosten infolge des Aufheizens bzw. Abkühlens für jede Charge und einem in der Regel höheren personellen Steuerungsaufwand (vgl. FITZER/FRITZ 1989, S. 62f.).

Der unmittelbare Einfluss der Produktentwickler auf die Verfahrensauswahl hinsichtlich kontinuierlicher oder diskontinuierlicher Reaktionsführung ist beschränkt. Trotzdem hängt die Machbarkeit jedes der Verfahren und damit auch die Kostensituation vom Syntheseweg für das Zielprodukt ab, den die Entwickler bestimmen. *Abbildung 61* zeigt die Korrelation der Verfahren mit den Kosten der Fertigung; die Korrelation der Kosten mit den Maßnahmen ist abhängig vom Einzelfall, weshalb keine generelle Aussage getroffen werden kann.²⁰³

²⁰³ Die Korrelation kann nur pauschal als ‚vorhanden‘ (+) oder ‚nicht vorhanden‘ (0) ausgewiesen werden, ohne für das kontinuierliche oder diskontinuierliche Verfahren eine positive oder negative Richtung angeben zu können.

Maßnahme	Kostenkategorien der Funktionsbereiche	Arbeitsvorbereitungs- und Fertigungs-Gemeinkosten						Fertigungs-Einzelkosten		
	operativ-taktische Kostentreiber	Anzahl Fertigungsplanerstellungen	Anzahl Umrüstungen	Anzahl Rohstoffe	Anzahl Synthesestufen/Fertigungssteuerungen	Anzahl Qualitätskontrollen	Anzahl Ausschusschargen	Umfang Fertigungszeiten	Höhe Materialkosten	Höhe Investitionskosten
Kontinuierlich/ Diskontinuierlich	Korrelation	+	+	0	+	0	0	+	+	+

Abbildung 61: Korrelation von Kosten der Fertigung mit der kontinuierlichen oder diskontinuierlichen Prozessführung (vgl. Tabelle 7 im Anhang)

5.2.4 Kostentreiber: Prozessvielfalt

Zu den bereits kurz erwähnten Charakteristika chemischer Prozesse gehört, dass sie – im Gegensatz zu den jeweils relativ gleichartigen Produktionsmethoden anderer Branchen (z.B. der Automobilindustrie, der Maschinenbauindustrie oder der kunststoffverarbeitenden Industrie) – je nach Produkt sehr unterschiedlich sind und daher Chemieanlagen speziell auf die darin ablaufenden chemischen Reaktionen konzipiert sein müssen (vgl. ONKEN/BEHR 1996, S. 2). Das führt dazu, dass die Produktionsanlagen für einzelne Prozesse aus vielen Einzelementen bestehen, was besonders bei Anlagen mit kontinuierlicher Prozessführung zu komplexen Installationen und Abläufen führt, da dort für jeden Arbeitsschritt eine spezielle apparative Anordnung vorhanden sein muss.

Diese *Vielfalt chemischer Prozesse und Anlagen* wird zusätzlich noch durch die Anzahl an *alternativen Synthesewegen* für einzelne Produkte erhöht (z.B. existieren fünf technische Synthesewege für das wichtige Zwischenprodukt Phenol; vgl. ONKEN/BEHR S. 52ff.). Zudem erzeugen chemische Prozesse nur selten das Zielprodukt in der gewünschten Reinheit und Ausbeute, sondern in Abhängigkeit von der Stöchiometrie der jeweiligen Reaktion entstehen durch Parallel- und Folgereaktionen Kuppelprodukte, die entweder wertlos sind oder in Folgereaktionen aufgearbeitet werden müssen. Der Anteil unerwünschter Nebenprodukte (z.B. bei der ‚Substitution am aromatischen Kern‘) kann jedoch über die Parametrierung der Prozessvariablen (Druck, Temperatur, Katalysator etc.) in einem gewissen Ausmaß beherrscht werden.

Eine Möglichkeit, die beschriebene Prozessvielfalt chemischer Herstellverfahren zu reduzieren, kann die Bildung von ‚Technologiefamilien‘ eröffnen (vgl. *Abschnitt 5.2.4.1*). Dadurch kann eine Verringerung bzw. Angleichung unterschiedlicher Technologien innerhalb des Betriebes erreicht werden und es können, sowohl was die Pro-

duktionsverfahren als auch die Produktgruppen (z.B. aus Umweltgesichtspunkten ‚heikle‘ Fluorchemie) betrifft, die Kosten der Infrastruktur (Ressourcen, Know-how) geteilt und Koordinationskosten gesenkt werden.

5.2.4.1 Maßnahme: Bildung von Technologiefamilien

In den Ingenieurwissenschaften ist dieser Ansatz bereits unter dem Begriff ‚Fertigungsfamilien‘ bekannt. Darunter versteht man die organisatorische Zusammenfassung vormals separat bearbeiteter Produktkomponenten anhand der Bearbeitungsähnlichkeit mit der Absicht, die *Ablaufstruktur* in der Fertigung zu verbessern, dadurch die *Durchlaufzeiten* zu verringern und die *Produktionssteuerung* zu vereinfachen (vgl. HABENICH 1996, S. 2046). Eine erfolgreiche Umsetzung dieser Maßnahmen führt zu verringerter Kapitalbindung, schnellerer Lieferbereitschaft und niedrigeren Lager- und Transportkosten (vgl. SCHOLL 1998, S. 115).

In der chemischen Produktion ist diese Vorgehensweise besonders für *diskontinuierliche Batch-Prozesse*²⁰⁴ erfolversprechend. Diese finden in der Regel in (Mehrzweck-) Reaktoren statt, welche für ähnliche Syntheseverfahren und –bedingungen ausgelegt sind. Aufgrund der fertigungstechnischen Verwandtschaft, d.h. ähnliche Arbeitsabläufe infolge ähnliche Technologien, sollten in diesem Bereich die direkten Kosten (Fertigungslöhne, Material-, Maschinenkosten) gesenkt werden können (vgl. *Abbildung 62*; SCHOLL 1998, S. 113). Durch eine Zunahme an standardisierten Abläufen lassen sich darüber hinaus gegebenenfalls Erfahrungskurveneffekte realisieren.²⁰⁵

Die Entwickler können die Bildung von Technologiefamilien unterstützen, indem sie solche Synthesewege für die gewünschten Produkte wählen, welche ähnliche Fertigungsstufen durchlaufen können. Dafür müssen sie die aktuellen Fertigungsverfahren (z.B. Destillation, Fermentation, Gefriertrocknung) und ihre Eigenschaften (z.B. Eignung für bestimmte Werkstoffe) kennen und neben den Investitionen auch den für alternative Verfahren notwendigen Know-how-Bedarf (Ingenieurleistung, Beratungsleis-

²⁰⁴ Bei Batch-Prozessen lassen sich, unter dem Gesichtspunkt der Familienbildung, drei Ebenen mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad der Beschreibung identifizieren. In der *untersten Ebene* werden einzelne Apparate (Reaktoren, Destillationskolonnen) sehr detailliert mit Hilfe von Massen- und Energiebilanzen, Thermodynamik und Reaktionskinetik beschrieben. Die zur Kostensenkung notwendige Optimierung der Reaktionszeit oder der Produktqualität erfordert die Lösung eines optimalen Steuerungsproblems. Als Ergebnis erhält man die Dosierrate und Prozessparameter wie Druck und Temperatur als Funktion der Zeit. In der *mittleren Ebene* werden einige Apparate zu einer Produktionsstraße zusammengefasst. In der *obersten Ebene* wird das Zusammenspiel verschiedener Produktionsstraßen betrachtet, wobei die Produktion der einzelnen Straßen durch Zwischenspeicher entkoppelt ist. Die optimale Größe dieser Zwischenspeicher hängt neben den Produktionskapazitäten von Größen wie der durchschnittlichen Ausfallzeit der Anlagen, vorgegebenen Lieferzeiten sowie dem Eingang von Bestellungen ab. Je einheitlicher die verwendeten Technologien sind, umso weniger aufwändig wird die Prozesssteuerung.

²⁰⁵ Vgl. hierzu stellvertretend das Beispiel zur Teilekomplexität aus dem Maschinenbau bei LINGSCHIED 1996, S. 86f.

tung) berücksichtigen (vgl. BAMFIELD 1996, S. 145). Aufgrund der engen Verbindung von Produkt und Prozess kann dies wiederum auch zur Ausbildung von Substanzfamilien führen (vgl. Abschnitt 5.2.1.4).

Maßnahme	Kostenkategorien der Funktionsbereiche	Arbeitsvorbereitungs- und Fertigungs-Gemeinkosten						Fertigungs-Einzelkosten		
	operativ-taktische Kostentreiber	Anzahl Fertigungsplanerstellungen	Anzahl Umrüstungen	Anzahl Rohstoffe	Anzahl Synthesestufen/Fertigungssteuerungen	Anzahl Qualitätskontrollen	Anzahl Ausschusschargen	Umfang Fertigungszeiten	Höhe Materialkosten	Höhe Investitionskosten
Technologiefamilien	Korrelation	+	+	0	+	+	+	+	+	+

Abbildung 62: Korrelation von Kosten der Fertigung mit der Bildung von Technologiefamilien (vgl. Tabelle 7 im Anhang)

Ein verstärkter Aufbau von Technologiefamilien kann demnach helfen, technologisches Know-how und Kernkompetenzen zu bündeln. Die Konzentration auf derartige Produktfamilien kann, neben dem Einfluss der Entwickler, auch durch strategische Management-Entscheidungen unterstützt bzw. verstärkt werden.

6 Unterstützende Einflussgrößen, Kostentreiber und Maßnahmen

Die nachfolgenden *Abschnitte 6.1* und *6.2* orientieren sich an der in *Tabelle 5* vorgestellten Systematisierung der Potentiale eines Kostenmanagements in der chemischen Entwicklung. Dabei werden die beiden ‚unterstützenden Einflussgrößen‘ *Entwicklungsproduktivität* und *Kostentransparenz* auf ihre Relevanz und Anwendbarkeit in der chemischen Industrie eingehend untersucht (*Abbildung 63*). Hierzu werden die jeweiligen Kostentreiber ausführlich vorgestellt und die möglichen Maßnahmen auf ihre empirische Bedeutsamkeit hin analysiert. Jede Maßnahme wird dabei beispielhaft anhand eines Funktionsbereichs und seiner Kosten auf ihre Operationalisierbarkeit überprüft.

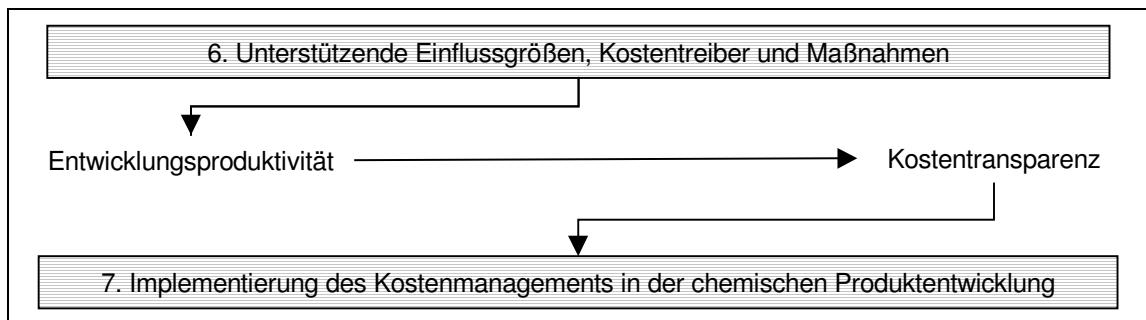


Abbildung 63: Aufbau des Abschnitts 6 und Überleitung zu Abschnitt 7

6.1 Einflussgröße Entwicklungsproduktivität

Ein bedeutender Kostenfaktor der chemischen Industrie sind die hohen *Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen*, die sich im Branchendurchschnitt auf ca. 5% vom Umsatz belaufen (vgl. *Abschnitt 3.1.4*). Für die zuvor diskutierten unmittelbaren Einflussgrößen *kundengerechte Produktentwicklung* sowie *kostengünstige Produktgestaltung* wurden bereits Maßnahmen identifiziert, deren Durchführung bzw. Implementierung zu Kostensenkungen im F&E-Bereich und in anderen Funktionsbereichen führen können. Eine weitere Einflussgröße, die *Entwicklungsproduktivität*, betrifft ebenfalls die Kosten des F&E-Bereichs, lässt sich jedoch hinsichtlich eindeutiger Korrelationen zwischen Kostentreibern und Kostenanfall nicht mit gleicher Stringenz erfassen. Dies hat seine Ursache darin, dass die Umsetzung der anschließend vorgestellten Maßnahmen aufgrund fehlender Vergleichsmöglichkeiten²⁰⁶ und zahlreicher verhaltensorien-

²⁰⁶ Während beispielsweise die Effekte einer Verringerung der Synthesestufen für die Produktfertigung gegenüber dem ursprünglichen Synthesekonzept in quantitativen Größen erfasst werden kann, ist der Effekt eines verstärkten Projektcontrollings oder der Verwendung einer Qualitätstechnik bei der Produk-

tierter Aspekte weniger exakt in monetären Größen bewertet werden kann. Allerdings lassen sich trotzdem Annahmen treffen (z.B. Einsatz der aufgezeigten Maßnahmen führt zu 20% geringeren Entwicklungskosten infolge von um 10% verkürzten Entwicklungszeiten und durch eine geringere Abbruchrate von Projekten), welche eine quantitative Erfassung der Kostensenkung ermöglichen.

Die Entwicklungsproduktivität kann als das Verhältnis zwischen mengenmäßigem *Input* und *Output* des *Ressourceneinsatzes* verstanden und damit unter zwei Aspekten betrachtet werden: der *Effektivität* sowie der *Effizienz* des F&E-Prozesses.²⁰⁷ Beide Aspekte haben Kosten- bzw. Umsatzkonsequenzen und lassen sich folgendermaßen näher umschreiben (vgl. SPECHT/SCHMELZER 1992, S. 533):

- Ein F&E-Prozess hoher *Effektivität* liegt vor, wenn er ein *Produkt* mit *nachhaltigen Wettbewerbsvorteilen*, wie einem hohen *Kundennutzen* und einem *attraktiven Preis-Leistungs-Verhältnis*, hervorbringt.
- Die *Effizienz* eines F&E-Prozesses drückt sich dadurch aus, dass das Entwicklungsergebnis mit ‚relativ‘ geringen Kosten oder in ‚relativ‘ geringer Zeit, d.h. unter optimaler wirtschaftlicher Nutzung der vorhandenen Entwicklungsressourcen erzielt wird.²⁰⁸

Die Bedeutung der Entwicklungsproduktivität für die chemische Industrie leitet sich insbesondere aus der verhältnismäßig hohen *Unsicherheit* der Resultate von Entwicklungsarbeiten ab. Diese beruht in der Chemie zum einen auf den sehr komplexen physikalisch-chemischen Gesetzmäßigkeiten der Stoffumwandlung, zum anderen auf der (allerdings abnehmenden) Bedeutung von ‚zufälligen‘ Erkenntnisgewinnen (*Abschnitt 3.2.1.2*). Um die F&E-Ziele mit optimaler Entwicklungsproduktivität zu erreichen, sollte die Forschung und Entwicklung daher nicht ihrer Eigendynamik und dem Zufall überlassen, sondern *rational geplant* und *organisiert* werden und die Umsetzung geplanter Maßnahmen *kontrolliert* werden. Erfahrungen des Chemiekonzerns *DuPont* haben gezeigt, dass viele Schritte im F&E-Prozess erfolgreich strukturiert und gezielt gesteuert werden können (vgl. NORLING 1997, S. 13.).

Da das Kostenmanagement allgemein und die Erhöhung der Entwicklungsproduktivität insbesondere im F&E-Bereich zu „mehr oder weniger tiefgreifenden Veränderungen im

tentwicklung nur qualitativ ermittelbar, da der Prozess nur einmal durchlaufen wird und nicht vergleichbar ist.

²⁰⁷ Die quantitative Unterscheidung zwischen dem F&E-Input und -Output ist schwierig, da sich vor allem der Output unzureichend messen lässt. Aber auch die oft verwendete Input-Größe ‚Anzahl aufgewandter Entwicklungsstunden‘ ist ungenau, da sie von der – unrealistischen – Annahme ausgeht, dass jede Entwicklungsstunde leistungserhöhend eingesetzt wird (vgl. BÜRGELE ET AL. 1996, S. 30).

²⁰⁸ F&E-Effizienz = F&E-Leistung/F&E-Kosten. Der Faktor Zeit wird bei der Berechnung der F&E-Effizienz implizit durch die Erfassung der Leistung und des hierfür notwendigen bewerteten Verbrauchs an Ressourcen in die Betrachtung eingeschlossen (vgl. BÜRGELE ET AL. 1996, S. 32f.).

Unternehmen“ hinsichtlich der Prozessabläufe und organisatorischen Strukturen führen können, muss außerdem bei den betroffenen *Mitarbeitern* die Akzeptanz für die geplanten Maßnahmen gefördert werden (FRANZ/KAJÜTER 2002a, S. 18). Dies gilt insbesondere auch für die Forscher und Entwickler der chemischen Industrie, welche in der Regel stark forschungsorientiert ausgebildet werden, ohne unmittelbaren Bezug zu ökonomischen Fragestellungen; auf diesen Aspekt der Personalführung soll hier jedoch nicht weiter eingegangen werden.

Zur Durchführung der geforderten effektiven und effizienten F&E-Prozesse bedarf es eines ‚zeitgemäßen‘ F&E-Controllings, durch das die Erreichung der oben angesprochenen F&E-Ziele geplant und überprüft werden soll (z.B. Anzahl der neu eingeführten Produkte und Verfahren, Anzahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen der Patente; vgl. BARDY 1974, S. 65f.). In der Vergangenheit konnten *drei Entwicklungsstadien* des F&E-Controllings beobachtet werden.²⁰⁹ Diese sind von BINDER um ein beginnendes weiteres Stadium erweitert wurden (vgl. BÜRGEL 1994, S. 101; BINDER 1998b, S. 7f.): Es beinhaltet die *Integration* des traditionellen Produktkostencontrollings und F&E-Controllings in ein Gesamtkonzept, welches nicht die F&E-Kosten an sich, sondern die durch die F&E geplanten und gesteuerten *Lebenszykluskosten* des Produkts zum Ausgangspunkt nimmt.

Diese „4. Generation“ des „integrierten F&E-Controlling“ (BINDER 1998b, S. 7) kommt dem hier vorgestellten Ansatz eines strategischen, produktorientierten Kostenmanagements durch Target Costing und seiner operativen Umsetzung durch die hier beschriebenen Maßnahmen nahe. Ist demnach die Durchführung bzw. Implementierung eines effektiven und effizienten Entwicklungsprozesses abgesichert, kann eine weitere Konkretisierung hinsichtlich der durchgeführten Aktivitäten – den einzelnen Untersuchungsobjekten in Form von *Entwicklungsprojekten* – erfolgen. Inhaltlich unterliegen diese ebenso der Forderung nach effektiver und effizienter Ausführung.

Hierfür muss zunächst durch eine *Fokussierung* auf die strategiekonformen und erfolgversprechenden Projekte die Orientierung an den Unternehmenszielen gewährleistet werden (vgl. *Abschnitt 6.1.1*); die Konzentration der knappen Ressourcen ist demnach ein entscheidender Erfolgsfaktor und dient der Erhöhung der Effektivität. Weiterhin müssen die Projekte durch ein *Projektcontrolling* geplant und nachgehalten werden (vgl. *Abschnitt 6.1.2*). Zur effizienten Durchführung ist eine kontinuierliche Kontrolle des technischen, finanziellen und zeitlichen Status der Entwicklungsprojekte und die parallele Rückkopplung der Projektfortschritte mit der Planung zur erfolgreichen Projektsteuerung unverzichtbar. Schließlich sollte die methodische Lösungssuche durch

²⁰⁹ *1. Generation*: Budgetierung des F&E-Bereichs durch Erfassung, Abrechnung und Verrechnung der F&E-Kosten; *2. Generation*: Projektmanagement für den F&E-Bereich als Effizienzbetrachtung bezüglich der Dimensionen Zeit und Qualität; *3. Generation*: Einbettung des F&E-Bereichs in die Unternehmensstrategie und Abgleich von Attraktivität, Risiko, Timing, Ressourcen und Kosten im F&E-Portfolio (vgl. BINDER 1998b, S. 7).

Qualitäts- und Kreativitätstechniken unterstützt werden (vgl. *Abschnitt 6.1.3*). Diese sollen durch eine systematische Vorgehensweise nach einem standardisierten Ablaufplan und unter Zuhilfenahme von problemspezifischen Methoden zur Zielklärung, Lösungssuche, Entscheidungshilfe und Vorgehenskontrolle die *Erfolgswahrscheinlichkeit* der *F&E-Aktivitäten* und damit wiederum die Effektivität der Forschung und Entwicklung erhöhen.

6.1.1 Kostentreiber: Fokussierung

Arbeiten die Entwickler an zu vielen Projekten bzw. an der Durchführung von Projekten, deren Erfolgswahrscheinlichkeit gering ist (oder die eventuell auch gar nicht dahingehend überprüft wurden), so kann es infolge dieser fehlenden *Fokussierung* zu einem ineffizienten Ressourceneinsatz kommen. Eine ‚Fokussierung‘ kann hingegen zu zwei kostensenkenden Effekten führen:

- geringere *Abbruchrate* von Projekten und
- Verkürzung der *Entwicklungsdauer* von Projekten.

Die *geringere Abbruchrate* bzw. höhere Erfolgsquote der gestarteten Entwicklungsprojekte beruht auf dem höheren Anteil *strategiekonformer Projekte* an der gesamten Entwicklungsarbeit und kann je nach dem Stadium, in dem die Arbeit sonst abgebrochen würde, zu erheblichen Kostenreduktionen führen (die Abbruchrate von Projekten, welche durch eine *mangelnde Entwicklungsqualität* verursacht wird, ist Gegenstand des *Abschnitts 6.1.3*).

Die *Verkürzung* der *Entwicklungsdauer* hängt von mehreren Faktoren ab: vom *Produktkonzept* und seinen *Anforderungen*, von der *Entwicklungsorganisation* und ihren Abläufen (vgl. *Abschnitt 6.1.3.1.1*), von der *Planungsqualität* und der *Kontrolle* der Entwicklungsaktivitäten, von der *Führung* der Entwicklungsmitarbeiter und von der sie unterstützenden Ausstattung durch *Sachmittel* (vgl. GAISER 1993, S. 35ff.; SCHMELZER/BUTTERMILCH 1988, S. 47ff.). Die Bedeutung der Entwicklungsdauer für die Kosten der Unternehmen ergibt sich hauptsächlich aus ihrem Einfluss auf den Zeitpunkt des *Markteintritts* der Produkte: Nimmt man eine bestimmte Zeitspanne für den Lebenszyklus eines Produkts an, so können durch eine Verkürzung der Entwicklungsdauer bei Produkten mit einem kurzen Lebenszyklus durch den früheren Markteintritt höhere Absatzmengen und gegebenenfalls auch Preise erzielt werden; bei Produkten mit einem längeren Lebenszyklus und langer Entwicklungsdauer kann die Entwicklung entsprechend später begonnen werden, wodurch eine bessere Abschätzung der Markt- und Technologierisiken möglich wird und höhere Erfolgs- bzw. Ergebnischancen resultieren können (vgl. SCHMELZER/BUTTERMILCH 1988, S. 44f.). Kann die ‚Time to Market‘ gesenkt werden, so ermöglicht die Fokussierung außerdem eine *kürzere Bindung*

von personellen und technischen *Ressourcen* und damit eine zusätzliche Senkung der Kosten je Entwicklungsprojekt.

Ausschlaggebend für das Ergebnis sind jedoch – insbesondere bei kurzen Produktlebenszyklen – weniger die Kosten der Ressourcenbindung, sondern der Markteintrittszeitpunkt: So verringert sich beispielsweise das Ergebnis eines Produkts mit einer angenommenen Lebensdauer von fünf Jahren bei einer Verlängerung der Entwicklungsdauer um 6 Monate um ca. 30%, wohingegen eine Erhöhung der Entwicklungskosten um 50% das Ergebnis über die Lebensdauer hinweg nur um ca. 5% schmälert (vgl. SCHMELZER/BUTTERMILCH 1988, S. 45f.). Diese generelle Aussage wird jedoch zumindest hinsichtlich der *Höhe der Ergebniseinbuße* von BÜRCEL ET AL. auf Produkte mit kleiner bzw. mittlerer F&E-Intensität (denn bei bereits hohen Entwicklungskosten nimmt die Ergebniseinbuße bei zusätzlicher Erhöhung der Entwicklungskosten um 50% deutlich zu) sowie auf Märkte beschränkt, welche sich durch einen *kurzen Produktlebenszyklus*, hohes *Marktwachstum* und tendenziellen *Preisverfall* auszeichnen (vgl. 1996, S. 39). Da die chemische Industrie in den letzten Jahren zunehmend innovativ wurde (im Jahr 1999 führten 79% der Unternehmen Produktinnovationen, 55% der Unternehmen Prozessinnovationen und 46% der Unternehmen mindestens eine Marktneuheit ein; vgl. VCI 2002c, S. 1) und entsprechend der F&E-Aufwand kontinuierlich um ca. 5% per anno gestiegen ist (vgl. VCI 2002a, S. 97), muss die Bedeutung dieser Regel für die chemische Industrie entsprechend zurückhaltend eingeschätzt werden. Die Grundaussage jedoch, dass aufgrund drohender Ergebniseinbußen steigende F&E-Kosten eines Produkts bis zu einer bestimmten Höhe eher toleriert werden können als ein verspäteter Markteintritt, gilt prinzipiell aber auch hier. Nachfolgend wird zunächst aufgezeigt, wie die behandelten Ressourcen am effektivsten eingesetzt werden können.

6.1.1.1 Maßnahme: ABC-Verteilung der Entwicklungsressourcen

Unter der ‚ABC-Verteilung‘ der Entwicklungsressourcen soll die zielgerechte Allokation von Sach- und Personalmitteln auf Projekte, priorisiert nach den Entwicklungszielen (z.B. Ergebnisbeitrag, Umsatz, Markteinführungszeitpunkt), verstanden werden (vgl. FRICKE 1997, S. 52). „Denn die „Entwickler sind umso produktiver, je weniger Projekte sie gleichzeitig bearbeiten müssen. (...) Durch immer neues ‚Hineindenken‘ in andere Projekte kommt es zu spür- und messbaren Effizienzverlusten“ (KLUGE 1994, S. 40f.). Zunächst soll kurz erläutert werden, wie diese Priorisierung und die Auswahl der Projekte in der chemischen Industrie erfolgen kann.

Den F&E-Aktivitäten stehen in den betroffenen Unternehmensbereichen in der Regel nur begrenzte Ressourcen gegenüber, weshalb zu ihrer Erfüllung eine zielgerichtete Planung und Steuerung der Ressourcen unabdingbar ist. Die Planung der F&E-Aktivitäten kann in eine *strategische*, eine *operative* und eine *taktische Planung* unterteilt

werden; die ‚Geschäftsfeldplanung‘ ist dabei als Ausgangspunkt der strategischen F&E-Planung anzusehen und stellt das primäre „Entscheidungsproblem“²¹⁰ dar (vgl. HAHN 1994, S. 97). Durch sie werden, in Abhängigkeit von der Unternehmensstrategie, die *zukünftigen Geschäftsfelder* untersucht, von denen sich das Unternehmen die besten Absatzmöglichkeiten erhofft und aus welchen sich in der Folge die optimale Zusammensetzung des F&E-Programms ergibt.

Die Identifikation der *zukünftigen Geschäftsfelder* basiert einerseits – unter besonderer Berücksichtigung von dynamischen Einflussgrößen wie Umwelteinflüssen, gesellschaftlichen und gesetzlichen Entwicklungen – auf der Prognose der zukünftigen *Markt- und Technologieentwicklungen*.²¹¹ Die Ergebnisse dieser externen Analyse und ihr Abgleich mit den strategischen Zielen der Unternehmen liefern im strategischen F&E-Planungsprozess erste Anhaltspunkte für erfolversprechende F&E-Arbeitsgebiete.²¹² Andererseits bedarf es zur Abschätzung der Durchführbarkeit möglicher F&E-Aktivitäten einer internen *Stärken-Schwächen-Analyse. Portfolio-Beurteilungen*, die sowohl marktseitige Aspekte (z.B. Marktwachstum, Technologieattraktivität) als auch interne Möglichkeiten (z.B. Marktanteil, Ressourcenstärke²¹³) verbinden, können diesen strategischen Planungsprozess unterstützen (‚strategischer Filter‘; vgl. FRICKE 1997, S. 65ff.).

Neben der beschriebenen qualitativen Eingrenzung und Beurteilung möglicher F&E-Aktivitäten umfasst die strategische Planung weiterhin eine (grobe) strategische Ressourcenzuteilung in Form eines (quantitativ) definierten *F&E-Budgets*. Darunter versteht man einen in wertmäßigen Größen formulierten Plan, welcher den mit der Forschung und Entwicklung betrauten Funktionsbereichen finanzielle Mittel für eine bestimmte Zeit mit einem bestimmten Verbindlichkeitsgrad zuordnet (vgl. HORVÁTH 1996, S. 222). Diese ‚Top-Down‘ erfolgende Vorgabe soll helfen, die strategischen Ziele in finanzielle, periodenbezogene Größen zu überführen. Die Höhe des Budgets sollte sich dabei idealerweise an den Wachstumszielen der Unternehmen orientieren und kann z.B. aus einer Umsatzlücken-Analyse abgeleitet werden.²¹⁴

²¹⁰ Ein Entscheidungsproblem ist grundsätzlich gekennzeichnet durch den Versuch, eine solche Zusammenstellung von Programmelementen (z.B. F&E-Projekten) zu finden, dass eine von ihnen abhängige Zielfunktion optimiert wird (BROCKHOFF 1999, S. 388f.).

²¹¹ Zu den diesbezüglichen Prognosemethoden wie beispielsweise der „Trendforschung“ oder „Erkundung qualitativer Umschlagpunkte“ vgl. EILHAUER 1993, S. 38ff.; BÜRCEL ET AL. 1996, S. 81ff.

²¹² Empirisch konnte belegt werden, dass hierbei allerdings erhebliche Abstimmungsprobleme zwischen verschiedenen Funktionsbereichen hinsichtlich der Umweltwahrnehmung auftreten können. In 19 befragten Chemie- und Pharmaunternehmen lag der Grad der Übereinstimmung in der Wahrnehmung der Wettbewerbsumwelt (Technologie, Konkurrenten, Kunden) in den beteiligten Funktionsbereichen bei nur 49% (vgl. BROCKHOFF 1991, S. 64).

²¹³ Zur Portfoliobeurteilung der eigenen Markt- und Technologieposition vgl. GOEBEL 1991, S. 97ff.

²¹⁴ Für eine Übersicht der Ansätze zur Bemessung des F&E-Budgets vgl. GAISER 1993, S. 52ff.

Im Zuge der sich anschließenden *operativen Planung* kommt es zur detaillierten Festlegung des strategischen Plans. Diese ‚Bottom-Up‘-Feinplanung umfasst inhaltlich zum einen eine konkretisierte *Zielplanung*, deren Ergebnisse sich jeweils unter Berücksichtigung der zeitlichen Dimension in den F&E-Programmen und in projektbezogenen Pflichtenheften niederschlagen müssen (vgl. STOCKBAUER 1991, S. 137ff). Weiterhin muss in einer *Mittelplanung* die Verfügbarkeit benötigter Ressourcen (z.B. zu investierende Geräte oder freizustellendes bzw. einzustellendes Personal) definiert werden. Schließlich müssen die einzelnen Projekte geplant werden, und zwar hinsichtlich ihres Entstehens, ihrer Beurteilung in jeweils unterschiedlichen Reifestadien („Stage Gates“) und ihrer Abläufe (Arbeits-, Reihenfolge- und Terminplanungen). Aufgrund der Eigenarten von F&E-Aktivitäten sind *Planrevisionen* dieses auch als ‚Gegenstromverfahren‘ bezeichneten Vorgehens jedoch gerade in der Chemie nicht unüblich.

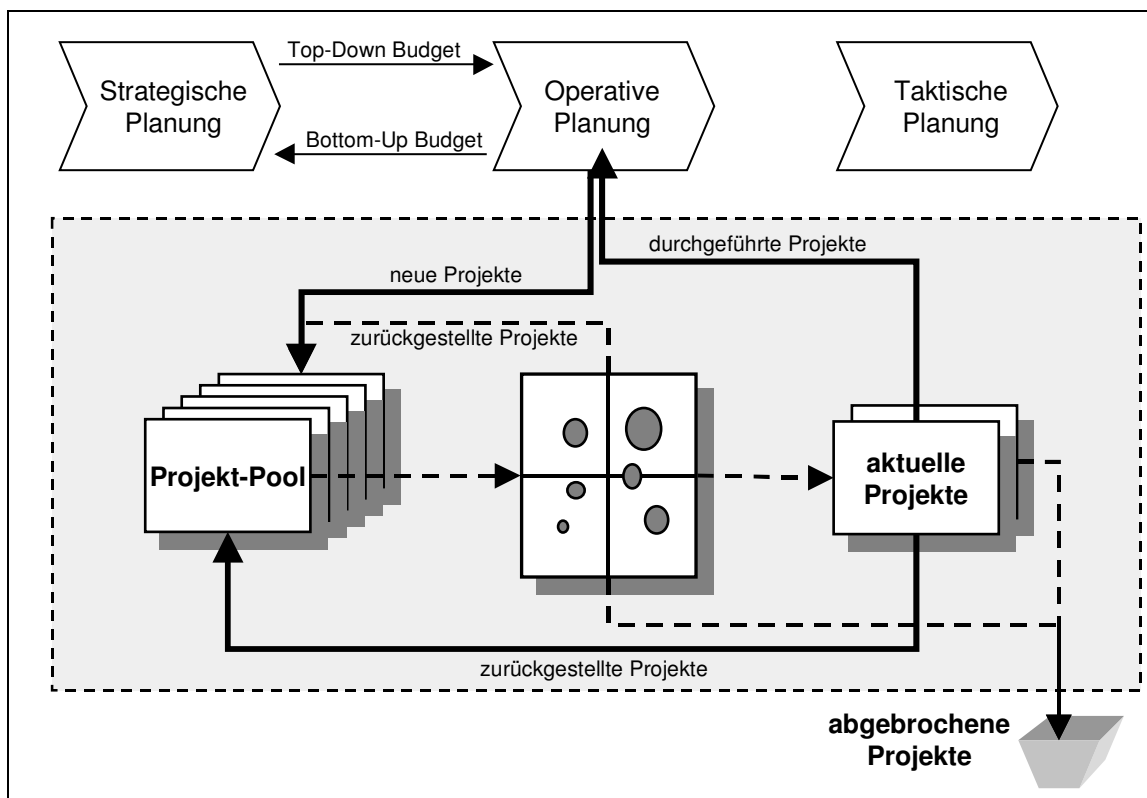


Abbildung 64: Projektauswahl bei der operativen Planung

Neben den oben erwähnten qualitativen *Portfolio-Betrachtungen* oder *Scoring-Modellen* (z.B. bezüglich qualitativer Eigenschaften wie Kundennutzen) haben sich zur *Projektbewertung* auch in der chemischen Industrie *quantitative Verfahren* z.B. anhand des Kapitalwerts oder interner Zinsfuß-Rechnungen bewährt. Diese Verfahren beziehen die ausgabewirksamen Kosten (Projekteinzelkosten) und zum Teil auch die Investitionsausgaben mit ein (wenn z.B. ein Messgerät für mehrere Projekt verwendet wird; Sachinvestitionen werden ansonsten im Rahmen der längerfristigen Investitionsplanung gesondert budgetiert) und bilden sie zusammen mit den Erlösen über den Nutzungszeitraum des Produkts oder Verfahrens ab. Durch diese Gegenüberstellung von Einnahmen

und Ausgaben werden die F&E-Aktivitäten als ein renditepflichtiger *Kapitaleinsatz* gewertet.

Wurde die Vergleichbarkeit hergestellt, empfiehlt es sich, nicht nur die potentiellen, sondern auch die laufenden Projekte in die Bewertung mit einzubeziehen (,Projekt-pool‘). Denn möglicherweise könnten neue Projekte höhere Bewertungen und damit gegebenenfalls höhere Rückflüsse als aktuell durchgeführte Projekte erzielen und dadurch letztere im Wettbewerb um die knappen finanziellen Mittel ,verdrängen‘, wie die Skizzierung des Bewertungssystems einer Forschungseinheit der chemischen Industrie zeigt (vgl. *Abbildung 64*).

Der folgende Abschnitt erläutert an einem Fallbeispiel aus der Praxis, wie in der chemischen Industrie die Effektivität der F&E-Aktivitäten sichergestellt werden kann. Dabei wird eine Methode vorgestellt, welche anhand von markt- und unternehmensorientierten Kennzahlen bzw. Merkmalen die zielgerichtete Allokation von F&E-Mitteln durch das Vergleichen von Projekten aus dem ,Projekt-pool‘ gewährleisten soll.

6.1.1.2 Fallbeispiel 1: Frühzeitige Bestimmung des Produkterfolgs durch das „Produktentwicklungssystem“

Das Unternehmen WACKER-Chemie hat für die chemische Forschung und Entwicklung ein softwarebasiertes Programm entwickelt, das die *Fokussierung* der Entwicklungskapazitäten erfolgreich unterstützt. Durch diese als „Produktentwicklungssystem“, kurz „PES“, bezeichnete Software soll eine einheitliche und multidimensionale Beurteilung von Produktentwicklungschancen und -risiken gewährleistet werden. So ist z.B. im chemischen ,Formulierungsbereich‘ ein neues Produkt zwar schnell und mit relativ geringem Aufwand kreiert, jedoch erscheinen die zugehörigen Markt- und Kostenfragen oft sehr komplex, weshalb vor der Markteinführung häufig nur Einzelaspekte – und selbst diese nicht durchgängig – hinterfragt werden.

Das PES ermöglicht den interdisziplinär besetzten Entwicklungsteams (durch Bedienung einfacher Pulldown-Menüs am Bildschirm) Produktkonzepte anhand nachstehender Dimensionen zu bewerten:

- *Entwicklungstyp* (Innovationshöhe, Selbstsubstitution, „me too“),
- *Marktchancen* (Marktpotential, Menge, Deckungsbeitrag, Marktstatus),
- *Rohstoffe* (Gesamtzahl, Kosten, Verfügbarkeit, Handling),
- *Ziel-Qualitätseigenschaften* (Soll, erlaubte Streubreiten, analytischer Aufwand),
- *Logistik* (Gebindeanzahl, Lagerfähigkeit),

- *Entwicklungs-/Lebenskurve* sowie
- *Fertigungskosten* und deren produktspezifische Kostentreiber (Umbauten, Durchsatz, Rüstzeiten, Nebenanfälle, Produktstabilität).

Alle diese Eingaben werden nach einem zuvor abgestimmten Punktesystem bewertet. Sie sind quantitativ skalierbar und relativ leicht zugänglich. Das Programm verdichtet diese eher operativen *Primärbegriffe* zu den an den Unternehmenszielen ausgerichteten, abstrakteren *Sekundärbegriffen*, die in der *Abbildung 65* aufgeführt sind:

- *Herstellung*,
- *Innovation*,
- *Logistik*,
- *Markt* und
- *Finanzen*.

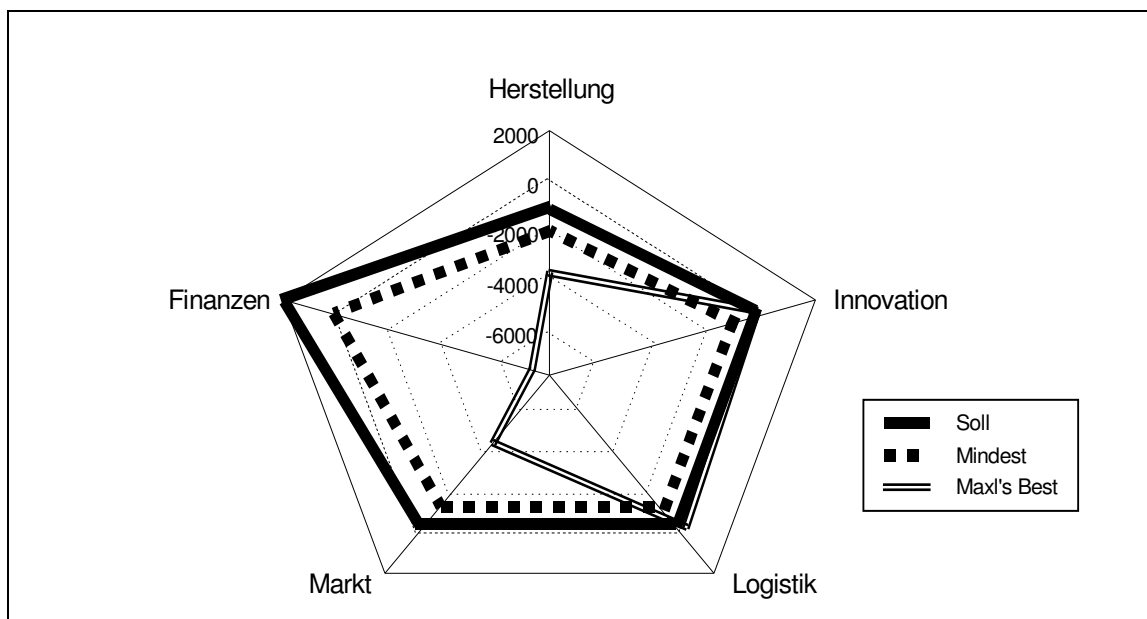


Abbildung 65: Radardiagramm des Leistungsprofils eines Entwicklungsproduktes „Maxl's Best“ im Vergleich zum Mindest- und Sollprofil

Die Primärdaten werden in einer ‚Negativliste‘ dargestellt (d.h. eine Wertung über die gestellten Anforderungen hinaus führt zu einer niedrigeren Bewertung). Diese Vorgehensweise zeigt einerseits deutlich die Mängel auf und verhindert andererseits ein *Overengineering*, da die Übererfüllung von Produkthanforderungen nicht belohnt wird. In jeder der genannten Dimensionen wird die Punktzahl addiert, in ein standardisiertes Radardiagramm eingetragen und mit einem Mindestprofil verglichen. An festgelegten

Meilensteinen wird das jeweils erreichte Profil überprüft und über das weitere Vorgehen entschieden. Das intern mit ‚Maxl’s Best‘ gekennzeichnete Produkt scheitert in diesem Fall (*Abbildung 65*) an den Dimensionen *Herstellung*, *Markt* und *Finanzen*, da es jeweils nicht die Mindestanforderungen erfüllt. Es wurde daher nicht als Entwicklungsprojekt gestartet, und die freiwerdenden Mittel standen für vielversprechendere Verwendungen zur Verfügung.

Der besondere Vorteil dieses Systems besteht in seiner einfachen Form und standardisierten Anwendung, die quasi auf Knopfdruck für alle beteiligten Mitarbeiter quantitative und statistische Aussagen über den Produkterfolg erlaubt. Nicht zu unterschätzen sind darüber hinaus Lerneffekte: Die Logik des Systems erfordert die Klärung alter oder bisher unausgesprochener Paradigmen, vieler Grauzonen und ungeklärter Zuständigkeiten.

6.1.2 Kostentreiber: Projektcontrolling

Nachdem durch eine Fokussierung auf die strategisch erfolgversprechendsten Projekte die *Effektivität* der F&E-Arbeit sichergestellt wurde, dient das *Projektcontrolling* der Sicherstellung des F&E-Outputs und damit der *effizienten Umsetzung* der übergeordneten F&E-Ziele sowie der Maßnahmen, welche in den *Abschnitten 5.1* und *5.2* bereits diskutiert wurden. Diese *Maßnahmen-Implementierung* stellt neben der *Kostenanalyse* den zweiten wesentlichen Aufgabenbereich der Kostensteuerung im Rahmen eines (produktorientierten) Kostenmanagements dar (vgl. KAJÜTER 2000, S. 133). Das Projektcontrolling schafft somit die „instrumentellen und organisatorischen Rahmenbedingungen“, welche eine „reibunglose Maßnahmenumsetzung“ gewährleisten (FRANZ/KAJÜTER 2000a, S. 18). Es ist vom inhaltlich umfassenderen ‚F&E-Controlling‘ zu unterscheiden, da es sich hierbei nur noch um die operative Planung, Steuerung und Kontrolle von einzelnen Projekten und nicht des gesamten F&E-Budgets handelt.

Einer derartigen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der entwicklungspezifischen Faktoreinsätze können jedoch die Besonderheiten von Forschungs- und Entwicklungsprojekten entgegen stehen. So können beispielsweise bei Neuentwicklungen die *Einmaligkeit* der *Erstellung* und der *hohe Anteil an kreativer Arbeit* eine genaue *Effizienzbeurteilung erschweren*. Gleiches gilt für die Beurteilung der Ergebnisse eines Entwicklungsprojekts, welches u.U. einen langfristigen Wirkungshorizont hat: Die angefallenen Kosten können *nicht unmittelbar* z.B. den *Umsatzerlösen* des entwickelten Produkts in *einer bestimmten Periode* seines Lebenszyklus gegenübergestellt werden. Es ist vielmehr eine typische Eigenschaft von F&E-Kosten, dass die auf Kostenstellen der F&E erfassten Einzel- bzw. Gemeinkosten nicht immer eindeutig einem Produkt, einer Dienstleistung oder einem Projekt zuordenbar sind, weil das Ergebnis der Arbeit in der F&E *häufig in mehreren Produkten, Dienstleistungen, Produktgenerationen* oder *Projekten* verwendet werden kann. Trotzdem ist dem Projektcontrolling bezüglich der Zeit-, Kosten- und Ergebnisdaten eine hohe Bedeutung bei der Kostenbeeinflussung sowohl

der F&E-Aktivitäten als auch der Kosten- und Ergebnissituation der entwickelten Produkte zuzuweisen (nicht zuletzt aufgrund der Bedeutung des Markteintrittszeitpunktes). Jedoch ist die Güte der Beurteilung mittels Aufwands- bzw. Kostenschätzungen vom jeweiligen Schätzzeitpunkt und dem damit verbundenen Kenntnisstand abhängig (vgl. BÜRCEL ET AL. 1996, S. 302).²¹⁵

Weist ein Projektcontrolling aufgrund der beschriebenen Schwierigkeiten oder fehlender Systematik Mängel auf, kann es den Erfolg von F&E-Projekten nicht korrekt abbilden und damit die effiziente Umsetzung der F&E- und Kostenziele gefährden. Um statt dessen zu einer aussagefähigen Beurteilung der Projektarbeit zu kommen, müssen unter Berücksichtigung der oben angeführten Einschränkungen möglichst adäquate Größen zur Messung der Ergebnisse gewählt werden. Dies sind in erster Linie die F&E-Kosten; sie werden in Form einer *Kostenarten-* (z.B. Arbeitskosten, Betriebsmittel- und Kapitalkosten, Materialkosten, Fremdleistungskosten), einer *Kostenstellen-* und einer *Kosten-trägerrechnung* (mit den jeweiligen Projekten als Kostenträgern) erfasst (vgl. BÜRCEL ET AL. 1996, S. 290f.). Letztere ist, wie bereits angemerkt, aufgrund der häufig mehrperiodigen Projekte periodenübergreifend auszurichten, um Aussagen über die gesamten Kosten der Projekte erhalten zu können (vgl. GRABHOFF/GRÄFE 2000, S. 330). Weitere Kenngrößen können *Projekttermine* und die *Qualität* (Spezifikationen) der entwickelten Produkte sein.

In die *Kostenartenrechnung* sollten insbesondere die bedeutenden Kostenarten der chemischen Entwicklung einfließen, welche – ähnlich anderen Branchen – hauptsächlich die Personal- und Materialkosten umfassen (vgl. BÜRCEL ET AL. 1996, S. 291). Die *Personalkosten* pro Manntag fallen vermutlich aufgrund der i.A. hohen Spezialisierung des (leitenden) Entwicklungspersonals (meist Hochschulabschluss mit Promotion) tendenziell *höher* aus als in anderen Branchen²¹⁶ und betragen erfahrungsgemäß ca. 60-80% der projektbezogenen Kosten. Die Materialkosten (und Abschreibungen) hängen vom Entwicklungsgegenstand ab und sind für bis zu 20% der Projektkosten verantwortlich, insbesondere dann, wenn man die aus umwelt- und sicherheitstechnischen Gründen notwendigen Vorsorgekosten mit einbezieht.

Ein weiterer Kostenblock sind die (sekundären) Kosten für die *chemische Analytik*, welche zur Strukturaufklärung der Reaktionsprodukte und damit zur Qualitätssicherung und Ausbeutebestimmung benötigt wird und meist in einer eigenen Abteilung mit Hilfe von technisch häufig aufwändigen Apparaturen (z.B. NMR-Kernresonanzmessgeräte, Massenspektrometer) die qualitativen und quantitativen Ergebnisse der Entwicklungs-

²¹⁵ Zu den verschiedenen Methoden der Aufwandsschätzung vgl. BÜRCEL ET AL. 1996, S. 303ff.

²¹⁶ Einen Hinweis auf die vermuteten höheren Personalkosten erhält man durch einen Vergleich der Bruttolohn- und Gehaltssumme je Beschäftigten im Jahr 2002: Für die *chemische Industrie* ergibt sich ein Wert von 42.690 €, für das *verarbeitende Gewerbe* ein Wert von 36.127 € (vgl. VCI 2003, S. 63). Auch in den Vorjahren lagen die Werte der chemischen Industrie über denjenigen des verarbeitenden Gewerbes.

arbeit in den verschiedenen Stadien verifiziert. Außerdem können auch die ‚Prototyp-Kosten‘ für die Produkterprobung den F&E-Kosten zugerechnet werden. Diese fallen in der chemischen Industrie in Form einer ‚Technikum-Anlage‘ an, in welcher Produktionsansätze gefahren werden, die in der Größenordnung zwischen den Labor- und den endgültigen Fertigungsansätzen liegen und welche die, bei dieser ‚Scale-Up‘ genannten Überführung in den Produktionsmaßstab auftretenden, physikalischen und chemischen Einflüsse und Veränderungen untersuchen sollen.

Nachfolgend werden *drei Maßnahmen* aufgezeigt, welche die Steuerung und Überwachung von F&E-Projekten in der chemischen Industrie sicherstellen und die Entwickler bei der Kostenerreichung bzw. der Kostensenkung unterstützen sollen.

6.1.2.1 Maßnahme: Konsequentes Projektcontrolling

Die projektbezogene Aufgabenerfüllung der *Produktentwicklung* kann anhand von verschiedenen Kennzahlen und Instrumenten geplant und gesteuert werden. Das für diese Durchführungskontrolle angewandte Projektcontrolling dient in erster Linie der Überwachung der *Sachfortschritte* und der dafür benötigten *F&E-Kosten*; die Sachfortschritte können neben chemisch-physikalischen Parametern auch monetäre Kennzahlen wie die Zielkosten der Produkte einschließen, während die F&E-Kosten in der Regel in Projekteinzelnkosten und Projektgemeinkosten unterteilt werden (vgl. MÄNNEL 1993a, S. 167). Typische Instrumente sind u.a. der *Meilenstein-Überwachungsplan* bzw. die *Meilenstein-Trendanalyse*²¹⁷, das *Entwicklungswertverfahren*, die *Projektdeckungsrechnung* oder die *integrierte Kosten- und Leistungsanalyse* (vgl. BROCKHOFF 1999, S. 451ff.; BÜRGEL 1996, S. 309ff.; COENENBERG/RAFFEL 1988, S. 200ff.).²¹⁸ Für die effiziente Steuerung werden die Projekte nach Phasen und Tätigkeitsabläufen differenziert. Durch diese Strukturierung und prozesstransparente Darstellung der Kosten aller relevanten Teilschritte eines Projekts wird die Basis für das detaillierte Projekt-Controlling geschaffen. Ziel ist es, die Plan- und Istkosten zeitnah mit den erreichten Arbeitsergebnissen und den effektiven Leistungsmengen sowie den Leistungseinflüssen und der erbrachten Qualität abzugleichen (vgl. RIEDL 1990, S. 12).

Abbildung 66 zeigt eine mögliche Vorgehensweise für die Durchführung von Projekten (vgl. WEISS/WYSOCKI 1992, S. 5). Sie unterteilt Projekte in fünf einzelne Phasen, welche durch Meilensteine getrennt werden können.²¹⁹ Die Bedeutung eines solchen oder ähnlichen, methodischen Vorgehens im Projektverlauf einschließlich einer profes-

²¹⁷ *Meilensteine* betreffen diejenigen Ergebnisse eines Projekts, die einen wesentlichen Fortschritt im Projekt repräsentieren. Sie beinhalten ein definiertes Sachergebnis (Meilenstein-Inhalt), gekoppelt mit einem Fertigstellungstermin (Meilenstein-Termin).

²¹⁸ Für einen Überblick über projektbezogene Kostenmanagementmethoden in der F&E vgl. GRABHOFF/Gräfe 2000, S. 340ff.

²¹⁹ Für einen Überblick über verschiedene F&E-Phasenmodelle vgl. BÜRGEL ET AL. 1996, S. 190.

sionellen Planung für den Projekterfolg ist empirisch belegt (vgl. FRICKE 1997, S. 70ff.).

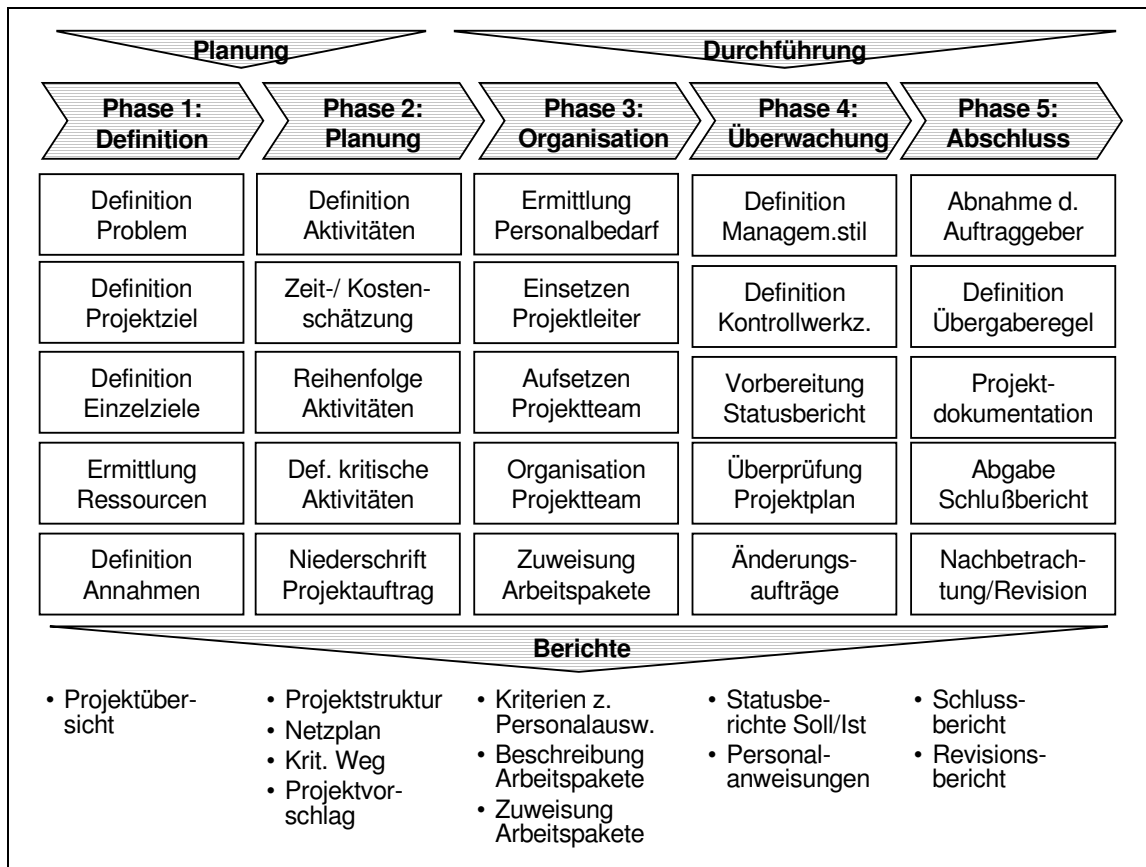


Abbildung 66: Projektmanagement-Lebenszyklus mit fünf Phasen und 25 Vorgangsschritten (in Anlehnung an WEISS/WYSOCKI 1992, S. 5)

6.1.2.2 Maßnahme: Checkliste

Checklisten stellen Hilfsmittel zur systematischen Abarbeitung von Aufgaben dar, welche auf spezifischen Erfahrungen hinsichtlich der Problemstellung beruhen. Typischerweise beziehen sich die Fragestellungen einer Checkliste auf die Projektziele, wie die Klärung der Funktionen und ihr Vergleich mit vorhandenen Produkten oder Möglichkeiten zur Senkung von Materialkosten (alternative Rohstoffe, ‚Outsourcing‘ und Zulieferung von chemischen Zwischenprodukten; vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 78).

Checklisten können individuell an die jeweilige Entwicklungsumgebung angepasst werden und sind aufgrund ihrer kurzen, schriftlichen Form schnell einsatzbereit, was sie zu einem unbürokratischen und effektiven Hilfsmittel für die Entwickler macht. *Abbildung 67* demonstriert dies anhand einer *Beispiel-Checkliste* für eine Forschungs- und Entwicklungsabteilung in der chemischen Industrie.

Checkliste Entwicklung FS/A	
Anforderungen in Formblatt QS-10_102/92.....	ÜBERNEHMEN
Materialeinstand	FESTLEGEN
Analytik-Termin	VORRESERVIEREN
Chemical Abstracts Online	RECHERCHIEREN
Netzwerk auf ähnliche Entwicklungen.....	PRÜFEN
SAP Bestandsliste auf strat. Rohstoffe	PRÜFEN
Rohstoffpool auf Veränderungen	PRÜFEN
Zielmolekül	AUFBAUEN
Retrograde Synthese	DURCHFÜHREN
Kostensenkungspotentiale	PRÜFEN
Fertigungstechnologie	SCHÄTZEN
R/S-Sätze	PRÜFEN
Experiment	DURCHFÜHREN
Rückstellmuster an FS/A-34	ABGEBEN
Analyseergebnis.....	EINSCANNEN
Scale-Up-Kosten mit PR/C-2	SCHÄTZEN
Sonstige Gemeinkosten mit CO/A-2	SCHÄTZEN
Abschlussbericht an FS/A-1, BL/U-14VERSCHICKEN	

Abbildung 67: Checkliste in einer Entwicklungsabteilung der chemischen Industrie

6.1.2.3 Maßnahme: Beratung

Das Hinzuziehen des kostenspezifischen Fachwissens von Mitarbeitern aus nachgelagerten Funktionsbereichen (Einkauf, Arbeitsvorbereitung, Produktion) kann die Produktentwickler bei der Einhaltung der vorgegebenen Zielkosten unterstützen. Dabei ist es zweckmäßig, diese Berater disziplinarisch weiterhin ihrem ursprünglichen Funktionsbereich zu unterstellen (statt sie in den Entwicklungsbereich zu integrieren), um das spezifische Know-how dauerhaft zu erhalten (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 70f.). Eine zusätzliche Beratung durch die mit der Kostenanalyse befassten Bereiche, und hier besonders das Controlling als serviceorientierter Unterstützungsfunktion, kann durch quantitative Untersuchungen gegebenenfalls noch effektivere Kostensenkungsmaßnahmen einleiten.

6.1.3 Kostentreiber: Entwicklungsqualität

F&E-Prozesse sind Arbeitsprozesse, die zwar nicht zwangsläufig deterministisch verlaufen, aber trotzdem planbar sind (vgl. EILHAUER 1993, S. 14).²²⁰ Auch wenn die

²²⁰ EILHAUER erklärt die Planbarkeit von F&E-Prozessen und der damit verbundenen Arbeitsaufgaben u.a. so: „Ein Grundgesetz der Dialektik besagt, dass das Anhäufen von kleinen, zum Teil unmerklichen ‚Quantitäten‘ die entscheidende Voraussetzung für den Umschlag in eine ‚neue Qualität‘ ist. Wenngleich der eigentliche qualitative Umschlag im Detail auch als nicht planbar erscheint, so wird doch sein Eintritt

Wirkung des Zufalls im F&E-Bereich nicht auszuschließen bzw. sie darüber hinaus auch keineswegs unerwünscht ist, so besteht dennoch kein Zweifel daran, dass qualitativ hochwertige F&E-Resultate (*Output*) in der Regel Ergebnis systematischer und umfangreicher F&E-Arbeitsschritte (*Input*) sind. Insofern lässt sich eine gewisse Parallelität des F&E-Prozesses zur betriebswirtschaftlichen Theorie der Produktionsfunktion mit ihren deterministischen Input-Output-Relationen herstellen, welche allerdings durch die Unsicherheiten des F&E-Prozesses eingeschränkt wird (vgl. EILHAUER 1993, S. 15).

Mit dem Begriff *Entwicklungsqualität* soll die Eignung des F&E-Prozesses, in angemessener Zeit festgelegte und vorausgesetzte Kundenanforderungen zu erfüllen, beschrieben werden. Kann die Entwicklung aufgrund *mangelnder Entwicklungsqualität* die spezifizierten Anforderungen für das entwickelte Produkt nicht einhalten, so zieht dies entweder *technische Anpassungen* oder gar einen *Abbruch* des Entwicklungsprojekts nach sich.²²¹ Derartige technische Änderungen können in der industriellen Produktentwicklung erhebliche Zusatzkosten und Zeitverluste (Opportunitätskosten) verursachen, welche generell umso höher sind, je später sie im Entwicklungsprozess auftreten. Mangelnde Transparenz hinsichtlich der wirtschaftlichen Änderungsfolgen einerseits sowie hinsichtlich ihrer Ursachen und Notwendigkeit andererseits behindern darüber hinaus das Erkennen bestehender Optimierungspotentiale.

Ursache für das Verfehlen der definierten Entwicklungsziele können prinzipiell eine ungenügende Ausrichtung an den *Kundenbedürfnissen* (fehlerhafte oder zu hohe Produktanforderungen), eine mangelnde Qualität des *Entwicklungspersonals* oder auch die mangelhafte Ablaufqualität des *Entwicklungsprozesses*²²² sein. Die Schwierigkeiten aufgrund zu hoher Kundenanforderungen und dem daraus in der Regel wachsenden Kostendruck wurden bereits in *Abschnitt 5.1.1* behandelt. Mangelnde Personalqualität ist ein Problem der Personalauswahl und -führung, auf das hier nicht weiter eingegangen werden soll (vgl. BÜRCEL ET AL. 1996, S. 205ff.).

Die mangelnde Qualität des Entwicklungsprozesses kann zwei Ursachen haben: Einerseits kann es durch *unzureichende Systematik* in der technischen und organisatorischen Erstellung und Umsetzung des Produktkonzeptes zu ungenügenden und verzögerten Entwicklungsergebnissen kommen; hier kann durch einen Einsatz von *Qualitätstechniken* Abhilfe geschaffen werden (*Abschnitt 6.1.3.1*). Deren zielgerichtete Ablaufmethodik unterstützt den Projektfortschritt in der Analyse- und Konzeptphase sowie die Einhaltung der Projektziele während der Umsetzung. Weiterhin kann es schon in der Phase der

umso wahrscheinlicher, je größer die bereits geschaffene Anhäufung an ‚Quantität‘ ist. Das Anhäufen von Quantität jedoch ist (...) eine Aufgabe!“ (1993, S. 17f.).

²²¹ Die Kostenentstehung infolge von Projektabbrüchen, die durch unzureichende Strategiekonformität sowie durch fehlende Ressourcenkonzentration verursacht werden, wurden bereits in *Abschnitt 6.1.1* diskutiert.

²²² Zum allgemeinen Vorgehen bei der Optimierung von Prozessstrukturen mit dem Ziel der Effizienzsteigerung vgl. SCHIMANK 1993, S. 202ff.

Erarbeitung des Produktkonzeptes zu *suboptimalen Lösungsansätzen* kommen, welche schließlich eine mangelhafte Produktqualität zum Ergebnis haben können. Um diese Ansätze zu verbessern und das gesamte Lösungspotential der Entwickler zu entfalten, empfiehlt sich bereits in der Konzeptphase der Einsatz von *Kreativitätstechniken* (Abschnitt 6.1.3.2).

6.1.3.1 Maßnahme: Einsatz von Qualitätstechniken

Unter *Qualitätstechniken* sollen solche Methoden und Instrumente verstanden werden, welche den strukturellen Ablauf des F&E-Prozesses hinsichtlich der Determinanten *Kosten, Zeit* und *technischer Produktqualität* optimieren können (vgl. SPECHT/SCHMELZER 1992, S. 532). Die verhältnismäßig geringere Anzahl an repetitiven und standardisierten Abläufen im F&E-Prozess kann die Entwickler dazu verleiten, die scheinbar ‚einmaligen‘ Aktivitäten und Prozesse eher *intuitiv*, d.h. ohne zugrundeliegende Methodik, abzuarbeiten; der Aufwand für eine strukturelle Verbesserung des F&E-Prozesses scheint sich nicht zu lohnen. Diesem Defizit soll der Einsatz von Qualitätstechniken vorbeugen. Auf der anderen Seite können aber *mangelnde Flexibilität* und *einengende Prozessabläufe* die Innovationsstärke und Lösungskompetenz der Entwickler auch *negativ* beeinflussen. Folglich kommt es im Entwicklungsprozess darauf an, unter Beibehaltung dieses notwendigen Grades an Flexibilität gleichzeitig das höchste Maß an strukturellen Abläufen zu ermöglichen (vgl. REINERTSEN 1998, S. 119).

Im Folgenden kann nur eine Auswahl von Instrumenten zur Qualitätsgestaltung und zum Qualitätsmanagement vorgestellt werden, die in der Entstehungsphase eines Produkts Anwendung finden können. Diese beschränkt sich auf solche Instrumente, welche sich in der Praxis bereits bewährt haben;²²³ die Eignung von *Quality Function Deployment* für chemische Entwicklungsaktivitäten geht zudem auch aus *Abschnitt 7* hervor. Gemeinsam ist den meisten Instrumenten die Fokussierung auf die frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses.

Quality Function Deployment (QFD) ist ein Instrument, welches insbesondere die Systematik bei der Erarbeitung der Funktionen und Komponenten des Entwicklungsobjekts verbessern soll (*Abschnitt 6.1.3.1.1*); außerdem ist es teilweise inhaltliche Grundlage der in *Abschnitt 7.1* vorgestellten Entwicklungsmethodik für chemische Produkte („Chemical Cost Engineering“). *Simultaneous Engineering* (*Abschnitt 6.1.3.1.2*) strebt durch eine Parallelisierung von Aktivitäten der Innovationskette ebenfalls eine Effizienzverbesserung und vor allem eine Beschleunigung des gesamten Entwicklungsprozesses an. Die aufgeführten *Werkzeuge des Qualitätsmanagements* (*Abschnitt 6.1.3.1.3*) schließlich stellen Hilfsmittel zur Effizienzsteigerung und Lösung von Einzelproblemen von F&E-Prozessen dar.

²²³ Zur Verbreitung von Instrumenten wie *QFD* und *Simultaneous Engineering* in der deutschen Unternehmenspraxis vgl. GERPOTT 1996, S. 142.

6.1.3.1.1 Quality Function Deployment

6.1.3.1.1.1 Einführung

Quality Function Deployment (QFD) ist aus der Praxis entstanden und wurde erstmalig 1966 von AKAO in der Reifenindustrie (Bridgestone) eingesetzt.²²⁴ Es handelt sich dabei um ein Instrument zur Entwicklung von qualitativ hochwertigen *Produktfunktionen*, welches laut einer Studie im Maschinenbau und der Elektro- bzw. Elektronikindustrie gerade von erfolgreichen Unternehmen oft eingesetzt wird (vgl. BINDER 1998a, S. 358). Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich um materielle oder immaterielle Produkte und ihre Funktionen handelt.

Die Hauptziele des mehrstufigen, vom Entwicklungsstadium bis zur Serienreife eines Produkts reichenden Planungsprozesses sind die *Erhöhung der Kundenzufriedenheit*, die *Einsparung von Kosten* sowie die *Verkürzung der Entwicklungszeit*. Die Kosten- und Zeiteinsparungen resultieren aus der Erhöhung der *Entwicklungsqualität* bzw. Reduzierung von Änderungsvorgängen und damit einer kundengerechteren Entwicklung sowie einer Parallelisierung der Abläufe (vgl. SAATWEBER 1997, S. 34). Dabei steht die Phase der Produktplanung weitaus mehr im Mittelpunkt der QFD-Methodik, als es in herkömmlichen Entwicklungsprozessen üblich war (vgl. MAI 1998, S. 24).

QFD beinhaltet unter anderem Elemente der ‚Wertanalyse‘, des ‚Simultaneous Engineering‘ und des ‚Total Quality Management‘.²²⁵ Die QFD-Methodik beginnt mit der wörtlichen Erfassung der Kundenwünsche, welche anschließend von internen Teams in technische Produktfunktionen und -komponenten ‚übersetzt‘ werden. Dies ermöglicht es, auch für technisch anspruchsvolle Produkte die Kundenanforderungen präzise umzusetzen, statt den Kunden mit – je nach Produktkomplexität – sehr technisch-abstrakten Produktfunktionen oder gar Produktkomponenten und deren Bewertung zu konfrontieren, wie es bei der Wertanalyse²²⁶ oder dem Target Costing²²⁷ der Fall ist.

²²⁴ Der Begriff „Deployment“ lässt sich u.a. mit „Personaleinsatz“, „Entwicklung“ oder auch „Aufstellung“ (von Truppen, im militärischen Sinn) übersetzen und soll den konzertierten, teamorientierten Einsatz bei der Entwicklung von Produktfunktionen aus den Qualitätsanforderungen der Kunden umschreiben.

²²⁵ Die *Wertanalyse* wurde 1947 bei *General Electric*s im Einkaufsbereich mit der Absicht entwickelt, durch einen systematischen Ansatz Kosteneinsparungen bei zugekauften Teilen zu erreichen, ohne dass deren Funktion oder Zuverlässigkeit beeinträchtigt würde (vgl. BROWN 1992, S. 1ff.). Sie führte in den 60er Jahren auch in Deutschland zu einem Bewusstseinswechsel hinsichtlich der Kostenverursachung durch die Entwickler und der Notwendigkeit frühzeitiger Kosteninformationen (vgl. EHRENSPIEL 1996, S. 70). Analog zur Wertanalyse greift die Produktentwicklung auch bei QFD auf Produktfunktionalitäten und ihre Komponenten zu, und wie beim ‚Simultaneous Engineering‘ wird ein interdisziplinäres Team mit den Aufgaben der Entwicklung betraut, wodurch die Entscheidungssicherheit gestützt wird.

²²⁶ Die Wertanalyse scheint weniger auf Kundenanforderungen als auf das Erreichen intern gesetzter (Wert- bzw. Kosten-) Ziele ausgerichtet zu sein, wie nicht zuletzt aus der Betonung von „Funktionendenken“ und „Ressortübergreifender Teamarbeit“ (EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 101f.; JEHL 1991, S. 288ff.; ZENTRUM WERTANALYSE 1995, S. 77ff.; MILES 1967, S. 11f. und S. 37f.) hervorgeht, wohingegen

Dieses Vorgehen mag bei der Beurteilung von Funktionen eines Tintenschreibers durch Endkunden unproblematisch sein, die Bewertung von Funktionen oder Komponenten eines chemischen Produkts dürfte jedoch in vielen Fällen für Kunden schwer durchführbar sein. Die nachfolgende Vorstellung von QFD und dessen Einbezug in das in *Abschnitt 7* vorzustellende *Chemical Cost Engineering* erscheint daher insofern berechtigt, als es nachweislich erfolgreich zur Ermittlung von Funktionen chemischer Produkte eingesetzt wurde. QFD kann somit einen entscheidenden Beitrag zur kundenorientierten Produktentwicklung in der chemischen Industrie leisten.

6.1.3.1.1.2 Der QFD-Prozess

Der QFD-Prozess beruht auf einer Systematik, die sich an einer Sammlung von Matrizen orientiert, den „Houses of Quality“²²⁸. Diese zerlegen den Entwicklungsprozess in fünf aufeinander aufbauende *Teilpläne* und dienen zur Dokumentation und Standardisierung des methodischen Ablaufs (*Abbildung 68*). Aufgrund ihrer methodischen Bedeutung für das *Chemical Cost Engineering* (*Abschnitt 7*) wird die Systematik hier ausführlich vorgestellt.

In der durch die Pfeile angedeuteten Reihenfolge werden die verschiedenen Matrizen ausgefüllt, bis die jeweilige Phase abgeschlossen ist (eine Phase umfasst das Ausfüllen und Bearbeiten aller der in *Abbildung 68* skizzierten Teilmatrizen). Jeweils auf der linken äußeren Matrixseite („Was“) werden die kritischen Anforderungen der jeweiligen Phase aufgenommen und in die hierfür technisch benötigten Funktionen („Wie“) und ihre Zielgrößen überführt („Wieviel“). Das „Dach“ und Teile der unteren sowie die äußere rechte Matrix dienen vornehmlich Plausibilitäts- und Vergleichsuntersuchungen, welche nach individuellem Bedarf verwendet werden können, wie es ohnehin keine zwingende Auslegung der einzelnen Matrizen hinsichtlich Formalisierung und Anzahl an Phasen gibt.²²⁹ Daher empfiehlt sich eine pragmatische Auslegung der QFD-Methodik, auch um – durch eine zu starre methodische Vorgehensweise bedingte – Schwierigkeiten wie beispielsweise Einbußen im Kreativitätsprozess oder mangelnde Akzep-

die Kundenanforderungen z.B. nur als „Anwenderdaten“ unter der Rubrik „Umfeld-Informationen beschaffen“ beschrieben werden (ZENTRUM WERTANALYSE 1995, S. 95).

²²⁷ Im Vergleich zur Wertanalyse wird beim Target Costing „die Ausrichtung auf die vom Kunden bzw. vom Markt her gesetzten Kostenziele“ stärker verfolgt (EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 103), und zur Informationsermittlung werden z.B. Methoden wie *Expertenbefragungen*, *direkte* oder *indirekte* (Conjoint Measurement) *Kundenbefragungen* eingesetzt (BUGGERT/WIEPÜTZ 1995, S. 70ff.). Gerade das *Conjoint Measurement* wird im Zusammenhang mit dem Target Costing zur Identifizierung von funktionsbezogenen Kundenanforderungen empfohlen (BUGGERT/WIEPÜTZ 1995, S. 72f.; SEIDENSCHWARZ 1993, S. 199), stellt aber keinen integralen Bestandteil der Target Costing-Methodik dar. Ob durch Conjoint Measurement die Kundenanforderungen hinsichtlich der Produktfunktionen oder -komponenten von chemischen Produkten erfolgreich ermittelt werden können, ist bisher nicht untersucht worden.

²²⁸ Dieser Begriff leitet sich von der hausartigen Form ab, welche das Zusammenlegen der verschiedenen Matrizen der Arbeitsschritte ergibt (vgl. *Abbildung 68*).

²²⁹ Zu den verschiedenen QFD-Ansätzen vgl. MAI 1998, S. 27ff.

tanz bei den beteiligten Abteilungen und Mitarbeitern zu vermeiden. Die Ergebnisse einer Phase dienen schließlich als Eingangsgrößen für die nachgelagerten Phasen.

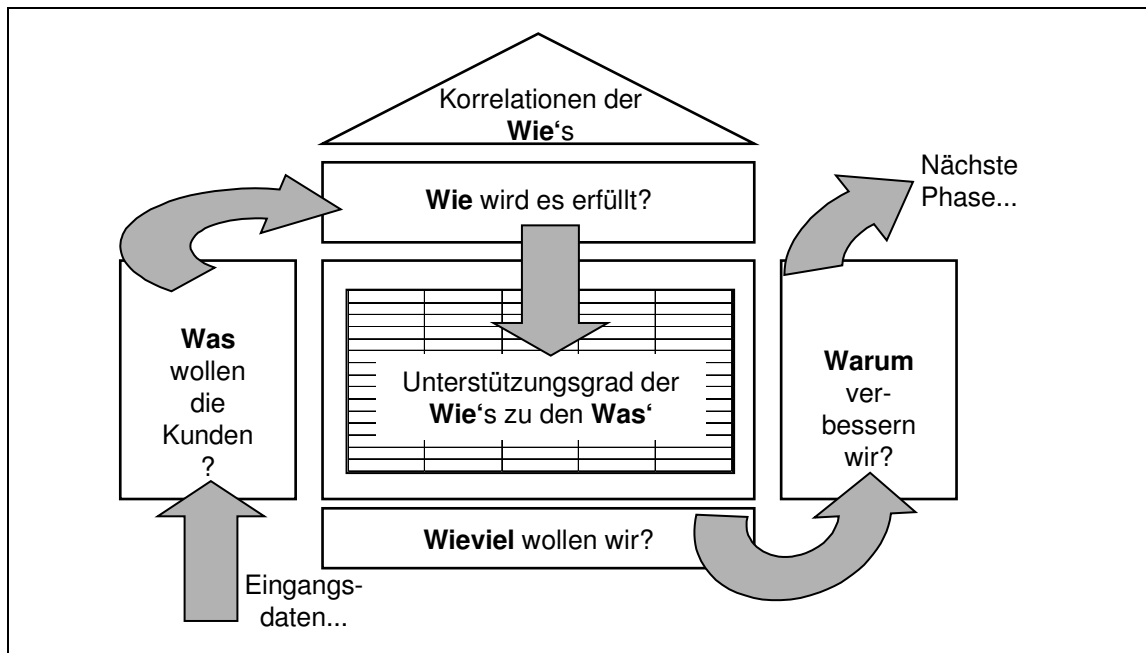


Abbildung 68: Das House of Quality und seine Bestandteile (vgl. Saatweber 1997, S. 35)

Der QFD-Prozess lässt sich – je nach Anwendungsgebiet und gewünschtem Umfang – in folgende *fünf Phasen* unterteilen: die *Informationsbeschaffung* (I), die *Produkt- bzw. Funktionenplanung* (II), die *Komponentenplanung* (III), die *Prozessplanung* (IV) und die *Fertigungsplanung* (V). Wegen ihrer besonderen Bedeutung für die Produktentwicklung werden an dieser Stelle nur die *Funktionenplanung* und die *Komponentenplanung* kurz vorgestellt, aus denen das *Produktkonzept* hervorgeht (in Anlehnung an SAATWEBER 1997, S. 126ff.):

- *Funktionenplanung (Phase II)*

Die ‚eigentliche‘ QFD-Methodik beginnt erst nach der Informationssammlung mit dieser Phase, welche die *Kundenanforderungen* in die *Funktionen* bzw. die *Produktmerkmale* („Sprache der Techniker“) übersetzen und bewerten soll. Hierzu werden zunächst die Anforderungen (z.B. „keine Reaktion bei Hautberührung“, „schnelle Wirkungsentfaltung“) in die linke äußere Matrix („Was“) eingetragen und diese aus Kundenperspektive, beispielsweise durch Punktvergabe, priorisiert (z.B. ‚0‘ unwichtig, ‚10‘ sehr wichtig).²³⁰ Anschließend übertragen die Entwickler in Zusammenarbeit mit einem interdisziplinären Team die ‚Stimme des Kunden‘ in die

²³⁰ Werden zu viele Anforderungen berücksichtigt, leidet die Übersichtlichkeit der Matrix und des Entwicklungsprozesses allgemein darunter.

Funktionen, welche die Kundenanforderungen erfüllen können („Wie“), indem sie letztere auf ihren technischen Hintergrund untersuchen, ohne jedoch schon konkrete Lösungen zu benennen.²³¹ Jede der Anforderungen muss dabei zumindest durch eine Funktion charakterisiert werden, nicht selten sind es auch mehrere. Schließlich wird die erfolgte ‚Übersetzung‘ noch durch technische Zielwerte (Spezifikationen) präzisiert, welche die Funktionen erreichen müssen, damit der Kundenwunsch realisiert werden kann („Wieviel“); die Chancen einer Realisierung sind zu diesem Zeitpunkt hingegen noch nicht zu prüfen.²³²

Im nächsten Teilschritt werden die *Beziehungszusammenhänge* zwischen den Anforderungen und den Funktionen näher untersucht. Dafür werden die einzelnen Felder in der zentral angesiedelten Matrix des „House of Quality“ („Unterstützungsgrad der Wie’s zu den Was“) durch Symbole oder Zahlen ausgefüllt, welche den Grad der Unterstützung, mit welcher die jeweilige Funktion zu der jeweiligen Anforderung der Kunden beiträgt, quantifizieren soll. Durch eine Multiplikation der Ziffern für die Bedeutung der Kundenanforderung mit dem Unterstützungsgrad der Funktion und einer Addition über die einzelnen als auch alle Spaltenwerte können sowohl die Bedeutung einzelner Funktionen als auch die Bewertung von alternativen Konzepten (welche sich durch eine unterschiedliche Kombination von Funktionen ergeben) für die Entwicklungsarbeit abgeschätzt werden.

Das dreieckige „Dach“ („Korrelationen der Wie’s“) dient unterstützend der Visualisierung möglicher Zielkonflikte zwischen den Funktionen: Diese treten dann auf, wenn die Erfüllung einer Funktion hinsichtlich ihres Zielwertes die Erfüllung einer anderen Funktion beeinträchtigen oder auch verstärken könnte. Beispielsweise kann durch eine Erhöhung des Wirkungsgrades in der Regel auch die Ausbeute erhöht werden. Die rechts außen liegende Matrix kann für ein Benchmark mit vergleichbaren Wettbewerbsprodukten aus Kundensicht eingesetzt werden („Warum“).

- *Komponentenplanung (Phase III)*

Die Ergebnisse der Phase II sind die Eingangsgrößen der Phase III, in der die zur Anforderungs- bzw. *Funktionserfüllung* benötigten *Komponenten* entwickelt werden sollen. Die Arbeitsabfolge verläuft dabei analog zur vorangegangenen Phase, und die Bemühungen konzentrieren sich besonders auf die Erfüllung der wichtigsten Kundenanforderungen, d.h. jene Funktionen, welche die höchsten Bewertungen (Addition über Spalten) bekommen haben. Doch auch vom Kunden nicht

²³¹ Um die Präzision der Kundenanforderungen zu erhöhen und die ‚Übersetzungsarbeit‘ zu erleichtern, lassen sie sich z.B. durch einen *Funktionenbaum* in mehrere Ebenen gruppieren (vgl. SAATWEBER 1997, S. 117).

²³² Lassen sich keine Zielwerte angeben, so liegt meist ein „Übersetzungsfehler“ vor, d.h. statt eines Merkmals bzw. einer Funktion wurde schon ein Lösungsansatz eingetragen.

genannte, weil aus seiner Sicht selbstverständliche Bestandteile („Basismerkmale“, vgl. *Abschnitt 5.1.1.1*), müssen berücksichtigt werden.

In der linken Matrix werden die Funktionen aus Phase II einschließlich der hierfür angestrebten Zielwerte eingetragen („Was“). Anschließend müssen die einzelnen Komponenten, welche die Funktionen und die Zielwerte hinreichend erfüllen können, erarbeitet und in die obere Matrix eingetragen werden. Wie in Phase II wird daraufhin die Korrelation und der Grad der technischen Unterstützung der Funktionen durch die Komponenten in der zentralen Matrix eingetragen und damit eine deutliche *Transparenz* über die *Wirkungszusammenhänge* des Produkts hergestellt. Wenn alle Funktionen durch entsprechende Komponenten erfüllt sind und die beste diesbezügliche Alternative erarbeitet wurde, ist das *Produktkonzept* fertiggestellt. Sind darüber hinaus die einzelnen Komponenten bereits im Unternehmen vorhanden, so ist kein weiterer Entwicklungsaufwand notwendig; ansonsten kann eine Korrelationsanalyse der Komponenten im ‚Dach‘ des ‚Hauses‘ noch von Interesse sein. Die rechte Matrix wird in dieser Phase kaum verwendet; allenfalls wenn der Kunde genug Produkt-Know-how besitzt, um auch die Komponenten mit den Wettbewerbern vergleichen zu können, kann ein Benchmark nach dem Verständnis von QFD nutzenbringend sein. Das endgültig ausgewählte Produktkonzept wird zum Schluss in Form eines Lastenhefts dokumentiert.

6.1.3.1.1.3 Merkmale von QFD

Die Unterstützung des Entwicklungsprozesses durch QFD hilft den Entwicklern, sich auf die *wesentlichen Kundenanforderungen* zu konzentrieren und damit u.a. mögliche Defizite an der Schnittstelle zwischen Marketing einerseits und der Entwicklungsabteilung andererseits zu verringern (vgl. WILDEMAN 1998, S. 59).²³³ Die Kundennähe bei der Erfassung der Anforderungen kann zudem das Problem des *Overengineering* und die damit entstehenden Kosten vermeiden helfen. Weiterhin trägt auch die frühzeitige Einbindung aller am Entwicklungsprozess Beteiligten zur Entwicklung *kundengerechter Produkte* und zur *Verringerung* der *Kosten* aufgrund von Änderungen im Entwicklungsprozess bei. Um auch die *zulässigen Marktkosten* in die Entwicklung mit einzubeziehen, wenden erfolgreiche Unternehmen neben QFD auch das Target Costing an (vgl. BINDER 1998b, S. 117; BUGGERT/WIEPÜTZ 1995, S. 110; vgl. *Abschnitt 7*).

Hinsichtlich der *Senkung* von *Herstellkosten* wurde QFD in einer Untersuchung aus dem Jahre 1995 von Unternehmen verschiedener Branchen als besonders kostensparend eingestuft, da diese eine Reduzierung ihrer Fehler-, Material-, Personal- und Anlaufkosten mit dem Einsatz dieser Methode in Verbindung brachten (vgl. SAATWEBER 1997, S. 251). Auch eine Analyse von 35 QFD-Anwendungen in den USA ergab in 27% der

²³³ Zu den Möglichkeiten eines Schnittstellenmanagements zwischen Marketing und F&E-Abteilung vgl. BÜRGEL ET AL. 1996, S. 55ff.

Fälle eine kurzfristige Kostensenkung sowie in 83% der Fälle langfristige Erfolge durch Prozessverbesserungen (vgl. GRIFFIN 1992, S. 178ff.). Diesen Ergebnissen stehen jedoch verschiedene Erfahrungsberichte entgegen, welche das schlechte Kosten-Nutzen-Verhältnis aufgrund des hohen Aufwands bei Einführung und Durchführung der Methode bemängeln (vgl. MAI 1998, S. 17). Eigene Erfahrungen bestätigen zwar den Aufwand für Schulung und Implementierung, haben aber auch gezeigt, dass die Methode bei den Entwicklern – auch in der chemischen Industrie – auf Akzeptanz stößt, da sie statt eines vornehmlich intuitiven Produktverständnisses eine bisher nicht gekannte Transparenz der Produkteigenschaften ermöglicht.

6.1.3.1.2 Simultaneous Engineering

6.1.3.1.2.1 Einführung

Simultaneous Engineering (dt.: ‚gleichzeitige Ingenieurstätigkeit‘) ist eine Methode, welche durch organisatorische Ansätze die *Entwicklungszeit* signifikant *verkürzen* und zugleich die *Produktqualität optimieren* soll. Hierfür wird eine ‚zielgerichtete, interdisziplinäre Teamarbeit für die Produkterstellung von der ersten Idee bis zur Realisierung‘ empfohlen (vgl. EHRENSPIEL 1992, S. 299). Aus historischer Sicht betrachtet kann diese Methode als Versuch gewertet werden, die Integration des gesamten, für die Produkterstellung notwendigen Wissens, welches früher häufig in einer Person (z.B. ‚Meister‘ oder ‚Kleinunternehmer‘) vereinigt war, aus den durch den enormen Wissens- und Spezialisierungszuwachs stark gewachsenen und aufgespalteten Funktionsbereichen der (Groß-)Unternehmen wieder zusammenzuführen (vgl. EHRENSPIEL 1992, S. 299). Denn die gerade in westlichen Unternehmen charakteristische, stark arbeitsteilige Organisation hat das sequentielle Entwicklungsmanagement und damit die Entstehung stark technologielastriger Produkte begünstigt (vgl. BUGGERT/WIEPÜTZ 1995, S. 29). Die Wettbewerbs- und Kostensituation in der chemischen Industrie erfordert jedoch eine *integrierte Produktentwicklung*, welche durch das Simultaneous Engineering unterstützt werden kann.

6.1.3.1.2.2 Der Simultaneous-Engineering-Prozess

Die bisherige (sequentielle) Vorgehensweise beim Produktentwicklungsprozess war oft dergestalt, dass der Kontakt zum Markt vornehmlich durch die Vertriebsabteilungen hergestellt wurde, welche der Forschung und Entwicklung dann das *Lastenheft* für ein neues Produkt ‚übergab‘. Diese leitete nach erfolgter Fertigstellung die Herstellungsvorschrift an die Produktionsabteilung weiter, welche die Arbeits- und Ablaufplanung zu organisieren und durchzuführen hatte. Die Einkaufsabteilung kümmerte sich währenddessen um die Materialbeschaffung, und das Controlling erstellte die Kalkulation auf Grundlage der Herstellvorschrift. Schließlich wurde die Vertriebsabteilung mit der Vermarktung bzw. dem Verkauf der Produkte betraut.

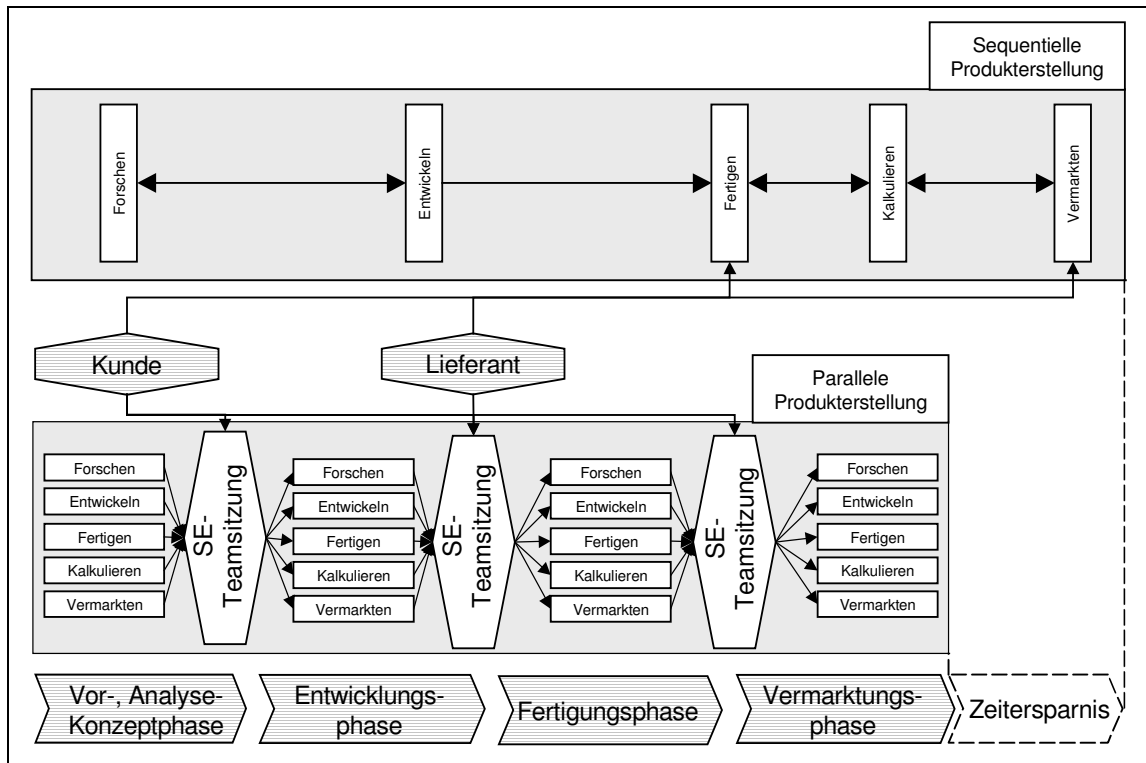


Abbildung 69: Prinzipielles Vorgehen von sequentieller und paralleler Produkterstellung

Beim Simultaneous Engineering-Ansatz (,SE‘) hingegen arbeiten alle an der Entstehung eines neuen Produkts beteiligten Stellen nach einem *Plan* zusammen, dessen Grundlage darin besteht, jedem Teammitglied die für seine Aufgaben erforderlichen Informationen so früh wie möglich zugänglich zu machen (vgl. WITTE 1989, S. 95).²³⁴ Ziel ist es, das Wissen und die Erfahrung des ganzen Unternehmens für die Produktentwicklung nutzbar zu machen (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 13). Die Teams werden projektweise eingesetzt und umfassen größtenteils *firmeninterne Mitglieder*, sollten aber möglichst unter Einschluss von *Lieferanten* und *Kunden* arbeiten, um alle im Verlauf des Produktlebenszyklus mit dem Produkt befassten Institutionen bzw. Personen einschließlich ihrer Anforderungen zu berücksichtigen und in den Phasen Produktkonzeption, Entwicklung, Produktion und Vermarktung schnelle *Rückkopplungen* aus den Abteilungen zu ermöglichen.²³⁵ Die Entwicklungsziele und Entstehungsschritte werden gemeinsam in den Teams definiert und verantwortet, in regelmäßigen Abständen verifiziert und gegebenenfalls modifiziert oder verworfen. Zwischen den Simultaneous Engineering-Teamsitzungen werden die gemeinsam formulierten und dokumentierten (Zwischen-) Ziele in die jeweiligen Funktionsbereiche zurückgeleitet und dort zur gleichen Zeit bearbeitet („Parallelisierung“).

²³⁴ Dies führt zu einer Aufhebung der oft bestehenden Trennung von Planungs- und Ausführungsverantwortung, welche auch häufig als Grund für die Demotivation angeführt werden kann, wenn Mitarbeiter schlechte Planungen ausführen müssen (vgl. WITTE 1994, S. 127).

²³⁵ Zu den diesbezüglichen organisatorischen Möglichkeiten vgl. GERPOTT 1996, S. 137f.

Die grundlegende Verbesserung in Bezug auf Qualität, Zeit und Kosten des Entwicklungsprozesses gegenüber dem traditionellen, von der tayloristischen Arbeitsweise geprägten Vorgehen beruht also hauptsächlich auf dem *parallelen* statt *sequentiellen* Vorgehen aller mit der Produkterstellung befassten Funktionsbereiche (vgl. *Abbildung 69*). Voraussetzung ist allerdings, dass die Natur der Entwicklungsprojekte ein *paralleles Vorgehen* ermöglicht. Dies ist in der chemischen Industrie gerade bei *Industrie- und Spezialchemikalien* der Fall, da dort häufig bereits in den Phasen der Forschung und Entwicklung Kunden einbezogen werden. Damit soll sichergestellt werden, dass die Produkte möglichst maßgeschneidert für die Weiterverwendung in den Produkten der Kunden bzw. für den Endverbraucher sind.

6.1.3.1.2.3 Merkmale des Simultaneous Engineering

Die Anwendung des Simultaneous Engineering kann zu einer signifikanten *Verkürzung* der *Entwicklungszeit* führen (vgl. GERPOTT/WINZER 1996, S. 143). Durch das konzentrierte Vorgehen und die enge Verzahnung der einzelnen Abläufe, zusammen mit der hierfür notwendigen frühzeitigen Festlegung auf das Produktkonzept und seinen Herstellungsprozess, können vor allem die *zeit- und kostenaufwändigen Änderungsvorgänge* bei gleichzeitiger *Erhöhung* der *Qualität* und des *Kundennutzens* vermieden werden. Viele Fragen und Probleme in den der Entwicklung nachgelagerten Phasen können so schon bei der Konzepterstellung thematisiert werden. Die durch diesen zusätzlichen Abstimmungsbedarf *verlängerte Konzeptphase* sollte in der Regel durch *Zeiteinsparungen* in den nachgelagerten Phasen überkompensiert werden. Eine rechtzeitige Markteinführung, ohne die Nachteile eines verspäteten Markteintritts für Absatz und Erfolg, wird somit unterstützt (vgl. SCHÖNWALD 1989, S. 33). Dabei kann entweder der Start der Entwicklung wie geplant erfolgen und eine verkürzte *Time to Market* erwartet werden, oder der Startzeitpunkt kann in die Zukunft verschoben werden, ohne den Markteintrittszeitpunkt zu gefährden, um beispielsweise durch Einholen zusätzlicher Informationen die Entscheidungsbasis für das Produktkonzept zu verbessern (vgl. WITTE 1994, S. 128). Daher sollte der Einsatz von Simultaneous Engineering insbesondere dann erfolversprechend sein, wenn sich das Unternehmen in einem dynamischen Markt mit hoher Wettbewerbsintensität und zunehmender produktseitiger Individualisierung und Komplexitätszunahme befindet.

Der Verkürzung der Entwicklungszeit kommt auch in der chemischen Industrie – vor dem Hintergrund *tendenziell zunehmender Entwicklungsdauer* durch erhöhte Produktkomplexitäten und zugleich verkürzten Produktlebenszyklen – besondere Bedeutung zu (vgl. EVERSHEIM 1989, S. 2; *Abbildung 70*). Aufgrund der dort getätigten hohen Anlageninvestitionen empfiehlt es sich beispielsweise, bereits nach orientierenden Versuchen im Entwicklungslaboratorium oder im Technikum eine erste Anlagenplanung und Kalkulation vorzunehmen (z.B. Rohstoffreinheit, gewählte Konzentrationen, Temperatur, Druck, Kreislaufführung). Die weitere Versuchsarbeit im Laboratorium orientiert sich an diesen Ergebnissen und durchläuft *Optimierungsschleifen*, bis die entstehenden Kosten (u.a. abhängig von Reaktortyp, Stufenzahl, Trennmethoden, Heiz- und

Kühltechnik, Werkstoffen) nicht mehr wesentlich gesenkt werden können (vgl. FITZER/FRITZ 1989, S. 38).

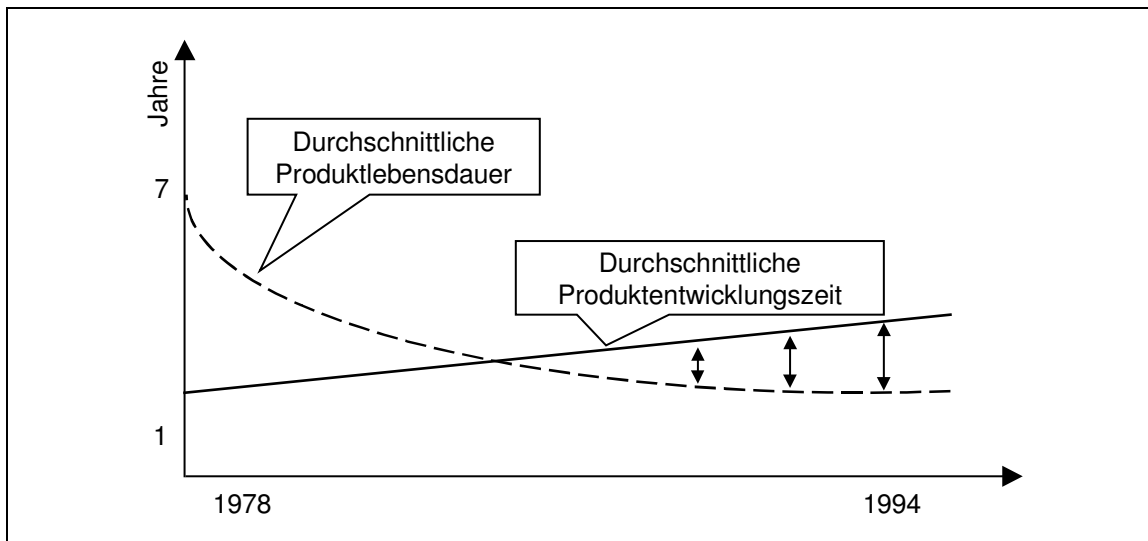


Abbildung 70: Qualitativer Verlauf von Produktlebensdauer und Produktentwicklungszeit im Maschinenbau (vgl. EVERSHEIM 1989, S. 7)

Dass methodische Ansätze wie das Simultaneous Engineering – wenngleich nicht notwendigerweise unter diesem Schlagwort – auch in der *chemischen Industrie* Einzug halten, zeigt sich u.a. daran, dass der deutsche Softwarehersteller SAP gezielt diese Branche anspricht, um dort die Beschleunigung der vielfältigen Entwicklungsaktivitäten durch voll *integrierte EDV-Systeme* („Product Lifecycle Management“) zu unterstützen (vgl. SAP 2003, S. 1). Am Beispiel eines Pharmaprodukts (Medikament) wird dort aufgezeigt, welche Aufgaben durch die Parallelisierung des Entwicklungsprozesses effizienter und schneller bearbeitet werden können:

- *Koordination* der verschiedenen Aufgaben und Rechte bei der *Entwicklung* der Produkteigenschaften (z.B. interne Prozessbeteiligte, Zugriff externer Partner),
- *Dokumentation* der *Produkteigenschaften* und *Medikamententests* nach verschiedenen Regeln (pharmaspezifische Dokumentationsvorgaben, z.B. gemäß den Forderungen der amerikanischen Food and Drug Administration FDA) und mit verschiedenen *Systeminhalten* (Dokumentenmanagement-, Workflow-, Laborinformations-, Projektmanagementsysteme),
- *Koordination* des *Änderungsprozesses* bei Nachforderungen oder nicht erreichten Eigenschaften (Informationsverteilung, Workflow) sowie die
- *Szenariobildung* hinsichtlich des Markterfolgs (Planung und Auswertung der Lebenszykluskosten; Simulation von Produktlebenszyklen und Bestimmung des Markteintritts und -austritts; Portfoliomanagement).

Eine durch die Anwendung von Simultaneous Engineering erreichbare *Verbesserung der Produktqualität* und *Abnahme der Produktentwicklungsaufwendungen* wird jedoch zurückhaltend eingeschätzt. Gerade bei Projekten mit erhöhtem Komplexitätsgrad ist eine Kostensenkung der F&E-Projektkosten nicht zu erwarten (vgl. GERPOTT/WINZER 1996, S. 146f.): Empirische Untersuchungen weisen eher darauf hin, dass die Entwicklungszeit in der Regel zwar abnimmt, eine Verbesserung der Produktqualität und Senkung der Produktentwicklungskosten jedoch lediglich bei *nicht ausgenutzten Entwicklungskapazitäten* oder *Parallelisierungspotentialen* durch ‚Planungslücken‘ möglich erscheint. Es ist zu vermuten, dass eine signifikante Verbesserung der Produktqualität daher weniger durch einen parallelen und damit beschleunigten Entwicklungsprozess erreicht wird, sondern entscheidend von den *fachlichen Fähigkeiten*, der *Methodenkompetenz* und der *Zeitdauer*, während der sich die Entwickler der Entwicklungsaufgabe widmen können, abhängt. Entsprechend steigen in der Regel die Kosten eines Entwicklungsprojekts mit zunehmender fachliche Kompetenz der beteiligten Entwickler (die sich in den Personalkosten niederschlägt) sowie der Zeitdauer des Projekts.

Wichtiger erscheint aber aus Sicht des produktorientierten Kostenmanagements die *Vermeidung* von Kosten zu sein, denen kein Kundennutzen gegenübersteht (z.B. Entwicklung von nicht marktgerechten Produkten, häufige Produktänderungen). Dies soll dadurch erreicht werden, dass die Mitglieder der Forschungs- und Entwicklungsabteilung, gerade auch in den zentralisierten Forschungs- und Entwicklungsabteilungen größerer chemischer Unternehmen, durch die Zusammenarbeit u.a. mit Marketing, Vertrieb und Produktion stärker in die Wertschöpfungskette eingebunden werden und ihnen auf diese Weise eine kundenorientiertere, ‚realitätsnähere‘ Arbeit ermöglicht wird (vgl. SCHÖNWALD 1989, S. 36).

6.1.3.1.3 Qualitätsmanagement

Der *Qualitätsbegriff* unterlag mit zunehmender Sättigung der Märkte einem Wandel von einem internen, vermeintlich *objektiven* Verständnis von Qualität zu einer *subjektiven* kundenorientierten Sichtweise, welche unter Qualität das „Erfüllen von Kundenanforderungen“ versteht (FRANZ 2002, Sp. 1652). In vergleichbarer Weise wurde lange Zeit auch unter dem Begriff *Qualitätsmanagement* lediglich das Erstellen fehlerfreier Leistungen verstanden, z.B. durch das Einhalten von Toleranzen in der Fertigung (vgl. HELM/SATZINGER 2001, S. 1132). Mittlerweile wird aber auch hierunter mehr ein *Konzept* der ständigen Verbesserung aller Unternehmensprozesse mit dem Ziel, die Wettbewerbsposition zu verbessern, verstanden: Es soll die Möglichkeit schaffen, eine Leistung zu erbringen, die von möglichst vielen potentiellen Kunden in einem Marktsegment als positive Qualität und damit als präferierte Unternehmensleistung beurteilt wird (vgl. HELM/SATZINGER 2001, S. 1132; GORELLA/MALORNY 1998, S. 330). Eine mangelnde Qualität der Leistungserstellung führt hingegen zu einer Vermehrung von Prozessen, denen keine Wertsteigerung für den Kunden gegenübersteht und welche somit unnötigen Aufwand bzw. Kosten erzeugen, beispielsweise durch zusätzliches Kontrollieren oder die Behebung von Fehlern; zudem können Kosten durch die Inan-

spruchnahme von Produkthaftungen oder Imageschäden entstehen (vgl. SCHULZ 1994, S. 133).

Ziel eines Qualitätsmanagements ist es demnach, zum einen die nach außen abgegebenen Leistungen so zu gestalten, dass sie dem jeweiligen *Kundenwunsch* voll entsprechen. Zum anderen strebt das Qualitätsmanagement die Senkung und Vermeidung von *Qualitätskosten* an. Diese umfassen Kosten, welche durch Aktivitäten der *Fehlerverhütung*, für planmäßige *Qualitätsprüfungen* oder durch *Feststellung* von Fehlern verursacht sind.²³⁶ Aus Sicht der Kostenrechnung handelt es sich dabei teilweise um Kosten, welche im Sinne von ‚Transaktionskosten‘ durch die Geschäftsbeziehungen mit Kunden und Lieferanten anfallen. Ein anderer Teil der Kosten entsteht als ‚interne Produktionskosten‘, welche fehlerhafte Produkte vermeiden sollen (vgl. FRANZ 2002, Sp. 1660). Zur Senkung bzw. Vermeidung derartiger ‚Qualitätskosten‘, und auch um eine kostenoptimale Forschung und Entwicklung zu gewährleisten, müssen daher die Ineffizienzen der gesamten Innovations- und Wertschöpfungskette minimiert werden (vgl. WILDEMANN 1992a, S. 21).

Das Qualitätsmanagement setzt zum Erreichen der beschriebenen Ziele bestimmte Instrumente ein, welche in „Basiswerkzeuge“ sowie weiterführende, komplexer aufgebaute Methoden unterschieden werden können (vgl. FRANZ 2002, Sp. 1657). Zu letzteren können z.B. die zuvor genannten Methoden QFD und Simultaneous Engineering gezählt werden. Nachfolgend werden ausgewählte *elementare Qualitätswerkzeuge* vorgestellt, welche einfache Methoden darstellen, die auch in der chemischen Forschung und Entwicklung zur Bearbeitung von Problemen und zur Erzielung von Verbesserungen geeignet sind (vgl. dafür im folgenden EBELING 2002, S. 6ff.). Sie können daher die Entwicklungsqualität verbessern.

Für die Anwendung dieser Methoden empfiehlt sich die Bildung von Teams mit durchschnittlich vier bis acht Experten, um die (Problem-) Analyse zu fundieren und die Qualität und Quantität von Lösungsvorschlägen sicherzustellen. Vor Beginn des Einsatzes der anschließend vorgestellten Qualitätswerkzeuge sollte die Gruppe für die Problemstellung und die angestrebten Zielgrößen sensibilisiert werden. Um den Arbeitserfolg nicht zu gefährden, sind jeweils gewisse Spielregeln bei der Durchführung zu beachten.

6.1.3.1.3.1 Datensammlung

Das *Gewinnen* von *Daten* bildet die Grundlage für nachfolgende Analysen und Maßnahmen und damit für den Erfolg von Qualitätssteuerungs- und -verbesserungsmaßnahmen. Sind die wesentlichen Fragestellungen des zu untersuchenden Sachverhaltes z.B.

²³⁶ Zur weiteren Unterscheidung in „Übereinstimmungskosten“ und „Abstimmungskosten“ vgl. WILDEMANN 1992b, S. 763.

mit Hilfe der 7 *W's* (warum, was, wann, wo, wer, wie, womit) geklärt, müssen die Details der Qualitätsmessung definiert werden. Hierzu gehören beispielsweise Art und Anzahl der untersuchten Merkmale, der (Stichproben-) Umfang und die Genauigkeit der Messung. In der chemischen Forschung kann auf diese Weise beispielsweise die *Temperaturentwicklung* im *Zeitverlauf* einer Reaktion (vor und nach Zugabe der Reaktanden) gemessen werden, um Aussagen über die Reaktionsgeschwindigkeit und das Maß der Umsetzung treffen zu können (*Abbildung 71*).

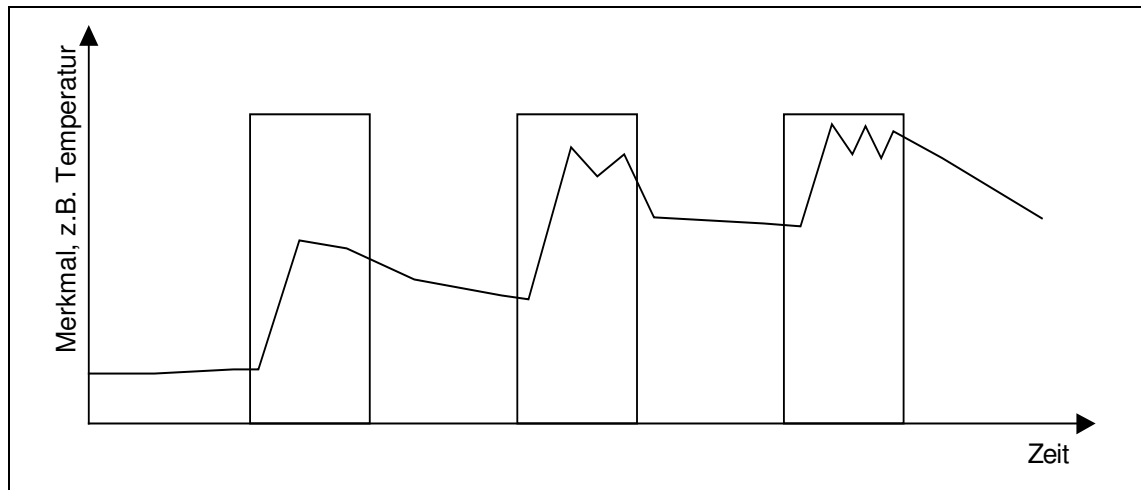


Abbildung 71: Die rechteckigen Blöcke einer Datensammlung stellen Ereignisse im Zeitverlauf dar, welche von besonderem Interesse für die Messung sind (in Anlehnung an EBELING 2002, S. 14)

Die objektive Datenerfassung erfordert geschulte Mitarbeiter und eine umfassende Dokumentation aller relevanten Parameter und Messbedingungen. Die anschließende Verdichtung der Daten kann z.B. nach den Kriterien *Fehlerart*, *Ursache* des Fehlers, *Ort* des Fehlerauftritts oder *produkt-* bzw. *materialbezogen* erfolgen.

6.1.3.1.3.2 Häufigkeitsdiagramme

Häufigkeitsdiagramme bzw. ‚Histogramme‘ in Form von Säulendiagrammen dienen der grafischen Darstellung der Verteilungsform von Daten. Sie geben ein Bild des Streuverhaltens und damit der Qualität eines Prozesses wieder.

Die Häufigkeitsverteilung wird ermittelt, indem der Toleranzwert der Streuung des gemessenen Merkmals auf der Abszisse z.B. in 5 oder 8 gleich große Klassen aufgeteilt wird. Für alle weiteren, außerhalb der Toleranz liegenden Werte wird auf jeder Seite noch eine Klasse hinzugefügt. Die während der Datenerfassung auftretenden Fehler werden entsprechend aufgenommen und können dann sowohl in absoluter als auch relativer Form in das Häufigkeitsdiagramm übertragen werden. Auf diese Weise kann z.B. die *Genauigkeit* der *Strukturaufklärung* komplexer chemischer Moleküle verbessert werden: gerade in der Anfangsphase einer Entwicklung liefern die analytischen Daten

selten eindeutige Ergebnisse hinsichtlich der genauen Molekülstruktur. Ein Vergleich von mehreren Versuchsergebnissen und der anschließenden analytischen Daten kann hier die Sicherheit der Prognose erhöhen, wenn die Ergebnisse in einer Gaußschen Verteilung um den Mittelwert streuen. *Abbildung 72* zeigt schematisch, wie beispielsweise die Frequenz, bei der eine bestimmte Struktureinheit eines Moleküls einen Schwingungsübergang erfährt und dabei Strahlungsenergie aufnimmt, auf der Abszisse aufgetragen werden kann; die Häufigkeit der Verteilung der beobachteten Absorptionsbande drückt sich durch die Höhe der einzelnen Säulen aus. Auf diese Weise kann die Qualität der Interpretation der Absorptionsbanden verbessert werden.

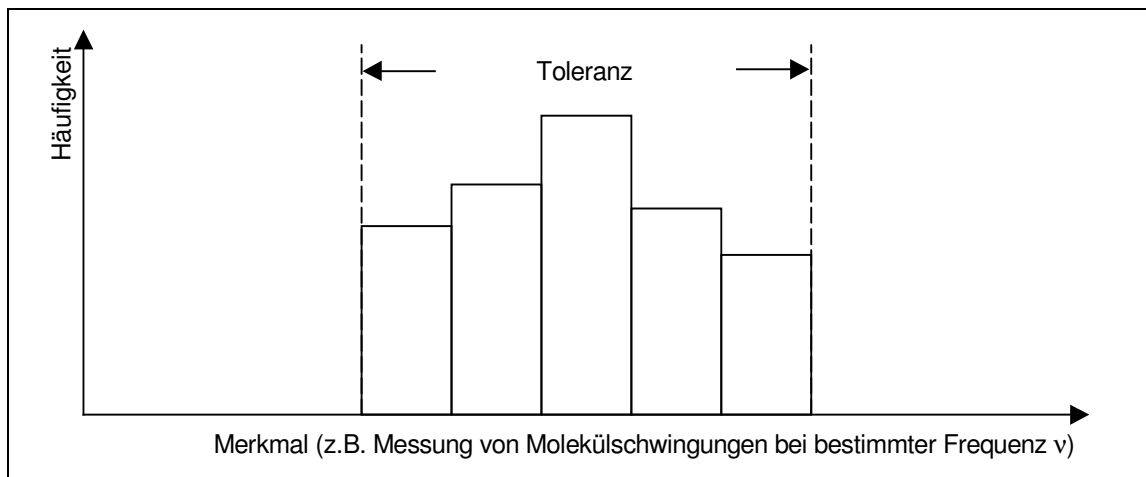


Abbildung 72: Schematischer Aufbau eines Häufigkeitsdiagramms (in Anlehnung an EBELING 2002, S. 22)

6.1.3.1.3.3 Pareto-Diagramm

Pareto-Diagramme dienen als Hilfsmittel zur Strukturierung und Visualisierung der wichtigsten Ursachen eines Problems (*Pareto-Analyse*²³⁷). Die *Pareto-Analyse* hilft bei der Konzentration der verfügbaren (Personal-) Ressourcen auf die wesentlichen Probleme. Das aus ihr entwickelte, auch *ABC-Analyse* genannte *Pareto-Diagramm* soll eine optimale Fehlerbekämpfung ermöglichen, indem es die wesentlichen Einflussfaktoren aufzeigt, die vordringlich bearbeitet werden müssen, und sie in Gruppen nach absteigender Fehleranzahl sortiert. Es zeigt jedoch nicht die Fehlerursachen an.

Die kumulierte Fehleranzahl wird in drei gleich große Gruppen (A, B, C) nach abnehmender Häufigkeit aufgeteilt, und aus der prozentualen Verteilung können Rückschlüsse auf die maßgeblichen Fehlerarten gezogen werden. Angewandt auf Kosten,

²³⁷ *Vilfredo Pareto*, 1848-1923, italienischer Wirtschaftswissenschaftler und Soziologe, untersuchte Ende des 19. Jahrhunderts die Verteilung des Volksvermögens in Italien und fand, dass 80% des Vermögens bei 20% der Familien konzentriert waren. Seitdem wird dieses *Pareto-Prinzip* auf verschiedenen Gebieten formuliert.

ihre Entstehung und ihren Anfall klassifizieren und gewichten sie eine Gesamtmenge hinsichtlich einer Eigenschaft in drei Teilmengen, von denen A die größten Anteile und entsprechend C die geringsten Anteile hat.

Abbildung 73 zeigt beispielhaft die Verteilung der Kosten von *abgebrochenen F&E-Projekten* innerhalb eines bestimmten Betrachtungszeitraums. Daraus geht hervor, dass ungefähr 20% aller abgebrochenen Projekte für fast 80% der insgesamt verursachten Kosten verantwortlich gemacht werden können. Im nächsten Analyseschritt müssten die Eigenschaften der Projekte der Gruppe A untersucht werden, um die Fehlerursache zu ermitteln. Es könnte sich dabei um *Ineffektivitäten* oder *Ineffizienzen* innerhalb des F&E-Prozesses handeln, welche z.B. durch eine mangelnde Fokussierung auf die erfolgversprechendsten Projekte, fehlende Stringenz beim Projektcontrolling oder eine nicht ausreichende Entwicklungsqualität hervorgerufen wurden.

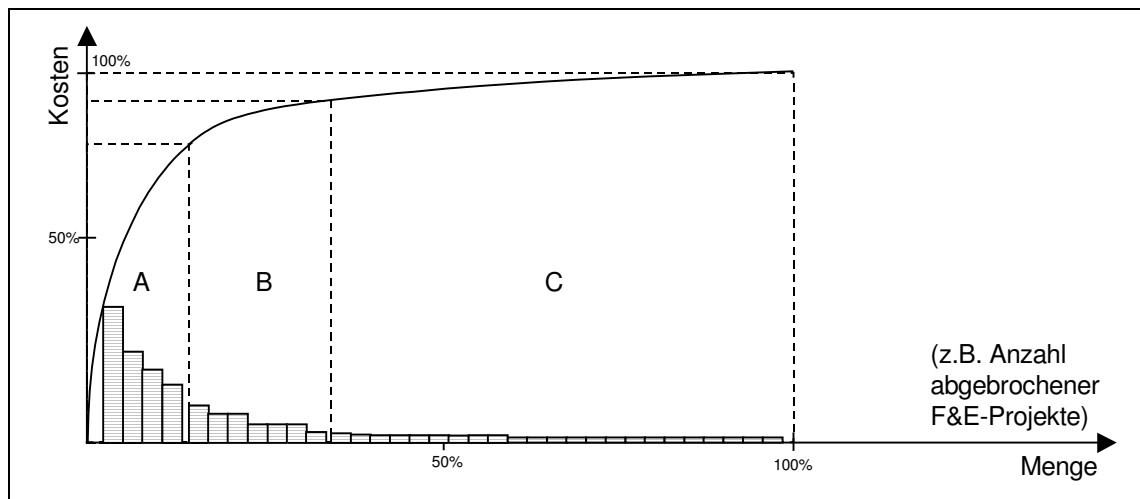


Abbildung 73: Schematischer Aufbau eines Pareto-Diagramms (in Anlehnung an EBELING 2002, S. 28)

6.1.3.1.3.4 Ursache-Wirkungs-Diagramm

Das *Ursache-Wirkungs-Diagramm* wird aufgrund seiner Form auch als *Fischgräten-Diagramm* bzw. nach seinem Erfinder *Kaoru Ishikawa* auch als *Ishikawa-Diagramm* bezeichnet. Es soll die möglichen Ursachen für ein komplexes Problem visualisieren helfen. Meist ist es nur eine Vorstufe für die Anwendung weiterer Qualitätswerkzeuge.

Die Ausarbeitung eines Ursache-Wirkungs-Diagramms beginnt mit der Identifikation der Einflussgrößen auf das betrachtete Problem (Zielgröße). Bei Abwesenheit konkreter Anhaltspunkte kann sich diese Untersuchung an bestimmten Gliederungspunkten orientieren (z.B. *sieben M's*: Mensch, Maschine, Material, Methode, Messbarkeit, Management und Mitwelt/Umwelt).

In *Abbildung 74* wird beispielhaft das Problem einer *mangelnden Reaktionsausbeute* untersucht. Der Gliederungspunkt *Mensch* kommt durch eine fehlerhafte Befüllung und

Durchführung der *Chargensteuerung* als mögliche Ursachen in Frage. Bezogen auf den Anhaltspunkt *Maschine* könnten eine falsche Reaktorometrie oder eine falsche Platzierung des Katalysators für die schlechte Ausbeute verantwortlich sein. Weitere Ursachen aus dem Bereich *Material* könnten ein (z.B. durch fehlerhafte Behandlung) inhibierter Katalysator, Schwankungen bei der Rohstoffqualität oder zu geringe Konzentration der Reaktanden sein.

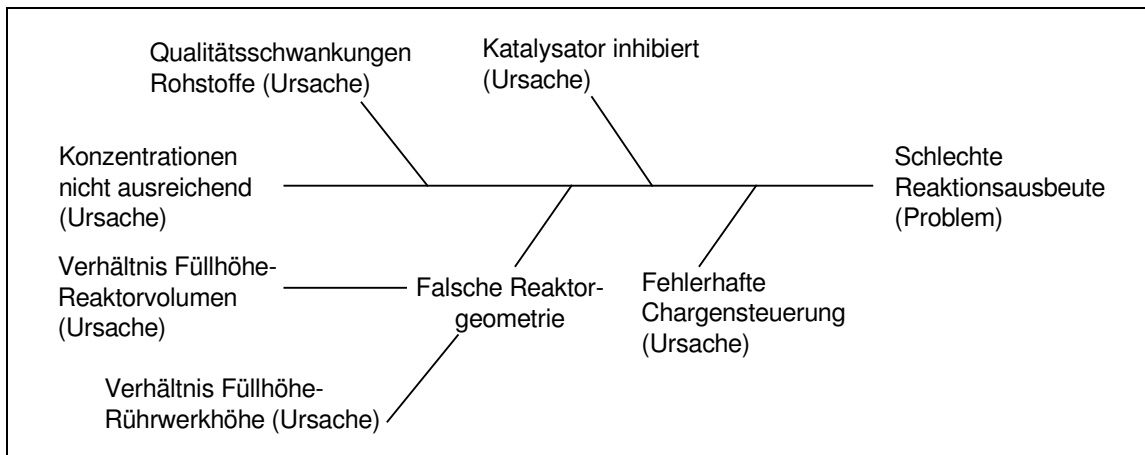


Abbildung 74: Ursache-Wirkungs-Diagramm (in Anlehnung an EBELING 2002, S. 35)

6.1.3.2 Maßnahme: Einsatz von Kreativitätstechniken

Kreativitätstechniken sollen im F&E-Prozess das *Auffinden* von *Lösungen* unterstützen und dadurch die Entwicklungsqualität verbessern. Sie dienen insbesondere zur Lösung von *Analyse-, Such- und Konstellationsproblemen*.²³⁸ Die hier vorgestellten Methoden sollen also nicht wie die zuvor behandelten Qualitätstechniken die F&E-Abläufe optimieren, sondern die Problemlösungskompetenz der Forscher und Entwickler auf *intellektueller* Ebene verbessern. Die an dieser Stelle erläuterten Kreativitätstechniken sind eine Auswahl aus einer Vielzahl an Techniken, welche sich für die Praxis der Produktentwicklung in der chemischen Industrie besonders eignen: Sie sollen insbesondere dazu beitragen, innovative Lösungen für die Produktkonzepte und die kostengünstige Produktgestaltung zu finden.

Als Voraussetzung für die Freisetzung von Kreativität sind neben der allgemeinen Unternehmenskultur und dem strategischen Bekenntnis des Unternehmens zur Forschung und Entwicklung und der Vermarktung seiner Forschungsergebnisse besonders drei Aspekte für die Forscher und Entwickler wichtig (vgl. BAMFIELD 1996, S. 97f.):

²³⁸ „Analyseprobleme“ bestehen im Erkennen von Problemstrukturen; „Suchprobleme“ bestehen darin, Lösungen in einem bekannten Lösungsraum (mithilfe von Suchkriterien) zu selektieren, z.B. aufgrund der Vielfalt an Möglichkeiten und Kombinationen; „Konstellationsprobleme“ beschreiben die Anpassung vorhandenen Wissens an neue Gegebenheiten (vgl. MALORNY/Schwarz 1996, S. 5).

- *Zeit zum Nachdenken* neben der täglichen Routinearbeit,
- Möglichkeit zum *experimentellen „Ausprobieren“* ohne überhöhten Erfolgsdruck sowie der
- *Austausch* mit anderen Wissenschaftlern, Kollegen und Kunden.

Das nachfolgend vorgestellte ‚Brainstorming‘ ist der ‚Klassiker‘ unter den Kreativitätswerkzeugen und dient insbesondere zur Lösung von Analyse- und Konstellationsproblemen. Der ‚Morphologische Kasten‘ wird bei Such- und Konstellationsproblemen eingesetzt, ‚Synetik‘ eignet sich besonders für Konstellationsprobleme.

6.1.3.2.1 Brainstorming

Beim Brainstorming handelt es sich um ein methodisches Vorgehen, bei dem Assoziationen zu einem Begriff oder Thema in einer Gruppe von fünf bis zehn Personen zunächst ungeordnet gesammelt und ohne Kommentierung notiert werden. Danach wird das Aufgeschriebene durch die Teilnehmer geordnet, strukturiert und bewertet.

Das Ziel des Brainstorming liegt darin, bei der Erarbeitung von Problemlösungen die Entwicklung von Ideen vom Entscheidungsprozess abzukoppeln. Es soll ausschließlich um das Generieren von Ideen und nicht um die Beurteilung von deren Nützlichkeit oder die praktische Umsetzbarkeit gehen. Dabei kann u.a. auf die ‚Checkliste von Osborn‘, des ‚Erfinders‘ des Brainstorming, zurückgegriffen werden, welche mithilfe von Stichworten²³⁹ Anregungen für die Entwicklungsarbeit liefern soll. Es ist hilfreich, für das Brainstorming einen ruhigen Ort abseits der normalen Arbeitsplätze auszuwählen und die Teilnehmer vorab über das Thema zu informieren, um den Teilnehmern die Gelegenheit zur ‚Inkubation‘ ihrer Ideen zu geben (vgl. BAMFIELD 1996, S. 105).

Für die chemische Entwicklung eignet sich Brainstorming gerade in der *Anfangsphase* der Produktentwicklung, wenn Lösungen z.B. für ein *Wirkprinzip* gefunden werden müssen. Allerdings ist es im Vorgehen weniger systematisch als die beiden anderen im Anschluss vorgestellten Methoden, so dass es nicht immer für tiefergehende Analysen mit vielfältigen Abhängigkeiten geeignet sein kann.

6.1.3.2.2 Morphologischer Kasten

Morphologie ist die Lehre der Gestaltung und Strukturierung bzw. des geordneten Denkens. Der *Morphologische Kasten* soll die Lösungssuche durch Zerlegen des Pro-

²³⁹ U.a. ‚Zweckänderung‘, ‚Adaption‘, ‚Modifikation‘, ‚Kombination‘, ‚Vergrößerung‘, ‚Verkleinerung‘, ‚Umgruppierung‘.

blems in seine Einzelaspekte und deren Strukturierung erleichtern. Dies erfolgt durch die mehrdimensionale Klassifikation des Problems und seiner Teilaspekte mithilfe einer Matrix, in der anschließend durch Variation der Teilaspekte zahlreiche neue Lösungswege erarbeitet werden können (vgl. MALORNY/SCHWARZ, 1996, S. 13f.).

In *Abbildung 75* wird der Einsatz eines morphologischen Kastens für die Entwicklung eines *Flüssigkristalls* demonstriert. Flüssigkristalle sind chemische Substanzen, welche sowohl die Eigenschaften einer Flüssigkeit als auch eines Kristalls aufweisen können; dadurch kommt es zu (anisotropen) Lichtbrechungen. In einer Flüssigkristallanzeige werden die einzelnen Moleküle elektrisch so ausgerichtet, dass sie zu verschiedenen Anzeigenformen gebündelt werden können. Die übergeordneten Parameter, nach welchen das Problem klassifiziert wird, werden dabei in den Zeilen der Matrix geordnet (Substanzen, Eigenschaften, Schalttechnik, Anzeigentyp), wohingegen die Ausprägungen dieser Parameter in den Spalten angeordnet sind.

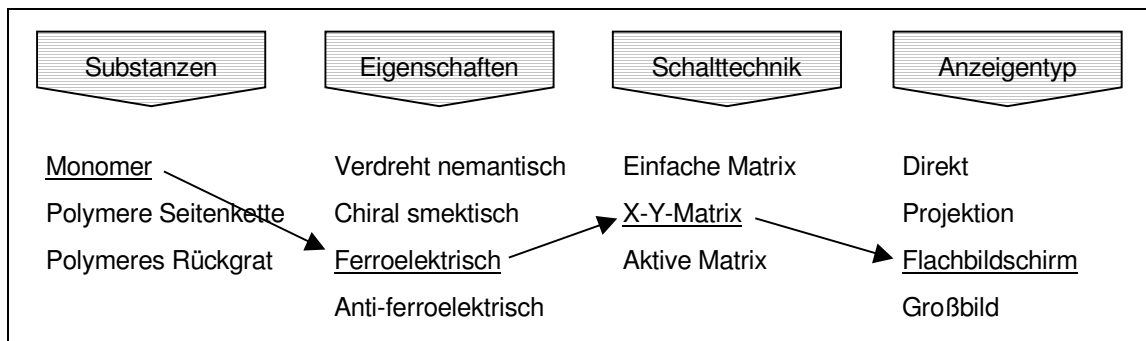


Abbildung 75: Morphologischer Kasten am Beispiel eines Flüssigkristalls (in Anlehnung an Bamfield 1996, S. 108)

Aus den theoretisch möglichen Kombinationen werden in einer ersten Näherung jene Lösungen ausgesucht, welche entweder schon als ‚bekannt‘, ‚prinzipiell machbar‘ oder ‚bei gegenwärtigem Wissensstand nicht realisierbar‘ erscheinen (vgl. BAMFIELD 1996, S. 108). Die zweite Kategorie (‚prinzipiell machbar‘) umfasst also diejenigen Lösungsansätze bzw. Arbeitsgebiete, welche eine nähere Betrachtung und zusätzliche F&E-Arbeit zu rechtfertigen scheinen. Diese werden durch einen Linienzug (Pfeil) verbunden. Die wirtschaftlich oder technisch nicht interessanten Lösungen unter ihnen werden anschließend ebenfalls ausgeschlossen, so dass die verbliebenen Möglichkeiten als erfolversprechend eingeordnet und auf ihre Machbarkeit untersucht werden.

Der morphologische Kasten wird in erster Linie für die Erarbeitung des *Wirkprinzips* angewandt und eignet sich besonders gut für Techniker, da die analytisch-logische Vorgehensweise ihrem natürlichen Problemlösungsansatz entspricht. Außerdem ist aufgrund des Schwierigkeitsgrades dieser Methode auch ihr Fachwissen für die Erarbeitung eines morphologischen Kastens unerlässlich. Diese Eigenschaft bedeutet aber zugleich, dass der morphologische Kasten auch zur Lösung komplexer Fragestellungen eingesetzt werden kann, was ihn vom zuvor diskutierten Brainstorming unterscheidet.

6.1.3.2.3 Synetik

Synetik ist eine Methode zur Lösung von *Analyse-, Such- und Konstellationsproblemen*, welche auf der „Übertragung fremder Strukturen auf die eigene Problemstellung“ beruht (MALORNY/SCHWARZ, 1996, S. 17). Durch die Verwendung von Analogien des ursprünglichen Problems – z.B. durch Orientierung an vergleichbaren Phänomenen aus dem Bereich der Natur oder Mechanik – und den entsprechenden Lösungen sollen neue Lösungsansätze gefunden werden, welche durch einen ‚normalen‘, logischen Denkprozess wahrscheinlich nicht entdeckt worden wären. Prinzipiell entspricht die Methode jedoch insofern dem ‚normalen‘ Vorgehen eines Entwicklers, da die Schrittfolge von der *konkreten Problemstellung* über eine *abstrahierte Beschreibung*, die hier durch eine zusätzliche Verfremdung verstärkt wird, bis hin wieder zu einer *konkreten Lösung* verläuft (vgl. *Abschnitt 3.2.2.3*). Dieses Vorgehen wird in der Synetik auch als das „Fremde vertraut machen“ (d.h. das Problem zum besseren Verständnis in einzelne Bestandteile zerlegen) und das „Vertraute fremd machen“ (durch Suchen bzw. Bilden von Analogien) bezeichnet (MALORNY/SCHWARZ 1996, S. 17).

Der Ablauf einer Synetik-Sitzung wird durch den „Synetik’schen Trichter“ visualisiert (vgl. *Abbildung 76*; MALORNY/SCHWARZ 1996, S. 18ff.). Ausgehend von einem Problem und seiner eingehenden Analyse (Funktionen, Komponenten, Beziehungen) werden zunächst spontane Lösungen gesammelt und ‚beiseite gelegt‘, um unbelastet in die Analogiebildung (‚Inkubationsphase‘) übergehen zu können. Gegebenenfalls kann es sinnvoll sein, das Problem im Anschluss an die Ideensammlung neu zu formulieren, um beispielsweise ein neues Problemverständnis zu berücksichtigen oder schon eine bestimmte Richtung für mögliche Lösungen vorzugeben (z.B. nur physikalisch oder nur chemisch realisierbare Lösungen).

Anschließend wird das definierte Problem mit phänomenologisch vergleichbaren Sachverhalten in Form von Analogien beschrieben.²⁴⁰ Schließlich wird eine Übertragung der Merkmale und ihrer Lösungen auf das ursprüngliche Problem erzwungen („Force Fit“), woraus schließlich Lösungsansätze entwickelt werden.

²⁴⁰ Die „persönliche Analogie“ erfordert z.B. eine hypothetische subjektive Identifikation mit dem Objekt der Lösung (z.B. „Wie fühle ich mich als...“) und anschließend eine „symbolische Analogie“ zu dem Ergebnis der persönlichen Analogie (z.B. „Ich habe Angst, dass...“; möglichst paradoxe Analogie, die aus Adjektiv und Substantiv gebildet wird). Die zweite „direkte Analogie“ verknüpft die symbolische Analogie mit einem weiteren Bereich (z.B. technische Geräte); deren Merkmale werden anschließend analysiert und beschrieben. Für Wissenschaftler dürfte dies die einfachste Analogiebildung sein, da sie auf unzählige Beispiele zurückgreifen können (z.B. hat der bekannte Brückenbauer *Brunel* eine Technik für die Fundamentierung von Brückenpfeilern unter Wassern bestimmten Würmern abgeschaut, welche im Wasser leben und sich in das Holz von Schiffsplanken bohren; vgl. BAMFIELD 1996, S. 107).

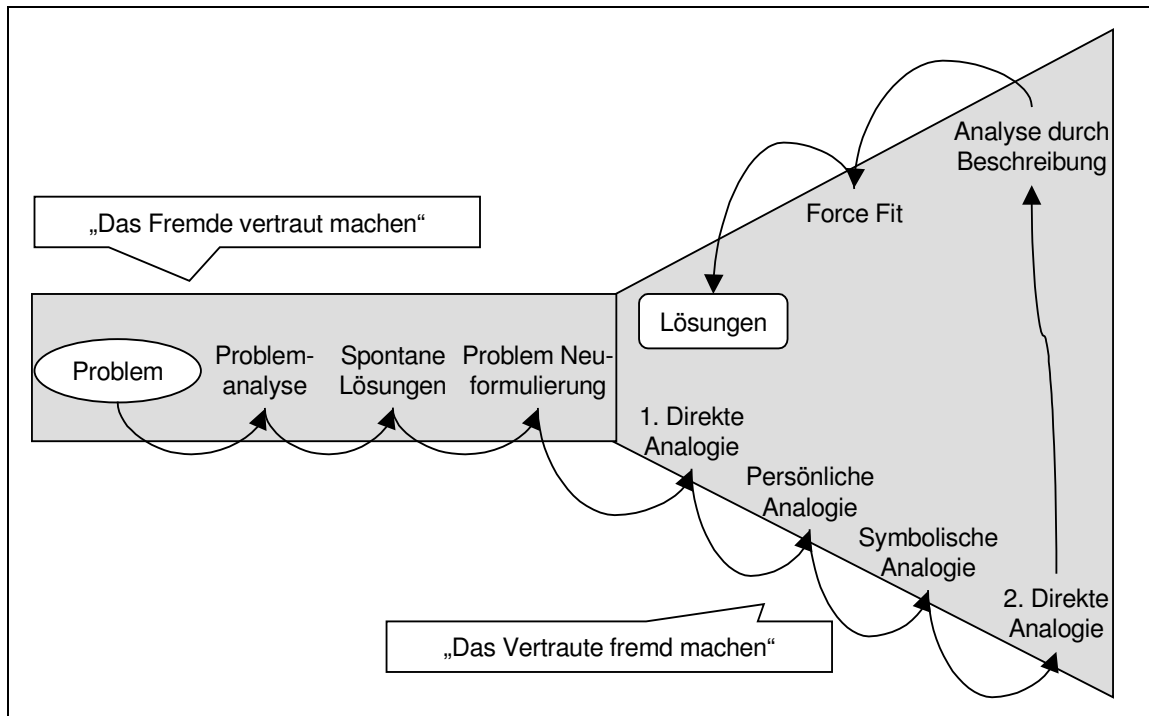


Abbildung 76: Der „Synetik’sche Trichter“ (in Anlehnung an MALORNY/SCHWARZ 1996, S. 16)

Es ist offensichtlich, dass die Synetik eine besonders *anspruchsvolle Kreativitätstechnik* ist, die hohe Anforderungen an das Team und seinen Moderator stellt und erheblichen Zeitbedarf mit sich bringt. Dafür birgt sie durch die erfolgreiche Kombination und Ausnutzung von weit entfernten Wissensbereichen ein hohes Potential für innovative Lösungen selbst sehr komplexer Probleme, welche mit den beiden anderen vorgestellten Kreativitätstechniken schwierig zu lösen wären. Auch wenn die Synetik von BAMFIELD für die *chemische Entwicklung* empfohlen wird, kann sie aufgrund ihrer Komplexität aber kaum als tägliches Hilfsmittel von den Entwicklern eingesetzt werden.

6.2 Einflussgröße Kostentransparenz

6.2.1 Bedeutung frühzeitiger Kosteninformationen

Da jede *technische Entscheidung* der Entwickler auch eine *kostenmäßige Entscheidung* ist, müssen sie frühzeitig ihre kostenmäßigen Auswirkungen erkennen können; das alte Paradigma ‚Technik ist Sache der Techniker, Kosten sind Sache der Kaufleute‘ kann angesichts des Innovations- und Kostenwettbewerbs nicht mehr aufrecht erhalten werden (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 1996, S. 70). Um die Wirkung produktbezogener Entscheidungen bezüglich des Erreichens vorgegebener Kostenziele zügig beurteilen zu können, müssen prinzipiell während aller Stadien des Lebenszyklus möglichst transparente und umfassende Kosteninformationen für die Entwickler verfügbar sein (vgl. BOTTA 1997, S. 80f.). Idealerweise können derartige *entwicklungsbegleitende Kalkulationen* bzw. *Produktfolgsrechnungen* nicht nur die Beziehungen zwischen den Produktfunktionalitäten und den Produktkosten darstellen, sondern auch die Verbindungen zwischen den Funktionalitäten und ihrer kundenspezifischen Nützlichkeit sowie die Abhängigkeit der auf den Märkten realisierbaren Produkterlöse vom Spektrum des Produktnutzens ermitteln (vgl. MÄNNEL 1996, S. 5).²⁴¹

Dem Wunsch nach frühzeitigen Kosteninformationen stehen jedoch *zwei Schwierigkeiten* prinzipieller Art entgegen.²⁴² Einerseits sind zwar in den frühen Phasen einer Entwicklung die *Freiheitsgrade* zur *Kostenbeeinflussung* am größten, das *Wissen* über die zukünftig *entstehenden Kosten* ist zu diesem Zeitpunkt aber nur gering und *ungenau*. Dieser Sachverhalt wird auch als ‚Dilemma der Produktentwicklung‘ bezeichnet. Wie in *Abbildung 77* anhand der gegenläufigen Linien deutlich wird, sinken im Verlauf der Entwicklung die kostenpolitischen Spielräume immer weiter, während gleichzeitig die Qualität und Quantität der Kosteninformationen zunimmt (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 10).²⁴³

²⁴¹ Werden den Entwicklern relevante Kosteninformationen über die verursachten Kostenarten usw. der von ihnen konzipierten Produkte nicht rechtzeitig zur Verfügung gestellt, so kann sich diese Unwissenheit vergleichbar einem strukturellen bzw. informationsbezogenen Kostentreiber auswirken, wenn das installierte Kostenrechnungssystem die benötigten Daten nicht rechtzeitig liefern kann (vgl. *Abschnitt 4.3.2.2*).

²⁴² Auf das Problem der ‚unzureichenden Kosteninformation‘ (vgl. *Abschnitt 4.4.2*) wurde ausführlich in den *Abschnitten 4.4.2.1 bis 4.4.2.5* eingegangen.

²⁴³ Die Ursachen dieses ‚Dilemmas‘ sind unmittelbar einleuchtend: Auf der Grundlage von Plänen, Funktionen, Prototypen oder anderen konzeptionellen Vorlagen sind Kostenvorhersagen naturgemäß mit einer größeren Unsicherheit behaftet als wenn sie - zu einem späteren Zeitpunkt - auf konkreten Komponenten oder stabilen Herstellungsprozessen beruhen, für welche schon Beschaffungspreise oder Fertigungszeiten vorliegen können.

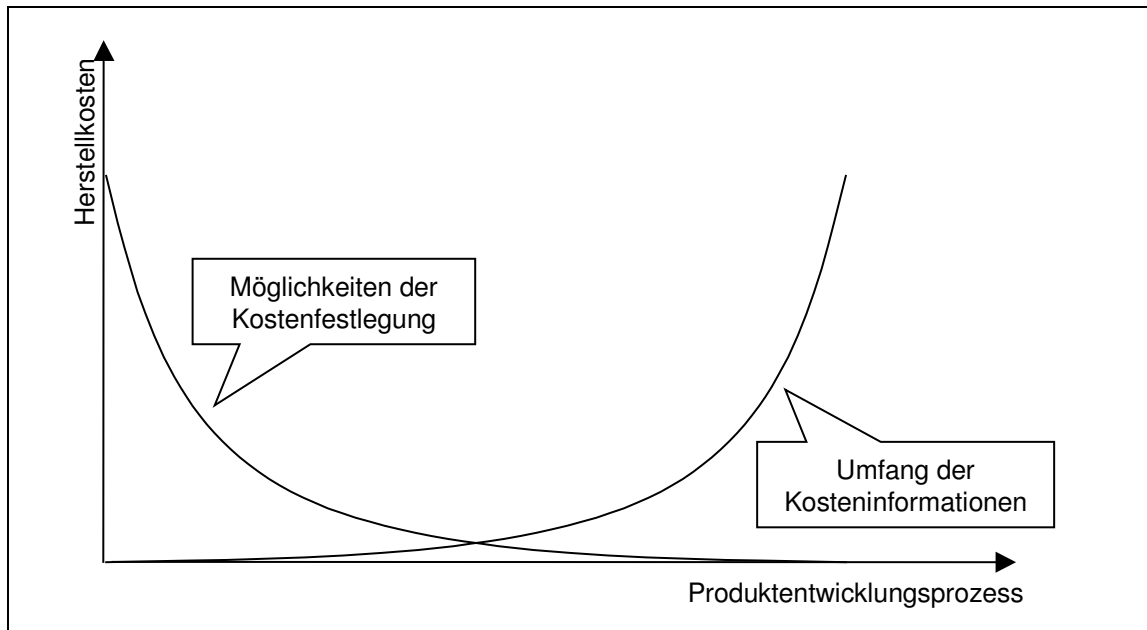


Abbildung 77: Möglichkeiten der Kostenbeeinflussung und Umfang der Kosteninformationen
(EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 10)

Andererseits stehen frühzeitigen Kosteninformationen neben dem zu Beginn stets ungenügenden Kostenwissen weiterhin das *unterschiedliche Vorgehen* von *Entwicklung* und traditioneller *Kostenermittlung* entgegen. Während die Entwicklung *Top-Down* arbeitet, verfährt die Kalkulation *Bottom-Up*: In der Produktentstehungsphase wird durch die Entwickler zunächst das Produktkonzept – ausgehend von den funktionalen Anforderungen – auf einzelne Funktionen heruntergebrochen und endet nach weiterer Verfeinerung mit der Festlegung der Komponenten. Handelt es sich dabei um chemische Komponenten, die noch gefertigt werden müssen, wird daraufhin noch ein Syntheseweg erarbeitet, in dem wiederum *Top-Down* – ausgehend von der Molekülstruktur der fertigen Komponente – das Zielmolekül (zeichnerisch) retrograd zerlegt wird, bis es in kommerziell zugängliche Ausgangssubstanzen unterteilt werden kann. Die Produktkalkulation hingegen setzt normalerweise erst ein, wenn alle einzelnen Komponenten vorliegen, die Zusammensetzung aller übergeordneten aus den untergeordneten Teilen festliegt und die Fertigungsverfahren bestimmt sind: Erst dann wird sukzessiv die Kostenzuordnung von der Komponentensynthese bis hin zum Endprodukt *Bottom-Up* vorgenommen (vgl. BECKER 1990, S. 354).²⁴⁴

Aufgabe der im nächsten Abschnitt vorgestellten Methoden zur entwicklungsbegleitenden Kalkulation ist es, diesen ‚langen Regelkreis‘ (Konzept – Entwicklung – Pro-

²⁴⁴ Weitere Probleme der Realisierung einer entwicklungsbegleitenden Kalkulation, wie das Zusammenführen des dafür notwendigen Wissens aus verschiedenen Abteilungen (aufgrund der räumlichen und organisatorischen Trennung von mit der Kostenentstehung befassten Abteilungen und den Orten des Kostenanfalls) oder der traditionellen Trennung von Technik und Betriebswirtschaft in deutschen Unternehmen, finden sich bei FRECH 1998, S. 16f.

duktionsansatz im Technikum – Festlegung Herstellrezeptur – Arbeitsplanung – Kalkulation, gegebenenfalls mit einer erneuten Schleife im Falle zu hoher Kosten) durch einen frühzeitigen, möglichst parallel zur fortschreitenden Produktkonkretisierung verlaufenden Kalkulationsprozess zu vermeiden (vgl. BECKER 1990, S. 353; EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 36f.).²⁴⁵

6.2.2 Entwicklungsbegleitende Kalkulation

6.2.2.1 Einleitung

Eine *entwicklungsbegleitende Kalkulation* soll den Entwicklern so frühzeitig wie möglich Kosteninformationen zur Verfügung stellen, welche Hinweise darauf geben können, wie ein Produkt *kostengünstiger* hergestellt werden kann (*Kostensynthese*) und wieviel eine gewählte Produktstruktur voraussichtlich *kosten wird* (*Kostenanalyse*; vgl. HORVÁTH 1996, S. 55).²⁴⁶ Je mehr Produktbestandteile neu entwickelt werden, umso aufwändiger stellt sich diese Kalkulation dar, da hierdurch der Rückgriff auf ähnliche Produkte und ihre Kostenstrukturen nicht mehr durchgängig möglich ist; denn meist werden Standard-, Vorläufer- oder Vergleichsprodukte als Erfahrungswerte für frühzeitige Kostenschätzungen verwendet (*Ähnlichkeitskalkulation*²⁴⁷; vgl. CORSTEN/STUHLMANN 1996, S. 17). Als Informationsgrundlagen dienen *Planwerte* für vorgesehene Standardteile, *Schätzwerte* für Änderungen an Standardteilen und Vorläuferprodukten und schließlich *Schätz- und Vergleichswerte* für neue Produktkomponenten; die Kosten für entsprechende Abweichungen – durch die Änderung von bekannten Strukturen bzw. den Einsatz von neuen Strukturen – können z.B. mittels Kostenwachstumsgesetzen ermittelt werden (vgl. BINDER 1998b, S. 59; *Abschnitt 6.2.2.3.2.2*).²⁴⁸

Weiterhin sollte die entwicklungsbegleitende Kalkulation auch die *Vorleistungs-* und *Nachsorgekosten* miteinbeziehen, die nicht zuletzt wegen des ausdrücklichen Perioden-

²⁴⁵ Zur Entstehungsgeschichte der frühzeitigen Kalkulation vgl. BINDER 1998b, S. 27f.

²⁴⁶ Strenggenommen greifen die hier vorgestellten Verfahren meist nur auf eine geringe Zahl fester Kennziffern zu und werden nur einmalig und ohne fortlaufende Aktualisierung bzw. Detaillierung während des Entwicklungsprozesses eingesetzt. Der in den Phasen der Produktentstehung steigende Zuwachs an Produktinformationen wird demnach nicht berücksichtigt, so dass der Begriff ‚entwicklungsbegleitend‘ irreführend sein kann (vgl. BECKER 1990, S. 354).

²⁴⁷ Für die Kostenbewertung dieser Bezugsprodukte bietet sich eine Kombination von Teilkosten- und Prozesskostenrechnung an, da bekanntermaßen der normalen Vollkostenrechnung der verursachungsgerechte Bezug von indirekt entstehenden Kosten zu den Produktbestandteilen fehlt (vgl. SCHEER ET. AL. 1996, S. 87ff; *Abschnitt 4.4*).

²⁴⁸ MÄNNEL bezeichnet aufgrund der Orientierung an bereits existierenden Produkten die entwicklungsbegleitende Kostenermittlung als eine nach „Kalkulationspositionen (Kostenarten) und meist auch nach Fertigungsstufen differenzierende, modulare *Variantenkalkulation*“ (1996, S. 6).

bezugs des externen Rechnungswesens meist den jeweiligen Perioden, in denen sie entstanden sind, verrechnet werden. Abhilfe kann hier durch eine produktlebenszyklusbezogene, eigenständige Kostenerfassung der Vorleistungs- und Nachleistungskosten geschaffen werden, welche in der chemischen Industrie (zeitgleich mit dem steigenden Umweltbewusstsein und entsprechenden Gesetzgebungsinitiativen) kontinuierlich an Bedeutung gewonnen hat.²⁴⁹

In Abhängigkeit von der Phase der Entwicklungsarbeit und der damit verbundenen Unsicherheit über die Kostenprognose²⁵⁰ sind verschiedene Ansätze entwickelt worden, welche sich prinzipiell in *qualitative* und *quantitative Verfahren* unterscheiden lassen (vgl. GRÖNER 1990, S. 375). *Qualitative Verfahren* sind im Sinne der oben genannten Kostensynthese Methoden zur Lenkung der Entwicklung in Richtung auf die *kostengünstigste Lösungsalternative*, ohne konkrete Angaben zur Höhe der voraussichtlich entstehenden Kosten zu machen, da zu diesem Zeitpunkt das Produkt nur funktional, d.h. ohne konkrete Komponentenmerkmale beschrieben ist; dementsprechend sind diese Verfahren schon früh im Entwicklungsprozess einsetzbar (vgl. GLEICH 1996, S. 40). Die Einhaltung von Zielkosten kann also durch sie nicht überprüft werden, jedoch ermöglichen sie die Auswahl von Lösungen unter dem prinzipiellen Aspekt der Kostensenkung. *Quantitative Verfahren* hingegen sollen konkrete kostenrechnerische Kalkulationen ermöglichen und *absolute Aussagen* über die entstehenden Kosten treffen.²⁵¹ Sie ermöglichen es, aus einem Bündel von Lösungsalternativen, welche alle nach einer qualitativen Beurteilung zur Kostensenkung beitragen können, diejenige Lösung auszuwählen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit die Zielkosten erreichen wird. Dadurch

²⁴⁹ *Vorleistungskosten* können durch eine produktbezogene Projektkostenrechnung relativ exakt erfasst werden. Eine Vorkalkulation von F&E-Kosten setzt dabei die gedankliche Vorwegnahme der Arbeitsschritte des zu absolvierenden F&E-Prozesses voraus (vgl. EILHAUER 1993, S. 76).

²⁵⁰ Hinsichtlich Prognosesicherheit der verschiedenen Verfahren ist zu bemerken, dass die Kalkulationen generell umso genauer werden, je mehr einzelne Positionen (z.B. Komponenten, Fertigungsschritte) sie enthalten. Dieser Effekt beruht auf dem ‚Gaußschen Fehlerausgleich‘, nach dem die um einen ‚wahren Wert‘ W positiv und negativ verteilten zufälligen Fehler in der Summe einen geringeren Fehler aufweisen als die Einzelwerte (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 434ff.; das Ergebnis kann jedoch nicht genauer sein, als es die Ausgangsdaten waren). Geht es aber am Anfang der Entwicklung ‚nur‘ um die Beurteilung von kostengünstigen Alternativen, ist weniger die exakte Bestimmung der absoluten Höhe der Kosten entscheidend, als dass die Ungenauigkeit der Prognose kleiner als die Differenz zwischen den konzeptionellen Alternativen ist (vgl. BUGGERT/WIEPÜTZ 1995, S. 120). Sollen hauptsächlich Kostensenkungspotentiale aufgezeigt werden, reicht mitunter schon eine grobe Kostenstrukturanalyse, welche nur die jeweiligen Kostenanteile richtig priorisieren muss. Auch ist vor einer Scheingenauigkeit von frühzeitig aufgestellten Kostengleichungen zu warnen, da Kosten gerade im Entwicklungsstadium eben nicht zwangsläufig wirtschaftlich-technischen Gesetzen unterworfen sind, die so zwingend sind wie die technisch-physikalischen Gesetze (vgl. BINDER 1998b, S. 61f.; BRONNER 1993, S. 367).

²⁵¹ Da sie die Kostenbestimmung über längere Zeiträume der Konkretisierungs- und Entwicklungsarbeiten erlauben bzw. fortlaufend und mit zunehmender Genauigkeit durchgeführt werden können, werden die quantitativen Methoden in den Ingenieurwissenschaften auch unter dem Begriff ‚konstruktionsbegleitende Kalkulation‘ subsummiert (vgl. SCHOLL 1998, S. 29).

können auch andere relevante Fragestellungen, wie beispielsweise die nach Eigenfertigung oder Fremdbezug, bewertet werden (vgl. SCHOLL 1998, S. 29; *Abbildung 78*).²⁵²

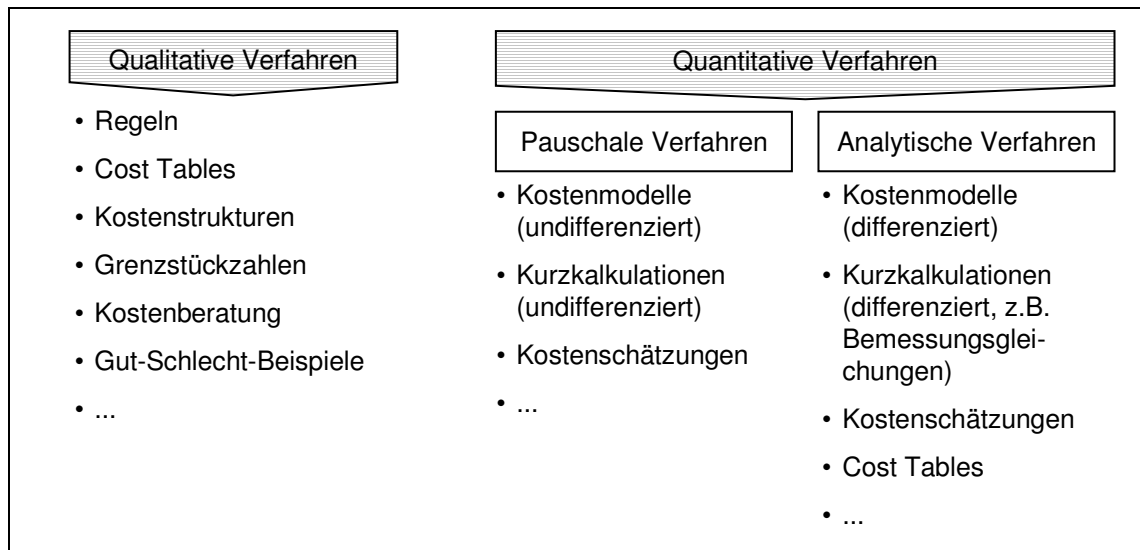


Abbildung 78: Klassifizierung von Verfahren zur Kostenfrüherkennung (vgl. HORVÁTH ET AL. 1996, S. 56; vgl. SCHMIDT 1996, S. 62)

Die quantitativen Verfahren können weiterhin in *pauschale* und *analytische Verfahren* unterteilt werden (vgl. SCHEER 1988, S. 166).²⁵³ Die *pauschalen Verfahren* orientieren sich nur grob an grundsätzlichen Merkmalen wie z.B. an der *Produktklasse* oder an auf Erfahrungswerten basierenden *Regeln* und weisen die Produktkosten gewöhnlich als einen einzigen Wert aus; SCHOLL setzt sie generell mit Kurzkalkulationen gleich (1998, S. 29f.). *Analytische Verfahren* berücksichtigen detailliert technische *Produktdetails* (z.B. Struktur, Geometrie) und beruhen auf *Kostenfunktionen*, die für einzelne Fertigungsvorgänge, Tätigkeiten oder Komponenten spezifisch berechnet wurden; sie weisen die Produktkosten differenziert nach mehreren Kostenarten aus (vgl. HORVÁTH 1996, S. 56; SCHOLL 1998, S. 30).²⁵⁴ Darüber hinaus gibt es Ansätze, durch stark DV-basierte

²⁵² „Das Reduzieren der Produktions- und Dienstleistungstiefe erhöht die Genauigkeit frühzeitiger Produktkostenkalkulationen und macht diese zugleich transparenter“, denn dadurch steigt der Anteil der Materialeinzelkosten an den gesamten Produktkosten, und immer mehr Fremdleistungseinzelkosten fallen objektspezifisch an (z.B. Kosten der Anlieferung von Materialien, Kosten der Kommissionierung, Versandkosten, Distributionskosten; vgl. MÄNNEL 1996, S. 6).

²⁵³ Diese Klassifizierung ist nicht unumstritten, da sie Überschneidungen vor allem im Bereich von Kurzkalkulationen und Kostenmodellen aufweist (vgl. *Abbildung 78*; SCHOLL 1998, S. 30).

²⁵⁴ Die Kalkulation kann weniger aufwändig durchzuführen sein, wenn nicht alle Produktbestandteile mit der gleichen Genauigkeit berechnet werden müssen.

Wissenssysteme wie *Expertensysteme*²⁵⁵ und *neuronale Netze*²⁵⁶ noch genauere Kalkulationsergebnisse zu erzielen (vgl. BOCK 1995, S. 59ff.; BECKER 1996, S. 84f.).

Im Anschluss werden ausgewählte qualitative und quantitative Verfahren zur Kostenfrüherkennung vorgestellt, welche auch in der chemischen Industrie prinzipiell angewandt werden können. Aufgrund der komplexen Produktstrukturen und Fertigungsvorgänge dürften dort bisher meist *qualitative Verfahren* zur Anwendung gelangt sein, wenn auch im Schrifttum keine diesbezüglichen Untersuchungen vorliegen. Die aktuelle Wettbewerbssituation wird jedoch zu einer intensiven Untersuchung von Verfahren zur Kostenfrüherkennung in der chemischen Entwicklung führen müssen. Insofern sind die nachfolgenden Abschnitte auch als *Grundlage* und *Anregung* für eine Erarbeitung und Implementierung vergleichbarer Methoden für die chemische Industrie zu werten. Dass es sich dabei um eine wichtige und *aktuelle Problemstellung* handelt, wird weiterhin anhand von *Abschnitt 6.2.2.3.2.4* verdeutlicht: Er stellt in einem kurzen Fallbeispiel einen Ansatz der WACKER Chemie vor, der einen Einblick in ein eher quantitativ orientiertes Verfahren zur frühzeitigen Ermittlung von Produktkosten gibt (vgl. MURJAHN/SELIG 2002, S. 491ff.).

6.2.2.2 Qualitative Verfahren

6.2.2.2.1 Regeln

Regeln sind auf Erfahrungswissen aufbauende *Gesetzmäßigkeiten*, welche qualitative Anhaltspunkte für Entwicklungsentscheidungen auf der Grundlage einer Tendenzaussage oder einer groben Größenordnung der verursachten Kosten liefern sollen. Sie sind nicht unbedingt produktspezifisch, sondern verstehen sich als allgemeine und meist von den betrieblichen Bedingungen abhängige Entwicklungs- bzw. *Gestaltungshinweise*. Da sie die komplexen Zusammenhänge der ‚Produktrealität‘ zu vereinfachen suchen, gelten sie nur unter bestimmten, nicht immer scharf definierten Randbedingungen, die aber innerhalb des relevanten Zeitrahmens prinzipiell von konstanten Prozessen, Beschaffungspreisen usw. ausgehen (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 77).

Ein Beispiel für eine Regel in den Ingenieurwissenschaften kann der Einsatz von *Indexzahlen* sein, die in absoluter Form zum überschlägigen Berechnen verwendet werden können, indem sie z.B. das Volumen oder das Gewicht eines Produkts mit seinen Kos-

²⁵⁵ *Expertensysteme* sind modular aus verschiedenen Software-Komponenten aufgebaut und trennen, im Unterschied zu konventionellen Systemen, die Verarbeitung und die Darstellung von Wissen. Sie sollen durch Computersimulation das Wissen und die Arbeitsweise von Experten widerspiegeln.

²⁵⁶ *Neuronale Netze* verknüpfen isolierte Verarbeitungseinheiten zu geordneten Systemen mit höherer Problemlösungskompetenz. Sie können Vergangenheitsdaten speichern und so weiterverarbeiten, dass sie auch neue Fälle bzw. Produkte ohne funktionale algorithmische Zusammenhänge analysieren und u.a. frühzeitig deren Kosten schätzen können.

ten verknüpfen (vgl. LOWKA 1996, S. 64). Auch *Gut-Schlecht-Beispiele*, welche Kostenentscheidungen ohne weitere Differenzierung entweder in kostensenkende oder nicht kostensenkende Maßnahmen unterscheiden, lassen sich den Regeln zuordnen.

Für die *chemische Produktentwicklung* können ebenfalls Regeln formuliert werden, welche gegebenenfalls betriebsspezifisch angepasst werden müssen. Da sich die Entwicklung prinzipiell im Spannungsfeld zwischen Ausbeutemaximierung und Kostenminimierung abspielt, lassen sich hierfür u.a. folgende allgemeine Gesetzmäßigkeiten aufstellen:

- Je *höher* die *Reaktionsenthalpie* einer Reaktion, um so *vollständiger* ist (normalerweise) die *Umsetzung* und damit die *Ausbeute*.²⁵⁷
- *Reaktive Stoffe* erfordern aufwändige Vorsichtsmaßnahmen und hochwertige, korrosionsresistente Reaktionsbehälter, welche die *Fertigungskosten erhöhen*.
- Je *weniger Syntheseschritte* zur Herstellung des Zielproduktes notwendig sind, desto *weniger Kosten* fallen an. Jeder Schritt beinhaltet die Befüllung und Dosierung der Reaktionsgefäße, die Aufsicht über und Kontrollanalysen von dem Syntheseverlauf sowie häufig aufwändige Reinigungs-, Trenn- und Analyseprozesse am Ende der Reaktion, um die unvermeidlichen Nebenprodukte abzutrennen.
- Je *höher* die *Konzentration* der Ausgangsstoffe, desto *schneller* verläuft in der Regel die Umsetzung einer Reaktion.

6.2.2.2 Cost Tables

Cost Tables („Relativkostenkataloge“) werden durch den Bezug von (intern) ermittelten Kosten für bestimmte Produktmerkmale, Substanzen, Materialien, Fertigungsprozesse o.ä. auf die Kosten einer bestimmten Basis gebildet (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 76). Als Basis können z.B. die Kosten einer besonders günstigen oder häufig eingesetzten Lösungsalternative verwendet werden. Anhand der daraus entstehenden Kennzahlen können *Lösungsalternativen verglichen* und *Gesetzmäßigkeiten* über den *Kostenverlauf* ermittelt werden, ohne dass bereits absolute Kosten bestimmt werden können bzw. müssen (vgl. SCHMIDT 1996, S. 65). Aufgrund ihres relativen Charakters können sie zunächst aber keine Aussagen über die absolute Kostenhöhe und damit auch nicht über die Einhaltung von Zielkosten machen (vgl. BINDER 1998b, S. 55).

In Deutschland wurde 1964 mit der *VDI-Richtlinie 2225* ein erster Katalog von Relativkosten für Werkstoffe veröffentlicht (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 76). Japanische Ansätze des Target Costing verwenden zum Aufzeigen von Kostenwirkungen ebenfalls

²⁵⁷ Vgl. zur Reaktionsenthalpie auch *Abschnitt 4.6.3*.

Relativkosten (vgl. SAKURAI 1997, S. 65f; SEIDENSCHWARZ 1993, S. 196ff.). Der konkrete Nutzen dieser Methodik, welche auf eher intern orientierten, statischen Kostendaten aufbaut, wird jedoch vor dem Hintergrund marktseitiger Herausforderungen (Preis bzw. Zielkosten) in Frage gestellt (vgl. BINDER 1998b, S. 166).²⁵⁸

Als Beispiel für das Vorgehen in der chemischen Industrie können u.a. zur Auswahl stehende Material- bzw. *Substanzkosten* auf die Kosten einer preisgünstigen Alternative bezogen werden, so dass die Entwickler eine *Priorisierung der Stoffkosten* relativ zur Basis vornehmen und damit kostenmäßige Konsequenzen der verwendeten Materialien qualitativ schnell abschätzen können. Ebenso können bekannte *Kostenarten* (Materialkosten, Fertigungskosten etc.) einer Bezugsbasis als prozentualer Anteil z.B. der entsprechenden Herstellkosten ausgewiesen werden. Unter der Annahme, dass die Kostenverhältnisse innerhalb der Herstellkosten grundsätzlich auch bei einer Neu- bzw. Weiterentwicklung fortbestehen (was für viele chemische Batch-Prozesse gilt, sofern z.B. keine gravierenden Änderungen von Materialien oder Fertigungsprozessen vorgenommen werden), können anhand einer bekannten Kostenart (z.B. Materialkosten) des neuen Produkts die *zukünftigen Herstellkosten* schnell abgeschätzt werden (vgl. LOWKA 1996, S. 65).²⁵⁹

Werden nur gering komplexe Sachverhalte untersucht, so kann im Bedarfsfall mit *manuellen Tabellen* gearbeitet werden, um vergleichsweise wenige, für eine grobe (Produkt-) Kostenschätzung notwendige Determinanten zu systematisieren und bereit zu halten. Für alle anderen Fälle empfiehlt sich die Verwendung von *elektronischen Datenbanken*.²⁶⁰ Die methodische Beschreibung in Form der Begriffe, der Vorgehensweise und der Darstellung von Relativkosten ist in den DIN 32990 und 32992 genormt worden.

²⁵⁸ Diese Kritik richtet sich jedoch hauptsächlich gegen die Orientierung der Relativkostenkataloge an den fertigungsorientierten Herstellkosten, ohne explizit die Kostenentstehung in den Gemeinkostenbereichen zu berücksichtigen. Demgegenüber wird jedoch die Verwendung von *Cost Tables*, welche Kosten als absolute Größen und teilweise unter Einbezug der indirekten Kosten ausweisen, befürwortet (vgl. BINDER 1998b, S. 174ff.). Letztere können auch den quantitativen Verfahren zugerechnet werden, d.h. Relativkosten lassen sich entsprechend der Kostengenauigkeit den qualitativen oder quantitativen Verfahren zuordnen (vgl. *Abbildung 78*).

²⁵⁹ Cost Tables sind auch eine wertvolle Methode, das Expertenwissen der verschiedenen Unternehmensbereiche funktionsbereichsübergreifend abzufragen, zu systematisieren, zu verteilen und weiterzuentwickeln.

²⁶⁰ Eine wichtige Voraussetzung für die Brauchbarkeit der Kosteninformationen ist jedoch, dass zum Ausgleich statistischer Schwankungen Produkt und Fertigung aus einer größeren Anzahl an Bestandteilen und Arbeitsschritten bestehen (vgl. LOWKA 1996, S. 65). Die jeweiligen Kostendaten basieren dabei überwiegend auf Erfahrungswerten und sind immer – mit dem entsprechenden Aufwand – betriebspezifisch zu ermitteln und in angemessenen Zeitabständen zu aktualisieren.

6.2.2.2.3 Kostenstruktur

Unter einer *Kostenstruktur* versteht man die Aufteilung der Kosten eines Kalkulationsobjekts in verschiedene Anteile. Diese können sich bei einem Produkt u.a. an den folgenden Kategorien orientieren (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 71):

- *Anforderungskosten*,
- Kosten von *Produkteigenschaften*, d.h. von Funktionen,
- *Material-* (Komponenten-) und *Fertigungskosten*,
- Anteile der *Lebenszykluskosten*.

Eine Differenzierung der Kostenstrukturen, welche in der Regel auf Erfahrungswerten und Nachkalkulationen von bekannten Produkten basiert, eignet sich, um Anhaltspunkte und *Schwerpunkte* für eine *Kostenbeeinflussung* auch bei *geringer Kosteninformation* zu erhalten und die wichtigsten Einflussbereiche der Produktentwickler frühzeitig zu priorisieren. Ähnlich wie bei Relativkostenkatalogen können die beobachteten Kostenstrukturen dabei auch für mehrere ähnliche Produkte und längere Zeiträume gelten. Methodisch wird die Kostenstruktur durch eine ABC-Kostenanalyse ermittelt (vgl. *Abschnitt 6.1.3.1.3.3*).

Die grobe Unterteilung der Produktkostenstruktur ohne detaillierte Betrachtung absoluter Zahlenwerte kann als *qualitative Kostenstruktur* bezeichnet werden. Vorhandene bzw. geschätzte Kostendaten werden dabei anhand ihres Anteils an den Gesamtkosten priorisiert. Eine rein qualitative Betrachtung eignet sich aber allenfalls als frühzeitig einsetzbarer *Anhaltspunkt* für den *Kostenanfall*, keinesfalls aber für die Auswahl von Lösungsalternativen.

Eine *quantitative* Kostenstruktur entspricht im Grunde einer ‚gewöhnlichen‘ Kostenträgerrechnung, jedoch wird sie als Vorkalkulation statt als Nachkalkulation durchgeführt. Das Produkt wird gedanklich in seine Bestandteile zerlegt und die Kosten der kleinsten möglichen Elemente werden geschätzt. Geht man davon aus, dass sich die Kosten einer Komponente im Grunde aus den Kosten der (Teil-) Komponenten der ‚darunter liegenden Ebene‘ zusammensetzen, und sich die *Kostenträgereinzelkosten* auf der untersten Ebene am leichtesten schätzen lassen, so können die Kosten des Produkts durch schrittweise *Aggregation* über die verschiedenen Ebenen ermittelt werden, unter expliziter Berücksichtigung der Materialpreise (Stückliste), Fertigungskosten (Zeit, Arbeitsvorschrift, Löhne) und anderen relevanten Kostenarten (vgl. SCHOLL 1998, S. 37ff.).²⁶¹ Mit

²⁶¹ Für jede Ebene können verschiedene Kalkulationsverfahren gewählt werden.

zunehmender Schätzgenauigkeit kann diese Methode daher auch in die quantitativen (analytischen) Verfahren eingeordnet werden (vgl. *Abbildung 78*).

6.2.2.4 Grenzstückzahlen

Stehen für die Produktfertigung (z.B. Molekülsynthese) *verschiedene Verfahren* zu Verfügung (z.B. kontinuierliche oder diskontinuierliche Produktion, vgl. Abschnitt 5.2.3.4), so lassen sich deren erwartete Kosten, in Abhängigkeit von der auszubringenden Menge, anhand von *Grenzstückzahlen* beurteilen (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 197f.). Voraussetzung hierfür ist, dass *relevante Kostenarten* wie die Materialkosten, die Fertigungskosten (Fertigungszeiten) und die Einmalkosten (Rüstzeiten, Kosten für Prototypen bzw. für das ‚Scale-Up‘) bekannt sind.

Allgemein verlaufen die (idealisierten) Stückkosten mit zunehmender Ausbringung kontinuierlich *degressiv*. Je nach den Verhältnissen der bei den verschiedenen Herstellverfahren anfallenden Material-, Fertigungs- und Einmalkosten variieren entsprechend die Herstellkosten bei verschiedenen Mengen, und die jeweiligen *Stückkostenkurven* können sich bei bestimmten Mengen *schneiden*. Direkt am Schnittpunkt sind die Herstellkosten der betrachteten Verfahren zwar identisch, jedoch ist jenseits des Schnittpunktes bis zum nächsten Schnittpunkt ein Verfahren günstiger als alle anderen. Dadurch können alternative Produktkonzepte unter dem Aspekt ihrer fertigungstechnischen Wirtschaftlichkeit begutachtet werden (vgl. SCHMIDT 1996, S. 66).

6.2.2.3 Quantitative Verfahren

6.2.2.3.1 Kostenmodelle

Für die Ingenieurwissenschaften und die dort beschriebenen Ansätze des ‚kostengünstigen Konstruierens‘ ist eine größere Zahl an *Kostenmodellen* entwickelt worden, mit deren Hilfe frühzeitige Kosteninformationen generiert werden sollen (vgl. in einer Übersicht HORVÁTH ET AL. 1996, S. 57ff.; SCHOLL 1998, S. 43ff.). Für die chemische Produktentwicklung wurden bisher keine vergleichbaren Methoden dokumentiert.

Das wesentliche und gemeinsame Merkmal der von HORVÁTH ET AL. untersuchten *Kostenmodelle* ist die im Vergleich zu anderen vorgestellten Methoden *detaillierte Ermittlung* und Heranziehung der *Kosten* von *ähnlichen Produkten* (Vorgängerprodukt, Variante oder Konkurrenzprodukt, soweit dessen Kosten bekannt sind) als Datenbasis für die Kostenschätzung bzw. Kalkulation von noch im Entwicklungsstadium befindlichen Produkten (vgl. 1996, S. 57ff.). Dabei werden einerseits ähnliche *Strukturparameter*, wie z.B. die Gestalt, die Abmessungen, der (Werk-) Stoff oder auch die diesbezüglichen Spezifikationen und Toleranzen beurteilt bzw. bewertet, andererseits vergleichbare *Ressourcenverbräuche*, und hier insbesondere die Materialkosten und

Fertigungszeiten, teilweise auch (administrative) Prozesse, identifiziert. Auch spezifische technologische Anforderungen, die oft ähnliche Betriebsmittel erfordern, können Hinweise auf die Herstellkosten liefern. Die vergleichbaren Strukturparameter werden anschließend über Regeln oder Expertensysteme mit den abgeleiteten bzw. geschätzten Ressourcenverbräuchen verknüpft und als *objektorientierte Kosten*, gegebenenfalls mit zusätzlichen Prozessinformationen, ausgewiesen.

Aufgrund der komplexen Zusammensetzung chemischer Produkte ist die Entwicklung eines entsprechenden Kostenmodells mit erheblichen *Schwierigkeiten* verbunden. Zwar können prinzipiell *Strukturparameter*, insbesondere innerhalb vergleichbarer Stoffklassen (z.B. eine homologe Reihe von aliphatischen Alkoholen), herangezogen und chemisch-physikalische Eigenschaften extrapoliert werden (z.B. Schmelz- und Siedepunkte). Ob sich auf die gleiche Weise allerdings auch die Kostenwirkung z.B. der in *Abschnitt 5* vorgestellten Maßnahmen abschätzen lässt, ist, wenn auch plausibel, bisher nicht untersucht worden. Im Prinzip sollten aber die prognostizierbaren Stoffeigenschaften eines neuen Produkts in einem mittelbaren *Zusammenhang* mit den Kosten eines *Vergleichprodukts* stehen. Zur Absicherung dieser Hypothese ist weiterer Forschungsbedarf nötig, indem Produkte vergleichbarer Stoffklassen empirisch auf ihre Kostenwirkung untersucht werden; diese Untersuchung ist jedoch erst zu empfehlen, wenn durch die vorliegende Arbeit die *theoretischen Grundlagen* vorbereitet worden sind. Dass jedoch z.B. Stoffeigenschaften wie Toxizität oder bestimmte technologische Anforderungen an den Fertigungsprozess mit bestimmten, abschätzbaren Kosten einhergehen, wurde bereits in den *Abschnitten 5.1.2* und *5.2.2* gezeigt.

Zur Ermittlung der Kosten bedienen sich die Kostenmodelle entweder der *Kurzkalkulation*, der *Zuschlagskalkulation* oder der *Prozesskostenrechnung*, wodurch sowohl der Umfang als auch die Qualität der Kosteninformationen weitgehend determiniert werden. Alle Verfahren werden dabei in unterschiedlicher Intensität durch DV-basierte Datenbank- und Kalkulationssysteme unterstützt. In den Ingenieurwissenschaften werden die Kostendaten zum Teil direkt aus den in der Entwicklung verwendeten CAD-Programmen (*Computer Aided Design*), PPS-Systemen oder dem Rechnungswesen generiert und objekt- und gegebenenfalls prozessorientiert ausgewiesen (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 1996, S. 74).

6.2.2.3.2 Kurzkalkulationen

Kurzkalkulationen werden i.A. bei (noch) niedrigem Wissensstand über die konkrete Ausgestaltung des Produkts eingesetzt, da sie in dieser Phase aufgrund einer beschränkten Zahl an Einflussfaktoren und dem Ziel, mit verhältnismäßig wenig Aufwand einigermaßen verlässliche Kosteninformationen zu liefern, ihre Stärken besitzen (vgl.

JEHLE 1984, S. 274).²⁶² Aus den gleichen Gründen eignen sie sich demnach nicht für (fortlaufend) detaillierte Kostenbetrachtungen (vgl. SCHOLL 1998, S. 35f.).

Kurzkalkulationen basieren in Abhängigkeit des Entwicklungsstadiums zunächst auf *konstruktiven Parametern* und bei fortgeschrittenen Konzepten auch auf *Leistungsdaten* des Produkts, ohne allerdings z.B. konkrete Ausprägungen wie die Produktionskosten zur Abschätzung der Selbst- oder Herstellkosten explizit einzubeziehen: der gesamte Prozess von der Entwicklung bis zur Vermarktung wird als „Black Box“ aufgefasst (vgl. SCHOLL 1998, S. 29ff.). Dadurch können sie auch *keine konkreten Hinweise* auf Ansatzpunkte zur Kostensenkung geben.

Die Kostengesetzmäßigkeiten können zum einen auf physikalischen, geometrischen, fertigungstechnischen oder organisatorischen *Einflussgrößen* beruhen (*Kostengesetze nach Einflussgrößen*). Durch eine mathematische Verknüpfung der technischen Merkmale einerseits und von *einem* („summarische Verfahren“) bzw. *mehreren* („multivariante Methoden“) bekannten Kostentreibern andererseits werden (mehrere) Kostenfunktionen generiert (mit z.B. linearem, exponentiellem oder logarithmischem Verlauf), durch welche die Produktkosten prognostiziert werden sollen. Dazu müssen die maßgeblichen Kostentreiber bekannt und im frühen Entwicklungsstadium verfügbar sein. Neben den genannten Einflussgrößen können die Kostengesetzmäßigkeiten weiterhin auf *vergleichbaren Merkmalen* von bekannten Produkten (*Kostengesetze nach Ähnlichkeiten*) fundieren (vgl. EVERSHEIM ET AL. 1994, S. 241f.). Da die Kosteninformationen in beiden Fällen auf den Kosten von Vorgänger- bzw. Vergleichsprodukten basieren, wird das Ergebnis um so genauer, je höher der betrachtete Kostenanteil der Einflussgrößen an den Gesamtkosten ist.

Je nach der realisierten Kostengenauigkeit können Kurzkalkulationen prinzipiell den *analytischen* (mehrere Kostenfunktionen) oder *pauschalen* (eine Kostenfunktion) *quantitativen Verfahren* zugerechnet werden. SCHOLL verwendet sie als Sammelbegriff für pauschale Verfahren (1998, S. 29f.). Eine differenziertere Einteilung der Kurzkalkulationen kann anhand ihres methodischen Vorgehens der Kostenermittlung erfolgen, welches in den drei folgenden Abschnitten kurz erläutert wird (vgl. HORVÁTH 1996, S. 56f.). Der am Ende des Abschnitts vorgestellte praxisorientierte Ansatz lässt sich in die Gruppe der Kurzkalkulationen einordnen und erlaubt eine – wenngleich eher grobe – Prognose der Fertigungskosten eines chemischen Produkts.

6.2.2.3.2.1 Verwendung statistisch verknüpfter Einflussgrößen

Durch diese Art der Kurzkalkulation werden die Kostenfunktionen durch *mathematisch-statistische Methoden* wie Regressionsanalyse oder Optimierungsrechnung aus den

²⁶² Der Begriff ‚kurz‘ bezieht sich weniger auf die zeitliche Dauer der Anwendung als auf die relative Ausführlichkeit der Kalkulation.

Kenngrößen bekannter Produkte (z.B. Kosten je Volumeneinheit, je Gewichtseinheit etc.) ermittelt. Dieses Vorgehen wird angewandt, wenn sich keine eindeutigen physikalischen Beziehungen für die Herstellkosten ableiten lassen (vgl. *Kapitel 6.2.2.3.2.3*); statt dessen wird versucht, aus statistischen Daten ursächliche Zusammenhänge zwischen möglichen Einflussgrößen und Kostentreibern wie beispielsweise Fertigungszeiten herzuleiten (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 415). Einflussgrößen können beispielsweise Produktmerkmale wie die Materialpreise (*Materialpreismethode*), das (Molekular-) Gewicht (*Kilokostenmethode*), die Funktionsklasse, die Abmessungen, Leistungsdaten oder andere spezifische Eigenschaften sein.

6.2.2.3.2.2 Auswertung von struktureller Ähnlichkeit

Die Kosten des geplanten Produkts sollen bei dieser Methode aufgrund der *geometrischen* bzw. *strukturellen Ähnlichkeit* mit bekannten Produkten und deren Kosten ermittelt werden. Innerhalb eines Ähnlichkeitsvergleichs wird die *Produktklassenhierarchie* durchsucht, indem auf jeder Bestandteilebene Sachmerkmalsausprägungen der Anforderungsliste mit den vordefinierten Ausprägungen verglichen werden. Liegen die Unterschiede hauptsächlich in der Größenordnung der Abmessungen (Beispiel Baureihe), so lassen sich gegebenenfalls *Kostenwachstumsgesetze*²⁶³ definieren und extrapolieren für den Fall, dass die Verhältnisse innerhalb des geplanten Produkts mit denen des bekannten Produkts übereinstimmen. Auch für *chemische Produkte* ist die Kostenprognose durch Kostenwachstumsgesetze aufgrund struktureller Ähnlichkeiten für bestimmte, homologe Reihen von verschiedenen Produktklassen vorstellbar (z.B. *Alkane, Alkohole, Carbonsäuren* etc.).

Die systematische Suche nach vergleichbaren Funktionen, Baugruppen und Komponenten, die aus Stücklisten oder Arbeitsplänen oder im ‚Merkmalsraum‘ von Datenbanken vorhandenen Suchkriterien entnommen werden können (*Suchkalkulation*), erlaubt eine relative exakte Kostenbestimmung, falls für die verschiedenen Produktbestandteile ausreichende Vergleichskalkulationen vorliegen (vgl. SCHMIDT 1996, S. 70f). Auch können gegebenenfalls aufgrund der Abweichung bestimmter Eigenschaften auf Erfahrung basierende prozentuale Auf- bzw. Abschläge erhoben werden. Die Genauigkeit der Kostenprognose durch die Suchkalkulation hängt demnach insbesondere von der Qualität der Kostengrundlage und dem Suchalgorithmus ab.

6.2.2.3.2.3 Ermittlung aufgrund von Bemessungsgleichungen

Gibt es eine *mathematisch-logische Verknüpfung* zwischen bestimmten technischen *Produkteigenschaften* und *Kostenfaktoren* wie z.B. den Fertigungszeiten, lassen sich diese unter Verwendung gleicher Variablen in ein Gleichungssystem einbringen und zur

²⁶³ Unter einem Kostenwachstumsgesetz (Ähnlichkeitsgesetz) versteht man die Beziehung der Kosten von einander ähnlichen Produkten (EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 423).

Kostenbestimmung verwenden. Erforderlich ist hierzu einerseits die Beschreibung der Produkteigenschaften durch eine *Beanspruchungsgleichung*, andererseits die Darstellung z.B. der Herstellkosten durch eine *Kostengleichung*: Wenn in beiden Gleichungen dieselben Variablen enthalten sind, lassen sie sich (stets) zu einer *Bemessungsgleichung* zusammenfassen (vgl. LOWKA 1996, S. 65). Allerdings ist das Aufstellen von Bemessungsgleichungen für komplexe Produkte mit erheblichem Aufwand bzw. zum Teil groben Vereinfachungen, welche die Prognosegenauigkeit deutlich einschränken können, verbunden (EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 415).

6.2.2.3.2.4 Fallbeispiel 2: Praxisansatz für eine entwicklungsbegleitende Kalkulation

Bei der WACKER-Chemie durchgeführte Abschätzungen haben gezeigt, dass im ‚Downstreambereich‘ chemischer Produkte, bei sonst konstanter Produkt- und Prozessgestaltung, die ‚spezifischen Investitionskosten pro Jahrestonne Produkt‘ einen guten und einfach zugänglichen *Indikator* für die späteren Gesamtfertigungskosten darstellen. Denn je nachdem, wie komplex ein Produkt aufgebaut ist, bedarf es zu seiner Herstellung gewisser *Mindestkonfigurationen* eines für diese Produktgruppe typischen Standardreaktors (z.B. ‚100bar-Rührkesselreaktor‘, ‚emaillierter Niederdruckreaktor‘): Je unterschiedlicher und je anspruchsvoller beispielsweise die gewählten Einsatzstoffe sind und je mehr von ihnen für ein Produkt eingesetzt werden, umso komplexer muss in der Regel auch der entsprechende Reaktor aufgebaut sein (z.B. Dosierungen, Prozessleittechnik, Rohstoff- und Fertigproduktlager, Fertigungsplanung). Die dafür erforderlichen *Investitionskosten* (auf Wiederbeschaffungsbasis) bilden einen früh bekannten und gut abschätzbaren Leitindikator für eine ganze Reihe von sonst oft schwer zugänglichen ‚Folgekosten‘: Ein komplexer Reaktor bedingt eine komplexe Instandhaltung, eine komplexe Logistik und komplexe und damit beschäftigungsintensive Fertigungsabläufe. All diese Komplexitätskosten beeinflussen die Fertigungskosten maßgeblich und sind durch das ursprüngliche Reaktordesign und die dafür erforderliche Investition festgelegt. Diese kann je nach Konfiguration für eine Jahrestonne Produkt sehr unterschiedlich ausfallen und in Verbindung mit der Durchsatzleistung des Reaktors auf große Differenzen in den spezifischen Fertigungskosten hinweisen (vgl. *Abbildung 79*). Prozesskostennahe Abschätzungen zeigen dabei, dass über weite Bereiche ein *nahezu linearer Zusammenhang* zwischen dieser *Kennzahl* und den *Gesamtfertigungskosten* für ein Produkt besteht und man daher für diese Form der Kurzkalkulation ‚Kostenwachsungsgesetze‘ heranziehen kann. Regelrecht dramatisch werden die Effekte, wenn – was chemietypisch ist – ein Produkt mehrere solcher Fertigungsstufen durchläuft.

Es wurde bereits erwähnt, dass in reiferen Märkten wie den Chemiemärkten die Entwickler von neuen Produkten dazu neigen können, für eine leichte Anhebung der Produktleistung (unverhältnismäßig) viel Komplexität in die Produkte und Produktionsabläufe einzuführen. Die dadurch verursachten Komplexitätskosten konnten bei der Verwendung von klassischen Standardkostensätzen bisher nicht differenziert auf die Produkte verrechnet werden. Dagegen ‚erzwingt‘ die Kalkulation von Neuentwick-

lungen mit der hier vorgestellten Methode ein striktes Management der Komplexitätskosten ,von Anfang an‘.

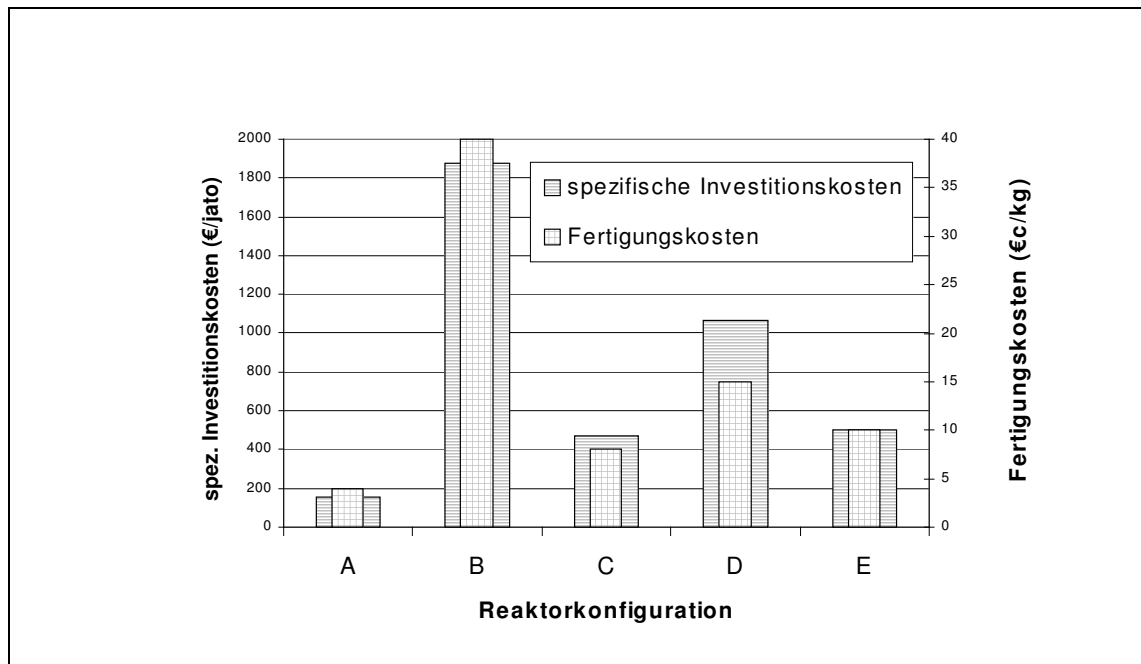


Abbildung 79: Komplexitätsgetriebene Fertigungskostensätze in Reaktoren mit unterschiedlichen Konfigurationen und Kapazitäten

Im Downstreambereich kann somit die spätere Kostensituation eines neuen Produkts z.B. anhand der spezifischen Investitionskosten vor der Markteinführung simuliert werden. Weiterhin erlaubt moderne Software auch die frühzeitige Kalkulation selbst komplexer Verbundsysteme durch eine *Szenariotechnik*.²⁶⁴ Die WACKER-Chemie hat neuerdings auch ein Werkzeug im Einsatz, das die antizipative Verbundmodellierung von Kosten und Deckungsbeiträgen vom eingehenden Rohstoff bis zum Fertigprodukt ermöglicht.

²⁶⁴ Diese ermöglicht der WACKER-Chemie die Optimierung der Mengenströme eines Rohstoffverbundes unter den verschiedensten denkbaren Randbedingungen.

7 Implementierung des Kostenmanagements in der chemischen Produktentwicklung

7.1 Einführung

Die ersten vier Kapitel schilderten die Ausgangssituation, die Grundlagen und Charakteristika sowie die prinzipiellen Anwendungsmöglichkeiten eines produktorientierten, frühzeitigen Kostenmanagement-Ansatzes in der chemischen Industrie. Insbesondere wurde – neben der Verantwortlichkeit für die Leistungsmerkmale der Produkte – der Einfluss der Produktentwickler auf die Produktkosten hervorgehoben, da sie neben den Funktionen und Komponenten z.B. auch den Verlauf und die Beherrschbarkeit des Produktionsprozesses und daher nicht nur die Materialkosten, sondern auch Größen wie Lohn- und Anlagekosten, Ausschuss- und Qualitätssicherungskosten, Durchlaufzeiten oder Kapitalbindung wesentlich determinieren. In den *Abschnitten 5* und *6* wurden daraufhin die entsprechenden Möglichkeiten der Produktentwickler zur Kostensenkung ausführlich dargestellt.

Weiterhin wurde in *Abschnitt 6.1* auf die Strukturierung von Entwicklungsproblemen als Erfolgsdeterminante zum Erreichen von technischen und kostenbezogenen Zielgrößen hingewiesen (vgl. BÜRCEL ET AL. 1996, S. 41f.). Diese Strukturierung kann durch entsprechende Methoden und Instrumente erreicht werden, welche die hohe Kostenverantwortlichkeit der Entwickler durch eine marktgerichtete Steuerung der Entwicklungsaktivitäten unterstützen: „Die maximale Bedürfnisbefriedigung des Kunden im Hinblick auf den Produktnutzen auf der einen Seite und die Sicherstellung zukünftiger (bilanzierter) Gewinne durch eine nutzenorientierte Preis-Kosten-Relation auf der anderen Seite verlangen nach der *Integration* miteinander *verzahnter Methoden* und *Instrumente*“ (FRIEDMANN 1997, S. 20). Zur Ableitung der zulässigen Produktkosten wurde bereits das *Target Costing* als bedeutendes Instrument vorgestellt. Andere Instrumente für die Beschleunigung und Verbesserung des F&E-Prozesses, wie beispielsweise *QFD* oder *Simultaneous Engineering*, wurden u.a. in *Abschnitt 6.1.3* diskutiert. *Abschnitt 6.2.2* erläuterte weiterhin die Methoden zur entwicklungsbegleitenden Kalkulation, welche für die Einhaltung von Kostenzielen benötigt werden.

In diesem Abschnitt wird ein Instrument vorgestellt, das unter dem Begriff „Chemical Cost Engineering“ die Entwickler in der chemischen Industrie bei dem Ziel, *kundengerechte* und *kostengünstige* Produkte zu erarbeiten, unterstützen soll – und zwar nicht durch Einsatz *unterschiedlicher* Instrumente, sondern durch *ein* integriertes Instrument. Es handelt sich dabei um ein eigens für chemische Entwicklungen erstelltes Instrument, welches frühzeitig eingesetzt werden kann und einen methodischen Handlungsrahmen für die *Umsetzung* der zuvor erläuterten *Maßnahmen* zur Kostensenkung darstellt.

Gleichzeitig ermöglicht es eine entsprechende organisatorische Verankerung bzw. Implementierung eines produktorientierten Kostenmanagements in der chemischen Produktentwicklung. Seine *empirische Bedeutsamkeit* (vgl. Abschnitt 4.6.1) wird zum Schluss dieses Abschnitts an einem Fallbeispiel aus der Praxis dargelegt.

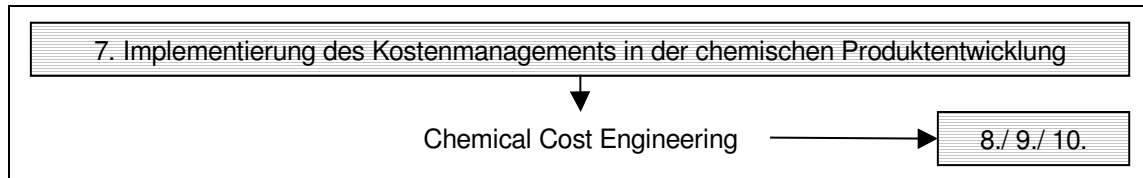


Abbildung 80: Aufbau des Abschnitts 7 und Überleitung zu den Abschnitten 8, 9 und 10

7.2 Kosten- und qualitätsorientiertes Entwickeln chemischer Produkte

Obwohl Target Costing in der chemischen Industrie bekannt ist (vgl. *Abschnitt 4.2.2*), sind *Target Costing-Anwendungen* aus dem Bereich der ‚Chemie‘ bisher nicht dokumentiert; gleiches gilt für *Quality Function Deployment*. Da ein konsequenter Methodeinsatz auch in der chemischen Entwicklung zu verbesserten Ergebnissen führen sollte, bestand daher Bedarf für eine Konzeption, welche einen methodischen Ablaufplan für die Anwendung der in *Abschnitt 5* vorgestellten kostensenkenden Maßnahmen liefert. Hierzu wurde das *Chemical Cost Engineering* („CCE“) entwickelt, welches die Zielerreichung eines produktorientierten Kostenmanagements in der chemischen Industrie durch ein strikt systematisches Vorgehen unterstützen soll, indem die *Qualität* des *Entwicklungsprozesses* (und damit der entwickelten Produkte) erhöht und gleichzeitig die *marktbezogenen Zielkosten* eingehalten werden können. Als Ergebnis des CCE-Prozesses erhält man eine transparente Darstellung der *zulässigen Kosten* von Produktbestandteilen und ihren *qualitativen Beitrag* zur Erfüllung der Kundenanforderungen.

Zu diesem Zweck wurden Bestandteile des *Target Costing* und des *Quality Function Deployment* in ein *Methoden-Konzept* integriert. Während der Ausdruck „Chemical“ die speziell auf die Anforderung der chemischen Produktentwicklung ausgerichtete Vorgehensweise beschreibt, charakterisiert der Begriff „Cost“ die Zielkostenorientierung und „Engineering“ – in Anlehnung an die Konstruktionswissenschaft – das systematische, mit Produktfunktionen und -komponenten arbeitende Vorgehen. Die Synthese der Methodenbausteine von Target Costing und QFD vereint somit die komplementären Ziele *Kosten* bzw. *Qualität* und beruht auf der Produktstrukturierung in Funktionen und Komponenten, welche beiden Methoden gemein ist: Während das Target Costing sich strikt an den Marktpreisen ausrichtet und die abgeleiteten *zulässigen Kosten* bis auf die *Produktkomponenten* herunterbricht, aber nicht die konkrete *technische Umsetzung* dieser Ziele unterstützt, orientiert sich QFD zwar nicht an den vom Markt erlaubten Kosten, führt aber die Entwickler anhand einer auf den *Kundenwunsch fokussierten*, in technische Kriterien übersetzten *Vorgehensweise* durch den Entwicklungsprozess.

In der Literatur sind bisher mehrere Versuche zur Integration von Target Costing und QFD beschrieben worden.²⁶⁵ Insbesondere BINDER hat unter der Bezeichnung „Cost

²⁶⁵ FISCHER/SCHMITZ untersuchen die Möglichkeiten der simultanen Anwendung von Target Costing und QFD anhand zweier Beispiele mit dem Ergebnis, dass sich Target Costing und QFD in vielen Teilen positiv ergänzen (vgl. 1994, S. 65ff.). Eine durchgängig integrierte Methode wird jedoch nicht vorgestellt. WOLF ET AL. stellen (unter der Überschrift ‚Design to Cost‘) ein als ‚Cost Deployment‘ allgemein beschriebenes Vorgehen dar, welches die Qualitäts-, Kosten- und Time-to-Market-Ziele einhalten helfen soll (1994, S. 99ff.). Die entsprechend dem Kundennutzen gewichteten Kosten der Produktfunktionen und -komponenten werden von ‚crossfunctional teams‘ erarbeitet. Target Costing und QFD fließen hier weniger integriert, sondern primär sequentiell in die ‚integrierte Produktplanung‘ ein (vgl. 1994, Bild 18, S. 119). Ein weiterer Ansatz eines auf der QFD-Methodik basierenden Target Costings wird von

Quality Deployment“ eine durchgängige Methode zur Unterstützung des Entwicklungsprozesses entwickelt (1998b, S. 155ff.). Ausgangspunkt seiner Überlegungen war richtigerweise, dass die bisher häufig praktizierte, zweidimensionale Betrachtung von extern gegebenen *Kundennutzen* und intern gesetzten *Kostenanteilen* für eine Produktbewertung – auch aus technischer Sicht – zu kurz greift und um die *Kundengewichtungsperspektive* erweitert werden muss (BINDER 1998b, S. 52).

Dieses Ziel verfolgt das *CCE*, indem es die *technisch-funktionalen Zielsetzungen* aus den Kundenwünschen *ableitet*, diese mit den marktorientierten *Zielkosten abstimmt* und durch den Abgleich dieser – jeweils kundengewichteten – *Kosten- und Qualitätsziele* verschiedener Lösungsalternativen auch dem Overengineering vorbeugt (vgl. BINDER 1998b, S. 156). Während das „Cost Quality Deployment“ aber vornehmlich für den Maschinenbau konzipiert wurde, ist das *CCE* an die Bedürfnisse der Entwickler von chemischen Produkten angepasst, da es u.a. zwischen der Erarbeitung der Funktionen und der anschließenden Erarbeitung der Komponenten einen *Zwischenschritt* vorsieht, welcher die komplexen Wirkungszusammenhänge der Chemie vereinfachen und die hohe Zahl möglicher Komponenten (Substanzen) durch Definition von ‚Substanzklassen‘ vorläufig einschränken soll.²⁶⁶ Weiterhin ist es bei der hohen Komplexität chemischer Produkte von Vorteil, dass der Kunde nicht – wie im Target Costing-Prozess – die technischen Funktionen bewerten muss, sondern ohne besonderes Fachwissen – entsprechend der QFD-Systematik – seine Anforderungen formulieren kann und diese dann, von einem internen Team, in die Funktionen und Komponenten übersetzt werden. Darüber hinaus kann das *CCE* verschiedene Lösungsmöglichkeiten aus Kosten- und Qualitätsperspektive *quantitativ vergleichen* und hat sich in zwei Workshops als praxistauglich, d.h. in der chemischen Produktentwicklung *anwendbar* und *hilfreich* (bei der Problemstrukturierung und -lösung) erwiesen.

Die methodischen Schritte des *CCE* sind in die Phasen sowohl des Target Costing- als auch des F&E-Prozesses eingebettet, welche zeitlich parallel und inhaltlich ähnlich verlaufen, wie anhand der beiden ersten Phasen in *Abbildung 81* ersichtlich: Am Anfang des Target Costing steht die *Planung* des Unternehmens bzw. des betrachteten Bereichs, aus welcher die *Gewinnplanung* resultiert (vgl. *Abschnitt 4.2.3*). Im F&E-Prozess werden anfangs das technologische und sozioökonomische *Umfeld* analysiert, die Entwicklungsaufgaben beschrieben (Pflichtenheft), priorisiert und die Mittelzuweisung auf Grundlage der bereichsbezogenen Gewinnplanung vorgenommen (vgl. *Abschnitt 3.2.2.1*). Dann werden gemäß dem Target Costing-Prozess die *Zielkosten* abgeleitet, eine Aufgabe, welche in erster Linie dem Controlling und der Marketing-

MONDEN/HOQUE erwähnt (1999, S. 525ff.). Dieser verfolgt in einer ebenfalls allgemein gehaltenen Darstellung einen hohen wissenschaftlichen Anspruch, welcher die unterschiedlichen Gewichtungen der Funktionen und Komponenten aus dem Target Costing- und dem QFD-Prozess durch verhältnismäßig aufwändige Rechenoperationen ausgleicht und u.a. aus diesem Grund für die praxisorientierte Anwendung nicht geeignet erscheint.

²⁶⁶ Bei komplexen Produkten wie Automobilen sind für einen Zwischenschritt vergleichbare „Hauptbaugruppen“ formuliert worden (vgl. DEISENHOFER 1993, S. 104).

/Vertriebsabteilung obliegen sollte; das Kostenziel geht wiederum in das *Lastenheft* der F&E-Analysephase ein. Die Marketing-/Vertriebsabteilung *plant* zugleich den zukünftigen *Absatz*.

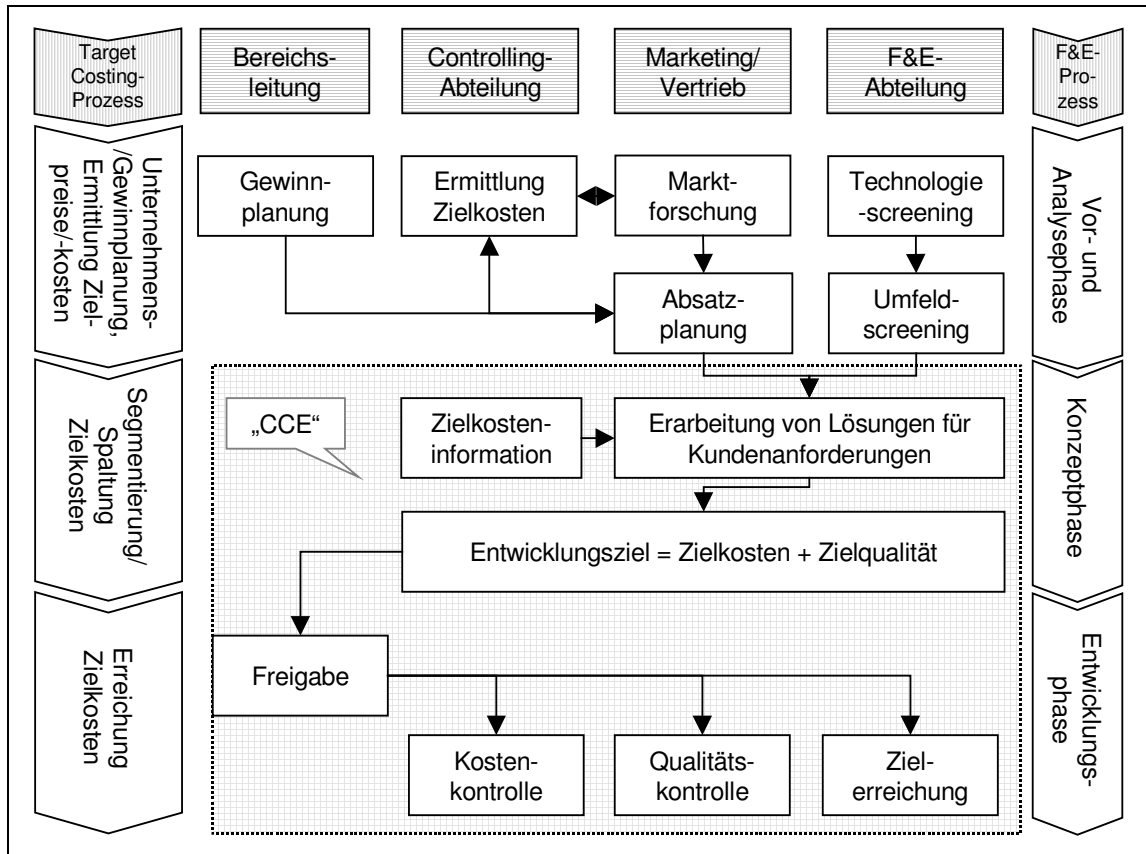


Abbildung 81: Prozesssicht des CCE von der Unternehmensplanung bis zur Produktentwicklung

Die zentrale Aufgabe des CCE ist die *Verzahnung* von *Kundenanforderungen* und *zulässigen Produktkosten* in der *Konzept- und Entwicklungsphase* des F&E-Prozesses; dabei orientieren sich die Entwickler an speziellen *Matrizentemplaten*, die in den folgenden Abschnitten vorgestellt werden. Betreut durch die Marketing-/Vertriebsabteilung, erarbeiten die Entwickler *Lösungen* für die *Kundenanforderungen*, welche die *Zielkosten* und die *Zielqualität* erreichen. Hierzu sind sie auf *entwicklungsbegleitende Kalkulationsmethoden* angewiesen, die sie mit *Zielkosteninformationen* versorgen. Nachdem das *Entwicklungsziel* konzeptionell erreichbar scheint, erfolgt gegebenenfalls eine *Freigabe* der Bereichsleitung für die notwendigen Ressourcen, welche für das weitere, experimentelle Vorgehen benötigt werden. Bis zur Zielerreichung arbeiten die Entwickler eng mit Controlling und Marketing/Vertrieb zusammen, die gemeinsam mit ihnen die Einhaltung der *Kosten* und der geforderten *Qualität* sicherstellen sollen.

Das CCE lässt sich also – im Einklang mit dem allgemeinen F&E-Prozess (vgl. *Abschnitt 3.2.2.1*) – in vier Phasen unterteilen, auf welche im Folgenden näher einge-

gangen wird: die *Vorphase*, die *Analysephase*, die *Konzeptphase* sowie die *Entwicklungsphase*. Dieser Ablauf wird nachfolgend anschaulich am selbstgewählten Beispiel eines *Reinigungsmittels* für *Textilien* verdeutlicht, bevor anschließend ein Fallbeispiel aus der chemischen Industrie vorgestellt wird. Sollten am Ende einer Entwicklungsphase die Kosten- bzw. Qualitätsziele *nicht* erreicht werden können, so müssen die Matrizen in *iterativen Schleifen* nochmals durchgearbeitet werden, um zu alternativen Fachkonzepten zu gelangen (vgl. *Abbildung 82*).

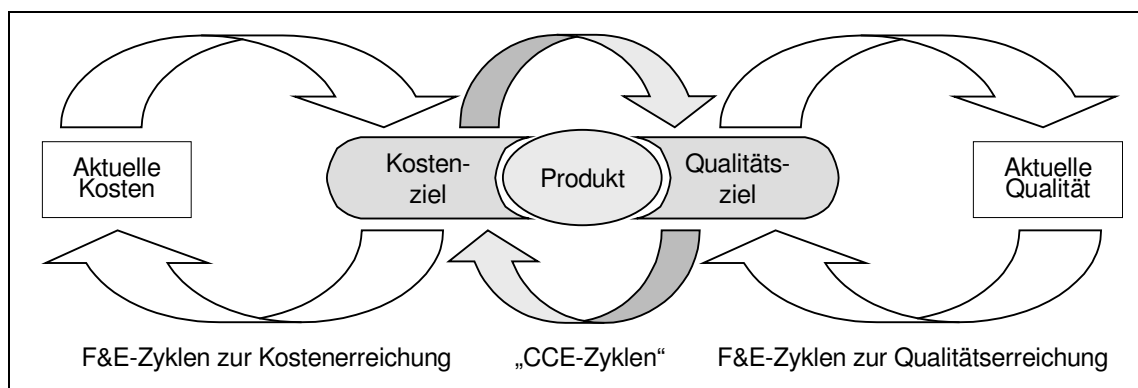


Abbildung 82: Das Vorgehen des Chemical Cost Engineering besteht in der iterativen Bearbeitung von Qualitäts- und Kostenzielen

7.2.1 Vor-und Analysephase

In der *Vorphase* wird die prinzipielle Problemstellung beschrieben und entschieden, ob das F&E-Vorhaben überhaupt weiter verfolgt werden sollte; die entsprechenden Daten und erste Anforderungen werden im *Lastenheft* dokumentiert. Die *Analysephase* untersucht das Problem detaillierter, befragt mögliche Kunden, formuliert eine Projektzielsetzung und dokumentiert diese im *Pflichtenheft*.

Der Datenbedarf dieser Phasen leitet sich aus *drei Analysefeldern* ab: den *Markttrends*, den *Technologietrends* sowie der *internen Situation* (vgl. *Abbildung 81* und *Abbildung 83*). Die *Markttrends* umfassen prinzipiell die *Kundenanforderungen* an das Produkt sowie die *Wettbewerbssituation*. Im Auftrag des Marketings werden durch die *Marktforschung* die relevanten (Teil-) Märkte des Unternehmensbereichs systematisch untersucht, auch unter Heranziehung von externen Informationsquellen.²⁶⁷ Insbesondere die Neuproduktplanung ist auf umfassende Marktforschungsdaten angewiesen, denn zahlreiche Anstöße für neue Produkte entstehen aus beobachteten Marktbedürfnissen; die

²⁶⁷ SEIDENSCHWARZ ET AL. spricht im Zusammenhang mit der Informationssammlung für die Unternehmensplanung auch vom *Marktvorbau*: „Der Marktvorbau steht für das gezielte Festlegen, Sammeln, Analysieren und Aufbereiten von Daten und Ergebnissen im Ausgangspunkt einer Produktentstehung“ (1997, S. 105).

kundenseitigen Qualitätsanforderungen können z.B. durch Kundeninterviews, Expertengespräche oder die Conjoint-Analyse erfasst werden (vgl. *Abschnitt 3.2.1*).

Zu den Kundenanforderungen an das hier beispielhaft verwendete Waschmittel gehören neben mittlerweile selbstverständlichen *Umwelt-* und *Gesundheitsgesichtspunkten* vor allem eine hohe *Reinigungswirkung* und *Textilpflege*. Die Wettbewerbssituation der Waschmittelhersteller ist geprägt durch eine *Konzentration* auf wenige Markenanbieter in einem weitgehend *gesättigten Markt*, welche durch eine *Zunahme an Eigenmarken* des Handels unter zunehmenden *Preisdruck* geraten. Daraus ergibt sich je nach strategischer Positionierung der Anbieter ein Mindestmaß an ‚darzustellender‘ *Produktqualität* wie auch – außer bei seltenen Nischenprodukten – ein *Marktpreis*, der zur Einhaltung der Absatzziele nicht überschritten werden darf.

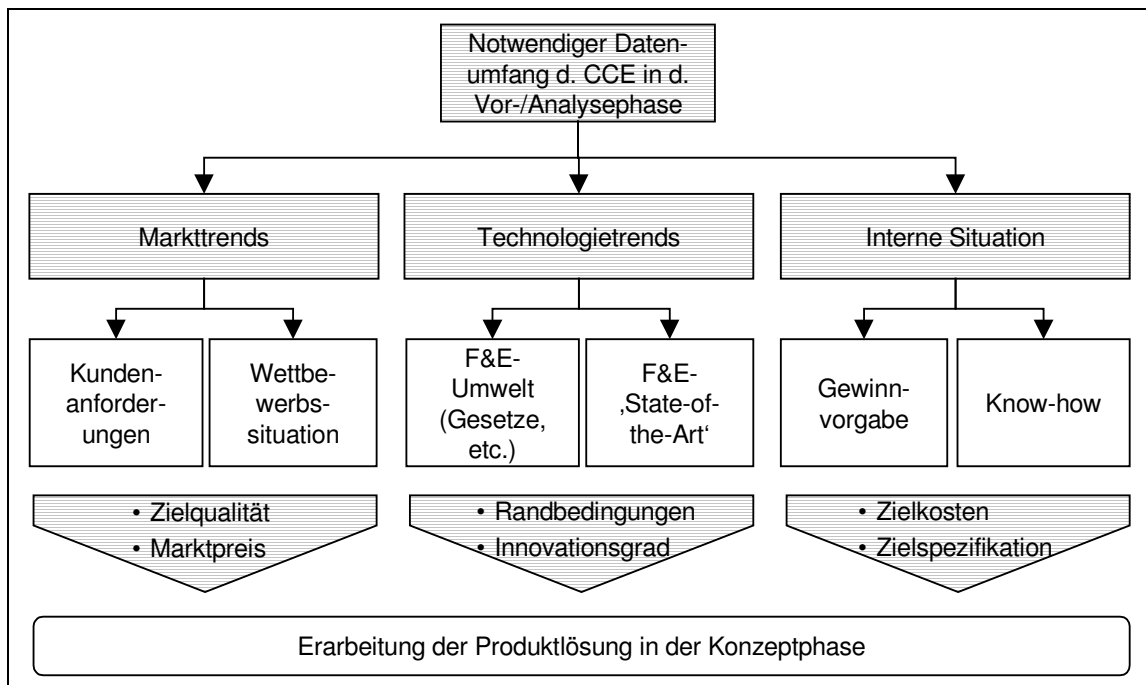


Abbildung 83: Notwendiger Datenumfang in der Vor- und Analysephase (in Anlehnung an Monden 1995, S. 66)

Die Untersuchung der *Technologietrends* im Hinblick auf die rechtliche und gesellschaftliche Akzeptanz neuer Technologien führt zu *Randbedingungen*, welche die Möglichkeiten und Grenzen neuer Produkte aufzeigen können. Dabei kann es sich um technische, gesetzliche (im Falle der Chemie insbesondere *umweltgesetzliche*) oder auch gesellschaftliche Einschränkungen handeln (z.B. Vermeidung von Phosphat- und Chlorchemie oder von gentechnisch erzeugten Enzymen), welche die Verwendung, Weiterentwicklung oder zumindest die volle Ausschöpfung einer Technologie als nicht opportun erscheinen lassen. Gleichzeitig weist ein Vergleich des technischen ‚*State-of-the-Art*‘ der entsprechenden Technologie mit dem Fortschritt der Produktlösung auf dessen *Innovationsgrad* hin.

Eine Analyse der *internen Situation* definiert aufgrund der *Top-Down-Gewinnvorgabe* und der Marktpreise die *Zielkosten* des Produkts und den geplanten Absatz. Die Einbettung des CCE in die betriebliche Planung ist dabei eine wichtige Voraussetzung für dessen erfolgreiche Anwendung, da – analog zum Target Costing-Prozess – auch hier die *Zielkostenvorgaben* aus der strategischen *Gewinnplanung* bzw. der mittelfristigen *Unternehmens-* bzw. *Programmplanung* resultieren sollten. Da es sich andererseits aber beim CCE um ein überwiegend operativ angewandtes Instrument handelt, hängt es besonders von der operativen bzw. taktischen Planung einzelner *Unternehmensbereiche* ab. Die Rendite- bzw. Gewinnziele dieser Bereiche werden dabei von der Bereichsleitung vorgegeben. Deren *Produktplanung* stellt wiederum die Verbindung zwischen dem mittelfristigen Planungsprozess und dem strategischen Zielkostenmanagement her, indem sie strategische Aspekte wie Marktwachstum, geplanten Marktanteil und geplanten Gewinn u.a. mit Projekten zur Produktneuentwicklung bzw. -modifikation verknüpft (vgl. SAKURAI 1997, S. 71). Da das CCE seinerseits auf der Produktplanung aufsetzt, kann hier also von einem *durchgängig integrierten Methodenkonzept* gesprochen werden. Die ressourcenorientierte Betrachtung des vorhandenen *Know-how* und der bisherigen Untersuchungsergebnisse soll die Erreichbarkeit der *Zielspezifikationen* abschätzen helfen.

Für die Erarbeitung des Produktkonzepts – auf der Grundlage der hier vorgestellten Daten – verwendet das CCE drei unterschiedliche Matrizen. Diese verknüpfen die Systematik von Target Costing und QFD und erlauben eine kostenbezogene und qualitative *Gesamtbewertung*, welche einzelne Lösungsalternativen entsprechend den Kundengewichtungen bewerten und vergleichen kann.

7.2.2 Konzeptphase

Die *Konzeptphase* umfasst die Erarbeitung des *fachlichen Konzepts* und ist ein interdisziplinärer Prozess, der neben den Entwicklern und anderen Technikern (z.B. aus dem Produktionsbereich) die Marketing-/Vertriebsabteilung und das Controlling einbezieht. Zwei verschiedene Matrizen sollen die Entwickler durch die Teilschritte der Konzeptphase leiten: die *Anforderungen-Funktionen-Matrix* und die *Funktionen-Substanzklassen-Matrix*.

7.2.2.1 Anforderungen-Funktionen-Matrix

Die *Anforderungen-Funktionen-Matrix* dient der *Transformation* der subjektiv geäußerten *Kundenwünsche* in die *technischen Funktionen* des geplanten Produkts. Sie stellt in gewissem Sinne das Äquivalent zum Pflichtenheft dar. Die jeweiligen Kundenanforderungen werden zunächst rein qualitativ, d.h. ungefähr wörtlich wie vom Kunden geäußert, aufgenommen und in der Spalte ‚Kundenwunsch‘ links außen eingetragen. Im hier verwendeten Beispiel ist dies der Wunsch nach einem *Textilwaschmittel*, welches

u.a. schon bei *niedrigeren Temperaturen* gute Ergebnisse erzielt, sich durch einen *niedrigen Verbrauch* auszeichnet und eine *schonende* und *pflegende Wirkung* auf die Textilien hat (*Abbildung 84*).

Neben der Auflistung ihrer Anforderungen sollen die Kunden weiterhin gebeten werden, die Bedeutung ihrer Anforderungen zu *gewichten*. Hierfür soll nur eine begrenzte Anzahl von ‚Punkten‘ auf alle formulierten Anforderungen verteilt werden können (,x‘% von 100%).²⁶⁸ Im vorliegenden Beispiel führen die „Reinigungskraft“ und der „Pflegeaspekt“ die Rangfolge an. Die so erfassten Anforderungen werden anschließend gemeinsam von der Marketing-/Vertriebs- und F&E-Abteilung analysiert und in ‚sachlich-technische‘ Merkmale, d.h. in die *Funktionen* des Produkts ‚übersetzt‘.²⁶⁹ Diese müssen die gestellten Kundenanforderungen erfüllen und die für den Kunden nicht immer verständlichen bzw. wahrnehmbaren Wirkungszusammenhänge darstellen.²⁷⁰ Weiterhin wird das Ausmaß, in dem jede einzelne Funktion zur Erfüllung der jeweiligen Anforderungen beiträgt, anteilig (prozentual) bestimmt und der entsprechende Wert in die zum Merkmal gehörende Zeile eingetragen; da insgesamt alle Anforderungen voll durch die geplanten Funktionen erfüllt werden müssen, ergibt sich als Summe jeder Zeile der Wert 100%.

Im Gegensatz hierzu kann die Summe der Werte in den zu den Funktionen gehörenden Spalten unter oder über 100 Punkten liegen. Wird der Wert jeder Funktion, mit der sie eine Anforderung unterstützt, mit der jeweiligen Bedeutung der Anforderung multipliziert, so erhält man als Summe die *Bedeutung* der betrachteten *Funktion*. Auf diese Weise kann der Kundenwunsch und seine Gewichtung unmittelbar auf die technischen Funktionen übertragen werden, was zu einer *kundengewichteten Funktionsbedeutung* führt, die trotz komplexer chemischer Produkte eine realistischere Bewertung darstellen sollte als im Target Costing-Prozess, der von den Kunden eine hohe Fachkompetenz erfordert, da sie unmittelbar die Funktionen gewichten müssen.

²⁶⁸ Eine derartige Priorisierung hat gegenüber einer Gewichtung einzelner Anforderungen mit beliebig vielen Punktzahlen je Anforderung (z.B. *Schulnoten 1-6* oder *10 Punkte je Anforderung*) den Vorteil, dass der Kunde nur relative Abstufungen vornehmen kann und dadurch gleichermaßen ‚gezwungen‘ wird, eine klare Reihenfolge seiner Präferenzen vorzugeben.

²⁶⁹ Obwohl die Bedeutung und die Anforderungen an einen systematischen Entwicklungsprozess mit zunehmendem Entwicklungsaufwand und damit der Innovationshöhe steigen, kann bei innovativen Produkten, für welche noch kein Markt vorhanden ist, das beschriebene Vorgehen des ‚CCE‘ erschwert werden, da keine detaillierten Kundenanforderungen ermittelt werden können.

²⁷⁰ Beispielsweise dürfte dem Kunden kaum bewusst sein, wie und in welchem Ausmaß die einzelnen Faktoren *Bleichkraft*, *Lösekraft* sowie die *Kalkfällung* und *Wasserlöslichkeit* des Waschmittels zu dessen Reinigungswirkung beitragen. Durch dieses Vorgehen wird es also möglich, jeden Kundenwunsch als Konsequenz der Wirkung einer oder – als gewichtete Kombination – mehrerer Funktionen darzustellen. Entsprechend beträgt die Quersumme der in der Zeile des jeweiligen Kundenwunsches eingetragenen Werte immer 100, da jede Anforderung (genauer: der Zielwert jeder Anforderung) möglichst zu 100% durch eine oder mehrere Funktionen erfüllt werden muss.

Anforderungen-Funktionen-Matrix		Funktionen														
Kundenwunsch	Kundenbedeutung (%)	Bleichkraft bei allen Temperaturen entfalten	Substanzen lösen und in Schwebel halten	Rieselfähigkeit erhalten	Kalkfällung verhindern	In Waschwasser löslich	Duftstoffe freisetzen	Faserstruktur nicht angreifen	Maschine entkalken	Maschine vor Korrosion schützen	Hautverträglichkeit garantieren	Biologische Abbaubarkeit gewährleisten	Weißgrad erhalten	Farbigkeit verstärken	Summe Unterstützungsgrad	
Flecken lösen bei niedriger Temperatur	30%	40%	50%	0%	5%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Geringer Verbrauch	10%	30%	50%	0%	10%	10%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Leichte Dosierbarkeit	3%	0%	0%	90%	0%	10%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Riecht gut	5%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Pflegt Textilien	30%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Schont Maschine	10%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Mindergiftig	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	100%
Umweltfreundlich	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	100%
Strahlende Frische	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	100%
SUMME	100%															
Bedeutung der Funktion		15%	20%	3%	3%	3%	5%	30%	5%	5%	7%	3%	1%	1%		100%
Zielwert Funktionen		15°-90° C	> x g/ml	<60% Feuchtig-keit	PO ₄ -Gehalt <x %	x g/l	>x ppm/h	pH<11	x	pH<11	Allergie-test	OECD-Richtlinien	x	x		
Target Costs Funktionen [€ / kg]	2,60	0,39	0,52	0,07	0,07	0,07	0,13	0,78	0,13	0,13	0,18	0,08	0,03	0,03		

Abbildung 84: Die Anforderungen-Funktionen-Matrix des Chemical Cost Engineering

Im angeführten Beispiel erhält beispielsweise die Funktion „Faserstruktur nicht angreifen“ die höchste Bedeutung, da sie alleine zu 100% zur Erfüllung der (zusammen mit der Anforderung „Flecken lösen bei niedriger Temperatur“; je 30%) am höchsten bewerteten Anforderung „pflegt Textilien“ beiträgt; der Gewährleistung der ‚Rieselfähigkeit‘ hingegen wird wenig Bedeutung beigemessen, obwohl sie auch 90% zur Anforderung der ‚leichten Dosierbarkeit‘ beiträgt, welche aber vom Kunden als weniger wichtig eingestuft wurde.

Im nächsten Schritt werden die zuvor ermittelten Zielkosten in die unterste Zeile links eingetragen. Dabei ist zu beachten, dass in diesem Beispiel nur die *Materialeinzelkosten* betrachtet werden. Durch Multiplikation der Zielkosten mit den jeweiligen Werten für die Bedeutung der einzelnen Funktionen erhält man schließlich die *Zielkosten pro Funktion*, welche sich nicht nur aus dem technisch bewerteten Beitrag der Funktion zum Gesamtprodukt ergeben, sondern explizit die Kundensicht mit einbeziehen. Allerdings besitzen sie bis zur weiteren Verteilung auf die einzelnen Substanzen eher abstrakte Bedeutung.

Neben der Bedeutung der Funktionen und ihren Zielkosten sind weiterhin die ‚Zielwerte‘ der Funktionen wichtig für die Entwicklungsarbeit; diese werden in die Zeile

„Zielwert Funktionen“ eingetragen. Darunter werden diejenigen Spezifikationen der Funktionen verstanden, welche diese zum Erreichen der Kundenanforderungen mindestens erzielen müssen; eine Übererfüllung führt zu ‚Overengineering‘ und ist zu vermeiden.

Wie in diesem Abschnitt gezeigt wurde, transformiert die *Anforderungen-Funktionen-Matrix* die Kundenanforderungen in die Funktionen und ihre Bedeutung und weist ihnen jeweils Zielkosten zu. Im nächsten Schritt des CCE wird aufgezeigt, wie die Zielwerte und Kosten der Funktionen auf die nächste Ebene, die Substanzklassen, heruntergebrochen werden können.

7.2.2.2 Funktionen-Substanzklassen-Matrix

Die *Funktionen-Substanzklassen-Matrix* erlaubt es den Entwicklern, die verschiedenen Komponenten- bzw. Substanzklassen, welche zur Erfüllung der Zielwerte der Funktionen beitragen können, zu erarbeiten. Eine *Substanzklasse* stellt dabei eine Gruppe von Substanzen mit *ähnlicher* chemisch-physikalischer Wirkungsweise dar.²⁷¹ Die Eingangsdaten dieser Matrix ergeben sich aus den Resultaten der vorangegangenen *Anforderungen-Funktionen-Matrix*. Entsprechend werden die drei linken Spalten mit den Angaben zu den Produktfunktionen, ihren Zielkosten und ihren Zielwerten gefüllt.

Die in dieser Matrix notwendigen Arbeitsschritte können aufgrund des notwendigen Fachwissens in der Regel nur noch von den Entwicklern wahrgenommen werden. Sie erarbeiten zunächst die zur Funktionserfüllung notwendigen Substanzklassen (z.B. *Bleichmittel*, *Aniontenside*, *Entkalker*) und bewerten ihren Beitrag zu den jeweiligen Produktfunktionen. Letztere werden zu insgesamt 100% durch die Wirkungen der verschiedenen Substanzklassen erfüllt, wie auch hier aus der Quersumme 100% hervorgeht (da es sich noch nicht um konkrete Komponenten bzw. Substanzen handelt, wird immer von einer vollen Erfüllung der jeweiligen Zielwerte der Funktionen ausgegangen). Die Bedeutung der verschiedenen Substanzklassen aus Kundensicht erfolgt analog zur vorangegangenen Matrix durch Multiplikation aller in einer Spalte aufgeführten, zu der jeweiligen Substanzklasse gehörenden Werte mit dem gewichteten Wert der jeweiligen unterstützten Funktion (aus der ersten Matrix) und der anschließenden Summation (*Abbildung 85*).

²⁷¹ Dies muss nicht gleichzeitig bedeuten, dass die entsprechenden Substanzen auch strukturell verwandt sind. So kann eine Funktion einerseits durch Substanzen einer bestimmten strukturellen Gruppe, z.B. durch Alkohole oder Carbonsäuren, oder aber auch durch Substanzen mit stofflich ähnlichen Eigenschaften, aber ohne strukturell verwandten Molekülaufbau erfüllt werden, z.B. Füllstoffe oder Bindemittel.

Funktionen-Substanzklassen-Matrix		Substanzklassen																		
Produkt-funktionen	Target Costs	Zielwert	Bleiche			Tenside		Enzyme	Builder	Cobuilder		Hilfsstoffe					Summe Unterstützungs-grad			
			Bleichmittel	Bleich-aktivatoren	Bleichstabilisatoren	Aniontenside	Noniontenside		Entkalker	Soda	Polycarboxylate	Stellmittel	Duftstoff	Korrosions-inhibitoren	Vergrauungs-inhibitoren	Aufheller		Farbstoffe		
Bleichkraft bei allen Temperaturen	0,39	50-9000 °C	50%	35%	15%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100%	
Substanzen lösen und in Schwebelösung halten	0,52	> 10 mg/l	0	0	0	25%	30%	20%	14%	8%	3%	0	0	0	0	0	0	0	100%	
Rieselfähigkeit erhalten	0,07	< 0,015 g/l	0	0	0	5%	10%	0	0	0	0	85%	0	0	0	0	0	0	100%	
Kalkfällung verhindern	0,07	PO4-Gehalt < 0,1 mg/l	0	0	0	10%	10%	0	0	5%	0	75%	0	0	0	0	0	0	100%	
In Waschwasser löslich	0,07	> 10 mg/l	0	0	0	0	0	0	97%	0	3%	0	0	0	0	0	0	0	100%	
Duftstoffe freisetzen	0,13	> 10 mg/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100%	0	0	0	0	0	100%	
Faserstruktur nicht angreifen	0,78	pH < 10	20%	0	0	30%	30%	0	0	20%	0	0	0	0	0	0	0	0	100%	
Maschine entkalken	0,13	-	0	0	0	0	0	0	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100%	
Maschine vor Korrosion schützen	0,13	pH < 10	0	0	0	0	0	0	0	15%	0	0	0	85%	0	0	0	0	100%	
Hautverträglichkeit garantieren	0,18	Allergene < 1 mg/l	30%	0	0	15%	15%	0	0	20%	0	0	0	0	0	20%	0	0	100%	
Biologische Abbaubarkeit	0,08	OECD-Richtlinien	0	0	0	40%	55%	0	0	0	0	0	0	0	5%	0	0	0	100%	
Weißgrad erhalten	0,03	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100%	0	0	100%	
Farbigkeit verstärken	0,03	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100%	0	100%	
Bedeutung der Substanzklasse			16%	5%	2%	17%	18%	4%	11%	10%	1%	4%	5%	4%	0%	2%	1%		100%	
Target Costs (€ / kg)			2,60	0,406	0,137	0,059	0,433	0,474	0,104	0,273	0,257	0,018	0,108	0,130	0,111	0,004	0,062	0,026		

Abbildung 85: Die Funktionen-Substanzklassen-Matrix des Chemical Cost Engineering

Die Projektion der Produktzielkosten auf die erarbeiteten Substanzklassen wird erreicht, indem die gesamten Zielkosten mit der Gesamtbedeutung jeder Substanzklasse multipliziert und pro Spalte ausgewiesen werden. Dadurch kann wiederum eine kundenorientierte und technisch basierte Aufteilung der Zielkosten sichergestellt werden: Obwohl die Gewichtung aufgrund der spezifischen chemisch-physikalischen Wirkungszusammenhänge allein von den Entwicklern vorgenommen werden kann, bleibt so die Kundenperspektive durch die Übernahme der kundenorientierten Funktionsgewichtung aus der ersten Matrix erhalten. Pro Substanzklasse gibt es weiterhin genauso viele Zielwerte, wie sie Funktionen unterstützt. Diese können in Wert und Dimension verschieden sein, weil die jeweiligen Funktionen unterschiedliche Leistungsbeiträge der Substanzklasse erfordern.

7.2.3 Entwicklungsphase

Die *Entwicklungsphase* stellt die operative Umsetzung des durch das CCE erarbeiteten *Produktkonzeptes* dar. Hierzu nehmen die Produktentwickler im Labor chemische und/oder physikalische Modifikationen vor, welche zur Synthese bzw. Formulierung des gewünschten Produkts führen. Wenn die Fertigung im Labormaßstab abgeschlossen

und die Ergebnisse analytisch abgesichert worden sind, erfolgt die experimentelle Überprüfung der Produkteigenschaften.

Es ist in der Chemie nicht ungewöhnlich, dass in der experimentellen Entwicklungsphase die angestrebte Produktlösung in ihren Eigenschaften von den Zielwerten abweicht, da je nach Komplexität des Produkts die intra- und intermolekularen Wechselwirkungen in der Konzeptphase nur eingeschränkt abgeschätzt werden konnten. In dem Moment, in dem z.B. die 15 Inhaltsstoffe des obigen Beispiels in (Wasch-) Wasser gelöst werden, treten sie aufgrund der gemeinsamen Einbringung in die flüssige Phase vermehrt in physikalisch-chemische Wechselwirkung (vgl. *Abbildung 86*). In diesen Fällen müssen gegebenenfalls einzelne Schritte des CCE wiederholt werden, um ein Erreichen der Zielkosten und Zielwerte sicherzustellen.

In der Entwicklungsphase bedienen sich die Entwickler der letzten Matrix des CCE, welche die zuvor bestimmten Substanzklassen durch adäquate Substanzen *konkretisiert*. Dabei ist es durchaus möglich, dass es mehrere Substanzen pro Klasse gibt, welche die Target Cost und die geforderten Zielwerte erreichen können. Die möglichen Kombinationen der einzelnen Substanzen, die insgesamt den Anforderungen an die Substanzklassen gerecht werden, werden auf verschiedene Matrizenblätter aufgetragen (*Alternative 1, Alternative 2, usw.; Abbildung 86* wäre in diesem Fall ‚Alternative 1‘). Sie stellen somit *alternative Rezepturen* dar. Das Ausfüllen der Substanzklassen-Substanzen-Matrix beinhaltet anfangs nur das Einsetzen der Substanzen, welche dann sowohl auf das Erreichen der Zielkosten als auch der Zielwerte überprüft werden. Dieser Schritt kann teilweise ‚auf dem Papier‘ erfolgen, jedoch müssen auch immer wieder einzelne Eigenschaften und das Erreichen der Zielwerte experimentell überprüft werden.

Ein Wert von 100% beschreibt die vollständige Zielerreichung, ein Wert von weniger als 100% drückt aus, mit welchem Anteil bisher das Ziel erreicht worden ist. Eine Übererfüllung (Wert über 100%) ist nur hinsichtlich der Zielkosten von Vorteil, eine Übererfüllung der Zielwerte hingegen ist nicht gewünscht.²⁷² Die jeweiligen Werte werden in die Felder eingetragen, an denen sich Zeilen und Spalten der betroffenen Substanzklassen und Substanzen kreuzen: das Erreichen der Zielkosten wird in das *linke Feld*, das der Zielwerte in *rechte Feld* eingetragen, je nachdem wieviel Zielwerte die Substanz erfüllen soll. In den Fällen, in denen die Bedeutung der Substanzklasse hoch und damit die *Target Cost* ohnehin schon relativ hoch sind, sind die zulässigen Kostenabweichungen geringer als für unbedeutendere Substanzklassen, welche nur einen geringen Anteil an den Zielkosten darstellen.²⁷³ Am Ende jeder Zeile wird eine Gesamtbewertung der

²⁷² Die Zielkosten berücksichtigen auch die eingesetzten Substanzmengen.

²⁷³ Für das Target Costing sind für diesen Zweck ‚Zielkostendiagramme‘ entwickelt worden, welche eine ‚Zielkostenzone‘ definieren, innerhalb derer die Zielkosten von der Ideallinie abweichen dürfen (Zielkostenindex = 1, d.h. relative Bedeutung und tatsächlicher Kostenanteil sind identisch; vgl. HORVÁTH ET AL. 1993, S. 15).

bewertung der einzelnen Substanzen vorgenommen, die sich aus der Zielkostenerreichung und der (arithmetisch gemittelten) Zielwerterreichung zusammensetzt.

Substanzklassen	Zielwert	Substanzen & Erfüllungsgrad																Alternative 1	
		Natungarborat	TAED	EDTA	Alkybenzoesulfonate	Fettsäurepolyglykolyther	Protease A	Zn-enth. A	Natriumcarbonat	Polyacrylat	Natriumsulfat	Chromsäure	Natriummetasilicat	Silbernitrat	Carboxymethylcellulose	Feststoff A	Erreichung Target Cost (gesamt)	Erreichung Zielwert (einzeln, gewichtet)	
Bleichmittel	0,406	80%															90%	82%	
Bleichaktivatoren	0,137	114%	100%														114%	100%	
Bleichstabilisatoren	0,050			48%	100%												48%	100%	
Aniontenside	0,433				102%												102%	81%	
Niotenside	0,474				100%												100%	78%	
Enzyme	0,104					84%	100%										84%	100%	
Ertkalkler	0,273							119%	85%	100%							119%	93%	
Soda	0,257								96%	95%	90%	95%	80%				96%	85%	
Polycarboxylate	0,018								16%	95%	75%						16%	65%	
Stellmittel	0,106									114%	100%	65%					114%	83%	
Duftstoff	0,130										102%	85%					102%	85%	
Korrosionsinhibitoren	0,111																460%	90%	
Vergraunungsinhibitoren	0,004																23%	80%	
Aufheller	0,062																80%	63%	
Farbstoffe	0,026																95%	93%	
Materialkosten Target/ist	2,60 / 2,66	0,450	0,120	0,121	0,423	0,475	0,124	0,229	0,261	0,109	0,095	0,127	0,024	0,017	0,078		97,0%	95,2%	
Sonstige Kosten Target/ist	0,000 / 0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,0%	0,0%	
Gesamtbewertung Alternative 1	2,60 / 2,66																97,0%	83%	

Erreichungsgrad der Zielkosten (Nur MEK)

Summe Erreichungsgrad der Zielwerte

Zielkosten MEK

Gesamtbewertung der Lösungsalternative

Abbildung 86: Die Substanzklassen-Substanzen-Matrix des Chemical Cost Engineering

Ist die Substanzklassen-Substanzen-Matrix ausgefüllt, so erhält der Entwickler eine transparente Übersicht über die zur Produktherstellung notwendigen Substanzen, ihre zulässigen *Kosten* und ihren *Leistungsbeitrag* zu den Kundenanforderungen. Gibt es mehrere mögliche Kombinationen von Substanzen, welche die geforderten Merkmale erfüllen können, so können diese anhand der gesamten Zielerreichung, welche unten rechts abgetragen ist, miteinander *verglichen* werden. Das CCE kann daher das häufig intuitive Vorgehen auf eine neue, objektive Betrachtungsbasis stellen und so in der chemischen Produktentwicklung die Zielerreichung und -einhaltung verbessern.

Nach dem erfolgreichen Abschluss der Laborversuche wird die Synthese auf den Technikummaßstab übertragen. Auch in diesem Zwischenschritt des ‚Scale-Up‘ können sich abweichende Produkteigenschaften ergeben, welche erneute CCE-Zyklen bedingen können. Schließlich wird das Fertigungsverfahren an den endgültigen Produktionsmaßstab angepasst. Auch in dieser Phase kann eine Abweichung von den Zielwerten noch zu den beschriebenen, notwendigen Anpassungen führen.

Das hier vorgestellte Beispiel diene zur Einführung in die Methodik des CCE. Es muss darauf hingewiesen werden, dass dabei aus Gründen der Einfachheit nur die Material-einzelkosten in die Zielkosten einbezogen wurden; dies dürfte erfahrungsgemäß aber auch der Praxis in der chemischen Industrie entsprechen, wo den Entwicklern häufig nur Informationen über die Materialkosten zugänglich sind. Wie aus den unteren Zeilen in *Abbildung 86* hervorgeht, können prinzipiell jedoch weitere Kostenarten in die Systematik einbezogen werden.²⁷⁴

²⁷⁴ Zur Berechnung der verschiedenen Kostenkategorien des Target Costing (Allowable Cost, Drifting Cost, Target Cost) vgl. *Abschnitt 4.2.3.2*.

7.3 Fallbeispiel 3: Entwicklung eines Speziallacks

Nachfolgend wird anhand eines Praxisbeispiels die Möglichkeit einer Übertragung der CCE-Methodik auf die Entwicklung eines Speziallacks beschrieben. Dabei handelt es sich um eine Auftragsentwicklung, welche in einem mittelständischen Farben- und Lackunternehmen für einen Weltmarktführer im Bereich ‚Consumer Goods‘ durchgeführt wurde. Die Entwicklung wurde in den zentralen Forschungs- und Entwicklungslaboratorien durchgeführt, die Kundenbetreuung erfolgte durch die strategische Geschäftseinheit ‚Industrie‘, welche Lacke an industrielle Kunden vertreibt. Sensible Daten (z.B. Kosten, Anzahl und Bezeichnungen der wichtigen Rohstoffe) sowie die Prozesse mussten im Nachhinein teilweise verändert bzw. ergänzt werden, ohne die Konsistenz der Daten prinzipiell zu beeinträchtigen.

7.3.1 Vor- und Analysephase

Bei dem vorgestellten Produkt handelt es sich um eine Exklusiventwicklung mit zugesagten Abnahmemengen und -preisen und den Austausch eines Wettbewerberprodukts, weshalb die Untersuchung der *Markttrends* zügig abgeschlossen werden konnte (vgl. *Abbildung 83*): Die *Wettbewerbssituation* beschränkte sich weitgehend auf die Untersuchung der Marktbedeutung des zu ersetzenden Produkts, und die *Kundenanforderungen* konnten durch Befragung vor Ort unmittelbar zusammengefasst werden. Die *Technologietrends* ergaben, dass die notwendige Herstelltechnologie in anderen Bereichen des Unternehmens vorhanden und der notwendige Know-how-Transfer für die Fertigung gegeben war. Das *interne Know-how* umfasste weiterhin die umweltfreundliche, d.h. lösmittelarme bzw. -freie Lackformulierung, so dass auch die für diesen Produktbereich maßgeblichen EU-Bestimmungen für die Reduzierung des Lösemittelgehalts von Lacken, welche im Jahr 2007 in Kraft treten, eingehalten werden konnten (*F&E-Umwelt, F&E-State-of-the-Art*).

Aus der Analyse der *internen Situation* wurde eine bereichsspezifische *Gewinnvorgabe* formuliert. Im Rahmen einer Kalkulation wurden für das Fallbeispiel Ziel-Rohstoffkosten festgelegt, welche den Entwicklern als Ziel-Materialeinzelkosten vorgegeben wurden. Die übrigen Fertigungs- und Overheadkosten wurden als Kostenblock aufgrund von Erfahrungswerten festgelegt und zur Ermittlung der Ziel-Materialkosten vom Zielgewinn abgezogen, jedoch den Entwicklern nicht zur Verfügung gestellt. Ihnen waren nur noch die verschiedenen Materialgemeinkosten für die Rohstoffentnahme aus Tanklagern oder Containern bekannt, welche aber aufgrund der Einarbeitung in die neue Methodik nicht explizit in ihre Verantwortung gelegt wurden.

7.3.2 Konzeptphase

Bei dem gewünschten Produkt handelte es sich um eine Lackbeschichtung, welche im Inneren eines Geräts für die Heißdampftextilpflege aufgebracht werden sollte. Hauptanforderung an den Lack war, beim Auftreffen von Wassertropfen aus dem Wassertank die *Verdampfungseigenschaften* der Verdampfungsfläche zu verbessern und die *Verdampfungsgeschwindigkeit*²⁷⁵ zu erhöhen. Kundenseitig enthielt das Pflichtenheft neben dieser Anforderung weitere, rein qualitative Anforderungen, da im Vordergrund das Erreichen und die Verbesserung der Eigenschaften des Vorgängerproduktes stand, welches seit vielen Jahren ohne Veränderung eingesetzt wurde, weshalb ‚quantitativ‘ verwendbares Spezialwissen fehlte (*Abbildung 87*); nur die Haltbarkeitsdauer des Lacks wurde ‚quantitativ‘ auf den Lebenszyklus des Gerätes festgelegt. Weiterhin wurde eine besondere Beständigkeit der Lackschicht gefordert, welche selbst bei fortgesetzter Beanspruchung keine sichtbaren Partikel bilden darf („Flitter“), die sich durch die Dampfdufen auf den Textilien absetzen könnten (obwohl diese Anforderung eher Schaden vermeidet als unmittelbaren Kundennutzen erzeugt, erhielt dieser Kundenwunsch die höchste Bedeutung, da es sich um ein ‚K.o.-Kriterium‘ handelte). Außerdem wurde die Beständigkeit des Lacks gegen *Auswaschen* einzelner Bestandteile, gegen hohe *Temperaturen* und gegen ein *Zusetzen* mit Kalkablagerungen gewünscht. Hinsichtlich der Verarbeitungseigenschaften wurde noch auf die Spritzfähigkeit und eine gleichmäßige Filmbildung beim Auftragen des Lacks in der Produktion Wert gelegt.

Im nächsten Schritt wurde der aus dem Pflichtenheft in die *Kundenwunsch-Funktionen-Matrix* übernommene *Kundenwunsch* in die notwendigen *Produktfunktionen* übersetzt. Daraufhin legte die Entwicklung die *Unterstützungsgrade* der Funktionen zu den jeweiligen Kundenwünschen fest, berechnete die *Bedeutung* der einzelnen Funktionen durch Multiplikation mit der Kundenbedeutung und definierte die *Zielwerte* der Funktionen. Aus der Bedeutung der Funktion und ihrer Multiplikation mit den gesamten Zielkosten (Materialkosten) ergaben sich weiterhin die Zielkosten pro Funktion. Wie aus *Abbildung 87* hervorgeht, war die wichtigste Funktion „Ionenspender in der Oberfläche verankern“²⁷⁶ mit 18% von 100% bewertet worden, woraus die Zielkosten von 1,14 €/Kg resultieren.

²⁷⁵ Trifft ein Wassertropfen auf eine Metalloberfläche, deren Temperatur über dem Siedepunkt von Wasser liegt, so verdampft der Wassertropfen, sobald er mit der Metallplatte in Berührung kommt. Ist der Siedepunkt deutlich überschritten, so kann unter dem einzelnen Tropfen ein ‚Dampfkissen‘ entstehen: Die Wassermoleküle verdampfen unter diesen Umständen so schnell an der Berührungsfläche, dass sie wie eine Isolierschicht den Rest des Tropfens vor der heißen Fläche schützen und unter diesem ein ‚Dampfkissen‘ bilden. Die weitere Verdampfung des Wassertropfens wird dadurch stark vermindert, und der Tropfen beginnt zu ‚tanzen‘. Dieser Effekt heißt „Leidenfrost-Phänomen“ und ist nach dem deutschen Mediziner Johann Gottlieb Leidenfrost (1715-1794) benannt.

²⁷⁶ Der Ionenspender in der Lackoberfläche soll in erster Linie ein Auswaschen der mineralischen Lackbestandteile verhindern, welche z.B. durch osmotische Drücke in die mineralhaltige Phase des auftreffenden Wassertropfens übergehen könnten. Außerdem unterstützt er zu ca. 30% die Vermeidung von dunklem ‚Flitter‘.

Anforderungen-Funktionen-Matrix		Funktionen													
Kundenwunsch	Kundenbedeutung (%)	Hohe Oberflächenspannung der Schicht gewährleisten	Hohe Porosität ermöglichen	Filmbildung ermöglichen	Hohe Festigkeit des Films gewährleisten	Haftung zum Untergrund bilden	Thixotropes Verhalten einstellen	Keine flüchtigen Substanzen außer Wasser freisetzen	Ionenspender in der Oberfläche verankern	Schnelle Trocknung ermöglichen	Verarbeitbarkeitsviskosität einstellen	Komponenten in Wasser dispergieren	Nicht oxydierbare Komponenten enthalten	Keine toxischen Komponenten enthalten	Summe Unterstützungsgrad
		Wassertropfen muß schnell verdampfen	15%	50%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Beim Aufbringen gleichmäßiger Film, auch an Kanten	8%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	0%	100%
Kein Geruch	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Film darf nicht ausgewaschen werden	10%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Keinen dunklen Flitter bilden	25%	0%	0%	0%	40%	30%	0%	0%	30%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Film darf nicht von kalkhaltigem Wasser zugesetzt werden	7%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Einkomponentig stabil	6%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	50%	0%	0%	0%	0%	100%
Spritzfähig	12%	0%	0%	10%	0%	0%	30%	0%	0%	30%	30%	0%	0%	0%	100%
Wasserverdünnbar	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	100%
Temperaturstabil	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	100%
Entsorgung unproblematisch	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	0%	20%	0%	70%	100%
Sonstiges	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
SUMME	100%														
Bedeutung der Funktion	8%	15%	1%	10%	8%	11%	3%	18%	7%	8%	5%	7%	1%	100%	
Zielwert Funktionen	>75 mN/cm	mikroskopisch	≤10 °C, optisch	10 Scheuerzyklen	>0,5 MN/m ²	250-300 Haake-Einheiten	positiv	Ca ²⁺ > 10 ⁻¹⁵ mol/l	staubtrocken 40 °C < 10 min	250-300 Haake-Einheiten	positiv	>300 °C	positiv		
Target Costs Funktionen [€ / kg]	6,50	0,49	0,94	0,08	0,65	0,49	0,69	0,20	1,14	0,44	0,49	0,35	0,46	0,09	

Abbildung 87: Kundenwunsch-Funktionen-Matrix eines Speziallacks

Der zugehörige Zielwert beschreibt die Konzentration von Ca²⁺-Ionen, welche in der Lackoberfläche enthalten sein müssen. Als zweitwichtigste Funktion wurde „hohe Porosität ermöglichen“²⁷⁷ ermittelt, die 15% von 100% erhielt und zu Zielkosten von 0,94 €/Kg führte; ihr Zielwert wird durch eine qualitative, mikroskopische Unter-

²⁷⁷ Eine hohe Porosität der Oberfläche erleichtert die Verdampfung der auftreffenden Wassertropfen, da die Wärme des metallischen Unterbodens besser geleitet wird; gleichzeitig verhindert sie die Ablagerung von Kalkschichten (CaCO₃).

suchung der Lackoberfläche eingehalten. Die geringste Bedeutung mit jeweils 1% erhielten die Funktionen „Filmbildung ermöglichen“ sowie „keine toxischen Komponenten enthalten“, da sie nur mit geringem Anteil zu wichtigen Anforderungen bzw. mit hohem Anteil zu unwichtigen Anforderungen beitragen.

Funktionen-Substanzklassen-Matrix		Substanzklassen								
Produktfunktionen	Target Costs	Zielwert	Bindemittel	Verdicker	Füllstoff	Lösemittel	Trocknungs- beschleuniger	Stabilisator	Haftpromotor	Summe Unterstützungs-grad
			Hohe Oberflächenspannung der Schicht gewährleisten	0,49	> 75 mN/cm	40%	5%	40%	0	
Hohe Porosität ermöglichen	0,94	mikroskopsch	30%	20%	20%	20%	10%	0	0	100%
Filmbildung ermöglichen	0,08	<40 0C, optisch	40%	20%	10%	20%	0	0	10%	100%
Hohe Festigkeit des Films gewährleisten	0,65	10 Scheuerzyklen	30%	10%	30%	0	20%	10%	0	100%
Haftung zum Untergrund bilden	0,49	>0,5 MN/m2	40%	0	0	20%	0	0	40%	100%
Thixotropes Verhalten einstellen	0,69	250-300 Hake-Einheiten	20%	70%	0	0	0	10%	0	100%
Keine flüchtigen Substanzen außer Wasser freisetzen	0,20	positiv	20%	5%	0	60%	5%	5%	5%	100%
Ionenspender in der Oberfläche verankern	1,14	Ca ²⁺ > 10 ⁻¹⁵ mol/l	20%	3%	40%	0	0	37%	0	100%
Schnelle Trocknung ermöglichen	0,44	ken 40 0C < 10	20%	0	10%	20%	50%	0	0	100%
Verarbeitungsverviskosität einstellen	0,49	250-300 Hake-Einheiten	10%	40%	20%	25%	0	5%	0	100%
Komponenten in Wasser dispergieren	0,35	positiv	5%	40%	30%	0	10%	5%	10%	100%
Nicht oxydierbare Komponenten enthalten	0,46	>300 0C	40%	40%	5%	0	10%	2%	3%	100%
Keine toxischen Komponenten enthalten	0,09	positiv	14%	14%	14%	15%	15%	14%	14%	100%
Bedeutung der Substanzklasse			25%	21%	20%	10%	8%	10%	5%	100%
Target Costs (€ / kg)		6,50	1,653	1,352	1,325	0,644	0,549	0,629	0,347	

Abbildung 88: Funktionen-Substanzklassen-Matrix eines Speziallacks

Im nächsten Schritt der Konzeptphase wurden die *Funktionen* vom Entwicklungsteam in die verschiedenen *Substanzklassen* überführt. Für den benötigten Speziallack wurden sieben Substanzklassen herausgearbeitet, mit denen voraussichtlich alle geforderten Funktionen und ihre Zielwerte erfüllt werden können. Wie aus *Abbildung 88* hervorgeht, sind *Bindemittel*, *Verdicker* sowie *Füllstoffe* von besonderer Bedeutung für die Qualität des Lacks, da sie zusammen zwei Drittel der nachgefragten Eigenschaften bestimmen; hervorzuheben ist dabei besonders das Bindemittel, welches alle Funktionen mit unterschiedlichen Beiträgen beeinflusst. Wie in den vorangegangenen Schritten wurden auch hier die Zielkosten durch Multiplikation mit der Bedeutung der Substanzklasse erhalten, welche wiederum durch Multiplikation der Bedeutung aller einzelnen

Funktionen mit dem jeweiligen Spaltenwert und anschließende Summation berechnet wurde. Wie bereits betont, ermöglicht dieses Vorgehen analog zum Target Costing-Prozess die Verbindung von technischer Bewertung und kundenorientierten Zielkosten, da die Kosten immer unter Einbezug der Kundenperspektive ermittelt werden.

7.3.3 Entwicklungsphase

In der Entwicklungsphase wurden die Substanzklassen durch geeignete Substanzen konkretisiert. Hierzu wurden in einem *Brainstorming* mögliche Substanzen diskutiert und jede in Erwägung gezogene Substanz sowohl hinsichtlich der Erfüllung der Zielkosten der Substanzklassen als auch aller Zielwerte der Substanzklassen bewertet; das Resultat dieses Prozesses ist in *Abbildung 89* abgebildet. Diese Bewertung konnte zum Teil aus Erfahrung abgeleitet werden, musste aber teilweise auch durch experimentelle Arbeiten im Labor verifiziert werden. Dabei wurde auf die Lösungsmethode der ‚hierarchischen Strukturierung und Dekomposition‘ zurückgegriffen, wie sie in *Abschnitt 3.2.2.3* beschrieben wurde; teilweise wurde diese bereits in der Konzeptphase eingesetzt, wie dort ebenfalls erwähnt.

Für die Bindemittel-Substanzklasse wurden die besten Ergebnisse durch eine – anderweitig bereits teilweise eingesetzte – Mischung von zwei unterschiedlichen Typen („Nanosol R202“, „diperal 2“) erhalten, welche sich insbesondere hinsichtlich der Zielwerte für die „Ionenspender“ sowie der „Verarbeitungsviskosität“ ergänzten; der Erfüllungsgrad der Zielwerte lag bei 88%.²⁷⁸ Während *Nanosol R202* die Zielkosten nur zu 75% erreichte, wurde in Kombination mit *Disperal 2* (162%ige Erfüllung) insgesamt eine *Übererfüllung* der Zielkosten für die Substanzklasse Bindemittel (119%) erreicht. Auch ergaben sich durch diese Bindemittel geringere Materialgemeinkosten, da ihr Lagerplatz und ihre Einbringung in Produktion und Abfüllung wenig manuelle Prozesse erforderlich machte (*fertigungsgerechte Rezeptur*; vgl. *Abschnitt 5.2.3.3*).

²⁷⁸ Die Berechnung der Zielwerte erfolgte wiederum arithmetisch, d.h. die Summe der Erfüllungsgrade in % wurde durch die Anzahl an Zielwerten geteilt, um die Zielerreichung pro Substanzklasse zu ermitteln. Um die Zielerreichung der gesamten Lösungsalternative zu bestimmen, wurde die Zielerreichung der Substanzklasse mit ihrer Bedeutung multipliziert und alle entsprechenden Werte wurden durch die Anzahl an Substanzklassen dividiert. Dieses Vorgehen ist aufgrund reduzierten Rechenaufwands zwar pragmatisch, kann jedoch die tatsächlichen Verhältnisse nicht unbedingt exakt abbilden, da davon ausgegangen wird, dass alle Zielwerte gleichgewichtig in die Zielbewertung eingehen.

Substanzklassen-Substanzen-Matrix		Substanzen											Alternative 1	
Substanzklassen	Target Costs	Zielwert	Hansol R202	diperal 2	Monomethyl	Aerosil XP	Silifolin	China Clay 20PP	H2O (Benetzstoff)	Slan I	Metallhydroxyd	Slan II	Erreichung Target Cost (Gesamt)	Erreichung Zielwert (eigen, genehmigt)
Bindemittel	1,653	+75 mHfAm	100%	95%									119%	88%
		mikrarr	100%	100%										
		bagoch	100%	70%										
		agstsch	100%	100%										
		10 Zinkoxyd	100%	100%										
		10 Zinkoxyd	100%	100%										
		10 Zinkoxyd	100%	100%										
		10 Zinkoxyd	100%	100%										
		10 Zinkoxyd	100%	100%										
		10 Zinkoxyd	100%	100%										
Verdicker	1,352	+75 mHfAm			75%	10%	95%						191%	76%
		mikrarr			10%	85%	85%							
		bagoch			80%	70%	70%							
		agstsch			100%	80%	80%							
		10 Zinkoxyd			100%	80%	85%							
		10 Zinkoxyd			100%	80%	90%							
		10 Zinkoxyd			100%	80%	90%							
		10 Zinkoxyd			100%	80%	90%							
		10 Zinkoxyd			100%	80%	90%							
		10 Zinkoxyd			100%	80%	90%							
Füllstoff	1,325	+75 mHfAm					50%						1921%	69%
		mikrarr					20%							
		bagoch					10%							
		agstsch					10%							
		10 Zinkoxyd					50%							
		10 Zinkoxyd					10%		0%					
		10 Zinkoxyd					100%		100%					
		10 Zinkoxyd					50%		50%					
		10 Zinkoxyd					100%		100%					
		10 Zinkoxyd					60%		100%					
Lösemittel	0,6442	+75 mHfAm							100%				724%	100%
		mikrarr							100%					
		bagoch							100%					
		agstsch							100%					
		10 Zinkoxyd							100%					
		10 Zinkoxyd							100%					
		10 Zinkoxyd							100%					
		10 Zinkoxyd							100%					
		10 Zinkoxyd							100%					
		10 Zinkoxyd							100%					
Trocknungsbeschleuniger	0,5493	+75 mHfAm											85%	64%
		mikrarr												
		bagoch												
		agstsch												
		10 Zinkoxyd												
		10 Zinkoxyd												
		10 Zinkoxyd												
		10 Zinkoxyd												
		10 Zinkoxyd												
		10 Zinkoxyd												
Stabilisator	0,629	+75 mHfAm											5155%	63%
		mikrarr												
		bagoch												
		agstsch												
		10 Zinkoxyd												
		10 Zinkoxyd												
		10 Zinkoxyd												
		10 Zinkoxyd												
		10 Zinkoxyd												
		10 Zinkoxyd												
Haftpromotor	0,347	+75 mHfAm											48%	60%
		mikrarr												
		bagoch												
		agstsch												
		10 Zinkoxyd												
		10 Zinkoxyd												
		10 Zinkoxyd												
		10 Zinkoxyd												
		10 Zinkoxyd												
		10 Zinkoxyd												
Materialkosten Target/Ist	6,50	6,28	2,202	1,020	0,455	0,850	0,250	0,040	0,089	0,648	0,012	0,719	103%	77%
Sonstige Kosten	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0%	
Gesamtwertung Alternative 1	6,50	6,28											103,4%	80%

Abbildung 89: Substanzklassen-Substanzen-Matrix eines Speziallacks

Auch die Verdicker wurden als Mischung eingesetzt; in der Summe ergab sich hier eine deutliche Übererfüllung der Zielkosten (191%) sowie ein nur teilweises Erreichens der Zielwerte, das akzeptiert wurde, da andere Kombinationen in der experimentellen Überprüfung ebenfalls Schwächen aufwiesen, wenn auch bezüglich anderer Zielwerte. Da die gewählten Verdicker jedoch bereits intern verwendet wurden, konnte eine Erhöhung der Rohstoffvielfalt mit den entsprechenden Kosten vermieden werden (*Substanzfami-*

lie). Ähnlich verhielt es sich mit den Füllstoffen, welche ebenfalls aufgrund einer Zielkosten-Übererfüllung und einer unzureichenden Erfüllung der Zielwerte Gegenstand mehrerer CCE-Zyklen waren (im Sinne von abwechselnder Kosten- bzw. Qualitätsoptimierung; vgl. *Abbildung 82*).

Andererseits zeigte sich, dass das Einhalten der Zielkosten bei den beiden am geringsten bewerteten Substanzklassen „Trocknungsbeschleuniger“ und „Haftpromotor“ unter keinen Umständen zu erreichen war. Bei diesen Substanzen handelt es sich um spezielle *Hilfsstoffe*, welche ohne Spezialwissen aus Kundenperspektive nicht erkennbar sind und damit nur mit geringer Bedeutung in das Produkt eingehen. Allerdings handelt es sich dabei um chemisch komplexe Substanzen, welche hohe Kosten bei der Herstellung und dem Transport verursachen. Hier sollte in Zusammenarbeit mit einem Zulieferer nach Möglichkeiten gesucht werden, durch eine *Verbesserung der Ist-Ausbeute* eine Optimierung des *Prozesskonzeptes* mit den entsprechenden Kostensenkungen herbeizuführen.

Im Endergebnis wurde die erarbeitete Lösungsalternative mit einer Zielerreichung von insgesamt 80% bewertet. Die Zielerreichung ergab sich aus der Unterschreitung der Zielkosten um 3% (entspricht 103% in *Abbildung 89*) sowie dem Erreichen der technischen Zielwerte im Ausmaß von 77%. Die relativ niedrige Zielerfüllung überrascht insofern, als das Produkt vom Kunden positiv aufgenommen wurde. Eine Erklärung könnte das Setzen zu hoher Zielwerte durch die internen Teams sein, was als Hinweis auf die Problematik des *Overengineering* in der chemischen Industrie gewertet werden könnte.

Weiterhin wurde in einer internen Schätzung – trotz des zunächst verstärkten methodischen Aufwands – für die Beschleunigung des Entwicklungsprozesses ein Potential von deutlich über 10% vermutet, wobei zu berücksichtigen ist, dass es sich hier um die erstmalige Anwendung dieser Methode handelte. Damit scheint die anfangs aufgestellte Hypothese bestätigt, dass es sich beim CCE um ein integriertes Instrument handelt, welches den Entwicklern in der chemischen Industrie hilft, *kundengerechte* und *kostengünstige* Produkte zu erarbeiten. Auch hat sich gezeigt, dass es frühzeitig eingesetzt werden kann und durch den methodischen Handlungsrahmen auch die Ablaufqualität (z.B. Beschleunigung des Entwicklungsprozesses, Überführung in Fertigungsmaßstab ohne aufwändige Nacharbeiten bzw. Korrekturen) verbessern kann.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Vor dem Hintergrund einer international gestiegenen Wettbewerbsdynamik und Verschiebungen in den Kostenstrukturen ist die Bedeutung eines *kontinuierlichen* und *systematischen Kostenmanagements* gestiegen. Diese Situation hat auch in der chemischen Industrie zu vermehrten Anstrengungen geführt, um die Kosten der Unternehmen durch eine Beeinflussung ihrer *Ressourcen, Prozesse* und *Produkte* zu senken. Während die Ressourcen und Prozesse in der Chemie schon seit längerem im Fokus von Kostensenkungsmaßnahmen stehen, ist den Produkten bislang *weniger Aufmerksamkeit* zuteil geworden. In den Ingenieurwissenschaften hingegen hat das produktorientierte Kostenmanagement eine langjährige Tradition. Dort wird schon seit Jahren die Entwicklung „marktgerechter“ und „kostengünstiger“ Produkte und das Schaffen von „kosteneffizienten Entwicklungsprozessen“ gefordert: Dazu werden sowohl strategische Instrumente wie das *Target Costing* als auch überwiegend operativ orientierte Instrumente wie *Simultaneous Engineering, Qualitäts- oder Kreativitätstechniken* eingesetzt (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2000, S. 19ff.).

In der chemischen Industrie, und insbesondere im Bereich der Produktentwicklung, ist allerdings ein beträchtliches *Defizit* im Hinblick auf ein ähnlich umfassendes *Gestaltungskonzept* für ein Kostenmanagement zu verzeichnen. Ein derartiges Konzept muss dort vom *Anbeginn* der *Entwicklung* die Produkte dergestalt zu beeinflussen suchen, dass die *gesamten Kosten* des Unternehmens *gesenkt* werden können. Aufgrund seiner praktischen Bedeutung muss das Konzept weiterhin gerade den Produktentwicklern als ‚Kostenverantwortlichen‘ auch umsetzbare *Handlungshinweise* geben können. Das zentrale *Forschungsziel* dieser Arbeit war daher die Ausarbeitung einer *theoretisch fundierten* und *empirisch gestützten* Konzeption für ein *Kostenmanagement* in der *chemischen Produktentwicklung*.

Die *theoretische Fundierung* erfolgte durch eine Analyse der Inhalte und Ziele eines Kostenmanagements und seine Übertragbarkeit auf Unternehmen der chemischen Industrie. Anhand der historischen Entwicklung konnte zunächst aufgezeigt werden, dass die *Ergebnissituation* der chemischen Industrie aufgrund kontinuierlich steigender Kosten und zugleich nahezu konstanter Erzeugerpreise *unter Druck* geraten ist. Diese Umstände hatten oftmals eine Neuorientierung der strategischen Ausrichtungen zur Folge, welche gerade in den 90er Jahren zu branchenweiten Umstrukturierungen geführt hatten. Für die Anwendung des produktorientierten Kostenmanagements war weiterhin eine Untersuchung der Abläufe der Forschung und Entwicklung und der *Klassen, des Aufbaus* und der *Struktur* von chemischen Produkten von Bedeutung.

Im Anschluss wurde das *Target Costing* als geeignetes strategisches Instrument für ein *produktorientiertes Kostenmanagement* in der chemischen Industrie herausgestellt: Die chemische Industrie agiert in wettbewerbsintensiven und preisbewussten Märkten mit

Produkten, welche sich häufig durch komplexe Strukturen auszeichnen und durch verschiedenartige Fertigungsprozesse – mit unterschiedlichen Kosten – hergestellt werden können. Auch konnte gezeigt werden, dass sich die einzelnen *Phasen* des Target Costing gut in die *Schritte* der *chemischen Produktentwicklung integrieren* lassen, so dass auch der frühzeitige Einsatz des Target Costing gewährleistet werden kann; damit war die *Übertragbarkeit* eines produktorientierten Kostenmanagement-Ansatzes auf die chemische Industrie dargelegt.

Als prinzipieller Ansatzpunkt für frühzeitige Kostensenkungsmaßnahmen wurde anschließend die *Komplexität* der betrieblichen Prozesse und Produkte als *strategischer Kostentreiber* diskutiert: Ihre Bedeutung hat durch die Zunahme der kundenorientierten Aktivitäten, z.B. im F&E- oder Vertriebsbereich, zusammen mit der fortschreitenden Automatisierung der Produktionsabläufe zugenommen. Einer Erfassung und Beeinflussung der Komplexität und der durch sie besonders verursachten Gemeinkosten stehen jedoch *Probleme* der *kostenrechnerischen Erfassung* derartiger Kosten entgegen, welche anhand der wichtigsten Kostenrechnungsverfahren diskutiert wurden.

Nachdem die theoretischen Grundlagen abgeschlossen waren, konnte die *empirische Konzeption* abgeleitet werden. Zunächst wurden *operative Kostentreiber* in verschiedenen Funktionsbereichen der chemischen Industrie vorgestellt. Grundlage dieser Ergebnisse waren eigene Erfahrungen und ausführliche Diskussionen mit Experten, welche in einer *Kosteneinflussmatrix* festgehalten wurden (sie ist in Form der Tabellen 6, 7 und 8 im Anhang aufgeführt). Diese Kostentreiber wurden in mittel- bis langfristig wirksame, *strategische Kostentreibergruppen* klassifiziert, welche die *Komplexität* von *betrieblichen Prozessen* und *chemischen Produkten* determinieren: die *Anforderungen*, welche extern und intern an ein Produkt gestellt werden, das *Konzept*, mit dem die Erfüllung der Anforderungen gewährleistet werden soll, sowie die *Vielfalt*, die die Anzahl an Varianten und Strukturkomponenten beschreibt, welche zur Realisierung der Anforderungen und des Konzeptes benötigt werden. Neben diesen Kostentreibern wurden weitere identifiziert, welche von *unterstützender Bedeutung* für den Erfolg der Kostenbeeinflussung sind, wie beispielsweise die Fokussierung der vorhandenen Entwicklungsressourcen auf die Projekte mit der höchsten Erfolgswahrscheinlichkeit oder die Versorgung der Prozessbeteiligten mit frühzeitigen Kosteninformationen, mit denen sie die Folgen ihrer Entwicklungsentscheidungen abschätzen können. Schließlich wurde der erste Teil der empirischen Konzeption mit einer qualitativen Einschätzung, in *welchem Umfang* die Entwickler *Einfluss* auf die genannten Kostentreiber *ausüben* können, vervollständigt.

Im zweiten Teil der empirischen Konzeption wurden die Kostentreiber in der chemischen Produktentwicklung detailliert vorgestellt und die jeweiligen *Maßnahmen*, mit denen die Entwickler diese Kostentreiber beeinflussen können, diskutiert. Dabei wurde deutlich, dass sich ein Kostenmanagement in der chemischen Produktentwicklung zum Teil erheblich von den *Ansätzen anderer Branchen unterscheidet*, teilweise aber auch *ähnliche Maßnahmen* ergriffen werden können, welche jedoch aufgrund der spezi-

fischen Eigenschaften chemischer Produkte zu *Unterschieden in der Umsetzung* führen können (z.B. Industrieprodukte, Spezialprodukte). Anhand von zwei Fallbeispielen wurde zudem die *empirische Bedeutsamkeit* der vorgestellten Maßnahmen unterstrichen.

Zum Schluss der Arbeit wurde ein selbst entwickeltes Instrument vorgestellt, welches als *methodischer Ablaufrahmen* für die *Durchführung* und dauerhafte organisatorische *Implementierung* der zuvor definierten, kostensenkenden Maßnahmen eingesetzt werden kann. Seine Anwendung kann die Arbeit der chemischen Produktentwickler dahingehend unterstützen, dass die *Einhaltung* sowohl der *kostenbezogenen* als auch der *qualitativ-technischen Ziele gewährleistet* werden kann, indem die *Entwicklungsprozesse standardisiert*, die *Transparenz von Produktentscheidungen erhöht* und die jeweils angemessenen, zuvor erläuterten *Maßnahmen ergriffen* werden. Das Instrument integriert hierzu das *Target Costing* mit dem *Quality Function Deployment* und wendet das daraus erarbeitete *Chemical Cost Engineering* auf chemische Entwicklungsprozesse an. Auch hier konnte an einem *Fallbeispiel* ausführlich die prinzipielle Eignung und *empirische Bedeutsamkeit* des Instruments aufgezeigt werden. Die durch das *Chemical Cost Engineering* ermöglichte Unterstützung bei der Entwicklung von markt- und kostengerechten Produkten kann darüber hinaus auch zusätzliche *Erlössteigerungen* realisieren helfen, welche eingangs neben dem Kostenmanagement als eine von drei Möglichkeiten zur *Steigerung des Unternehmenswertes* vorgestellt wurden (vgl. *Abschnitt 1.1*).

Die vorliegende Arbeit stellt damit die bisher differenzierteste Untersuchung eines Kostenmanagements in der chemischen Produktentwicklung in Deutschland dar. In der Praxis allenfalls intuitiv angewendete Maßnahmen sowie Ansätze aus anderen Branchen wurden erstmals *systematisiert* und in ein *Gesamtkonzept* für die Anwendung in der chemischen Industrie integriert. Die im Rahmen der Studie untersuchten *Ausgangshypothesen* wurden dabei *bestätigt*: Die Kostenverantwortung der Entwickler in der chemischen Industrie ist hoch, und produktorientierte Ansätze für ein Kostenmanagement in der chemischen Industrie bergen noch erhebliches Potential. Damit konnte gezeigt werden, dass durch ein produktorientiertes Kostenmanagement noch vielfältige Verbesserungen erzielbar sind, die sich positiv auf die Kostensituation von Unternehmen der chemischen Industrie auswirken sollten.

Für die Zukunft wird eine weitere *empirische Absicherung* der Ergebnisse vorgeschlagen. Dabei sollte einerseits die Bedeutung der vorgestellten Kostentreiber und ihrer Maßnahmen, insbesondere hinsichtlich ihrer quantitativen Auswirkungen, durch weitere Untersuchungen und Fallstudien abgesichert werden. Zum anderen bietet sich eine Differenzierung der Kostentreiber und Maßnahmen hinsichtlich ihrer Bedeutsamkeit für die unterschiedlichen Klassen von chemischen Produkten für eine weitergehende Analyse an. Vergegenwärtigt man, dass alleine die organische Chemie weit über sieben Millionen bekannter Substanzen umfasst, so wird deutlich, dass nicht nur die theoretische, sondern insbesondere die empirische Fundierung dieses Erkenntnisbereiches erst

am Anfang steht. Auch muss davon ausgegangen werden, dass die wirtschaftliche Situation der chemischen Industrie in naher Zukunft keine dynamischen Ergebnisverbesserungen bringen wird. Es bleibt daher zu hoffen, dass die vorstehenden Anstöße in zukünftigen Forschungsprojekten aufgegriffen werden, um durch eine Weiterentwicklung des *Kostenmanagements in der chemischen Produktentwicklung* in Theorie und Praxis die *Kostensituation* von chemischen Unternehmen nachhaltig zu verbessern und dadurch eine dauerhafte *Wertsteigerung* zu ermöglichen.

9 Anhang

9.1 Kosteneinflussmatrix

Die in die *Tabelle 6*, *Tabelle 7* und *Tabelle 8* unterteilte Kosteneinflussmatrix ist das Ergebnis der in *Abschnitt 4.6* beschriebenen Vorgehensweise und stellt die Grundlage der Ausführungen zur Kostensenkung des *Abschnitts 5* dar. Dort wurden die Korrelationen der jeweils diskutierten Maßnahme, welche von den Produktentwicklern in der chemischen Industrie getroffen werden kann, mit *ausgewählten* Kostentreibern beispielhaft aufgezeigt.

In den nachfolgenden Tabellen sind die Korrelationen zwischen *allen* untersuchten Maßnahmen aus dem Bereich der *unmittelbaren Einflussgrößen*, welche den Entwicklern chemischer Produkte prinzipiell zur Verfügung stehen, und den durch sie beeinflussbaren Kostentreibern aufgeführt. Dabei wird stets unterschieden, ob für eine umgesetzte Maßnahme eine Kostensenkung bzw. –veränderung zu erwarten ist oder nicht; keinesfalls kann von einem Automatismus ausgegangen werden, da die Spezifika der jeweiligen Produkte und Betriebe berücksichtigt werden müssen.

Wenn eine hier aufgeführte *Maßnahme* mit der Inanspruchnahme eines operativen bzw. taktischen *Kostentreibers* korreliert, dann erscheint im zugehörigen Feld das Zeichen „+“, andernfalls erscheint das Zeichen „0“. Eine *positive Korrelation* bedeutet in der Regel, dass durch eine Umsetzung der Maßnahme eine Kostensenkung in dem jeweiligen Bereich zu erwarten ist. In manchen Fällen ist es jedoch nicht möglich, im Falle einer positiven Korrelation unmittelbar auf eine Kostensenkung zu schließen, da es sich um die Auswahl von Alternativen handelt, von denen eine zu höheren Kosten führt (z.B. alternatives Wirkprinzip, kontinuierliche oder diskontinuierliche Produktion; vgl. *Abschnitte 5.1.2.1* und *5.2.3.4*).

Strategische Kostentreiber	Maßnahme	Kostenkategorien der Funktionsbereiche	F&E-Gemeinkosten								F&E-Einzelkosten
		operativ-taktische Kostentreiber	Anzahl Analysen Produktanforderungen (Lasten-, Pflichtenheft)	Anzahl an Produktkonzepten (Workshops, Literaturrecherchen)	Anzahl Funktionen und Komponenten/ Produkt	Anzahl Synthesestufen/ Produkt	Anzahl Versuchsansätze	Anzahl Qualitätskontrollen	Anzahl Dokumentationen	Anzahl verweilter Rezepturen	Höhe Materialkosten
Produktanforderungen	Reduktion Funktionen	Korrelation	0	+	+	+	+	+	+	+	+
	Reduktion Spezifikationen	Korrelation	0	+	+	+	+	+	+	+	+
Produktkonzept	Alternatives Wirkprinzip	Korrelation	0	+	+	+	+	+	+	+	+
	Erhöhung Wirkungsgrad	Korrelation	0	+	+	+	+	+	0	0	+
Produktvielfalt (extern)	Reduktion Varianten	Korrelation	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Produktvielfalt (intern)	Gleich-, Wiederholsubstanzen	Korrelation	0	+	+	+	+	+	+	+	+
	Aufbau Baukasten	Korrelation	0	+	+	+	+	+	+	+	+
	Bildung Plattform	Korrelation	0	0	+	+	+	+	+	+	+
	Bildung Substanzfamilie	Korrelation	0	+	+	+	+	+	+	+	+
Prozessanforderungen	Reduktion Normen	Korrelation	0	+	+	+	+	+	+	+	+
Prozesskonzept	Reduktion Synthesestufen	Korrelation	0	0	0	+	+	+	+	0	+
	Erhöhung Ist-Ausbeute	Korrelation	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fertigungsge-rechte Rezeptur	Korrelation	0	0	0	+	0	+	0	0	+
	Kontinuierlich/ Diskontinuierlich	Korrelation	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prozessvielfalt	Technologiefamilien	Korrelation	0	0	0	+	+	+	0	0	+

Tabelle 6: Einflussmöglichkeiten der Produktentwickler und Korrelationen von Kostentreibern und Maßnahmen mit dem Bereich Produktentwicklung

Strategische Kostentreiber	Maßnahme	Kostenkategorien der Funktionsbereiche	Arbeitsvorbereitungs- und Fertigungs-Gemeinkosten						Fertigungs-Einzelkosten			Materiallager- und Logistik-Gemeinkosten		
		operativ-taktische Kostentreiber	Anzahl Fertigungsplanerstellungen	Anzahl Umrüstungen	Anzahl Rohstoffe	Anzahl Synthesestufen/Fertigungssteuerungen	Anzahl Qualitätskontrollen	Anzahl Ausschusschargen	Umfang Fertigungszeiten	Höhe Materialkosten	Höhe Investitionskosten	Anzahl Eingangskontrollen	Anzahl Ein-/Auslagerungsvorgänge	Anzahl Verpackungen/Versendungen
Produktanforderungen	Reduktion Funktionen	Korrelation	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
	Reduktion Spezifikationen	Korrelation	0	+	0	+	+	+	+	+	+	+	0	0
Produktkonzept	Alternatives Wirkprinzip	Korrelation	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Erhöhung Wirkungsgrad	Korrelation	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
Produktvielfalt (extern)	Reduktion Varianten	Korrelation	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Produktvielfalt (intern)	Gleich-, Wiederholsubstanzen	Korrelation	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Aufbau Baukasten	Korrelation	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
	Bildung Plattform	Korrelation	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Bildung Substanzfamilie	Korrelation	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	0
Prozessanforderungen	Reduktion Normen	Korrelation	0	+	0	+	+	+	+	+	+	+	0	0
Prozesskonzept	Reduktion Synthesestufen	Korrelation	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
	Erhöhung Ist-Ausbeute	Korrelation	0	+	0	+	+	+	+	+	+	0	0	0
	Fertigungsge-rechte Rezeptur	Korrelation	+	+	0	+	+	+	+	+	+	0	+	0
	Kontinuierlich/Diskontinuierlich	Korrelation	+	+	0	+	0	0	+	+	+	0	0	0
Prozessvielfalt	Technologiefamilien	Korrelation	+	+	0	+	+	+	+	+	+	0	0	0

Tabelle 7: Einflussmöglichkeiten der Produktentwickler und Korrelationen von Kostentreibern und Maßnahmen mit den Bereichen Arbeitsvorbereitung, Fertigung und Logistik

Strategische Kostentreiber	Maßnahme	Kostenkategorien der Funktionsbereiche	Einkauf-Gemeinkosten					Controlling-, Verwaltungs- und Vertriebs-Gemeinkosten						
		operativ-taktische Kostentreiber	Anzahl Angebote/Verhandlungen	Anzahl Bestellvorgänge	Anzahl Warenverfolgungen	Anzahl Rechnungskontrollen	Umfang Mindermengenzuschläge	Anzahl Produktkalkulationen	Anzahl Kostenberatungen	Anzahl Stammdaten	Anzahl Fachberatungen	Anzahl Produktschulungen	Anzahl Serviceleistungen (z. B. Reklamationsbearbeitung)	Umfang Investitionen (z. B. EDV)
Produktanforderungen	Reduktion Funktionen	Korrelation	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Reduktion Spezifikationen	Korrelation	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+	+
Produktkonzept	Alternatives Wirkprinzip	Korrelation	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Erhöhung Wirkungsgrad	Korrelation	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Produktvielfalt (extern)	Reduktion Varianten	Korrelation	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Produktvielfalt (intern)	Gleich-, Wiederholsubstanzen	Korrelation	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0
	Aufbau Baukasten	Korrelation	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0
	Bildung Plattform	Korrelation	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0
	Bildung Substanzfamilie	Korrelation	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0
Prozessanforderungen	Reduktion Normen	Korrelation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+
Prozesskonzept	Reduktion Synthesestufen	Korrelation	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	0	0
	Erhöhung Ist-Ausbeute	Korrelation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fertigungsgerechte Rezeptur	Korrelation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kontinuierlich/Diskontinuierlich	Korrelation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prozessvielfalt	Technologiefamilien	Korrelation	0	0	0	0	0	+	+	+	0	0	0	+

Tabelle 8: Einflussmöglichkeiten der Produktentwickler und Korrelationen von Kostentreibern und Maßnahmen mit den Bereichen Einkauf, Controlling, Verwaltung und Vertrieb

9.2 Erläuterungen zur Kosteneinflussmatrix

Kostenart	Untersuchter Prozessschritt	Beschreibung der kostenverursachenden Aktivitäten
F&E-Gemeinkosten	Anforderungen erstellen (Pflichtenheft/Lastenheft)	Zeitaufwand (Personalkosten) für die Erarbeitung der Gesamtheit der für eine bestimmte Problemlösung maßgebenden Zielvorstellungen, Randbedingungen und Bewertungskriterien durch die Produktentwickler und Teammitarbeiter aus anderen Funktionsbereichen, vornehmlich Marketing/Vertrieb.
	Ideenfindung	Zeitaufwand (Personalkosten) für die Erarbeitung möglicher Produktkonzepte, z.B. durch Literaturstudium oder im Rahmen von Workshops.
	Funktionen und Komponenten erarbeiten	Zeitaufwand (Personalkosten) für die strukturelle Konkretisierung eines Produktkonzeptes.
	Synthese konzipieren	Zeitaufwand (Personalkosten) für die Ausarbeitung eines Synthesewegs im Labormaßstab für ein Produktkonzept.
	Experiment durchführen	Zeitaufwand (Personalkosten) für die experimentelle Durchführung eines Synthesewegs im Labormaßstab bis zur Darstellung des Produkts.
	Qualitätskontrolle	Zeitaufwand (Personalkosten) für die qualitative/quantitative Analyse eines synthetisierten Produkts hinsichtlich struktureller Integrität, Reinheit und Ausbeute.
	Dokumentation	Zeitaufwand (Personalkosten) für die schriftliche Dokumentation von Versuchsziel, -aufbau, -durchführung und -ergebnis.
	Verwaltung Rezepturen und Spezifikationen	Zeitaufwand (Personalkosten) für die routinemäßige Pflege von vorhandenen Rezepturen und Spezifikationen, welche z.B. bei Umbenennungen von Rezepturbestandteilen, veränderten Sicherheitsvorschriften oder Updates/Releasewechseln von Rezepturdatenbanken, Wissensmanagementdatenbanken oder Produktionssteuerungsprogrammen anfallen.
F&E-Einzelkosten	Materialkosten	Kosten für verbrauchte Reagenzien bei der Durchführung von Experimenten und Analysen sowie Anlagennutzungskosten von Messgeräten.

Tabelle 9: Übersicht über die F&E-Kosten, ausgewählte Prozessschritte und die kostenbestimmenden Aktivitäten

Kostenart	Untersuchter Prozessschritt	Beschreibung der kostenverursachenden Aktivitäten
Arbeitsvorbereitungs- und Fertigungsgemeinkosten	Fertigungsplanerstellung	Zeitaufwand (Personalkosten) für die Planung der Fertigungsabläufe einschließlich logistischer Versorgung (Vorräte, Transporte, Lager).
	Rüstzeiten	Zeitaufwand pro Rüstvorgang (Personalkosten) und Kosten des Maschinenstillstands.
	Fertigungssteuerung	Zeitaufwand (Personalkosten) für die Steuerung und Überwachung von Produktionsvorgängen.
	Qualitätskontrolle	Zeitaufwand (Personalkosten) für die qualitative/quantitative Analyse eines synthetisierten Produkts hinsichtlich struktureller Integrität, Reinheit und Ausbeute.
	Anzahl Ausschusschargen	Kosten für die Entsorgung von nicht verwertbaren Nebenprodukten sowie von Produkten minderer Qualität.
Fertigungseinzelkosten	Fertigungsprozess	Kosten für die Verrichtung des Bearbeitungsvorgangs (Maschinenlaufkosten und Personalkosten, soweit sie nicht schon bei den Gemeinkosten erfasst wurden).
	Materialeinsatz	Materialkosten einschließlich Betriebsstoffkosten (Energie, Schmierstoffe für Maschinen etc.).
	Investition	Anteilige Abschreibungen für die Beschaffung neuer Anlagen.
Materiallager- und Logistik-Gemeinkosten	Eingangskontrolle	Zeitaufwand (Personalkosten) für die Eingangskontrolle von Rohstoffen und anderen fremdbezogenen Einsatzstoffen für den Fertigungsprozess.
	Einlagerungsvorgang	Zeitaufwand (Personalkosten) für die Einlagerung von Waren sowie Lagerkosten.
	Materialbereitstellung	Zeitaufwand (Personalkosten) für die Auslagerung von Waren sowie die Bereitstellung an der entsprechenden Stelle der Fertigung (innerbetrieblicher Transport).
	Verpackung und Versendung	Zeitaufwand (Personalkosten) für die Verpackung und Übergabe an Transportdienstleister sowie Kosten für eingesetztes Verpackungsmaterial (einschließlich eventuell benötigte Gebinde).
Einkauf-Gemeinkosten	Angebote einholen und verhandeln	Zeitaufwand (Personalkosten) für die Informationsbeschaffung, den Vergleich, die Abfrage von Angeboten und ihre Verhandlung.
	Bestellvorgang	Zeitaufwand (Personalkosten) für das Aufgeben von Bestellungen.
	Warenverfolgung	Zeitaufwand (Personalkosten) für die Überwachung der Einhaltung von Lieferfristen.
	Rechnungskontrolle	Zeitaufwand (Personalkosten) für die Überwachung der Einhaltung von Lieferverträgen bzw. Rechnungen.
	Mindermengenzuschläge	Zusätzliche Kosten für Waren, welche aufgrund gestückelter oder unzureichender Mengen mit einem Mindermengenzuschlag belastet werden.

Tabelle 10: Übersicht über die Fertigungs-, Logistik- und Einkaufskosten, ausgewählte Prozessschritte und die kostenbestimmenden Aktivitäten

Kostenart	Untersuchter Prozessschritt	Beschreibung der kostenverursachenden Aktivitäten
Controlling-, Verwaltungs- und Vertriebskosten	Kalkulation	Zeitaufwand (Personalkosten) für die Kalkulation einzelner Produkte.
	Kostenberatung	Zeitaufwand (Personalkosten) für die Beratung der Produktentwicklung und gegebenenfalls anderer Funktionsbereiche hinsichtlich (produktorientierter) Kosteneinsparungen.
	Stammdaten pflegen	Zeitaufwand (Personalkosten) für das Pflegen von Stammdaten (Preise, Verpackungseinheiten etc.) von vorhandenen und neuen Produkten.
	Fachberatung, Werbeaufwand	Zeitaufwand (Personalkosten) für die Beratung von Kunden zu den Produkten sowie Kosten der dafür notwendigen Werbematerialien (Broschüren, Videos etc.; Personal- und Materialkosten).
	Produktschulungsaufwand	Zeitaufwand (Personalkosten) für die Schulung von Mitarbeitern (z.B. Außendienst), um die Funktionen und Komponenten eines Produkts zu vermitteln.
	Innerbetriebliche Auftragsabwicklung	Zeitaufwand (Personalkosten) für die Angebots- und Rechnungserstellung sowie -überwachung.
	Katalogisierung	Zeitaufwand (Personalkosten) für die Erfassung der Produkte in Verkaufsunterlagen und deren Pflege.
	Service	Zeitaufwand (Personalkosten) für die Bearbeitung von Reklamationen und die Erbringung von Informationsdienstleistungen.
	Investitionen	Anteilige Abschreibungen für die Beschaffung von Betriebsmitteln (z.B. EDV-Anlagen).

Tabelle 11: Übersicht über die Controlling-, Verwaltungs- und Vertriebskosten, ausgewählte Prozessschritte und die kostenbestimmenden Aktivitäten

10 Literaturverzeichnis

A

- ADAM, D. (1997):
Philosophie der Kostenrechnung. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1997.
- ADAM, D. (1998):
Produktions-Management. Wiesbaden: Gabler, 1998.
- ADAM, D./JOHANNWILLE, U. (1998):
Die Komplexitätsfalle. In: ADAM, D. (Hrsg.): *Komplexitätsmanagement*. Wiesbaden: Gabler, 1998, S. 5-28.
- AKAO, Y. (1992):
QFD - Quality Function Deployment. Landsberg: Verlag Moderne Industrie, 1992.
- ALBACH, H. (1988):
Kosten, Transaktionen und externe Effekte im betrieblichen Rechnungswesen. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, Heft 11 (1988), S. 1143-1170.
- AMECKE, H.-B. (1987):
Chemiewirtschaft im Überblick – Produkte, Märkte, Strukturen. Weinheim u.a.: Wiley -VCH, 1987.
- ARNAOUT, A. (2001):
Target Costing in der deutschen Unternehmenspraxis: Eine empirische Untersuchung. München: Vahlen, 2001.
- ATTESLANDER, P. (1984):
Methoden der empirischen Sozialforschung. Berlin: de Gruyter, 1984.

B

- BACKHAUS, K./FUNKE, S. (1994):
Fixkostenintensität und Kostenstrukturmanagement. Ergebnisse einer empirischen Studie. In: *Controlling*, Heft 3 (1994), S. 124-129.
- BACKHAUS, K./FUNKE, S. (1997):
Fixkostenmanagement. In: FRANZ, K.-P./KAJÜTER, P. (Hrsg.): *Kostenmanagement: Wettbewerbsvorteile durch systematische Kostensteuerung*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1997, S. 29-43.
- BAECKER, D. (1997):
Einfache Komplexität. In: AHLEMEYER, H.W./KÖNIGSWIESER, R. (Hrsg.): *Komplexität managen: Strategien, Konzepte und Fallbeispiele*. Wiesbaden: Gabler 1997, S. 17-50.
- BAMFIELD, P. (1996):
Research and Development Management in the Chemical Industry. Weinheim u.a.: Wiley-VCH, 1996.
- BARDY, R. (1974):
Die Produktivität von Forschung und Entwicklung. Meisenheim: Hain, 1974.
- BATTENFELD, D. (2001):
Behandlung von Komplexitätskosten in der Kostenrechnung. In: *Kostenrechnungspraxis*, Heft 3 (2001), S. 137-143.
- BECKER, J. (1990):
Entwurfs- und konstruktionsbegleitende Kalkulation. In: *Kostenrechnungspraxis*, Heft 6 (1990), S. 353-358.
- BECKER, J. (1996):
DV-Verfahren zur Unterstützung frühzeitiger Kostenschätzungen. In: *Kostenrechnungspraxis*, Sonderheft 1 (1996), S. 81-85.
- BECKER, W. (1992):
Komplexitätskosten. In: *Kostenrechnungspraxis*, Heft 3 (1992), S. 171-173.
- BECKER, W. (1997):
Aufgaben und Instrumente der frühzeitigen kostenpolitischen Steuerung. In: MÄNNEL, W. (Hrsg.): *Handbuch Kostenrechnung*. Wiesbaden: Gabler, 1997, S. 37-54.
- BEHR, P. (1998):
Komplexitätsmanagement von Produkten und Prozessen- wie lässt sich

- Komplexität managen? In: *VDI-Berichte Nr. 1434* (1998), S. 39-51.
- BERENS, W./SCHMITTING, W. (1998):
Controllinginstrumente für das Komplexitätsmanagement: Potentiale des internen Rechnungswesens. In: ADAM, D. (Hrsg.): *Komplexitätsmanagement*. Wiesbaden: Gabler, 1998, S. 97-110.
- BERLINER, C./BRIMSON, J.A. (1988):
Cost Management for Today's Advanced Manufacturing. Boston (Mass.): Harvard Business School, 1988.
- BINDER, M. (1998a):
Erfolgsorientierte Steuerung von Produktkosten in Entwicklung und Konstruktion. In: *Controlling*, Heft 6 (1998), S. 356-363.
- BINDER, M. (1998b):
Produktkostenmanagement in Entwicklung und Konstruktion. Wiesbaden: Gabler, 1998.
- BOCK, M. (1995):
Expertensystem-Shell zur Unterstützung der simultanen Produktentwicklung. Wiesbaden: Gabler, 1995.
- BOHNE, F. (1998):
Entwicklungsbegleitendes Komplexitätsmanagement bei BMW - Konzept und Methoden zur Gestaltung der Kosten der Vielfalt. In: *VDI Berichte Nr. 1434* (1998), S. 15-37.
- BOOTHROYD, G./DEWHURST, P./WINSTON, K. (1994):
Product Design for Manufacture and Assembly. New York: Marcel Dekker, 1994.
- BOTTA, V. (1997):
Mitlaufende Kalkulation für ein frühzeitiges Kostenmanagement. In: MÄNNEL, W. (Hrsg.): *Handbuch Kostenrechnung*. Wiesbaden: Gabler, 1997, S. 77-89.
- BROCKHOFF, K. (1991):
Forschungs- und Entwicklungscontrolling zur Steigerung der Forschungs- und Entwicklungs-Effektivität. In: *Controlling*, Heft 2 (1991), S. 60-66.
- BROCKHOFF, K. (1999):
Forschung und Entwicklung: Planung und Kontrolle. München u.a.: Oldenbourg, 1999.

- BROCKHOFF, K./PEARSON, A.W. (1998):
R&D Budgeting Reactions to a Recession. In: *Management International Review*, Heft 4 (1998), S. 396-403.
- BROKEMPER, A. (1998):
Strategieorientiertes Kostenmanagement. München: Vahlen, 1998.
- BRONNER, A. (1993):
Entwicklungs- und konstruktionsbegleitende Kalkulation. In: *Kostenrechnungspraxis*, Heft 6 (1993), S. 364-373.
- BROWN, J. (1992):
Value Engineering. A Blueprint. New York: Industrial Press, 1992.
- BRÜHL, R. (1996):
Die Produktlebenszyklusrechnung zur Informationsversorgung des Zielkostenmanagements. In: *Zeitschrift für Planung*, Heft 7 (1996), S. 319-335.
- BUGGERT, W./WIEPÜTZ, W. (1995):
Target Costing: Grundlagen und Umsetzung des Zielkostenmanagements. München u.a.: Hanser, 1995.
- BÜRCEL, H.-D. (1994):
Forschungs- und Entwicklungs-Controlling: Hemmschuh oder notwendiges Steuerungsinstrument. In: BÜRCEL, H.-D./HORVÀTH, P./GASSETT, H. (Hrsg.): *Erfolgsorientiertes Forschungs- und Entwicklungsmanagement für den Mittelstand*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1994.
- BÜRCEL, H.-D./HALLER, C./BINDER, M. (1996):
F&E-Management. München: Vahlen, 1996.
- BUNDESARBEITGEBERVERBAND CHEMIE E.V. (BAVC, 2002a):
Informationsbrief, Nr. 4 (2002).
- BUNDESARBEITGEBERVERBAND CHEMIE E.V. (BAVC, 2002b):
Informationsbrief, Nr. 9 (2002).
- BURKHARDT, R. (1994):
Volltreffer mit Methode – Target Costing. In: *Top Business*, Heft 2 (1994), S. 94-99.

C

- CHANDRASEKARAN, B. (1989):
A Framework for Design Problem-Solving. In: *Research in Engineering Design*, Heft 2 (1989), S. 75-86.
- CLAASSEN, U./HILBERT, H. (1994):
Target Costing als Brücke zwischen Zielpreisindex und konkreten Teilkosten am Beispiel eines europäischen Automobilherstellers. In: HORVÁTH, P./GLEICH, R./LAMLA, J./NIEMAND, S./WOLBOLD, M. (Hrsg.): *Jahrbuch Controlling 1994*. Düsseldorf: Handelsblatt-Verlag, 1994, S. 34-41.
- COENENBERG, A./BAUM, H.-G. (1987):
Strategisches Controlling. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1987.
- COENENBERG, A./FISCHER, T./SCHMITZ, J. (1994):
Target Costing und Product Life Cycle Costing als Instrumente des Kostenmanagements. In: *Zeitschrift für Planung*, Heft 1 (1994), S. 1-38.
- COENENBERG, A./RAFFEL, A. (1988):
Integrierte Kosten- und Leistungsanalyse für das Controlling von Forschungs- und Entwicklungsprojekten. In: *Kostenrechnungspraxis*, Heft 5 (1988), S. 199-207.
- COENENBERG, A./MATTNER, G./SCHULTZE, W. (2002):
Kostenmanagement im Rahmen der wertorientierten Unternehmensführung. In: FRANZ, K.-P./KAJÜTER, P. (Hrsg.): *Kostenmanagement: Wertsteigerung durch systematische Kostensteuerung*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2002, S. 33-46.
- CORSTEN, H./STUHLMANN, S. (1996):
Vergleichende Betrachtung der bekanntesten Kalkulationsmethoden für das kostengünstige Konstruieren. In: *Kostenrechnungspraxis*, Sonderheft 1 (1996), S. 11-19.
- CORSTEN, H./STUHLMANN, S. (1997):
Grundlagen eines rechtzeitigen Kostenmanagements. In: MÄNNEL, W. (Hrsg.): *Handbuch Kostenrechnung*. Wiesbaden: Gabler, 1997, S. 19-36.

D

DEGUSSA (2001):

Focus on Care. Umweltbericht 2001. München: Biering, 2001.

DELLMANN, K./FRANZ, K.-P. (1994):

Neuere Entwicklungen im Kostenmanagement. Bern u.a.: Haupt, 1994.

DEISENHOFER, T. (1993):

Marktorientierte Kostenplanung auf Basis von Erkenntnissen der Marktforschung bei der AUDI AG. In: HORVÁTH, P./WOLBOLD, M. (Hrsg.): *Target Costing - Marktorientierte Zielkosten in der deutschen Praxis.* Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1993, S. 93-117.

DEUTSCH, K./DIEDRICHS, E./RASTER, M./WESTPHAL, J.:

Gewinnen mit Kernkompetenzen. München u.a.: Hanser, 1997.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e.V. (DIN, 1987):

DIN 55350: Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik. Teil 11. Berlin: VDI, 1987.

DÖRNER, D./BUERSCHAPER, C. (1997):

Denken und Handeln in komplexen Systemen,. In: AHLEMEYER, H.W./KÖNIGSWIESER, R. (Hrsg.): *Komplexität managen: Strategien, Konzepte und Fallbeispiele.* Wiesbaden: Gabler, 1997, S. 79-103.

DUDENHÖFFER, F. (2000):

Plattformeffekte in der Fahrzeugindustrie. In: *Controlling*, Heft 3 (2000), S. 145-151.

DÜRAND, D./KEMPKENS, W. (1994):

Kleine Revolution. In: *Wirtschaftswoche*, Heft 16 (15.04.1994), S. 80-88.

DUTLY, A. (15.03.2002):

Geschichte des Indigos. <<http://www.dutly.ch/indigohtml/indigo1.html>> (26.11.2002). Laboratorium für Technische Chemie ETH-Zürich, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich.

DYLLA, N./FRICKE, G. (1995):

Erfolgreich entwickeln. In: *VDI-Berichte Nr. 1169* (1995), S. 117-123.

E

EBELING, J. (2002):

Die elementaren Qualitätswerkzeuge. In: HANSEN, W./KAMISKE, G.F (Hrsg.): *Qualitätsmanagement*. Kapitel 04-03. Düsseldorf: Symposion, 2002.

EHRENSPIEL, K. (1980):

Möglichkeiten zum Senken der Produktkosten – Erkenntnisse aus einer Auswertung von Wertanalysen. In: *Konstruktion*, Heft 5 (1980), S. 173-178.

EHRENSPIEL, K. (1992):

Produktkosten-Controlling und Simultaneous Engineering. In: HORVÁTH, P. (Hrsg.): *Effektives und schlankes Controlling*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1992, S. 289-308.

EHRENSPIEL, K./KIEWERT, A./LINDEMANN/U./STEINER, M. (1996):

Konstruktionsbegleitende Entwicklung in der integrierten Produktentwicklung. In: *Kostenrechnungspraxis*, Sonderheft 1 (1996), S. 69-76.

EHRENSPIEL, K./KIEWERT, A./LINDEMANN, U. (2000):

Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren: Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung. München: Springer, 2000.

EILHAUER, H.-D. (1993):

F&E-Controlling: Grundlagen - Methoden - Umsetzung. Wiesbaden: Gabler, 1993.

EVERSHEIM, W. (1989):

Simultaneous Engineering - eine organisatorische Chance. In: *VDI-Berichte* Nr. 758 (1989), S. 1-26.

EVERSHEIM, W./BÖHMER, D./KÜMPER, R. (1992):

Die Variantenvielfalt beherrschen. In: *VDI-Zeitschrift*, Heft 4 (1992), S. 47-53.

EVERSHEIM, W./KÜMPER, R. (1993):

Variantenmanagement durch ressourcen-orientierte Produktbewertung. In: *Kostenrechnungspraxis*, Heft 4 (1993), S. 233-238.

- EVERSHEIM, W./KÜMPER, R. (1996):
Prozess- und ressourcenorientierte Vorkalkulation in den Phasen der
Produktentstehung. In: *Kostenrechnungspraxis*, Sonderheft 1 (1996), S.
45-52.
- EVERSHEIM, W./KÜMPER, R./GUPTA, C. (1994):
Verursachungsgerechte Vorkalkulation. In: *Kostenrechnungspraxis*,
Heft 4 (1994), S. 239-243.
- EVERSHEIM, W./SCHENKE, F.-B./WARNKE, L. (1998):
Komplexität in Unternehmen verringern und beherrschen - Optimale
Gestaltung von Produkten und Prozessen. In: ADAM, D. (Hrsg.): *Kom-
plexitätsmanagement*. Wiesbaden: Gabler, 1998, S. 29-45.
- EVERSHEIM, W./SCHUH, G./CAESAR, C. (1988):
Variantenvielfalt in der Serienproduktion. Ursachen und Lösungsansät-
ze. In: *VDI-Zeitschrift*, Heft 12 (1988), S. 45-49.
- F**
- FELCHT, U.-H. (2000):
Chemie. Eine reife Industrie oder Wachstumsmotor. Frankfurt: Hunzinger,
2000.
- FESTEL, G. (1999):
Innovationsmanagement. Von der Idee zum Produkt. In: *Nachrichten
aus Chemie, Technik, Laboratorium*, Heft 6 (1999), S. 686-688.
- FESTEL, G. (2003):
Historical Evolution and Actual Trends of the Global Chemical Indu-
stry. In: *Chemie & Wirtschaft*, Ausgabe 1 (2003), S. 27-34.
- FISCHER, T. M./SCHMITZ, J. (1994a):
Zielkostenmanagement. In: *Die Betriebswirtschaft*, Heft 3 (1994), S.
417-420.
- FISCHER, T. M./SCHMITZ, J. (1994b):
Marktorientierte Kosten- und Qualitätsziele gleichzeitig erreichen. In:
IO Management Zeitschrift, Heft 10 (1994), S. 63-68.

- FITZER, E./FRITZ, W. (1989):
Technische Chemie. Berlin: Springer, 1989.
- FRANKE, H.-J. (1998):
Produkt-Variantenvielfalt - Ursachen und Methoden zu ihrer Bewältigung. In: *VDI Berichte 1434* (1998), S. 1-13.
- FRANZ, K.-P. (1990):
Die Prozesskostenrechnung. Darstellung und Vergleich mit der Plankosten- und Deckungsbeitragsrechnung. In: AHLERT, D./FRANZ, K.-P./GÖPPL, H.: *Finanz- und Rechnungswesen als Führungsinstrument*. Festschrift für H. Vormbaum. Wiesbaden: 1990, S. 109-136.
- FRANZ, K.-P. (1991):
Prozeßkostenrechnung–Renaissance der Vollkostenidee. In: *Die Betriebswirtschaft*, Heft 4 (1991), S. 536-540.
- FRANZ, K.-P. (1992a):
Prozeßkostenrechnung. In: *Wirtschaftswissenschaftliches Studium*, Heft 12 (1992), S. 605-610.
- FRANZ, K.-P. (1992b):
Moderne Methoden der Kostenbeeinflussung. In: *Kostenrechnungspraxis*, Heft 3 (1992), S. 127-134.
- FRANZ, K.-P. (1993):
Target Costing. Konzept und kritische Bereiche. In: *Controlling*, Heft 3 (1993), S. 124-130.
- FRANZ, K.-P. (1997a):
Entwurf eines Kosteninformationssystems für das Kostenmanagement. In: BECKER, W./WEBER, J. (Hrsg.): *Kostenrechnung. Stand und Entwicklungsperspektiven*. Wiesbaden: Gabler, 1997, S. 179-202.
- FRANZ, K.-P. (1997b):
Ein dynamischer Ansatz des Target Costing. In: BACKHAUS, K./GÜNTER, B./KLEINALTENKAMP, M./PLINKE, W./RAFFÉE, H. (Hrsg.): *Marktleistung und Wettbewerb. Strategische und operative Perspektiven der marktorientierten Leistungsgestaltung*. Festschrift zum 65. Geburtstag von Werner H. Engelhardt. Wiesbaden: Gabler, 1997, S. 277-289.
- FRANZ, K.-P. (2002):
Qualitätsmanagement. In: KÜPPER, H.-U. /WAGENHOFER, A. (Hrsg.):

Handwörterbuch Unternehmensrechnung und Controlling. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2002.

- FRANZ, K.-P./KAJÜTER, P. (1997a):
Proaktives Kostenmanagement als Daueraufgabe. In: FRANZ, K.-P./KAJÜTER, P. (Hrsg.): *Kostenmanagement: Wettbewerbsvorteile durch systematische Kostensteuerung.* Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1997, S. 5-27.
- FRANZ, K.-P./KAJÜTER, P. (1997b):
Kostenmanagement in Deutschland. In: FRANZ, K.-P./KAJÜTER, P. (Hrsg.): *Kostenmanagement: Wettbewerbsvorteile durch systematische Kostensteuerung.* Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1997, S. 481-502.
- FRANZ, K.-P./KAJÜTER, P. (2002a):
Proaktives Kostenmanagement. In: FRANZ, K.-P./KAJÜTER, P. (Hrsg.): *Kostenmanagement: Wertsteigerung durch systematische Kostensteuerung.* Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2002, S. 3-31.
- FRANZ, K.-P./KAJÜTER, P. (2002b):
Kostenmanagement in Deutschland. In: FRANZ, K.-P./KAJÜTER, P. (Hrsg.): *Kostenmanagement: Wertsteigerung durch systematische Kostensteuerung.* Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2002, S. 569-585.
- FRECH, J.T. (1998):
Ein Verfahren zur integrierten, prozeßbegleitenden Vorkalkulation für die kostengerechte Konstruktion. Berlin: Springer, 1998.
- FREIDANK, C.-C./ZAEH, P. (1997):
Spezialfragen des Target Costing und des Kostenmanagements. In: FREIDANK, C.-C. (Hrsg.): *Kostenmanagement.* Berlin: Springer, 1997, S. 233-274.
- FREUND, P. (1975):
Allgemeine Probleme der chemischen Industrie. Entstehung - Aufbau - Markt - Forschung. Heidelberg: Hüthig, 1975.
- FRICKE, G. (1997):
Entwicklungsmanagement: mit methodischer Produktentwicklung zum Unternehmenserfolg. Berlin: Springer, 1997.
- FRIEDMANN, O. (1997):
Target Costing in der Produktentwicklung am Beispiel eines Automobilzulieferers: ein methodisch-empirischer Ansatz zur zielkostenorientierten

tierten Produktentwicklung. Frankfurt am Main u.a.: Lang, 1997.

FRIEDRICHS, J. (1980):

Methoden empirischer Sozialforschung. Opladen: Westdeutscher Verlag, 1980.

G

GAISER, B. (1993):

Schnittstellencontrolling bei der Produktentwicklung: Entwicklungszeitverkürzung durch Bewältigung von Schnittstellenproblemen. München: Vahlen, 1993.

GAISER, B./KIENINGER, M. (1993):

Fahrplan für die Einführung des Target Costing. In: HORVÁTH, P. (Hrsg.): *Target Costing*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1993, S. 53-73.

GEBERICH, C.W. (1997):

Praxisrelevante Werkzeuge für ein erfolgreiches Kostenmanagement. In: *Kostenrechnungspraxis*, Heft 3 (1997), S. 127-132.

GERPOTT, T.J./WINZER, P. (1996):

Simultaneous Engineering: Kritische Analyse eines Planungs- und Organisationsansatzes zur Erfolgsverbesserung industrieller Produktinnovationen. In: *Zeitschrift für Planung*, Heft 7 (1996), S. 131-150.

GINGRICH, J.A./METZ, H.J. (1990):

Conquering the Costs of Complexity. In: *Business Horizons*, Heft 3 (1990), S. 64-71.

GLASER, H. (1992):

Prozeßkostenrechnung - Darstellung und Kritik. In: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, Heft 3 (1992), S. 275-288.

GLEICH, R. (1996):

Target Costing für die montierende Industrie. München: Vahlen, 1996.

GOEBEL, L. (1991):

Das strategische Management von Technologie. Herausforderung im internationalen Innovationswettbewerb. In: *VDI Berichte 920* (1991), S. 91-105.

- GORELLA, B./MALORNY, C. (1998):
Total Quality Management als Chance. In: *Nachrichten aus der Chemie*, Heft 3 (1998), S. 330-333.
- GÖPFERT, J. (1998):
Modulare Produktentwicklung. Zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation. Wiesbaden: Gabler, 1998.
- GÖTTKER, A. (1990):
Untersuchung rechnergestützter Verfahren zur Teilefamilienbildung. Dortmund, Univ., Diss., 1990.
- GRÄFE, C. (1997):
Kostenmanagement von Produktinnovationen. In: *Kostenrechnungspraxis*, Heft 3 (1997), S. 168-171.
- GRABHOFF, J./GRÄFE, C. (1997):
Kostenmanagement in der Produktentwicklung. In: *Controlling*, Heft 1 (1997), S. 14-23.
- GRABHOFF, J./GRÄFE, C. (1998):
Integratives Kostenmanagement im Entstehungszyklus eines Serienerzeugnisses. In: *Kostenrechnungspraxis*, Heft 2 (1998), S. 62-69.
- GRABHOFF, J./GRÄFE, C. (2000):
FuE-Kosten. In: FISCHER, T. (Hrsg.): *Kosten-Controlling: Neue Methoden und Inhalte*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2000, S. 327-351.
- GRIFFIN, A. (1992):
Evaluating QFD's Use in US Firms as a Process for Developing Products. In: *Journal of Product Innovation Management*, Heft 9 (1992), S. 171-187.
- GRÖNER, L. (1990):
Entwicklungsbegleitende Vorkalkulation. In: *Kostenrechnungspraxis*, Heft 6 (1990), S. 374-375.
- GUTENBERG, E. (1979):
Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. 1. Band: Die Produktion. Berlin: Springer 1979.
- GÜNTHER, T. (1997):
Neuentwicklungen der Kostenrechnung – eine Antwort auf geänderte Fragestellungen. In: FREIDANK, C.-C. (Hrsg.): *Kostenmanagement*.

Berlin: Springer, 1997, S. 97-120.

H

HABENICH, W. (1996):

Teilfamilienbildung. In: Kern, W./Schröder, H.H./Weber, J. (Hrsg.): *Handwörterbuch der Produktionswissenschaft*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1996, S. 2040-2050.

HAGENLOCH, T. (1997):

Zielkostenmanagement und unterstützende Instrumente. In: *Kostenrechnungspraxis*, Heft 6 (1997), S. 319-327.

HAHN, D. (1994):

Planung und Kontrolle. Wiesbaden: Gabler 1994.

HAHN, D./OPPENLÄNDER, K. (1999):

Stand und Entwicklungstendenzen der strategischen Unternehmensplanung und Unternehmensführung in der Bundesrepublik Deutschland - Ergebnisse eines empirischen Forschungsprojektes. In: HAHN, D./TAYLOR, B. (Hrsg.): *Strategische Unternehmensplanung - Strategische Unternehmensführung*. Heidelberg: Physica-Verlag 1999, S. 1095-1136.

HAMM, M. (2000):

Preis-Kosten-Schere: Ein quantitatives Instrument zur Beschreibung von Wettbewerbsdynamiken im Rahmen eines Controllings. Frankfurt am Main: Lang, 2000.

HELM, R./SATZINGER, M. (2001):

Kundenorientierte Qualitätsmanagementsysteme. In: *Das Wirtschaftsstudium*, Heft 8-9 (2001), S. 1132-1135.

HILBERT, H. (1995):

Target Budgeting in Forschung und Entwicklung bei Volkswagen. In: *Controlling*, Heft 6 (1995), S. 354-364.

HOEVEL, K. (1996):

Alles beginnt in kreativen Köpfen. In: *Handelsblatt*, Heft 32 (14.2.1996), S. 23.

- HOFMANN, R. (1975):
Welt-Chemiewirtschaft. Opladen: Westdeutscher Verlag, 1975.
- HOHMANN, C. (2002):
Neues COX-Isozym entdeckt. In: *Pharmazeutische Zeitung*, Heft 50 (2002), S. 32.
- HOMBURG, C./DAUM, D. (1997):
Marktorientiertes Kostenmanagement: Gedanken zur Präzisierung eines modernen Kostenmanagementkonzeptes. In: *Kostenrechnungspraxis*, Heft 4 (1997), S. 185-191.
- HORVÁTH, P. (1988):
Wird die Kostenrechnung ihren Informations- und Steuerungsaufgaben beim Einsatz flexibel automatisierter Produktionssysteme noch gerecht?
In: LÜCKE, W. (Hrsg.): *Betriebswirtschaftliche Steuerungs- und Kontrollprobleme*. Wiesbaden: Gabler, 1988, S. 113-133.
- HORVÁTH, P. (1996):
Controlling. München: Vahlen 1996.
- HORVÁTH, P./GLEICH, R. (1998):
Komplexitätskostenmanagement mit Prozeß-Benchmarking und Performance Measurement. In: *VDI Berichte 1434* (1998), S. 175-195.
- HORVÁTH, P./GLEICH, R./SCHOLL, K. (1996):
Vergleichende Betrachtung der bekanntesten Kalkulationsmethoden für das kostengünstige Konstruieren. In: *Kostenrechnungspraxis*, Sonderheft 1 (1996), S. 53-62.
- HORVÁTH, P./KIENINGER, M./MAYER, R./SCHIMANK, C. (1993a):
Prozeßkostenrechnung – oder wie die Praxis die Theorie überholt. In: *Die Betriebswirtschaft*, Heft 5 (1993), S. 609-628.
- HORVÁTH, P./MAYER, R. (1989):
Prozeßkostenrechnung. In: *Controlling*, Heft 4 (1989), S. 214-219.
- HORVÁTH, P./NIEMAND, S./WOLBOLD, M. (1993b):
Target Costing - State of the Art. In: HORVÁTH, P./WOLBOLD, M. (Hrsg.): *Target Costing - Marktorientierte Zielkosten in der deutschen Praxis*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1993, S. 1-27.
- HORVÁTH, P./SEIDENSCHWARZ, W. (1991):
Strategisches Kostenmanagement der Informationsverarbeitung. In:

- HEINRICH, L.J./POMBERGER, G./SCHAUER, R. (Hrsg.): *Die Informativ-
onswirtschaft im Unternehmen*. Linz: Trauner, 1991, S. 297-322.
- HORVÁTH, P./SEIDENSCHWARZ, W. (1992):
Zielkostenmanagement. In: *Controlling*, Heft 3 (1992), S. 142-150.
- HORVÁTH, P./WOLBOLD, M. (1993):
Target Costing - Marktorientierte Zielkosten in der deutschen Praxis.
Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1993.
- HUMMEL, S. (1986):
Kostenrechnung. Wiesbaden: Gabler, 1986.
- HUMMEL, S. (1992):
Die Forderung nach entscheidungsrelevanten Kosteninformationen. In:
Männel, W. (Hrsg.): *Handbuch Kostenrechnung*. Wiesbaden: Gabler,
1992, S. 76-83.
- HUNGENBERG, H. (2000):
Komplexitätskosten. In: FISCHER, T. (Hrsg.): *Kosten-Controlling: Neue
Methoden und Inhalte*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2000, S. 539-553.
- HUSSY, W. (1984):
Denkpsychologie. Stuttgart: Kohlhammer, 1984.
- J**
- JAHNS, C. (2001):
Komplexität und Wettbewerb: Herausforderungen für das Management.
In: *Das Wirtschaftsstudium*, Heft 5 (2001), S. 690-694.
- JAHR, A. (11.03.1998):
Normung. In: *Konstruktionslehre I*. <[http://www.fh-
duesseldorf.de/DOCS/FB/MUV/KOL/Kole-Vorlesung/Ko1-3-0.pdf](http://www.fh-duesseldorf.de/DOCS/FB/MUV/KOL/Kole-Vorlesung/Ko1-3-0.pdf)>
(15.01.2003).
- JEHLE, E. (1984):
Kostenfrüherkennung und Kostenfrühkontrolle. Mitlaufende Kosten-
kontrolle während des Konstruktions- und Entwicklungsprozesses. In:
KORTZFLEISCH, G. v./KALUZA, D. (Hrsg.): *Internationale und nationale
Problemfelder der Betriebswirtschaftslehre*. Abhandlung aus dem Indu-

strieseminar der Universität Mannheim, Heft 32. Berlin: Duncker & Humblot, 1984, S. 263-285.

JEHLE, E. (1991):

Wertanalyse. In: *Wirtschaftswissenschaftliches Studium*, Heft 6 (1991), S. 287-294.

JUNG, U. (2000):

Kapitalproduktivität: Werthebel mit Potential. In: *Nachrichten aus der Chemie*, Heft 48 (2000), S. 509-512.

K

KAJÜTER, P. (2000):

Proaktives Kostenmanagement. Konzeption und Realprofile. Wiesbaden: Gabler, 2000.

KAJÜTER, P. (2002):

Wertorientierte Unternehmensführung. In: BUSSE VON COLBE, W./COENENBERG, A./KAJÜTER, P./LINNHOF, U. (Hrsg.): *Betriebswirtschaft für Führungskräfte*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2002.

KAJÜTER, P./NOACK, H. (2002):

Asset Management als Ansatz zur Kostensenkung. In: FRANZ, K.-P./KAJÜTER, P. (Hrsg.): *Kostenmanagement: Wertsteigerung durch systematische Kostensteuerung*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2002, S. 371-384.

KILGER, W. (1987):

Einführung in die Kostenrechnung. Wiesbaden: Gabler, 1987.

KLINE, C. (1976):

Maximising Profits in Chemicals. In: *Chemtech*, Heft Februar (1976), S. 110-117.

KLUGE, J. (1994):

Wachstum durch Verzicht: schneller Wandel zur Weltklasse: Vorbild Elektronikindustrie. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1994.

KLUGE, J. (1996):

Standortverlagerungen als Maßnahme des Kostenmanagements. In:

FRANZ, K.-P./KAJÜTER, P. (Hrsg.): *Kostenmanagement: Wettbewerbsvorteile durch systematische Kostensteuerung*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1997, S. 295-307.

KÖSTER, O. (1998):

Komplexitätsmanagement in der Industrie: Kundennähe und Effizienz in der Leistungserstellung. Wiesbaden: DUV, 1998.

KROMREY, H. (1983):

Empirische Sozialforschung. Stuttgart: UTB, 1983.

L

LEHMANN, F./KÜMPER, R. (1992):

Variantenmanagement durch verursachungsgerechte Produktbewertung. In: HORVÁTH, P. (Hrsg.): *Effektives und schlankes Controlling*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1992.

LINGSCHIED, A. (1994):

Kostentransparenz und Konsequenz fertigungswirtschaftlicher Komplexität. In: *Kostenrechnungspraxis*, Heft 2 (1994), S. 85-89.

LOWKA, D. (1996):

Methoden zum Abschätzen von Herstellkostenanteilen. In: *Kostenrechnungspraxis*, Sonderheft 1 (1996), S. 63-67.

M

MAI, C. (1998):

Effiziente Produktplanung mit QFD. Berlin: Springer, 1998.

MÄNNEL, W. (1993a):

Kostenrechnung, Kostencontrolling und Kostenmanagement für Forschung und Entwicklung. In: *Controlling*, Heft 3 (1993), S. 165-170.

MÄNNEL, W. (1993b):

Moderne Konzepte für Kostenrechnung, Controlling und Kostenmana-

gement. In: *Kostenrechnungspraxis*, Heft 2 (1993), S. 69-78.

MÄNNEL, W. (1993c):

Kostenmanagement als Aufgabe der Unternehmensführung. In: *Kostenrechnungspraxis*, Heft 4 (1993), S. 210-213.

MÄNNEL, W. (1994):

Ausrichtung von Kostenrechnung, Kostencontrolling und Kostenmanagement auf marktorientiert segmentierte Unternehmensstrukturen. In: *Kostenrechnungspraxis*, Heft 6 (1994), S. 381-385.

MÄNNEL, W. (1996):

Frühzeitige Produktkostenkalkulationen für das Kostenmanagement. In: *Kostenrechnungspraxis*, Sonderheft 1 (1996), S. 1-8.

MÄNNEL, W. (1997):

Frühzeitige Produktkostenkalkulationen für das Kostenmanagement. In: MÄNNEL, W. (Hrsg.): *Frühzeitiges Kostenmanagement: Kalkulationsmethoden und DV-Unterstützung*. Wiesbaden: Gabler, 1997, S. 3-18.

MALORNY, C./SCHWARZ, W. (1996):

Die sieben Kreativitätswerkzeuge: Innovationsfähigkeit stärken. In: HANSEN, W./JANSEN, H./KAMINSKE, G. (Hrsg.): *Qualitätsmanagement im Unternehmen. Grundlagen, Methoden, Werkzeuge, Praxisbeispiele*. Band 2. Berlin u.a.: Springer, 1996, QM 04-17.

MARCINOWSKI, S. (2001):

Neue Produkte, neue Verfahren, neue Märkte – BASF steigert mit Innovationen nachhaltig den Unternehmenswert. Rede zur Herbstpressekonferenz der BASF am 13.11.2001.

http://www.basf.de/de/corporate/investor/presentationen/jahr_01/quarter3_01/marcinowski/?id=-*21Ib**bsf900 (17.01.2003).

MELZER, W./STIELER, S. (1999):

Überblick behalten – Verfolgung technischer Regelwerke in neuen Organisationsstrukturen. In: *Chemie Technik*, Heft 7 (1999), S. 34-36.

MEYER, M.H./LEHNERD, A.P. (1997):

The Power of Product Platforms. Building Value and Cost Leadership. New York: Free Press, 1997.

MILES, L.D. (1967):

Value Engineering. München: Verlag Moderne Industrie, 1967.

- MILLER, J.G./VOLLMANN, T.E. (1985):
The Hidden Factory. In: *Harvard Business Review*, Heft September-
Oktober (1985), S. 142-150.
- MONDEN, Y. (1995):
Cost Reduction Systems: Target Costing and Kaizen Costing. Portland:
Productivity Press, 1995.
- MONDEN, Y./HOQUE, M. (1999):
Target Costing Based on QFD. In: *Controlling*, Heft 11 (1999), S. 525-
534.
- MUFF, M. (1990):
Marktorientiertes Management indirekter Leistungen. Ein Konzept zur
Straffung des Mitteleinsatzes in den Gemeinkostenbereichen. In: *Con-
trolling*, Heft 2 (1990), S. 82-85.
- MURJAHN, R./SELIG, M. (2002):
Kostenmanagement in der Chemischen Industrie. In: FRANZ, K.-
P./KAJÜTER, P. (Hrsg.): *Kostenmanagement: Wertsteigerung durch sy-
stematische Kostensteuerung*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2002, S.
475-494.
- MÜHLBRADT, T./MIRWALD, D. (1992):
Mit Komplexitätsmanagement handlungsfähig bleiben. In: *IO Mana-
gement Zeitschrift*, Heft 10 (1992), S. 41-43.
- MUSSNIG, W. (2001):
Dynamisches Zielkostenmanagement. In: *Controlling*, Heft 3 (2001), S.
139-148.

N

- NORLING, P.M. (1997):
Structuring and Managing R&D Work Processes - Why Bother. In:
Chemtech, Heft Oktober (1997), S. 12-16.

O

OESS, A., (1989):

Total Quality Management: Die Praxis des Qualitätsmanagements.
Wiesbaden: Gabler, 1989.

ONKEN, U./BEHR, A. (1996):

Chemische Prozeßkunde. Band 3. Stuttgart u.a.: Thieme, 1996.

OPITZ, H. (1970):

Moderne Produktionstechnik. Stand und Tendenzen. Essen: W. Girardet, 1970.

O.V. (2001):

Frankfurter Allgemeine Zeitung (19. Juni 2001), S. 21.

O.V. (2003):

Frankfurter Allgemeine Zeitung (17. Oktober 2003), S. 14.

P

PEEMÖLLER, V., (1993):

Zielkostenrechnung für die frühzeitige Kostenbeeinflussung. In: *Kostenrechnungspraxis*, Heft 6 (1993), S. 375-380.

PFEIFFER, W./DÖRRIE, U./GERHARZ, A./V. GOETZE, S. (1992):

Variantenkostenrechnung. In: MÄNNEL, W. (Hrsg.): *Handbuch Kostenrechnung.* Wiesbaden: Gabler, 1992, S. 861-877.

PICOT, A./REICHWALD, R./NIPPA, M. (1988):

Zur Bedeutung der Entwicklungsaufgabe für die Entwicklungszeit – Ansätze für die Entwicklungszeitgestaltung. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, Sonderheft 23 (1988), S. 112-137.

PINE, S.H./HENDRICKSON, J.B./CRAM, D.J./HAMMOND, G.S. (1987):

Organische Chemie. Berlin: Springer, 1987.

PISANO, G.P. (1997):

The Development Factory: Unlocking the Potential of Process Innova-

tion. Harvard: Harvard Business School Press, 1997.

PLATZ, J./SCHMELZER, H.J. (1986):

Projektmanagement in der industriellen Forschung und Entwicklung.
Berlin: Springer, 1986.

POHLE, H. (1991):

Chemische Industrie: Umweltschutz, Arbeitsschutz, Anlagensicherheit. Rechtliche und Technische Normen. Umsetzung in die Praxis. Weinheim: Wiley-VCH, 1991.

PORTER, M.E. (1992):

Wettbewerbsstrategie: Methoden zur Analyse von Branchen und Konkurrenten. Frankfurt am Main: Campus, 1992.

PRILLMANN, M. (1996):

Management der Variantenvielfalt. Frankfurt am Main: Lang, 1996.

R

RAUFEISEN, M. (1997):

Komplexitätsreduktion in der Auftragsabwicklung. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, Heft 2 (1997), S. 125-149.

REINERTSEN, D. (1998):

Die neuen Werkzeuge der Produktentwicklung. München: Hanser, 1998.

REIB, M. (1993):

Komplexität beherrschen durch Orga-Tuning. In: M.REIB (Hrsg.): *Komplexität meistern - Wettbewerbsfähigkeit sichern.* Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1993, S. 1-41.

RIEDL, J.E. (1990):

Projektcontrolling in Forschung und Entwicklung: Grundsätze, Methoden, Verfahren, Anwendungsbeispiele aus der Nachrichtentechnik. Berlin: Springer, 1990.

ROEVER, M. (1991a):

Tödliche Gefahr. In: *Manager Magazin*, Heft 10 (1991), S. 218-233.

- ROEVER, M. (1991b):
Goldener Schnitt. In: *Manager Magazin*, Heft 11 (1991), S. 253-264.
- ROEVER, M. (1992):
Neuentdeckte Ertragsreserven durch Abbau von Überkomplexität in Betrieben. In: HORVÁTH, P. (Hrsg.): *Effektives und schlankes Controlling*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1992, S. 99-111.
- ROMMEL, G. (1993):
Einfach überlegen: das Unternehmenskonzept, das die Schlanken schlank und die Schnellen schnell macht. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1993.
- ROOLFS, G. (1996):
Gemeinkostenmanagement unter Berücksichtigung neuerer Entwicklungen in der Kostenlehre. Köln: Eul, 1996.
- ROSENBERG, O. (2002):
Kostensenkung durch Komplexitätsmanagement. In: FRANZ, K.-P./KAJÜTER, P. (Hrsg.): *Kostenmanagement: Wertsteigerung durch systematische Kostensteuerung*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2002, S. 225-246.
- ROTHE, L. (1999):
Qualitätsmanagementsysteme. Teil 2: Auswirkungen von Gesetzen, Vorschriften und Normen. In: HANSEN, W./KAMISKE, G.F (Hrsg.): *Qualitätsmanagement*. Kapitel 02-05-02. Düsseldorf: Symposion, 1999.
- RÜCKLE, D./KLEIN, A. (1994):
Product-Life-Cycle-Cost-Management. In: DELLMANN, K./FRANZ, K.-P. (Hrsg.): *Neuere Entwicklungen im Kostenmanagement*. Bern u.a.: Haupt, 1994, S. 335-367.

S

- SAAD, K. N./ROUSSEL, P.R./TIBY, C./ARTHUR D.LITTLE (1991):
Management der F&E-Strategie. Wiesbaden: Gabler, 1991.
- SAATWEBER, J. (1997):
Kundenorientierung durch Quality, Function, Deployment: Systematisches Entwickeln von Produkten und Dienstleistungen. München u.a.:

Hanser, 1997.

SAKURAI, M. (1989):

Target Costing and How to Use it. In: *Journal of Cost Management for the Manufacturing Industry*, Heft 3 (1989), S. 39-50.

SAKURAI, M./KEATING, P.J. (1994):

Target Costing und Activity-Based Costing. In: *Controlling*, Heft 2 (1994), S. 84-91.

SAKURAI, M (1997):

Integratives Kostenmanagement: Stand und Entwicklungstendenzen des Controlling in Japan. München: Vahlen, 1997.

SAP (2003):

Vernetzte Projektorganisation mit Product Lifecycle Management.
<<http://www.sap.info/index.php4?ACTION=noframe&url=http://www.sap.info/public/en/article.php4/comvArticle-193353c63af725c2d9/de>>
(09.05.2003).

SCHEER, A.-W. (1988):

Computer Integrated Manufacturing. Der computergesteuerte Industriebetrieb. Berlin: Springer, 1988.

SCHEER, A.-W./BERKAU, C./HIRSCHMANN, P. (1996):

Kostengerechte Produktentwicklung mit Expertensystemen. In: *Kostenrechnungspraxis*, Sonderheft 1 (1996), S. 86-95.

SCHEHL, M. (1994):

Unternehmensexterne und -interne Strukturveränderungen als Einflussfaktoren der industriellen Kostenrechnung. In: *Kostenrechnungspraxis*, Heft 4 (1994), S. 230-238.

SCHIMANK, C. (1993):

Komplexitätsreduktion und Prozeßoptimierung – ein Fitneßprogramm zur dauerhaften Effizienzsteigerung. In: HORVÁTH, P. (Hrsg.): *Marktnähe und Kosteneffizienz schaffen*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1993, S. 185-205.

SCHLÜTER, A.-D./FRANKE, P./KLOPSCH, R. (1996):

Repetitive Strategy for Exponential Growth of Hydroxy-Functionalized Dendrons. In: *Chemistry – A European Journal*, Heft 10 (1996), S. 1330-1334.

- SCHLÜTER, A.-D./VETTER, S./AFANG, Z. (2001):
On the Improved Accessibility of Dendronized Macromonomers with
Peripheral Protected Amine Groups. In: *Macromolecular Chemistry and
Physics*, Heft 17 (2001), S. 3302-3315.
- SCHMELZER, H./BUTTERMILCH, K.-H. (1988):
Reduzierung der Entwicklungszeiten in der Produktentwicklung als
ganzheitliches Problem. In: BROCKHOFF, K./PICOT, A./URBAN, C.
(Hrsg.): *Zeitmanagement in Forschung und Entwicklung*. Düsseldorf:
Handelsblatt 1988, S. 43-72.
- SCHMIDT, F. (1996):
Gemeinkostensenkung durch kostengünstiges Konstruieren. Wiesbaden:
Gabler, 1996.
- SCHÖNWALD, B. (1989):
Von der Idee zum Produkt - Simultaneous Engineering als Bestandteil
von Forschung und Entwicklung. In: *VDI Berichte Nr. 758* (1989), S.
27-41.
- SCHOLL, K. (1998):
*Konstruktionsbegleitende Kalkulation: computergestützte Anwendung
von Prozeßkostenrechnung und Kostentableaus*. München: Vahlen,
1998.
- SCHUH, G. (1988):
*Gestaltung und Bewertung von Produktvarianten. Ein Beitrag zur sy-
stematischen Planung von Serienprodukten*. Aachen, Univ., Diss., 1988.
- SCHUH, G. (1997):
Wohin bewegt sich das Kostenmanagement? Methoden zur verursa-
chungsgerechten Zuweisung von Gemeinkosten auf die einzelnen Pro-
dukte. In: *Kostenrechnungspraxis*, Heft 1 (1997), S. 34-39.
- SCHULZ, S. (1994):
Komplexität in Unternehmen. Eine Herausforderung an das Control-
ling. In: *Controlling*, Heft 3 (1994), S. 130-139.
- SEIDENSCHWARZ, W. (1993):
Target Costing. Marktorientiertes Zielkostenmanagement. München:
Vahlen, 1993.
- SEIDENSCHWARZ, W./ESSER, J./NIEMAND, S./RAUCH, M. (1997):
Target Costing: Auf dem Weg zum marktorientierten Unternehmen. In:

- FRANZ, K.-P./KAJÜTER, P. (Hrsg.): *Kostenmanagement. Wettbewerbsvorteile durch systematische Kostensteuerung*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1997, S. 101-126.
- SEIDENSCHWARZ, W./SEEBERG, T. (1993):
6 Schritte zum marktorientierten Kostenmanagement. In: *Marktnähe und Kosteneffizienz schaffen*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1993, S. 155-172.
- SERFLING, K./SCHULTZE, R. (1997):
Target Costing. Kundenorientierung in Kostenmanagement und Preisorientierung. In: MÄNNEL, W. (Hrsg.): *Handbuch Kostenrechnung*. Wiesbaden: Gabler, 1997, S. 55-76.
- SHANK, J.K. (2002):
Cost Driver Analysis: One Key to Effective Cost Management. In: FRANZ, K.-P./KAJÜTER, P. (Hrsg.): *Kostenmanagement: Wertsteigerung durch systematische Kostensteuerung*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2002, S. 77-89.
- SPECHT, G./SCHMELZER, H.J. (1992):
Instrumente des Qualitätsmanagements in der Produktentwicklung. In: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*. Heft 6 (1992), S. 531-547.
- STAUDT, E./KRAUSE, M. (2001):
Betriebliches Innovationsmanagement. In: FESTEL, G./HASSAN, A./LEKER, J./BAMELIS, P. (Hrsg.): *Betriebswirtschaft für Chemiker*. Berlin u.a.: Springer 2001, S. 174-186.
- STOCKBAUER, H. (1991):
F&E-Budgetierung aus der Sicht des Controlling. In: *Controlling*, Heft 3 (1991), S. 136-143.
- STRECK, W.R. (1984):
Chemische Industrie: Strukturwandlungen und Entwicklungsperspektiven. Berlin: Duncker & Humblot, 1984.

T

TANAKA, M. (1989):

Cost Planning and Control Systems in the Design Phase of a New Product: In: MONDEN, Y./SAKURAI, M. (Hrsg.): *Japanese Management Accounting: A World Class Approach to Profit Management*. Cambridge (Mass.): Productivity Press, 1989, S. 49-71.

TAYLOR, W.B. (1981):

The Use of Life Cycle Costing in Acquiring Physical Assets. In: *Long Range Planning*, Heft 6 (1981), S. 32-43.

TECHNISCHER AUSSCHUSS FÜR ANLAGENSICHERHEIT (TAA, 1994):

TAA – GS – 08. Abschlussbericht „Lagerung gemäß Nr. 9.34 und 9.35 des Anhangs zur 4. BimSchV“. Teil 1: *Sehr giftige/giftige Stoffe und Zubereitungen*. (12.04.1994). <http://www.sfk-taa.de/Berichte_reports/Berichte_TAA/taa_gs_08.pdf> (15.01.2003).

U

ULRICH, K.T./EPPINGER, S.D. (1995):

Product Design and Development. New York: McGraw-Hill, 1995.

V

VERBAND DER CHEMISCHEN INDUSTRIE e.V. (VCI, 1995):

Einsatzmöglichkeiten der Prozesskostenrechnung in der chemischen Industrie. Schriftenreihe des Betriebswirtschaftlichen Ausschusses und des Finanzausschusses. Heft 20. Frankfurt am Main: VCI, 1995.

VERBAND DER CHEMISCHEN INDUSTRIE e.V. (VCI, 1997):

Chemiespezifische Kalkulation. Ihre Bedeutung für das Controlling. Schriftenreihe des Betriebswirtschaftlichen Ausschusses und des Finanzausschusses. Heft 23. Frankfurt am Main: VCI, 1997.

- VERBAND DER CHEMISCHEN INDUSTRIE e.V. (VCI, 1998):
Position des VCI zu Selbstverpflichtungen als Instrument der Umweltpolitik (13.05.1998).
<http://213.83.6.154/vci_internet/start.asp?bhcp=1> (17.01.2003).
- VERBAND DER CHEMISCHEN INDUSTRIE e.V. (VCI, 2000):
Erfolgsformel Globalisierung? Ein Diskussionsbeitrag der chemischen Industrie in Deutschland. Frankfurt am Main: VCI, 2000.
- VERBAND DER CHEMISCHEN INDUSTRIE e.V. (VCI, 2002a):
Chemiewirtschaft in Zahlen. Frankfurt am Main: VCI, 2002.
- VERBAND DER CHEMISCHEN INDUSTRIE e.V. (VCI, 2002b):
Fakten. Analysen. Perspektiven. Frankfurt am Main: VCI, 2002.
- VERBAND DER CHEMISCHEN INDUSTRIE e.V. (VCI, 2002c):
Herausforderung Entwicklung neuer Produkte. Interner Foliensatz. Teil 4. Frankfurt am Main: VCI, 2002.
- VERBAND DER CHEMISCHEN INDUSTRIE e.V. (VCI, 2003):
Chemiewirtschaft in Zahlen. Frankfurt am Main: VCI, 2003.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI 1993):
Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. VDI-Richtlinie 2221. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1993.
- VOIGTLÄNDER-TETZNER, W. (1940):
Organische Stoffe. Zwischenprodukte für Farbstoffe. Band IV. Geschichte der Betriebe 1865-1940. Unveröffentlichtes Typoskript um 1940. BASF Unternehmensarchiv.
- VÖLKER R./VOIT, E. (2000):
Planung und Bewertung von Produktplattformen. In: *Kostenrechnungspraxis*, Heft 3 (2000), S. 137-143.

W

- WÄSCHER, D. (1987):
Gemeinkosten-Management im Material- und Logistik-Bereich. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, Heft 2 (1987), S. 297-315.

- WARNECKE, H.-J./BÄBLER, R./RICHTER, M. (1986):
Montagerecht Konstruieren. Entwicklungstendenzen und Auswirkungen. In: *VDI-Zeitschrift 128*, Heft 15/16 (1986), S. 605-609.
- WEISENFELD, U. (2001):
Marketing – Grundlagen und Anwendungen. In: FESTEL, G./HASSAN, A./LEKER, J./BAMELIS, P. (Hrsg.): *Betriebswirtschaft für Chemiker*. Berlin u.a.: Springer, 2001, S. 372-387.
- WEISS, J./WYSOCKI, R. (1992):
5-Phase Project Management. A Practical Planning and Implementation Guide. Cambridge (Mass.): Perseus, 1992.
- WEISSERMEL, K./ARPE, H.-J. (1998):
Industrielle organische Chemie: Bedeutende Vor- und Zwischenprodukte. Weinheim: Wiley-VCH, 1998.
- WILDEMANN, H. (1991):
Zeit als Wettbewerbsfaktor durch Motivation und Qualifikation. In: MILBERG, J. (Hrsg.): *Wettbewerbsfaktor Zeit in Produktionsunternehmen*. Referate des Münchener Kolloquiums 91. Berlin: Springer, 1991, S. 339-355.
- WILDEMANN, H. (1992a):
Qualitätsentwicklung in F&E, Produktion und Logistik. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, Heft 1 (1992), S. 17-41.
- WILDEMANN, H. (1992b):
Kosten- und Leistungsbeurteilung von Qualitätssicherungssystemen. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, Heft 1 (1992), S. 761-782.
- WILDEMANN, H. (1998):
Komplexitätsmanagement durch Prozeß- und Produktgestaltung. In: ADAM, D. (Hrsg.): *Komplexitätsmanagement*. Wiesbaden: Gabler, 1998, S. 47-68.
- WILLERS, Y./JUNG, U. (2000):
Gibt es das überhaupt: „Spezialchemikalien“. In: *Nachrichten aus der Chemie*, Heft November (2000), S.1374-1377.
- WITTE, K.-W. (1989):
Marktgerechte Produkte und kostengünstige Produktionen durch Simultaneous Engineering. In: *VDI-Berichte Nr. 758* (1989), S. 93-121.

WITTE, K.-W. (1994):

Markt- und kostengerechte Produkte fordern neue Formen der funktionalen Zusammenarbeit. In: *VDI-Berichte Nr. 1136* (1994), S. 121-147.

WOLF/BURKERT, W.-D./JAHN, S. (1994):

Quality Function Deployment (QFD) – der Kompaß der integrierten Produktplanung (IPP). In: *VDI-Berichte 1136* (1994), S. 99-120.

WÜBBENHORST, K.L. (1992):

Lebenszykluskosten. In: SCHULTE, C. (Hrsg.): *Effektives Kostenmanagement. Methoden und Implementierung*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1992, S. 245-272.

Z

ZENTRUM WERTANALYSE (1995):

Wertanalyse. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1995.