

**Komplexitätsbeherrschung in der wertschöpfungspartnerschafts-  
übergreifenden Produktspezifikationserstellung  
bei unvollkommenen Informationen durch Simplifizierungsregeln**

Der Einfluss der Simplifizierung in der Produktspezifikationserstellung  
auf die wirtschaftlichen Erfolgsdeterminanten eines  
Forschungs- und Entwicklungsmanagements

Von der Fakultät für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften  
der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines Doktors  
der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften (Dr. rer. pol.) genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von Dipl.-Ing. Ralf Ludwig aus Stuttgart

Hauptberichter: Prof. Dr. rer. pol. Hans Dietmar Bürgel

Mitberichter: Prof. Dr. rer. pol. Erich Zahn

Tag der mündlichen Prüfung: 07.04.2005

Betriebswirtschaftliches Institut der Universität Stuttgart

2005

„In the beginner’s mind there are many possibilities,  
but in the expert’s mind there are a few.“

*Shunryu Suzuki (1904-1971)*

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Mitarbeiter der DaimlerChrysler AG in Stuttgart.

Herrn Prof. Dr. rer. pol. Hans Dietmar Bürgel möchte ich herzlichst für die Betreuung und seine stete Diskussionsbereitschaft danken.

Herrn Prof. Dr. rer. pol. Erich Zahn danke ich für die Übernahme des Zweitgutachtens.

Weiterhin möchte ich der DaimlerChrysler AG und vielen ihrer Mitarbeiter danken, die mir eine praxisorientierte Ausrichtung der Forschungsarbeit ermöglicht haben. Hervorheben möchte ich hierbei Herrn Dr.-Ing. Michael Kokes, dessen Rat und Unterstützung wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Der größte Dank gebührt allerdings meinen Eltern. Ihre bedingungslose Unterstützung hat es mir ermöglicht, den Weg zu beschreiten, der mich bis hierhin geführt hat.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Freunden für Ihre Unterstützung bedanken. Jeden Einzelnen zu nennen würde den Platz sprengen. Sie bildeten einen Rahmen, ohne den eine solche Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

---

## **Kurzzusammenfassung**

### **Probleme/Forschungsfragen:**

Ein stetiger Komplexitätsanstieg des Produktes und der Produktentwicklungsumgebung erschweren in Wertschöpfungspartnerschaften das Erreichen einer gemeinsamen Win-Win-Situation. Bei der frühen Erarbeitung der Produktauslegung oder im Rahmen der Produktspezifikationserstellung ist durch die hohe Komplexität von Entwicklungsaufgabe und -umgebung eine umfassende gesamtheitliche Berücksichtigung der wirtschaftlichen Erfolgsdeterminanten nur sehr begrenzt möglich. Ein Mehrwert für die Wertschöpfungspartnerschaft kann nur geschaffen werden, wenn bei der Produktgestaltung eine Win-Win-Situation für alle beteiligten Partner gesichert werden kann. Unvollkommene Informationen, bedingt durch Unternehmensgrenzen oder zur Zeit der Produktspezifikation noch nicht feststehende Wertschöpfungspartner, erschweren dies. Im Rahmen dieser Arbeit wird vor diesem Hintergrund ein Vorschlag erarbeitet und getestet, inwieweit eine geeignete Rahmenbedingung für das soziale System der Produktauslegung einen Beitrag zum Erzielen eines wirtschaftlich und technisch erfolgreichen Entwicklungsergebnisses bieten kann. Dadurch soll gleichsam der Erfolg der Zusammenarbeit von Wertschöpfungspartnerschaften erhöht werden.

### **Ziel:**

Zur Komplexitätsbeherrschung einer Produktspezifikationserstellung in Wertschöpfungspartnerschaften sind Rahmenbedingungen in Form von Simplifizierungsregeln zu erarbeiten, deren Einhaltung den Spezifikationsersteller systematisch beanreizen, zu einer wirtschaftlich und technisch erfolgreichen Produktauslegung zu gelangen. Aus wissenschaftlicher Perspektive wird somit das Ziel verfolgt, bei der Herleitung von geeigneten Rahmenbedingungen einer Wertschöpfungspartnerschaft bestehende, meist getrennt betrachtete Wirkungszusammenhänge des Produktentwicklungsmanagements in Verbindung zueinander zu setzen und im Gesamten zu erproben. Neue Pfade für eine erfolgversprechende Zusammenarbeit in Wertschöpfungspartnerschaften können so aufgezeigt werden. Die vorliegende Arbeit soll dabei greifbare Handlungsleitlinien zur Verfügung stellen, die den

---

einzelnen Wertschöpfungspartner nicht mit allgemein gehaltenen Prinzipien alleine lässt und deren Umsetzung im operativen Alltag dem Anwender überlässt. Der betrieblichen Praxis soll ein konkreter Gestaltungsvorschlag gegeben werden, welcher dem Praktiker durch ein wissenschaftlich hergeleitetes Fundament und einer empirisch ausgeführten Überprüfung der Wirkungszusammenhänge einen möglichst hohen Wahrheitswert bietet.

### **Forschungsmethode:**

Das Untersuchungsdesign dieses Forschungsvorhabens ist explanativ und damit hypothesenprüfend ausgelegt. Die empirische Untersuchung wurde als experimentelle Laboruntersuchung mit qualitativer Datenerfassung gestaltet. Vierundzwanzig Produktentwickler mussten dabei eine fiktive Spezifikationsaufgabe ausführen. Um Rückschlüsse auf die Gültigkeit der als Unterschiedshypothesen definierten Arbeitshypothesen ziehen zu können, wurde ein Mehrgruppenplan mit einer Kontroll- und zwei Experimentalgruppen konzipiert. Das Ergebnis dieser drei Untersuchungsgruppen in Form von abgearbeiteten Spezifikationsaufgaben wurde dann mit Hilfe einer strukturierenden Inhaltsanalyse auf die Übereinstimmung mit den theoretischen Ausführungen überprüft.

### **Ergebnisse:**

Mit der Simplifizierung in der Produktspezifikation konnte eine Handlungsweise identifiziert und empirisch bestätigt werden, welche ein indirektes Optimieren der in Forschung und Entwicklung geltenden wirtschaftlichen Erfolgsdeterminanten „Zeit“, „Qualität“ und „Kosten“ zur Folge hat. Die entsprechend deduzierten Wirkungsfelder und Arbeitshypothesen einer Simplifizierung konnten durch die empirische Untersuchung nicht falsifiziert werden. Jedes dieser Wirkungsfelder wurde mit Textteilen einer Produktspezifikation belegt, welche in Bezug auf die Erfolgsdeterminanten einen signifikanten Unterschied zwischen Kontroll- und Experimentalgruppe ausweisen. Als Folge dessen wird zur Bildung von Rahmenbedingungen in Wertschöpfungspartnerschaften vorgeschlagen, bei einer durch unvollkommene Information geprägten Entwicklungsumgebung die einfachste Beschreibung eines Produktes zu wählen. Durch die positiven empirischen Ergebnisse der Wirksamkeit der Simplifizierung auf die Erfolgsdeterminanten kann auch den konstruktiv entworfenen Simplifizierungsregeln eine Wirksamkeit zugesprochen werden. Durch die

Vorgabe von Simplifizierungsregeln für die an der Produktspezifikation beteiligten Wertschöpfungspartner kann ein positiver wirtschaftlicher Einfluss prognostiziert werden. Eine Win-Win-Situation ist wahrscheinlicher für sämtliche entlang der Wertkette beteiligte Partner.

## **Abstract**

### **Problem Definition/ Research Question:**

The steady complexity rise in product development makes the achievement of a mutual win-win situation in value-adding partnerships more difficult. The consideration of the economic success determinants in the product specification creation process is limited by the high complexity of development task and environment. An increase in value-added within the partnership is reached only if a win-win situation for all involved partners is secured during the product design. Imperfect information due to company borders or not finally awarded value-adding partners at the time of product specification creation makes it more difficult. In this context this research constructs and tests an approach, which defines suitable basic conditions for the social system of product specification in order to obtain an economically and technically successful development result. Thus, the probability of successful co-operation in value-adding partnerships is intended to be increased.

### **Objective:**

The objective of this research is to construct basic conditions for the complexity control of a product specification creation in value-adding partnerships, which lead the specification creator to a product design with a high probability on economic and technical success. From a scientific perspective, the target is to bring together and test usually separated economic impact correlation in product development. New paths for a promising cooperation between the value-adding partners have to be pointed out. Thereby the research provides action guidelines, which does not leave the individual value-adding partner alone with general principles and abandon the implementation to the partner itself. A concrete organization proposal has to be given to operational practice, which offers a scientific derived foundation as well as an empirical test with a high verity.

**Research Method:**

The research design of this thesis is explanative. Hypotheses concerning the basic condition of specification creation are tested. The empirical study was arranged as an experimental laboratory test with qualitative data gathering. Twenty-four product developers were asked to carry out a fictitious task of product specification. In order to be able to draw conclusions on the validity of the working hypotheses which are defined as difference hypotheses, a multigroup plan with one control group and two experimental groups was designed. The result of these three study groups is the written documentation of processed tasks of product specification. These were examined with the help of a structuring content-analysis for the agreement with the theoretical derived economic impacts.

**Results:**

Simplification in product specification has been identified and confirmed empirically as a course of action, which indirectly optimizes the three economic success determinants in research and development „development time“, „product quality“, and „product cost“. The deductive derived impact fields of simplification in product specification as well as the respective working hypotheses is not falsificated by the empirical study. Each of these impact fields are supported with text of the product specification task fulfillment. Significant differences between the control group and the experimental groups in achieving the success determinants are pointed out. Consequently this work suggest the selection of the simplest description of a product - in value-adding partnerships basic conditions have to be installed, that leads to simplification in a development environment of imperfect information. Furthermore, due to the positive empirical results of the effectiveness of the simplification on the success determinants, the self-constructed simplification rules can be considered to be effective. A positive economic influence for each value-adding partner is predicted by the implementation of simplification rules. A win-win situation is more certain for all partners involved along the value chain.

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	xii
Symbolverzeichnis	xvi
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung	1
1.2 Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes	5
1.3 Zielsetzung der Arbeit	8
1.4 Forschungskonzept	10
1.5 Aufbau der Arbeit	14
<b>2. Definition des Forschungsgegenstandes: Produktspezifikationserstellung in Wertschöpfungspartnerschaften</b>	<b>17</b>
2.1 Begriffliche Grundlagen und Defizite in der Praxis von Wertschöpfungspartnerschaften	17
2.1.1 <i>Wertschöpfung, Wertkette und Wertschöpfungspartnerschaft</i>	18
2.1.2 <i>Charakter einer partnerschaftlichen Beziehung in Wertketten</i>	24
2.1.3 <i>Defizite einer Umsetzung in der betrieblichen Praxis</i>	28
2.2 Begriffliche Grundlagen der unternehmensübergreifenden Produktspezifikationserstellung	31
2.2.1 <i>Begriff der Produktspezifikation</i>	31
2.2.2 <i>Ausprägungen einer unternehmensübergreifenden Produkt-     spezifikationserstellung</i>	34
2.2.3 <i>Produktspezifikation als Kommunikationsmedium zwischen     Unternehmen</i>	37
2.2.4 <i>Besondere Stellung der Produktspezifikation innerhalb von     Wertschöpfungspartnerschaften</i>	43

---

2.3 Herausforderungen einer unternehmensübergreifenden Produktspezifikationserstellung	45
2.3.1 Optimierung nach wirtschaftlichen Erfolgsdeterminanten	45
2.3.2 Umgang mit unvollkommenen Information	50
2.3.3 Bedeutung der Produktspezifikation als Erklärungs- und Prognosemodell	56
<b>3. Theoretischer Bezugsrahmen: Wirkungen einer Simplifizierung in der Produktspezifikationserstellung</b>	<b>60</b>
3.1 Begriffliche und konzeptionelle Grundlagen der Simplifizierung	60
3.1.1 Was bedeutet Simplifizierung?	61
3.1.2 Interaktion von Simplifizierung und Komplexität	63
3.1.3 Simplifizierungsebenen für die Produktspezifikation	68
3.1.4 Minimalistischer Ansatz der Produktbeschreibung	74
3.2 Wirkung der Simplifizierung auf Prognosewahrscheinlichkeit und Erklärungsvermögen	77
3.2.1 Überblick auf die prognostizierten Wirkungszusammenhänge	77
3.2.2 Informationstheoretische Ansätze zur Quantifizierung von Komplexität	80
3.2.3 Kolmogorov-Komplexität für eine formallogische Deduktion	84
3.2.4 Logisch deduzierter Wirkungszusammenhang einer Simplifizierung	89
3.2.5 Faktisch deduzierter Wirkungszusammenhang einer Simplifizierung	93
3.3 Wirkung von Prognosewahrscheinlichkeit und Erklärungsvermögen auf die Erfolgsdeterminanten	104
3.3.1 Überblick auf die prognostizierten Wirkungsfelder	104
3.3.2 Wirkungsfelder einer erhöhten Prognosewahrscheinlichkeit	107
3.3.3 Wirkungsfelder eines erhöhten Erklärungsvermögens	113

<b>4. Technologischer Bezugsrahmen: Komplexitätsbeherrschung durch Simplifizierungsregeln in der Produktspezifikationserstellung</b>	<b>122</b>
4.1 Komplexitätsbeherrschung durch Regelvorgabe	122
4.1.1 <i>Technomorpher versus systemisch-evolutionärer Ansatz</i>	123
4.1.2 <i>Gestaltungsoptionen für Rahmenbedingungen eines systemisch-evolutionären Ansatzes</i>	126
4.1.3 <i>Koordination durch Regeln und deren Grenzen</i>	129
4.2 Gestaltungsaspekte bei der Regelauslegung	134
4.2.1 <i>Grundlegende Natur von Regeln</i>	134
4.2.2 <i>Anforderungen an eine praxisgerechte Regelauslegung</i>	137
4.3 Konstruktiver Entwurf der Simplifizierungsregeln	140
4.3.1 <i>Bewertung bestehender Regelwerke</i>	140
4.3.2 <i>Ableitung und Formulierung der Simplifizierungsregeln</i>	150
4.3.3 <i>Unterstützung der Simplifizierungsregeln durch Informations- technologie</i>	155
<b>5. Empirische Untersuchung: Simplifizierung in der Produktspezifikations- erstellung am Beispiel eines adaptiven Lichtsystems</b>	<b>159</b>
5.1 Untersuchungsplan	159
5.1.1 <i>Ziel der empirischen Untersuchung</i>	159
5.1.2 <i>Forschungsdesign</i>	161
5.1.3 <i>Untersuchungsablauf und -durchführung</i>	168
5.2 Ergebnis der Datenerhebung	175
5.2.1 <i>Ergebnis und Auswertung des Pretest</i>	175
5.2.2 <i>Inhaltliches Ergebnis der Spezifikationserstellung</i>	179
5.2.3 <i>Inhaltliches Ergebnis der Spezifikationsbearbeitung</i>	187
5.3 Ausführung der Inhaltsanalyse	189
5.3.1 <i>Vorbereitungen zum Materialdurchlauf</i>	189
5.3.2 <i>Ergebnis des Materialdurchlaufs zur Prognosewahrscheinlichkeit</i>	191
5.3.3 <i>Ergebnis des Materialdurchlaufs zum Erklärungsvermögen</i>	202

---

5.4 Interpretation der empirischen Ergebnisse	209
5.4.1 Wirkung auf die Erfolgsdeterminanten	209
5.4.2 Wirksamkeit der Simplifizierungsregeln	211
5.4.3 Weitere empirische Ergebnisse	215
<b>6. Zusammenfassung</b>	<b>219</b>
<b>Anhang A: Aufgabenstellung für die Spezifikationserstellung durch die Untersuchungsteilnehmer</b>	<b>I</b>
<b>Anhang B: Fragestellung für die Spezifikationsbearbeitung durch die Untersuchungsteilnehmer</b>	<b>IV</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>Lebenslauf</b>	<b>XXXV</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Komplexitätsdimensionen	1
Abb. 1.2	Steigende Komplexität heutiger Technologiefelder	3
Abb. 1.3	Gestaltungsebenen bei Wertschöpfungspartnerschaften	5
Abb. 1.4	Argumentationskette dieser Forschungsarbeit	11
Abb. 1.5	Aufbau der Arbeit	14
Abb. 2.1	Reduziertes Modell einer Wertschöpfungspartnerschaft	21
Abb. 2.2	Dimensionen einer langfristigen Erhaltung von Wertschöpfungspartnerschaften	26
Abb. 2.3	Spezialfall eines dreidimensionalen Spezifikationsraumes	33
Abb. 2.4	Kategorisierung von Zulieferbeziehungen	36
Abb. 2.5	Kommunikationsmuster in Zulieferbeziehungen	39
Abb. 2.6	Informationsfluss der unternehmensübergreifenden Produktspezifikationserstellung	42
Abb. 2.7	Erfolgsdeterminanten in Forschung und Entwicklung	47
Abb. 2.8	Unvollkommene Information in der Produktspezifikationserstellung	51
Abb. 2.9	Problemfelder der unternehmensübergreifenden Produktspezifikationserstellung	54
Abb. 2.10	Zentrale Bedeutung der Spezifikation im Entwicklungsprozess	57
Abb. 2.11	Problemfelder der unternehmensübergreifenden Spezifikationserstellung nach zugrundeliegendem Verwendungsmodell	59
Abb. 3.1	Definition des Begriffs „Simplifizierung“	62
Abb. 3.2	Top-down Interpretation der Simplifizierungsebenen	71
Abb. 3.3	Alternativenbegrenzung im Designraum	72
Abb. 3.4	Minimalprinzip innerhalb einer Simplifizierungsebene	75
Abb. 3.5	Logisch und faktisch determinierte Wirkungszusammenhänge einer Simplifizierung	78
Abb. 3.6	Informationstheoretische Ansätze zur Quantifizierung von Komplexität	82

---

Abb. 3.7	Simplifizierungsansätze in den Wissenschaftsdisziplinen	94
Abb. 3.8	Erfolgsdeterminanten und ihre Wirkungsfelder	106
Abb. 3.9	Verkürzung der Entwicklungszeit durch „Front-Loading“	107
Abb. 3.10	Qualitätsverbesserung durch Wiederverwendung von Entwicklungsergebnissen	110
Abb. 3.11	Zuliefererintegration im internationalen Vergleich	112
Abb. 3.12	Verbesserung der Lesbarkeit von Texten durch „Advanced Organizer“	115
Abb. 3.13	Zuverlässigkeit von Elektrik- und Elektronikkomponenten	117
Abb. 3.14	Wissenstiefe und -breite bei interdisziplinären Systemzusammenhängen	119
Abb. 4.1	Ansätze im Management zur Komplexitätsbeherrschung	124
Abb. 4.2	Koordination eines sozialen Systems durch Regelvorgabe	128
Abb. 4.3	Gestaltung von Regeln im Unternehmen	132
Abb. 4.4	Notwendigkeit zur Motivation und Sanktionsmaßnahmen	133
Abb. 4.5	Schwarmverhalten von Vögeln	135
Abb. 4.6	Logischer Interpretationsspielraum in Regelwerken	138
Abb. 4.7	Bestehende Regelwerke zum Umgang mit komplexen Systemen	142
Abb. 4.8	Bewertung der „Neun Gebote“ von Kelly	143
Abb. 4.9	Bewertung der „Simple Seven“ von Jensen	145
Abb. 4.10	Bewertung der „Pragmatic Principles“ von DeFoe	146
Abb. 4.11	Bewertung der „Strukturregeln“ von Platz	148
Abb. 4.12	Bewertung der „Competing on the Edge“-Regeln von Brown/Eisenhardt	149
Abb. 4.13	Konstruktiver Entwurf der Simplifizierungsregeln	151
Abb. 4.14	Bewertung der aufgestellten Simplifizierungsregeln	154
Abb. 4.15	IT-Werkzeugkette zur Unterstützung der Simplifizierungsregeln	156
Abb. 5.1	Mehrgruppenplan der Untersuchung	163
Abb. 5.2	Strukturierende Inhaltsanalyse nach Mayring	165
Abb. 5.3	Zunehmender Kooperationsbedarf innerhalb von Automobilmodulen	169

---

Abb. 5.4	Grundfunktionen der adaptiven Lichtsteuerung	170
Abb. 5.5	Verteilung von Alter und Betriebszugehörigkeit der Untersuchungsteilnehmer	177
Abb. 5.6	Verteilung von Entwicklungs-/ Spezifikationserfahrung und akademische Grundausbildung der Untersuchungsteilnehmer	178
Abb. 5.7	Lösungsraum adaptives Lichtsystem	180
Abb. 5.8	Scheinwerfersysteme im Automobil	181
Abb. 5.9	Beispiel einer Produktspezifikation ohne Simplifizierungsebenen	183
Abb. 5.10	Beispiel einer Produktspezifikation mit Simplifizierungsebenen	185
Abb. 5.11	Produktspezifikationslänge im Vergleich	186
Abb. 5.12	Durch die Spezifikationen nicht abgedeckte Fragestellungen	187
Abb. 5.13	Kategoriensystem mit Ankerbeispielen	190
Abb. 5.14	Schrittfolge bei der Spezifikationserstellung	193
Abb. 5.15	Textbeispiele zur Verdeutlichung der Iterationszyklusgröße	195
Abb. 5.16	Textbeispiele zur Möglichkeit des Rückgriffs auf bereits erfolgreiche Systemauslegungen	197
Abb. 5.17	Textbeispiele zur höheren Wahrscheinlichkeit der Wiederverwendung von Spezifikationszeilen	199
Abb. 5.18	Freilassen von Free-for-Design Gebieten im Erstellungsprozess	200
Abb. 5.19	Textbeispiele für das Offenlassen von Free-for-Design Gebieten	201
Abb. 5.20	Simplifizierungsebene der Referenzen bei Detailfragen	203
Abb. 5.21	Textbeispiel zur Beantwortung von Detailfragen auf höheren Simplifizierungsebenen	204
Abb. 5.22	Simplifizierungsebene der Referenzen bei systemübergreifenden Gesamtfragen	205
Abb. 5.23	Textbeispiel zur Beantwortung von systemübergreifenden Gesamtfragen	206
Abb. 5.24	Realisierungsneutrale Beschreibung von Spezifikationsumfängen	207
Abb. 5.25	Textbeispiel zur fehlender Fokussierung in der Produktspezifikationserstellung	212

Abb. 5.26	Abfolge der bearbeiteten Simplifizierungsebenen	214
Abb. 5.27	Textbeispiel zur Verdeutlichung der Kompatibilität zum Target-Costing-Ansatz	217

## Symbolverzeichnis

$a_i(x_d)$	Koeffizientenfunktion der linearen Differentialgleichung n-ter Ordnung
$a_{max}$	Maximale Beschleunigung des Fahrzeuges in Fahrtrichtung
$c$	Differenz der Codelänge bei unterschiedlichen Universal- Programmiersprachen
$c_{löschen}$	Codelänge zur Löschung eines beschriebenen Objektes Y
$D$	Einzubringender Datensatz
$f(p)$	Methode der Output-Generierung (ohne einen weiteren Input)
$H$	Hypothesiertes Beschreibungsmodell
$K(...)$	Kolmogorov-Komplexität
$K(.../...)$	Konditionale Kolmogorov-Komplexität
$K_{LISP}$	Kolmogorov-Komplexität mit der Programmiersprache LISP
$K_{PASCAL}$	Kolmogorov-Komplexität mit der Programmiersprache PASCAL
$l(p)$	Beschreibungslänge einer algorithmischen Beschreibung
$M_{max}$	Maximaler Umfang der Produktbeschreibung
$M_{min}$	Minimaler Umfang der Produktbeschreibung
$n(x)$	Sequenz aus Nullen und Einser
$p$	Algorithmische Beschreibung
$P(...)$	Unbedingte Wahrscheinlichkeit
$P(.../...)$	Bedingte Wahrscheinlichkeit
$r(x_d)$	Störfunktion der linearen Differentialgleichung n-ter Ordnung
$t, t_0, t_1, t_2$	Zeitpunkte im Produktentstehungsprozess
$v_{ist}$	Aktuelle Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeuges
$v_{max}$	Maximale Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeuges

---

$x$	Zu beschreibendes Objekt X
$\bar{x}$	Arithmetisches Mittel
$x_1, \dots, x_n$	Ziffernreihe mit dem Wert 0 und 1
$x_d$	Unabhängige Variable der Differentialgleichung
$y$	Zu beschreibendes Objekt Y
$y_d$	Funktion der linearen Differentialgleichung n-ter Ordnung
$y_d'$	Erste Ableitung der Funktion $y_d$
$y_d''$	Zweite Ableitung der Funktion $y_d$
$Z_{max}$	Maximales Systemverständnis
$Z_{min}$	Minimales Systemverständnis
$\alpha_{soll}$	Berechneter vertikaler Scheinwerferwinkel
$\alpha_{ist}$	Aktueller vertikaler Scheinwerferwinkel
$\alpha'_{ist}$	Vertikale Scheinwerferverstellwinkelgeschwindigkeit
$\beta_{soll}$	Berechneter horizontaler Scheinwerferwinkel
$\beta_{ist}$	Aktueller horizontaler Scheinwerferwinkel
$\beta'_{ist}$	Horizontale Scheinwerferverstellwinkelgeschwindigkeit
$\theta_{ist}$	Aktueller Kurvenwinkel des Fahrzeugschwerpunktes
$\theta'_{ist}$	Aktuelle Kurvenwinkelgeschwindigkeit des Fahrzeugschwerpunktes
$\phi(<y,p>)$	Methode der Output-Generierung (mit einem weiteren Input)
$\mu_H$	Variabler Verstärkungsfaktor des Informationsflusses Hersteller
$\mu_Z$	Variabler Verstärkungsfaktor des Informationsflusses Zulieferer

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Innerhalb der meisten Hochtechnologiebranchen führte in den letzten Jahren ein verstärkter Preisdruck zu einer Erhöhung der Produktkomplexität, was zur Folge hatte, dass ganzheitliche Managemententscheidungen innerhalb der Produktentstehung immer schwieriger wurden.<sup>1</sup> Bedingt durch Produktstrategien mit immer kürzeren Innovationszyklen, Globalisierungsbestrebungen, Individualisierung der Kundenbedürfnisse, zunehmende Funktionsumfänge in den Produkten sowie einem deutlich erhöhten Interdisziplinaritätsgrad in der industriellen Entwicklung werden die einzelnen Komplexitätsdimensionen<sup>2</sup> um ein Vielfaches deutlich.

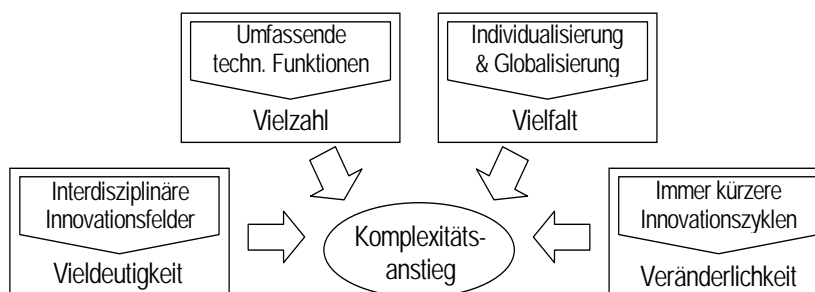


Abbildung 1.1: Komplexitätsdimensionen

Der hohe Komplexitätsgrad zwingt Unternehmen dazu, sich auf ihre Kernkompetenzen zu beschränken und enge Partnerschaften mit ihren ehemals lose verbundenen Zuliefe-

<sup>1</sup> Vgl. Rycroft/Kash (1999), S. 3ff.

<sup>2</sup> Vgl. Reiss (1993), S. 58.

ern einzugehen.<sup>3</sup> Ehemalige Teilefertiger im Produktionsbereich werden im Zuge dieser Entwicklung zu Teilsystementwickler und Problemlöser sowohl im Produktions- als auch im Produktbereich.<sup>4</sup> Partnerschaften werden demzufolge in einem sehr frühen Stadium eingegangen, wenn Leistungscharakteristiken des Produktes noch nicht definiert sind. Dies ermöglicht dem Gesamtsystemhersteller, im Sinne eines Simultaneous Engineering wertvolle Entwicklungszeit zu sparen und dabei das Innovationspotential des Partners voll auszuschöpfen.<sup>5</sup>

Wertschöpfungspartnerschaften führen jedoch nicht zwangsläufig zum Erfolg. Eine Schwierigkeit innerhalb von Entwicklungs- und Fertigungspartnerschaften ist die notwendige funktional und physisch unabhängige Modularisierung eines Produktes.<sup>6</sup> Um einen hohen Kommunikationsaufwand zwischen den Wertschöpfungspartnern zu vermeiden, ist es notwendig, in sich geschlossene Arbeitspakete für die nachfolgende Produktentwicklung zu definieren.<sup>7</sup> Neue Technologiefelder, wie z.B. innovative Elektrik-/Elektronik-Systeme oder neue Anwendungen im Bereich der Mikroelektronik, Mechatronik, Nanotechnik oder Biotechnik, lassen es nicht mehr ohne weiteres zu, Gesamtsysteme in funktional und physisch unabhängige Komponenten aufzugliedern (siehe Abbildung 1.2). Eine Komplexitätsreduktion mittels Zerlegung des Gesamtsystems in einzelne, dem jeweiligen Entscheidungsträger erfass- und beherrschbare Entscheidungsfelder ist kaum mehr möglich. Die pyramidenartige Systemhierarchie ist an ihre Grenzen gelangt. Vielfältige Schnittstellen zwischen den verschiedenen Komponenten führen immer mehr dazu, dass es nicht mehr möglich ist, einzelne Teilprobleme autonom abzuarbeiten.

---

<sup>3</sup> Vgl. Johnston/Lawrence (1988), S. 94ff.; Wildemann (1998), S. 94.

<sup>4</sup> Vgl. Wildemann (1992), S. 89; Swink/Mabert (2000), S. 59.

<sup>5</sup> Vgl. Wolters/Feige (1998), S. 64ff.; Sommerlatte/Jonash (2000), S. 107-111; Quinn (2000), S. 13.

<sup>6</sup> Vgl. Simon (1969), S. 200ff.; Göpfert (1998), S. 142; Baldwin/Clark (2000), S. 63f.

<sup>7</sup> Vgl. Thomke/Reinertsen (1998), S. 25f.; Hippel (1990), S. 415.

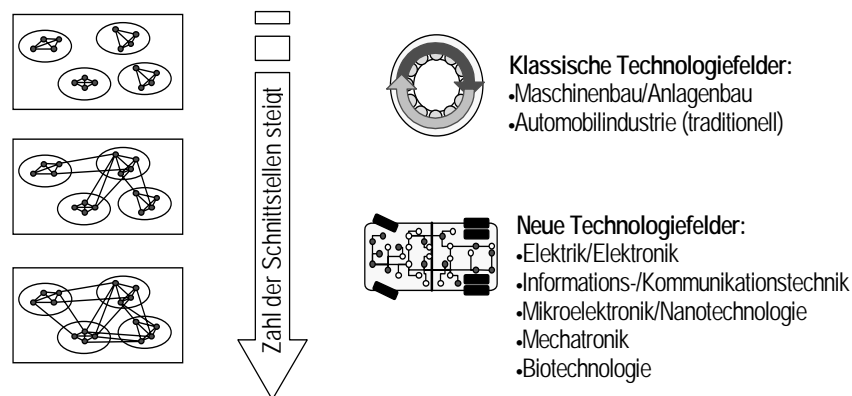


Abbildung 1.2: Steigende Komplexität heutiger Technologiefelder

Zusätzlich zu dieser Produktkomplexität muss sich eine Wertschöpfungspartnerschaft mit einer Komplexitätssteigerung der Entwicklungsumgebung auseinandersetzen. Insbesondere in frühen Phasen der Produktentwicklung erschwert die Unvollkommenheit von Informationen über die Produktionsstruktur und die Entwicklungsressourcen der beteiligten Partner die Festlegung von technischen Parametern. Unternehmensgrenzen und wettbewerbsbedingte Kompetenzerhaltung führen zu Informations- und Wissensbarrieren, welche zum Nutzen aller Beteiligten möglichst erfolgreich gemeistert werden müssen. Unter „erfolgreich meistern“ ist jedoch nicht der totale Wissens- und Informationsaustausch gemeint – dieser ist nicht zu realisieren und auch nicht nötig. Vielmehr müssen die Barrieren möglichst geschickt genutzt werden, damit keine negativen Auswirkungen für die Wertschöpfungspartnerschaft entstehen können.

Komplexität von Entwicklungsaufgabe und -umgebung führen dazu, dass technische Spezifikationen nicht im Voraus von einer zentralen Einheit vorgegeben werden können. Für die Wertschöpfungspartnerschaft muss aus diesem Grund eine wesentliche Frage des Forschungs- und Entwicklungsmanagement beantwortet werden: „Inwieweit ist es möglich und sinnvoll, einzelne Forschungs- und Entwicklungsvorhaben hinsichtlich der Kosten, ihres operativen Ablaufs bzw. ihres zu erwartenden technischen und

wirtschaftlichen Ergebnisses als Ganzes zu planen und zu kontrollieren?“<sup>8</sup> Für den Systemhersteller stellt sich die Herausforderung, das Gesamtsystem in einer frühen Phase so zu definieren, dass ein Zustand erreicht werden kann, welcher einem wirtschaftlichen Gesamtoptimum für die gesamte Wertkette nahe kommt. Anforderungen des Herstellers sowie der in der Wertkette vorgelagerten Zulieferer müssen ausreichend in der Produktauslegung berücksichtigt werden. Spätere Zugeständnisse und Kompromisse innerhalb der Wertkette gilt es auszuschließen. Ein Mehrwert für die Wertschöpfungspartnerschaft kann nur geschaffen werden, wenn bei der Produktgestaltung eine „Win-Win-Situation“ für alle beteiligten Partner gesichert werden kann. Hierzu ist es notwendig, den Wertschöpfungspartnern einen „Free-for-Design“-Bereich zur Verfügung zu stellen, welcher es dem einzelnen Partner ermöglicht, die für ihn vorteilhafte Produktauslegung zu finden. Sollte es zu Überschneidungen oder gegensätzlichen Anforderungen in der Produktgestaltung kommen, müssen sich diese lokalen Optima dem Gesamtoptimum der Wertkette unterordnen.

---

<sup>8</sup> Bürgel u.a. (1996), S. 23. Vgl. auch Roussel u.a. (1991), S. 23ff.

## 1.2 Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes

Bisherige Forschungsarbeiten zur Gestaltung von Wertschöpfungspartnerschaften können durch eine Einteilung in eine strategische, taktische und operative Ebene dargestellt werden.<sup>9</sup> Auf der strategischen Ebene wird die Geschäftsdefinition und die Konfiguration der Wertschöpfungskette festgelegt, während auf taktischer Ebene Produkte und Prozesse innerhalb eines durch strategische Überlegungen vorgegebenen Entscheidungsumfeldes ausgestaltet werden. Auf operativer Ebene wird der Austausch von Steuerungsinformationen und damit ein optimaler Betrieb innerhalb einer Wertschöpfungspartnerschaft koordiniert. Bei einer weiteren Unterscheidung in produkt- und prozessspezifische Ausgestaltungsmöglichkeiten kann die in Abbildung 1.3 ersichtliche Darstellung erhalten werden.

	Produkt-spezifisch	Prozess-spezifisch
Strategische Ebene	Geschäftsdefinition • Bestimmung des Leistungsangebotes • Bestimmung der Eigenleistung • Wahl des Partners	Konfiguration der Partnerschaft • Interorganisatorische Beziehung • Verzahnung der Wertschöpfungskette
Taktische Ebene	Ausgestaltung der Produkte • Variantenmanagement • Unternehmensübergreifende Produktgestaltung	Ausgestaltung der Prozesse • Produktion und Standortwahl • Interorganisationssystem • Wertzurechnung
Operative Ebene	Erstellung vorgegebener Leistungen • Produktionsvollzug und Absatzabwicklung • Qualitätsüberwachung am Produkt	Koordination des optimalen Betriebs • Steuerung innerhalb vorgegebener Prozessstrukturen • Austausch von Steuerungsinformationen

Abbildung 1.3: Gestaltungsebenen bei Wertschöpfungspartnerschaften

<sup>9</sup> Bezüglich der einzelnen Planungshierarchien vgl. Horváth (1989), Sp. 641. Eine ähnliche Definition der Gestaltungsfelder von Wertschöpfungspartnerschaften findet sich bei Stengel (1999), S. 175ff.

Innerhalb dieser drei Ebenen finden sich vielfältige Forschungsarbeiten zur Ausgestaltung von Wertschöpfungspartnerschaften. Angefangen mit theoretischen Ansätzen zur Erklärung der Entstehung von Unternehmenspartnerschaften<sup>10</sup> bis hin zu Verbesserungsvorschlägen für einen flussorientierten Betrieb des Leistungserstellungsprozesses<sup>11</sup> werden die verschiedenen Aspekte einer Ausgestaltung von Wertschöpfungspartnerschaften diskutiert. Das Ergebnis bilden Methoden, die zu erfolgreichen Wertschöpfungspartnerschaften führen sollen.

Bei einer Ausgestaltung von Produkten auf taktischer Planungsebene dominieren Forschungsarbeiten zu einer integrativen Entwicklungsprozessgestaltung. Bestehende Ansätze zur Produktgestaltung, wie beispielsweise das Zielkostencontrolling, werden als Leitlinien verwendet und durch Überlegungen zu einer unternehmensübergreifenden Prozessgestaltung angereichert.<sup>12</sup> Wenig Beachtung hat in der Betriebswirtschaftslehre bisher die Frage gefunden, welche Möglichkeiten die Gestaltung von Wertschöpfungspartnerschaften auf taktischer Ebene zu einer erfolgreichen Zusammenarbeit beitragen kann. Diesem Thema wurde zumeist nur eine sehr geringe Aufmerksamkeit gewidmet. Über Empfehlungen wie „Wertvolle Konstruktions- und Designressourcen werden geteilt [...]. Dieses Teilen [...] schließt die gemeinsame Identifizierung und Entwicklung von Verbesserungsprojekten ein, ferner den gemeinsamen Einsatz von Fachkräften [...], um innovative und verkäufliche Lösungen auszuarbeiten“<sup>13</sup> gehen die identifizierten Arbeiten nicht hinaus. Eine Integration des Wertschöpfungspartners auf taktischer Ebene ist jedoch ebenso eine erfolgsnotwendige Fähigkeit wie die gemeinsame Ausrichtung von Aktivitäten auf strategischer und operativer Ebene.<sup>14</sup>

---

<sup>10</sup> Vgl. Sydow (1992), S. 127ff.; Männel (1996), S. 68ff.; Beck (1998), S. 38ff.

<sup>11</sup> Vgl. Schmid (1999), S. 107ff.; Sautter (1999), S. 151ff.

<sup>12</sup> Vgl. Cooper/Slagmulder (1999), S. 245ff.; Ehrlenspiel u.a. (1998), S. 183ff.; Laseter (1998), S. 37ff.

<sup>13</sup> Vgl. Poirier/Reiter (1997), S. 187.

<sup>14</sup> Vgl. Asmus/Griffin (1993), S. 63ff.; Kanter (1994), S. 105f.; Nellore/Söderquist (2000b), S. 526.

Zu betonen ist, dass eine Entscheidung über das Eingehen einer Wertschöpfungspartnerschaft nicht Gegenstand dieser Arbeit ist. Überlegungen wie beispielsweise die Desintegration von unternehmensinternen Leistungen<sup>15</sup> oder die Auswahl eines geeigneten Partners<sup>16</sup> sind nicht Gegenstand dieser Arbeit. Beide Entscheidungen werden auf strategischer Ebene getroffen. Eine taktische Produktgestaltung muss sich diesen vorgegebenen Rahmenbedingungen unterordnen und einen maximalen Erfolg durch entsprechende Definition des Endproduktes erarbeiten. Die vorliegende Arbeit setzt somit zu dem Zeitpunkt an, bei dem als Zielrichtung der beiden Parteien die Optimierung der gesamten Wertkette festgelegt wird (siehe Abbildung 1.3).

---

<sup>15</sup> Vgl. Kaufmann (1995), S. 275ff.; Männel (1997), S. 307f.; Wingert (1997), S. 122ff.; Quinn (1999), S. 9ff.

<sup>16</sup> Vgl. Ebel (2001), S. 313ff.; Heimbrock (2001), S. 230ff.; Dreyer (2000), S. 53ff.; Wingert (1997), S. 204ff.

### 1.3 Zielsetzung der Arbeit

In dem im Kapitel 1.2 beschriebenen Umfeld setzt sich dieses Forschungsvorhaben die Aufgabe, innerhalb von Wertschöpfungspartnerschaften Rahmenbedingungen zur Unterstützung einer Komplexitätsbeherrschung bei der Planung und Entwicklung von Produkten zu erarbeiten und auf eine mögliche Falsifikation hin zu überprüfen.

Aus wissenschaftlicher Perspektive wird das Ziel verfolgt, bei der Herleitung von geeigneten Rahmenbedingungen einer Wertschöpfungspartnerschaft bestehende, meist getrennt betrachtete Wirkungszusammenhänge in Verbindung zueinander zu bringen und im Gesamten zu erproben.<sup>17</sup> Neue Pfade für eine erfolgversprechende Zusammenarbeit in Wertschöpfungspartnerschaften können so aufgezeigt werden. Den einzelnen Fachdisziplinen kann durch die versuchte Falsifikation und den damit gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnissen neue Anhaltspunkte für ihre eigene Arbeit gegeben und zusätzlich einen übergeordneten Rahmen mit angrenzende Forschungsbereichen aufgezeigt werden.

Die vorliegende Arbeit soll dabei greifbare Handlungsleitlinien zur Verfügung stellen, die den einzelnen Wertschöpfungspartner nicht mit allgemein gehaltenen Prinzipien alleine lässt und deren Umsetzung im operativen Alltag dem Anwender überlässt. Das Verlassen der abstrakten Ebene und die Formulierung von konkreten Gestaltungsempfehlungen ermöglicht vielmehr eine direkte Transformation in den Arbeitsalltag eines Unternehmens. Wird diese Transformation in die Arbeitswelt nicht geleistet, so ist die Gefahr groß, dass aus diesem Ansatz zur Komplexitätsbeherrschung nur ein weiteres „Management Fad“ resultiert.<sup>18</sup>

---

<sup>17</sup> Die getrennte Betrachtung ergibt sich durch unterschiedliche Wissenschaftsdisziplinen. Hierzu zählt insbesondere die Betriebswirtschaftslehre, die Ingenieurwissenschaft und die Kognitionswissenschaft.

<sup>18</sup> Vgl. Micklethwait/Wooldridge (1998), S. 25f.; Farnham (1996), S. 79f.

Der betrieblichen Praxis soll somit ein konkreter Gestaltungsvorschlag gegeben werden, welcher dem Praktiker durch ein wissenschaftlich hergeleitetes Fundament und einer empirisch ausgeführten Überprüfung der Wirkungszusammenhänge einen möglichst hohen Wahrheitswert bietet. Denn hinter der zuvor aufgezeigten Fragestellung steht eine hohe Praxisrelevanz. Bisher beschränken sich Wertschöpfungspartnerschaften auf wenig komplexe und einfach abzugrenzende Beschaffungsumfänge wie beispielsweise die Sitzmodule oder das Radiogerät eines Automobils.<sup>19</sup> Dies kann als Hinweis gedeutet werden, dass die Ausweitung von Wertschöpfungspartnerschaften auf komplexere Module nicht ohne weiteres möglich ist. In der betriebswirtschaftlichen Forschungslandschaft konnte jedoch keine Arbeit gefunden werden, welche einen umsetzbaren Lösungsansatz anbietet.

---

<sup>19</sup> Vgl. Piller/Waringer (1999), S. 102f.; Wolters (1995), S. 78ff.

## 1.4 Forschungskonzept

Der wissenschaftstheoretische Begründungszusammenhang<sup>20</sup> dieses Forschungsvorhabens beruht auf einer deduktiv-nomologischen Vorgehensweise. Aus einer allgemeinen, in der Wissenschaft anerkannten Gesetzmäßigkeit wird durch einen deduktiven Schluss eine besondere Aussage abgeleitet.<sup>21</sup> Der deduktive Schluss gilt als sicher, wird doch von einer allgemeinen Aussage erwartet, alle möglichen Spezialfälle abzudecken. Diese Gültigkeit der Schlussfolgerung beruht jedoch lediglich auf der logischen Beziehung zwischen zugrundeliegenden Prämissen und den aufgestellten Folgerungen.<sup>22</sup> Die Logik kann nur den Zusammenhang liefern, dass wenn die Voraussetzungen wahr sind, auch die Schlussfolgerungen wahr sein müssten. Der tatsächliche Wahrheitswert einer deduktiven Aussage kann nur durch eine erneute nichterfolgte Falsifikation der Schlussfolgerung in der Realität erkundet werden.<sup>23</sup> Eine empirische Untersuchung ist in diesem Zusammenhang unverzichtbar.

Für die hier aufgezeigte Forschungskonzeption sind zwei verschiedene Zielsetzungen maßgeblich: ein wissenschaftstheoretisches und ein pragmatisches Wissenschaftsziel.<sup>24</sup> Als wissenschaftstheoretisches Ziel steht die empirische Überprüfung eines generellen Ursache-Wirkungs-Zusammenhanges. Ein wissenschaftlicher Fortschritt soll durch das erneute Zuführen der abgeleiteten theoretischen Aussage in eine mögliche Falsifizierung erzielt werden.<sup>25</sup> Pragmatisches Wissenschaftsziel ist, Handlungsanleitungen über das zielerreichende Gestalten im Unternehmen empirisch zu testen. Hierzu wird das Ursache-Wirkungs-Aussagesystem in ein System von anwendungsbezogenen Ziel-Mittel-Aussagen umgewandelt.<sup>26</sup> Theoretische Aussagen werden technologisch umge-

---

<sup>20</sup> Vgl. Friedrichs (1980), S. 50ff.; Chmielewicz (1994), S. 37.

<sup>21</sup> Vgl. Hempel/Oppenheim (1948), S. 137; Seiffert (1983), S. 133f.; Andersson/Seiffert (1989), S. 22f.

<sup>22</sup> Vgl. Andersson/Seiffert (1989), S. 24; Chalmers (1999), S. 12f.

<sup>23</sup> Vgl. Popper (1994), S. 7f.; Chmielewicz (1994), S. 159f.

<sup>24</sup> Vgl. Chmielewicz (1994), S. 8ff.; Stählin (1973), S. 9ff.

<sup>25</sup> Vgl. Popper (1994), S. 8; Chmielewicz (1994), S. 159f.

<sup>26</sup> Vgl. Chmielewicz (1994), S. 11.

formt, indem die Wirkung als Ziel angestrebt und dafür die Ursachen als Mittel herbeigeführt werden.

Der Zweck des Verfolgens beider Wissenschaftsziele ist es, eine Kooperation von Wissenschaft und Unternehmenspraxis zu ermöglichen.<sup>27</sup> Durch die empirische Überprüfung eines Ziel-Mittel-Aussagensystems wird es der Praxis ermöglicht, Erkenntnisse aus der Wissenschaft direkt in den Unternehmensalltag einzubringen. Im Gegenzug wird die Wissenschaft in die Lage versetzt, theoretische Aussagen anhand der unternehmerischen Praxis zu testen. Durch die Instrumentalisierung der Ursache-Wirkungskette ist eine zügige Umsetzung in der Realität möglich. Falsche Aussagen haben eine geringe Lebenserwartung. Der durch das technologische Wissenschaftsziel bedingte Zwang zur Anwendung führt zu einer Realitätsnähe und letztendlich zu einer Prüfung des Wahrheitsgehaltes.

Die folgende Argumentationskette unterliegt dem Forschungskonzept dieser Arbeit:

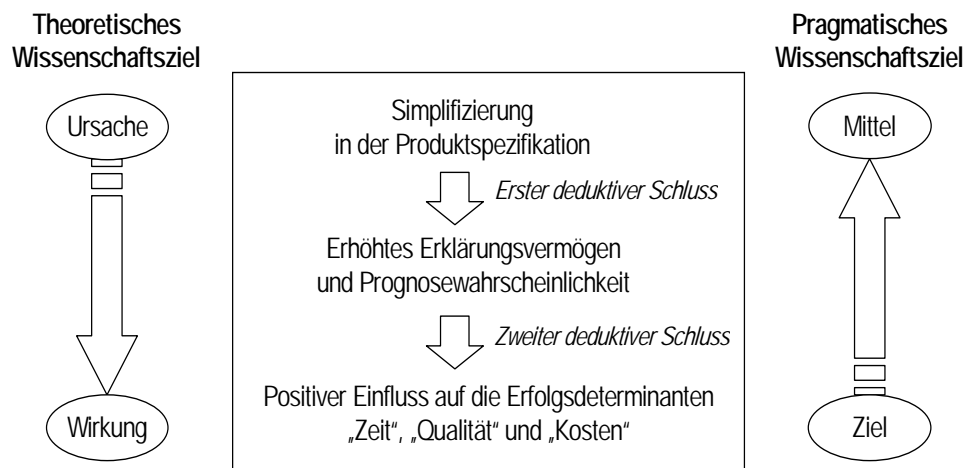


Abbildung 1.4: Argumentationskette dieser Forschungsarbeit

<sup>27</sup> Vgl. Chmielewicz (1994), S. 15ff.; Stählin (1973), S. 25ff.

Unter der theoretischen Zielsetzung wird in einem ersten deduktiven Schluss eine Erhöhung von Erklärungsvermögen und Prognosewahrscheinlichkeit abgeleitet, wenn in der Produktspezifikationserstellung simplifiziert wird. Darauf aufbauend wird ein zweiter deduktiver Schluss ausgeführt, der einen positiven Einfluss von erhöhtem Erklärungsvermögen und Prognosewahrscheinlichkeit in der Produktspezifikation auf die Erfolgsdeterminanten „Zeit“, „Qualität“ und „Kosten“ vorhersagt. Diese Ursache-Wirkungskette wird entsprechend dem pragmatischen Wissenschaftsziel in ein Ziel-Mittel-Aussagesystem umgekehrt. Für Wertschöpfungspartnerschaften ergibt sich somit die Gestaltungsprognose, auf taktischer Ebene das Mittel der Simplifizierung in der Produktspezifikation einzusetzen, um somit die Erfolgsfaktoren einer gesamten Wertkette zu steigern.

Für die aufgezeigte Wirkungskette gilt es nach der zuvor beschriebenen Deduktion, den Wahrheitswert in der Realität zu überprüfen. Sowohl die wissenschaftliche als auch die pragmatische Argumentationsrichtung muss empirisch getestet werden. Der wissenschaftstheoretischen Forderung, „generelle Aussagen mit maximalem sachlichem und unbegrenztem raum-zeitlichen Geltungsbereich anzustreben“<sup>28</sup>, muss entsprochen werden. Diese Anforderung definieren das Fernziel an eine betriebswirtschaftliche Forschungsarbeit. Als Nahziel ist diese Maximalforderung jedoch nicht zu verwenden.<sup>29</sup> Hierfür stellt sie einen zu idealisierten Zustand dar. Eine Alles-oder-Nichts-Strategie würde dazu führen, dass die empirische Überprüfung der Wirkungskette nicht mehr durchführbar wäre.<sup>30</sup> Aus diesem Grund ist es für eine Forschungskonzeption wichtig, die Maximalforderungen zu kennen und nach ihnen zu streben. Dabei soll die Empirie bewusst als Kontrollinstanz für die aufgestellten oder logisch abgeleiteten Aussagen gesucht werden. Ist dies in einzelnen Fällen nicht möglich, sind andere Lösungen für die entsprechende Ausgestaltung des Forschungskonzeptes zu finden. Dies entspricht der Auffassung, dass für wissenschaftliche Forschungsergebnisse der Neuigkeitsgrad und

---

<sup>28</sup> Chmielewicz (1994), S. 85.

<sup>29</sup> Vgl. Chmielewicz (1994), S. 115.

<sup>30</sup> Vgl. Chmielewicz (1994), S. 114f.

der Informationsgehalt einer Aussage vor einem Wahrheitsnachweis dominieren.<sup>31</sup> Informationsgrad und Neuigkeitsgrad sind zu maximieren, während die Wahrheit der Aussage im Idealfall vorliegt, „im Realfall verifiziert bzw. trotz intensiver Bemühungen noch nicht falsifiziert ist“.<sup>32</sup>

---

<sup>31</sup> Vgl. Popper (1974), S. 86.

<sup>32</sup> Chmielewicz (1994), S. 130.

## 1.5 Aufbau der Arbeit

Das erste Kapitel dieser Arbeit beschreibt die zugrundeliegende Problemstellung einer Komplexitätsbeherrschung in einer unternehmensübergreifenden Produktspezifikationserstellung und grenzt den Untersuchungsgegenstand von anderen Arbeiten ab. Dabei wird sowohl das Theoriedefizit als auch das Verlangen der Unternehmenspraxis nach theoretisch fundiertem Wissen aufgezeigt. Im Anschluss wird die Zielsetzung der Arbeit vorgestellt und eine entsprechende Forschungskonzeption abgeleitet. Kapitel 1 schließt mit einer Vorstellung der in den sechs Kapiteln verfolgten Argumentation dieser Arbeit ab (siehe Abbildung 1.5).

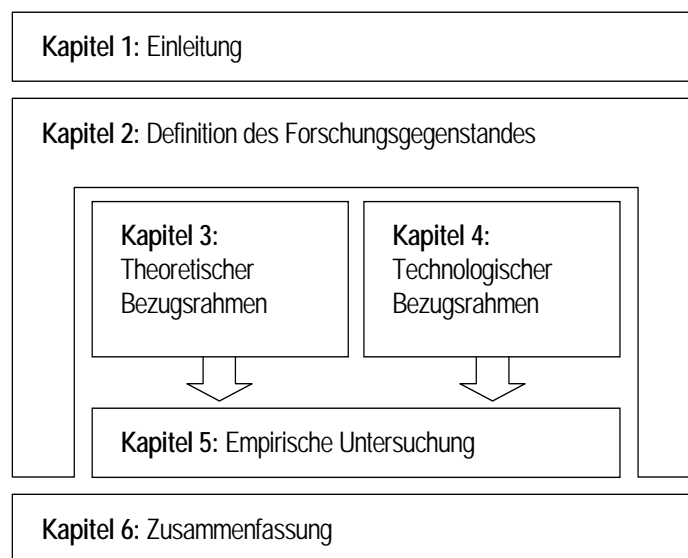


Abbildung 1.5: Aufbau der Arbeit

Das Kapitel 2 widmet sich der Definition des Forschungsgegenstandes. Zuallererst werden die wesentlichen Kernbegriffen einer Wertschöpfungspartnerschaft unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen einer partnerschaftlichen Beziehung definiert. Im Anschluss wird der Begriff der „unternehmensübergreifenden Produktspe-

zifikationserstellung“ detailliert erarbeitet und heutige Herausforderungen einer unternehmensübergreifenden Produktspezifikation aufgezeigt.

Um den beiden Zielsetzungen der Forschungskonzeption gerecht zu werden, ist der sich anschließende Teil der Arbeit in einen wissenschaftstheoretischen und einen technologischen Teil gegliedert. Innerhalb von Kapitel 3 wird die deduktive hergeleitete Argumentationskette entsprechend einem Ursache-Wirkungs-Aussagesystem dargelegt. Hierzu werden in einem ersten Schritt die konzeptionellen Grundlagen des Simplifizierungsprinzips definiert und auf die Produktspezifikation übertragen. Dem schließt sich der erste deduktive Schluss eines erhöhten Erklärungsvermögens und einer erhöhten Prognosewahrscheinlichkeit an. Logisch und faktisch determinierte Entdeckungszusammenhänge werden angeführt, um das deduzierte Aussagesystem herzuleiten. Abgeschlossen wird das Kapitel 3 durch den zweiten deduktiven Schluss, bei dem ein positiver Einfluss von Erklärungsvermögen und Prognosewahrscheinlichkeit auf die Erfolgsdeterminanten einer Forschung und Entwicklung abgeleitet wird.

In Kapitel 4 wird der zuvor beschriebene Ursache-Wirkungs-Zusammenhang in ein Ziel-Mittel-Aussagesystem überführt. Der Unternehmenspraxis wird ein Vorschlag unterbreitet, wie der wissenschaftstheoretische Teil dieser Arbeit auf direktem Wege in den Unternehmensalltag eingebracht werden kann. Hierzu wird zuerst der systemisch-evolutionäre Ansatz zur Komplexitätsbeherrschung als geeigneter Lösungsvorschlag für die Steuerung der Produktspezifikationserstellung über die Wertkette hinweg gesucht. Die Notwendigkeit für das Aufstellen von Regeln zur Koordination der Produktdefinition wird dargestellt und die besondere Stellung und die Koordinationsfunktion von Regelwerken im Unternehmen umrissen. Im Anschluss werden die Anforderungen an eine praxisgerechte Regelauslegung aufgestellt. Aufgrund fehlender geeigneter Regelwerke wird ein konstruktiver Entwurf von Simplifizierungsregeln ausgeführt.

In Kapitel 5 ist die empirische Untersuchung dokumentiert, welche die deduktiv abgeleiteten Folgerungen einer Simplifizierung in der Produktspezifikationserstellung überprüft. Nachdem der Untersuchungsplan beschrieben wird, werden die Ergebnisse der

---

Datenerhebung zusammengefasst und eine Inhaltsanalyse durchgeführt. Sowohl die notwendigen einzelnen Schritte der Inhaltsanalyse als auch das Endergebnis werden aufgeführt.

Das letzte Kapitel dieser Arbeit, Kapitel 6, gibt einen Überblick über die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit. Hier wird insbesondere die anfangs definierte Zielsetzung dieser Untersuchung mit den erarbeiteten Hauptaussagen verglichen.

## **2 Definition des Forschungsgegenstandes: Produktspezifikationserstellung in Wertschöpfungspartnerschaften**

Entscheidend für die erfolgreiche Umsetzung einer auf strategischer Ebene eingegangenen Wertschöpfungspartnerschaft ist es, den individuellen Anforderungen der vor- bzw. nachgelagerten Glieder einer Wertkette zu entsprechen (siehe Kapitel 2.1). Erschwert durch eine hohe Komplexität von Entwicklungsaufgabe und -umfeld und einer unvollkommenen Informationslage ist es innerhalb der unternehmensübergreifenden Spezifikationserstellung notwendig, den Partnern eine Optimierung der Wertschöpfungsbeiträge nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien zu ermöglichen (siehe Kapitel 2.3). Die Produktspezifikation stellt durch die Verwendung als Kommunikationsmedium von Designattributen zwischen den einzelnen Unternehmen einen zentralen Stellhebel dar. (siehe Kapitel 2.2)

### **2.1 Begriffliche Grundlagen und Defizite in der Praxis von Wertschöpfungspartnerschaften**

Das wesentliche Merkmal des wissenschaftlichen Konstrukts einer Wertschöpfungspartnerschaft wird durch ein kooperatives Verhalten aller beteiligten Parteien gegeben (siehe Kapitel 2.1.1). Alle Handlungen der Parteien sind darauf ausgerichtet, eine gegenseitige „Win-Win-Situation“ zu erzielen. In der Unternehmenspraxis stößt dies jedoch auf Schwierigkeiten. Die Ursache ist vorwiegend in einem den Eigennutzen maximierenden Verhalten der einzelnen Parteien zu finden (siehe Kapitel 2.1.3). Der Ansatz der partnerschaftlichen Geschäftsbeziehung wird auf rhetorischer Ebene verharren, solange es nicht gelingt, innerhalb der Unternehmen neue Verhaltensweisen zu implementieren, welche auf ein Erreichen kooperativer Lösungen ausgerichtet sind (siehe Kapitel 2.1.2).

### 2.1.1 Wertschöpfung, Wertkette und Wertschöpfungspartnerschaft

Im Rahmen der Wettbewerbstheorie wird mit dem Begriff „Wert“ derjenige Betrag bezeichnet, welchen ein Abnehmer für das, was eine Wirtschaftseinheit ihm zur Verfügung stellt, zu zahlen bereit ist.<sup>1</sup> Liegen die Kosten für die Erstellung eines Produktes inklusive der geleisteten Vorleistungen unterhalb dieses Betrages, arbeitet die Wirtschaftseinheit gewinnbringend und es wird von Wertschöpfung gesprochen.<sup>2</sup> Die „Wertschöpfung“ ist damit das Resultat eines Prozesses der Leistungsentstehung, welcher innerhalb einer Wirtschaftseinheit durch die Produktion von Gütern oder Dienstleistungen geschaffen wird.<sup>3</sup> Er umfasst sowohl den Wert der verschiedenen Wertschöpfungsaktivitäten als auch die erzielte Gewinnspanne. Jede wettbewerbliche Strategie unterliegt dieser Zielsetzung der Generierung einer Wertschöpfung und versucht unter Berücksichtigung langfristig geprägter Faktoren, diesen nachhaltig zu maximieren.

Definition 2.1: Die **Wertschöpfung** einer unternehmerischen Tätigkeit entspricht dem Mehrwert einer Produktion und bildet sich aus der Differenz zwischen dem erzielten Erlös der nach außen abgegebenen Güterwerte (Output) und den dazu benötigten Vorleistungen der von außen hereingenommenen Güterwerte (Input).

Auf Basis dieser Definition der „Wertschöpfung“ visualisiert die „Wertkette“ die einzelnen Tätigkeiten und Prozesse einer Wirtschaftseinheit, welche durch ein entsprechendes Zusammenspiel der Aktivitäten einen Produktionsmehrwert generieren.<sup>4</sup> Eine grobe Strukturierung in primäre und sekundäre Wertschöpfungsaktivitäten ermöglicht

---

<sup>1</sup> Vgl. Porter (1986), S. 21.

<sup>2</sup> Auf eine detailliertere Definition des Begriffs „Wertschöpfung“ wird hier verzichtet. Speziell bei der monetären Bestimmung der Wertschöpfung existiert eine Bandbreite von Vorgehensweisen, deren Unterschiede in Bezug auf diese Forschungsarbeit keine Auswirkungen besitzen.

<sup>3</sup> Dies stellt die in den Wirtschaftswissenschaften vorherrschende Definition der „Wertschöpfung“ dar. Vereinzelt wird mit dem Begriff auch der eigentliche Prozess der Leistungsentstehung bezeichnet. Vgl. Meyer-Merz (1985), S. 39.

<sup>4</sup> Vgl. Porter (1986), S. 64.

es, einzelne Unternehmensprozesse im Hinblick auf die realisierte Wertschöpfung zu analysieren.<sup>5</sup> Gegenstand dieser Analyse sind Differenzierungs- und Kostenminimierungspotentiale der einzelnen im Unternehmen ausgeführten Tätigkeiten.<sup>6</sup> Durch den direkten Vergleich der einzelnen Wertschöpfungsaktivitäten mit verschiedenen Wettbewerbern können strategisch entscheidende Kernkompetenzen definiert und Handlungsbedarf im Hinblick auf eine Optimierung der eigenen Wertkette identifiziert werden. Als Ergebnis dieser Wertkettenanalyse steht meist die Konzentration von Ressourcen auf die identifizierten Kernkompetenzen, während unattraktive, keine Wettbewerbsvorteile erbringende Aktivitäten, abgegeben werden.<sup>7</sup> Eine Änderung der Wertschöpfungstiefe kann die Folge sein.

Definition 2.2: Die **Wertkette** bildet sich aus den einzelnen Tätigkeiten und Prozessen, welche insgesamt für die Produktion von Gütern oder Dienstleistungen und damit für die Generierung eines Mehrwertes in Form einer Wertschöpfung erforderlich sind.

Als Konsequenz dieser Konzentration auf bestimmte Wertschöpfungsaktivitäten können sich sogenannte „Wertschöpfungspartnerschaften“ bilden. Dazu schließen sich rechtlich und wirtschaftlich selbständige Unternehmen im Rahmen von vertikalen und/oder horizontalen Kooperationen zu Gruppen zusammen und organisieren gemeinsam die Leistungserstellung entlang der Wertkette.<sup>8</sup> Die Wertschöpfungspartner treten am Markt als geschlossene Wettbewerbseinheit auf. Sie verfolgen das Ziel, durch Bündelung der einzelnen Kernkompetenzen Wettbewerbsvorteile zu realisieren und ihre Marktposition zu halten.<sup>9</sup> Spezialisierungseffekte ermöglichen es, ökonomische Vorteile gegenüber Wettbewerbern zu erzielen. Entsprechende System- und Problemlösungskapazitäten der

---

<sup>5</sup> Während sich primäre Aktivitäten unmittelbar auf die Versorgung des Marktes mit Produkten und Dienstleistungen beziehen, zielen sekundäre Aktivitäten auf eine Versorgung des Unternehmens ab. Vgl. Porter (1986), S. 65.

<sup>6</sup> Vgl. Porter (1986), S. 59; Porter (1990a), S. 62ff.

<sup>7</sup> Vgl. Prahalad/Hamel (1990), S. 83; Barney (1991), S. 102ff.; Hamel/Prahalad (1993), S. 78ff.

<sup>8</sup> Vgl. Johnston/Lawrence (1988), S. 94ff.

<sup>9</sup> Vgl. Johnston/Lawrence (1988), S. 95.

jeweiligen Partner können zu einem im Idealfall dem Markt überlegenen Wertschöpfungsprozess ergänzt werden. Die Leistungserstellung zweier Wertschöpfungspartner über die Wertkette hinweg darf hier jedoch nicht als alleiniges Weiterreichen von Produkten oder Dienstleistungen zwischen unmittelbar benachbarten Stufen verstanden werden.<sup>10</sup> Um einen nachhaltigen Wettbewerbsvorteil zu erlangen, ist es notwendig, eine auf Gegenseitigkeit ausgerichtete Beziehungsstruktur aufzubauen und innerhalb eines kontinuierlichen und gemeinsamen Abstimmungsprozesses die gesamte Wertkette möglichst erfolgreich auszugestalten. Nur die systematische Steigerung des Wertes der gesamten Wertschöpfungskette kann einen langfristigen Erfolg der Wertschöpfungspartnerschaft sicherstellen. Die so geschaffenen Wertkettenkonstellationen können nicht ohne weiteres von Wettbewerbern nachgeahmt werden und sorgen so für einen nachhaltigen Wettbewerbsvorteil.

Definition 2.3: Die **Wertschöpfungspartnerschaft** steht für das vertikale oder horizontale Zusammengehen zweier oder mehrerer, innerhalb einer Wertkette agierender Unternehmen oder Unternehmensteile, die langfristig orientiert das Ziel verfolgen, die Wertschöpfung der gesamten Wertkette zu optimieren.

Abbildung 2.1 zeigt ein auf zwei Partner reduziertes Wertschöpfungsmodell.<sup>11</sup> Hersteller und Zulieferer gehen eine Partnerschaft ein und gestalten auf operativer, taktischer und strategischer Ebene gemeinsam den Leistungserstellungsprozess. Entwicklung, Erstellung und Verwertung von Produkten bzw. Dienstleistungen sind Gegenstand einer gemeinsamen Planung, Steuerung und Kontrolle der Wertkette. Zwischen jeder beteiligten Partei werden Informations-, Geld- und Material- bzw. Dienstleistungsflüsse notwendig, um eine Zusammenarbeit zu ermöglichen und die erzielte Wertschöpfung auf einzelne Parteien zu verteilen. Die Wertschöpfungspartner gehen dabei von einem

---

<sup>10</sup> Vgl. Normann/Ramirez (1993), S. 65f.

<sup>11</sup> In der Unternehmenspraxis können in einer Wertkette fünfzehn oder mehr aufeinanderfolgende Glieder identifiziert werden. Vgl. Koperski (2001), o.S.

kooperativen Verhalten des Anderen aus. Auch wenn sich generell die Zielstruktur und -gewichtung der einzelnen beteiligten Unternehmen unterscheiden mögen, ist eine gleichgerichtete Ausgestaltung der Wertkette notwendig, um Effizienzvorteile und letztlich Wettbewerbsvorteile erreichen zu können.<sup>12</sup> Dabei können durchaus Spannungsfelder entstehen. Wie in Abbildung 2.1 angedeutet, kann ein Wertschöpfungspartner auch in konkurrierenden Wertketten beteiligt sein. In diesem Fall kann von dem Partner kein kompetitives Verhalten gegenüber Mitgliedern anderer Wertketten erwartet werden. Ein faires und marktkonformes Verhalten bildet jedoch eine Grundvoraussetzung für das Zustandekommen und das langfristig erfolgreiche Bestehen der jeweiligen Wertschöpfungspartnerschaft.<sup>13</sup>

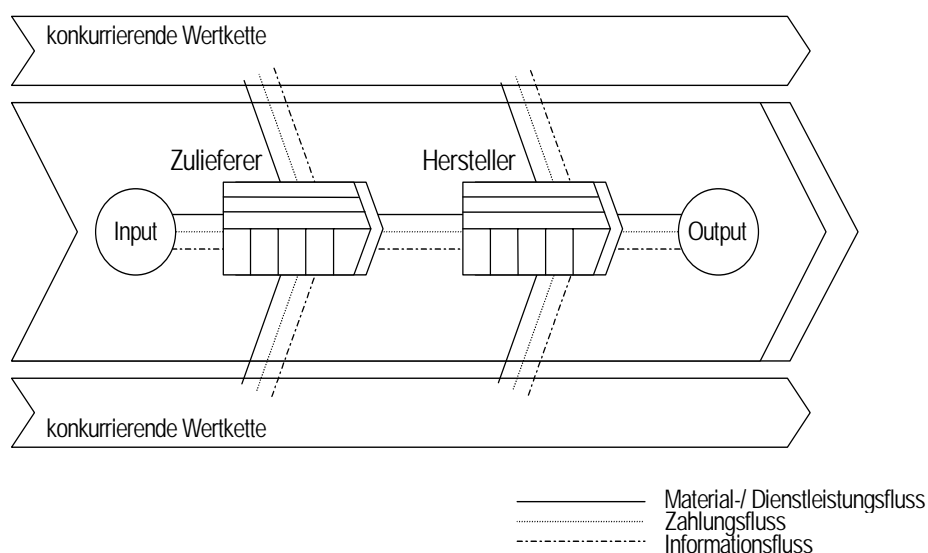


Abbildung 2.1: Reduziertes Modell einer Wertschöpfungspartnerschaft<sup>14</sup>

Gehen Unternehmen eine Wertschöpfungspartnerschaft ein, eröffnen sie sich die Möglichkeit, sowohl vom Koordinationsvermögen, den Mengen- und den Synergievorteilen eines Großunternehmens, als auch den Flexibilitätsvorteilen und den geringen

<sup>12</sup> Vgl. Siebert (1999), S. 9.

<sup>13</sup> Vgl. Hahn (2000), S. 175.

<sup>14</sup> In Anlehnung an Porter (1986), S. 62.

Overhead-Kosten kleiner Unternehmen zu profitieren.<sup>15</sup> Es handelt sich damit um eine Organisationsform, welche der hohen Dynamik des heutigen Wettbewerbs entgegengestellt werden kann.<sup>16</sup> Merkmale wie Kundennähe, Kundenorientierung, Erhöhung der Eigenverantwortung im Unternehmen, Überschaubarkeit der Geschäftsaktivitäten, Flexibilität und schnelle organisatorische Lernprozesse können der Wertschöpfungspartnerschaft zugewiesen werden.<sup>17</sup> Eine Überschneidung mit dem Begriff „Unternehmensnetzwerke“ ist ersichtlich.<sup>18</sup> Dieses ist definiert durch „eine auf Realisierung von Wettbewerbsvorteilen zielende, polyzentrische [...] Organisationsform, [...] die sich durch komplex-reziproke, eher kooperative denn kompetitive und relativ stabile Beziehungen zwischen rechtlich selbständigen, wirtschaftlich jedoch zumeist abhängigen Unternehmungen auszeichnet.“<sup>19</sup> Die Wertschöpfungspartnerschaft kann in diesem Zusammenhang als eine Kooperationsform verstanden werden, welche strategische Netzwerkstrukturen von Unternehmen als Ganzes erfasst.<sup>20</sup>

Wird eine im Hersteller-Zulieferer-Verbund ausgeführte Produktentwicklung in eine Wertschöpfungspartnerschaft ausgelagert, so lassen sich in der wissenschaftlichen Literatur sowohl eine Reihe von Vorteilen als auch einige Risiken und negative Aspekte zusammenfassen. Für Partnerschaften in der Produktentwicklung werden die folgenden Benefits aufgeführt:<sup>21</sup>

- Streuung und Teilung der mit der Produktentwicklung verbundenen Kosten und des Risikos.<sup>22</sup>

---

<sup>15</sup> Vgl. Johnston/Lawrence (1988), S. 99.

<sup>16</sup> Vgl. Zahn (2000), S. 3ff.; Siebert (1999), S. 10; Miles/Snow (1986), S. 64ff.

<sup>17</sup> Vgl. Kanter (1994), S. 100.

<sup>18</sup> Bezüglich eines dynamischen Netzwerkverbundes vgl. Miles/Snow (1986), S. 64ff.; Miles/Snow (1992), S. 66ff.; Sydow (1992), S. 60ff.; Backhaus/Meyer (1993), S. 330ff.; Hinterhuber/Levin (1994), S. 44ff.

<sup>19</sup> Sydow (1992), S. 82.

<sup>20</sup> Vgl. Sydow (1992), S. 71; Männel (1996), S. 66; Sydow (1999), S. 283f.

<sup>21</sup> Vgl. Nellore/Söderquist (2000b), S. 526.

<sup>22</sup> Vgl. Ellram (1991), S. 3; Lamming (1994), S. 120ff.

- Reduzierte Kosten durch an den Zulieferer weitergegebene Kostenreduzierungsforderungen und Ausnützung der gemeinhin im Vergleich zum Hersteller niedrigeren Kostenstrukturen des Zulieferers.<sup>23</sup>
- Breiter Zugang zu erfolgversprechenden Technologien und Innovationspotentialen, welche der Hersteller alleine nicht oder nur sehr ineffizient sicherstellen könnte. Partnerschaft mit Zulieferern mit unterschiedlichem technologischem Expertenwissen führt zu einem breitgefächerten Kompetenzpool, welcher die Entwicklung divergenter Technologien fördert.<sup>24</sup>
- Reduzierte Entwicklungszeiten durch die simultane Bearbeitung der Produktspezifikation.<sup>25</sup>

Im Gegenzug werden die folgenden Risiken und Nachteile einer in Wertschöpfungspartnerschaften ausgeführten Produktentwicklung genannt:

- Das Eingehen der Partnerschaft kann sehr kostspielig werden und die Existenz beider Parteien gefährden, wenn eine Partei die Partnerschaft auf negative Weise dominiert, wenn die Unternehmenskulturen der beiden Parteien zu unterschiedlich sind oder wenn sich eine Partei stark opportunistisch verhält.<sup>26</sup>
- Mögliche hohe Transaktionskosten, welche mit der benötigten Zeit und Aufwand zum Managen dieser Partnerschaft verbunden sind. Hierzu zählen beispielsweise die Kosten zum Aufbau der Partnerschaft oder Handelskosten für die Koordination des Informationsaustausches.<sup>27</sup>

---

<sup>23</sup> Vgl. Ellram (1991), S. 3; Lamming (1994), S. 120ff.

<sup>24</sup> Vgl. Ellram (1991), S. 3; Bronder/Pritzl (1992), S. 415.

<sup>25</sup> Vgl. Clark (1989), S. 1249f.; Bronder/Pritzl (1992), S. 415.

<sup>26</sup> Vgl. Harrigan (1986), S. 25.

<sup>27</sup> Vgl. Richardson (1993), S. 344f.

- Viele Partnerschaften sind instabil, da ein kooperatives Verhalten stark mit dem Vertrauen beider Parteien verbunden ist. Vertrauen ist jedoch ein subjektives Konstrukt, welches sich nicht messen lässt.<sup>28</sup>
- Abhängig vom Grad des Kommunikationsaustausches und der notwendig Offenheit zwischen den Parteien lassen sich vertrauliche Informationen nur sehr schwer geheim halten. Die Quelle der Wettbewerbsfähigkeit einer Firma ist in Gefahr. Insbesondere dann, wenn unterschiedliche Zulieferer, welche im gegenseitigen Wettbewerb stehen, an einer Entwicklungspartnerschaft beteiligt sind.<sup>29</sup>

Betrachtet man die Risiken des Eingehen einer Wertschöpfungspartnerschaft so wird deutlich, dass die Entscheidung des Eingehen einer Partnerschaft gut überlegt sein muss. Nicht nur die Vorteile, sondern auch die Nachteile müssen innerhalb einer solchen Entscheidung in Betracht gezogen werden.

### **2.1.2 Charakter einer partnerschaftlichen Beziehung in Wertketten**

Innerhalb einzelner Wertketten stehen sich Hersteller und Zulieferer traditionell als Gegenspieler gegenüber.<sup>30</sup> Reibungspunkte treten meist im Rahmen von Verhandlungen über Preise, Konditionen sowie Qualitäts- und Lieferbestimmungen auf.<sup>31</sup> Jede Partei versucht hier mit einer opportunistischen Sichtweise, jede Chance auszunutzen, um den eigenen Willen auch gegen Widerstreben des Anderen durchzusetzen.<sup>32</sup> Die Verhandlungsmacht des Einzelnen ist hier von entscheidender Bedeutung. Als Erfolgsrezepte für die Durchsetzung der eigenen Zielsetzung gelten der Aufbau eigener Verhandlungsstär-

---

<sup>28</sup> Vgl. Porter (1990b), S. 18ff.

<sup>29</sup> Vgl. Gugler (1992), S. 93.

<sup>30</sup> Vgl. Nalebuff/Brandenburger (1996), S. 41.

<sup>31</sup> Vgl. Endres/Wehner (1999), S. 234ff.; Laseter (1998), S. 3ff.; Porter (1990a), S. 50ff.

<sup>32</sup> Vgl. Porter (1990a), S. 123.

ke und die Schwächung der Verhandlungsposition der Gegenpartei.<sup>33</sup> Die dauerhafte Beanspruchung eines Machtübergewichts gefährdet jedoch langfristig die Wettbewerbs- und Überlebensfähigkeit der jeweiligen Wertkette.<sup>34</sup> Durch das Anstreben eines lokalen Optimums für den Verhandlungsstärkeren wird die Möglichkeit der Optimierung der gesamten Wertschöpfung verpasst. Das schwächere Glied der Wertkette wird ausgenutzt, ohne dass die Wettbewerbskraft der gesamten Wertkette gestärkt werden könnte.

Was Partnerschaften von traditionellen Unternehmensbeziehungen im Allgemeinen unterscheidet, ist die Fähigkeit der einzelnen Parteien, dem anderen Partner Vertrauen entgegenzubringen und dabei vorauszusetzen, dass der Andere am Wohl des eigenen Unternehmens interessiert ist und keine Handlungen ausführen wird, bevor er nicht auch deren Auswirkungen auf den anderen Partner geklärt hat.<sup>35</sup> Hier ist das Vermögen des Unternehmens gefragt, die partnerschaftliche Beziehung zwischen den beteiligten Parteien aufrecht zu erhalten und gegenseitige Machtspiele zu vermeiden.<sup>36</sup> Jede Ausübung von Macht oder Druck behindert eine integrative Zusammenarbeit der Parteien. Wird es nicht geschafft, eine Atmosphäre der Offenheit und des Vertrauens zu sichern, ist die Überlebensfähigkeit der Wertschöpfungspartnerschaft stark gefährdet.

Um eine Partnerschaft zwischen Hersteller und Zulieferer langfristig abzusichern, ist es notwendig, dass für beide Parteien ein Vorteil ersichtlich wird.<sup>37</sup> Nur so kann das Interesse an einer fortdauernden Beziehung gewahrt bleiben. Eine solche Win-Win-Partnerschaft verlangt von beiden Seiten, ihre kurzfristigen opportunistischen Interessen abzulegen und sich zu einer langfristigen Orientierung mit beiderseitigen Vorteilen zu bekennen. Folglich dürfen einseitige Zugeständnisse (Gewinn-Verlust) oder gemeinsam

---

<sup>33</sup> Machtgrundlagen für eine potentielle Verhandlungsstärke des Herstellers bzw. Zulieferers können vielfältig sein. Für eine detaillierte Aufstellung vgl. Porter (1990a), S. 50-56; ebenda, S. 157f.; Wingert (1997), S. 226f.

<sup>34</sup> Vgl. Kumar (1996), S. 94f.; Siebert (1999), S. 24.

<sup>35</sup> Vgl. Thorelli (1986), S. 38; Kumar (1996), S. 97.

<sup>36</sup> Vgl. Hinterhuber/Levin (1994), S. 51-53; Johnston/Lawrence (1988), S. 100.

<sup>37</sup> Vgl. Brandenburger/Nalebuff (1996), S. 83f.

getragene Kompromisse (Verlust-Verlust) nicht Gegenstand einer erfolgreichen partnerschaftlichen Zusammenarbeit werden. Nur wenn beide Parteien langfristig einen Vorteil in der Partnerschaft sehen, kann gewährleistet werden, dass sich Vertrauen und Offenheit in der Beziehung entwickeln und festigen können.

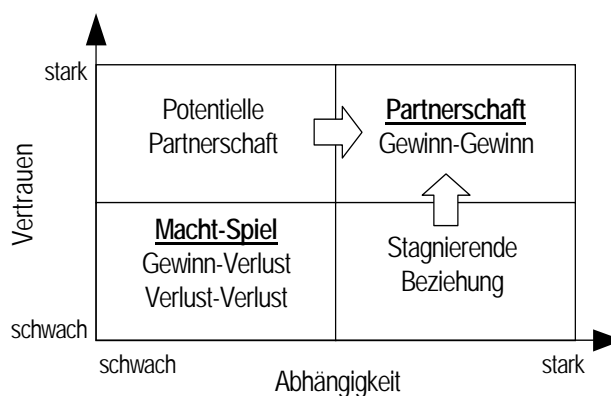


Abbildung 2.2: Dimensionen einer langfristigen Erhaltung von Wertschöpfungspartnerschaften<sup>38</sup>

Wie in Abbildung 2.2 ersichtlich, reicht ein Aufbau von Vertrauen jedoch nicht aus, um eine erfolgreiche Win-Win-Partnerschaft zu erhalten. Derjenige, der vertraut, benötigt die Sicherheit, dass sein Gegenüber auch in der Zukunft ein loyales Verhalten aufweist und der Vertrauende selber nicht betrogen wird.<sup>39</sup> Als Ergänzung zur Dimension des „Vertrauens“ ist es somit erforderlich, die Ausprägung einer gegenseitigen Abhängigkeit zu berücksichtigen.<sup>40</sup> Hierdurch kann das Risiko, welches mit dem Mechanismus des Vertrauens verbunden ist, zumindest auf ein tragbares Maß reduziert werden.<sup>41</sup> Um eine auf Grund des Machtungleichgewichts bestehende einseitige Abhängigkeit zu

<sup>38</sup> In Anlehnung an Wolf (1999), o.S.

<sup>39</sup> Während bezüglich des Vertrauensbegriffes und der jeweiligen Beweggründen der Akteure unterschiedliche Auffassungen existieren, besteht Einigung in der Erkenntnis, dass die Reduktion des Risikos, als Vertrauender betrogen zu werden, die Wahrscheinlichkeit des Investierens von Vertrauen erhöht. Zu den Argumentationsansätzen von Systemtheorie und Rational-Choice-Ansatz vgl. Luhmann (1979), S. 24ff.; Coleman (1990), S. 91ff.

<sup>40</sup> Vgl. Rall (1997), S. 677.

<sup>41</sup> Vgl. Bachmann/Lane (1999), S. 81.

verhindern, ist es notwendig, die beiderseitige Zusammenarbeit auf Basis einer wechselseitigen Abhängigkeit zu bilden. Hierdurch kann das Engagement für eine längerfristige Beziehung verstärkt werden, während gleichzeitig bestehende Machtgrundlagen durch die Schaffung eines Abhängigkeitsgerüsts abgebaut werden.

Die Spieltheorie kann systematisch aufzeigen, unter welchen Bedingungen ein kooperatives Verhalten zwischen den Parteien sichergestellt werden kann. Hier sind kooperative Spiele durch die Eigenschaft gekennzeichnet, dass „... exogene Mechanismen existieren, welche die Einhaltung von Verträgen bindend durchsetzen können. [...] Voraussetzung dafür ist, dass die legalen Institutionen Vertragsverletzungen überprüfen können und in der Lage sind, bei Abweichungen wirksame Sanktionen zu ergreifen.“<sup>42</sup> Diese Grundbedingung der Funktionsweise eines kooperativen Spiels wird deutlich durch die Gegenüberstellung des wohl bekanntesten nicht-kooperativen Spiels, dem Gefangenendilemma.<sup>43</sup> Durch ein Fehlen von bindenden und somit einklagbaren Vereinbarungen vor dem jeweiligen Spielzug, bleibt den Spielern das Erreichen einer gesamtoptimalen Lösung verwehrt, bei welcher beide Spieler ein für sie vorteilhaftes Ergebnis erreichen. Jeder Spieler wählt den Spielzug, welcher für ihn den höchsten Nutzen verspricht. Eine Handlung unter Berücksichtigung des maximalen Nutzens für den Gegenspieler zu Lasten des eigenen Nutzens ist entsprechend den dabei unterstellten Prämissen nicht rational. Erst die verbindliche und einklagbare Vereinbarung eines kooperativen Spiels ermöglicht es, zu einer Lösung des Spiels zu kommen, die von beiderseitigem Nutzen ist. Hier werden die Rahmenbedingungen so gestaltet, dass es im Eigeninteresse eines jeden Beteiligten liegt, sich an die zuvor vereinbarten Absprachen zu halten.<sup>44</sup>

Wird diese Funktionsweise von kooperativen Spielen auf Wertschöpfungspartnerschaften übertragen, kann gefolgert werden, dass die Möglichkeit der gegenseitigen Einklagbarkeit Grundvoraussetzung für das erfolgreiche Gestalten von Rahmenbedingungen

---

<sup>42</sup> Holler/Illing (1993), S. 25.

<sup>43</sup> Vgl. Luce/Raiffa (1957), S. 94ff.; Holler/Illing (1993), S. 1ff.

<sup>44</sup> Vgl. Holler/Illing (1993), S. 22.

einer Partnerschaft darstellt. Eine wirkungsvolle Bindung lässt sich durch Verträge zwischen den Wertschöpfungspartnern realisieren. Die bindende Festlegung von Verhaltensweisen ermöglicht es, kooperative Bindungen zu verankern. Eingeschränkt wird die bindende Festlegung von Verhaltensweisen durch die prinzipielle Unvollständigkeit von Verträgen.<sup>45</sup> Eine vollständige Formulierung lässt sich grundsätzlich nicht erreichen, da der hierfür benötigte Aufwand unverhältnismäßig hoch und die notwendigen Parameter schwer abschätzbar sind. Erneute Verhandlungen zu einem späteren Zeitpunkt können die Konsequenz sein.

### **2.1.3 Defizite einer Umsetzung in der betrieblichen Praxis**

Viele Unternehmen sind erstklassig in der Optimierung der von ihnen belegten Teile der Wertschöpfungskette.<sup>46</sup> Den größten Wettbewerbsvorteil können sich indessen die Unternehmen in einer Wertkette erarbeiten, welche über alle Wertschöpfungsstufen hinweg den größten Mehrwert erzielen. Empirische Studien belegen allerdings, dass diese Fähigkeit zur ganzheitlichen Gestaltung von Wertschöpfungsketten in der Unternehmenspraxis eine Seltenheit darstellt.<sup>47</sup> Möglichkeiten, Prozessverbesserungen durchzuführen, sowie Qualität, Produktivität, Kosten und Kundenzufriedenheit zu optimieren, werden meist nur innerhalb der eigenen Unternehmensgrenzen genutzt. Bei einer Maximierung der Wertschöpfung stehen unternehmensindividuelle Zielsetzungen im Vordergrund. Eine gemeinschaftliche Vorgehensweise mit anderen Unternehmen derselben Wertkette wird vernachlässigt.

---

<sup>45</sup> Vgl. Hart (1995), S. 29ff.; Salanié (1997), S. 175ff.

<sup>46</sup> Vgl. Corsten (2000), S. 37.

<sup>47</sup> Vgl. Poirier/Reiter (1997), S. 11f.

Der Begriff der „Partnerschaft“ ist zwar in der Unternehmenspraxis ein oft kommuniziertes Bekenntnis. Er wird jedoch häufig nur dann betont, wenn die wirtschaftliche Situation eines Herstellers es erfordert, den Kostendruck in der Wertkette an vorgelagerte Zulieferer weiterzugeben.<sup>48</sup> „Partnering“ wird hier missbräuchlich als eine Gelegenheit angesehen, Kostenkonzessionen von der Lieferantenbasis abzurufen. Die wahren Konsequenzen einer Partnerschaft interessieren hier nicht. Aussagen wie „Working together to fulfill consumer wishes faster and at less cost!“<sup>49</sup> sind für die Ausgestaltung der Beziehung zwischen Unternehmen relativ wertlos, wenn Gegenstand der Bemühungen lediglich die Verbesserung der eigenen wirtschaftlichen Situation darstellt. Wird in diesem Zusammenhang der Begriff „Partnerschaft“ missbraucht, handelt es sich nur um eine sehr oberflächliche Auffassung dieses Konzeptes. Allein die Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Unternehmen in der Wertkette kann keinen Wettbewerbsvorteil generieren. Erst wenn beide Parteien zu ihrem gegenseitigen Nutzen handeln, können sämtliche an der Wertschöpfung beteiligte Glieder optimiert werden. Erst in diesem Fall kann von einer wahren Partnerschaft gesprochen werden.

Bestätigend zu diesen Aussagen können Ergebnisse von empirischen Studien herangezogen werden, die den hohen Stellenwert einer partnerschaftlichen Zusammenarbeit zwischen Unternehmen aufzeigen.<sup>50</sup> So hat eine Untersuchung aus der Automobilindustrie ergeben, dass die Kooperationsbereitschaft zum Zeitpunkt der Studie mit einem relativ geringen Einfluss auf den Erfolg bewertet wurde, während dieser Bereitschaft

---

<sup>48</sup> Vgl. Poirier/Reiter (1997), S. 38. Als exemplarisches Beispiel können hier die unter dem Namen „Lopez-Syndrom“ bekannten Kostensenkungsbemühungen der Automobilindustrie herangezogen werden. Innerhalb jährlicher Kostensenkungsrunden wurden durch den Hersteller Kosteneinsparungen vom Zulieferer abverlangt, um die wirtschaftliche Situation des Herstellers zu verbessern und die Gewinnmargen der Zulieferer zu drücken. Bei Bekanntgabe der Forderungen wurde nicht verpasst, auf die angeblich partnerschaftliche Beziehung mit den Zulieferern zu verweisen. Vgl. Behlmer (2000), S. 34; Bonner (2000), S. 32.

<sup>49</sup> Hier handelt es sich um das Motto der europäischen Efficient-Consumer-Response-Initiative (ECR), welche im Jahr 1994 von führenden Unternehmen der Lebensmittelindustrie und des Lebensmittelhandels gegründet worden ist. Vgl. [ECR Europe] (2001), o.S.

<sup>50</sup> Vgl. Dyer u.a. (1998), S. 257ff.; Quélin/Mothe (1998), S. 38ff.

zukünftig eine stark steigende Bedeutung zugewiesen wurde.<sup>51</sup> Hier besteht folglich Handlungsbedarf auf Seiten der Unternehmen, ihre eigene Position in der Wertkette zu überdenken und ein wirklich kooperatives Verhalten in Form einer Partnerschaft in Erwägung zu ziehen.

Das zentrale Hindernis dieses fehlenden kooperativen Verhaltens stellt die mangelhafte Erkenntnis des Wertes partnerschaftlicher Beziehungen zwischen den einzelnen Teilen der Wertkette dar.<sup>52</sup> Das Erlernen von neuen Verhaltensweisen wird notwendig sein, damit Handlungen aller Organisationsmitglieder auf ein Erreichen kooperativer Lösungen ausgerichtet werden.<sup>53</sup>

---

<sup>51</sup> Während die gegenwärtige Bedeutung des Erfolgsfaktors Kooperation durch 48% der Befragten als „eher wichtig“ eingestuft wurde, beantworteten 76% der Befragten die Frage nach der zukünftigen Bedeutung dieses Erfolgsfaktors mit „steigend“. Vgl. [Diebold] (1999), S. 13-16.

<sup>52</sup> Vgl. Poirier/Reiter (1997), S. 134; Hamel (1991), S. 86ff.

<sup>53</sup> Vgl. Schauenberg (1991), S. 346f.; Dent (1999b), S. 6.

## 2.2 Begriffliche Grundlagen der unternehmensübergreifenden Produktspezifikationserstellung

Die Produktspezifikation legt innerhalb der Entwicklung die Designparameter des zu entwickelnden Produktes fest (siehe Kapitel 2.2.1). Entsprechend der zugrundeliegenden Zulieferbeziehung fällt die Entwicklungs- und Produktionstiefe und damit auch die Zusammenarbeit zwischen den Parteien aus (siehe Kapitel 2.2.2). Im Fall einer Wertschöpfungspartnerschaft ist der Kommunikationsaustausch am intensivsten und die Bedeutung der Produktspezifikation als Kommunikationsmedium am größten (siehe Kapitel 2.2.4). Der Hersteller spezifiziert lediglich die grundsätzlichen Anforderungen und überlässt die restlichen Arbeiten dem Zulieferer. Wechselbeziehungen und Abhängigkeiten im technischen System machen es notwendig, über Unternehmensgrenzen hinweg eine Abstimmung auszuführen (siehe Kapitel 2.2.3).

### 2.2.1 Begriff der Produktspezifikation

Die überwiegende Anzahl von Beiträgen der Betriebswirtschaftslehre zur Spezifikationserstellung im Entwicklungsprozess<sup>54</sup> sind von Überlegungen zur Lasten- und Pflichtenhefterstellung im Rahmen eines Entwicklungs-Projektmanagements geprägt.<sup>55</sup> Die zentrale Aufgabe der Spezifikationsdokumentation beruht hier in der Meilensteinerstellung zur Projektkontrolle in Entwicklungsvorhaben.<sup>56</sup> Neuere Arbeiten zur Spezifikationserstellung messen der Produktspezifikation eine größere Bedeutung bei.<sup>57</sup> Im

---

<sup>54</sup> Innerhalb dieser Arbeit unterliegen dem Begriff der „Produktentwicklung“ alle unternehmerischen Aktivitäten, die von einer Produktidee bis zur Fertigung des Produktes inklusive anschließender Serienproduktbetreuung führen. Vgl. Lindemann (1996), S. 292.

<sup>55</sup> Vgl. Brockhoff (1999), S. 328ff.; Bürgel u.a. (1996), S. 187f.; Eversheim (1999), S. 7.13f.

<sup>56</sup> Für eine allgemeine Beschreibung von sogenannten „Stage-Gate“-Ansätzen vgl. Cooper (1990), S. 45f.; Wheelwright/Clark (1992), S. 172ff.

<sup>57</sup> Beispielsweise spricht Reinertsen von „einem entscheidenden Subprozess der Produktentwicklung“, Reinertsen (1998), S. 187. Vgl. auch Ulrich/Eppinger (2000), S. 80ff.; Smith/Rhodes (1992), S. 275; Smith/Reinertsen (1991), S. 81ff.; Nellore u.a. (1999), S. 50; Kaulio (1997), S. 3.1.

Vordergrund der Betrachtung steht hier die Bedeutung der Auswahl eines Satzes von Spezifikationen und dessen Auswirkung auf den späteren wirtschaftlichen Erfolg des Produktes. Die Orientierung an Kundenanforderungen sowie das Entwickeln eines kostengünstigen Produktes sind hier zusätzliche Betrachtungspunkte, für deren Erreichen die jeweiligen Methoden erstellt werden.

Unter dem Begriff der „Produktspezifikation“ ist eine Liste von Designparametern mit den zugehörigen gegenseitigen physikalischen und logischen Abhängigkeiten zu verstehen.<sup>58</sup> Die Produktspezifikation stellt somit eine abstrakte Beschreibung eines Artefakts dar, bei dem sowohl dessen Struktur als auch dessen Funktion beschrieben wird. Die Lösung des Designproblems wird dabei im Idealfall offen gelassen; beschrieben werden lediglich die Kriterien, nach denen sich die Designlösung des Entwicklers bewerten lassen muss.<sup>59</sup> Aus diesem Grund kann aus der Produktbeschreibung erst ein reales Objekt hervorgehen, sobald alle erfolgskritischen strukturellen Elemente beschrieben sind. Die technischen Ausprägungen des Objektes werden bestimmt, indem jedem Designparameter ein geeigneter Wert zugeordnet wird.

Definition 2.4: Die **Produktspezifikation** definiert durch die Vorgabe von einzelnen technischen Designparametern das Produkt<sup>60</sup>, welches innerhalb der Wertkette zu einer Generierung von Mehrwert führt.

Zwei Prozesse sind mit einer Produktspezifikation verbunden: Der erste Prozess ist der Weg hin zu einer endgültigen Spezifikation. Dieser steht im Mittelpunkt dieser Arbeit und wird im Folgenden mit „Produktspezifikationserstellung“ bezeichnet. Der zweite

---

<sup>58</sup> Vgl. Baldwin/Clark (2000), S. 21. Einige wissenschaftliche Arbeiten verwenden den Begriff der „Produktspezifikation“ zur Bezeichnung sämtlicher Tätigkeiten, die zur Erstellung von Designattributen notwendig sind. Diese Sichtweise wird innerhalb dieser Arbeit nicht übernommen. Vgl. Nellore/Söderquist (2000a), S. 252; Nellore u.a. (1999), S. 50.

<sup>59</sup> Vgl. Roozenburg/Dorst (1991), S. 360.

<sup>60</sup> Im weiteren Sinne kann das „Produkt“ auch aus einer Dienstleistung bestehen.

Prozess führt die zuvor festgelegte Spezifikation aus und realisiert somit das zuvor definierte Produkt.

In der Spezifikationserstellung steht für jeden Designparameter meist eine Reihe von alternativen Werten zur Auswahl, unter denen der erfolversprechendste ausgewählt werden muss. Hierbei ist es nicht notwendig, jedes Element einzeln zu bestimmen. Viele strukturelle Elemente ergeben sich implizit, wenn ein bestimmtes physikalisches Medium oder funktionales Konzept gewählt wird. Dieser Sachverhalt kann mit dem Begriff des „Designraumes“ beschrieben werden.<sup>61</sup> Hier handelt es sich um einen n-dimensionalen Raum, dessen Koordinaten jeweils einer Kombination von einzelnen Designparametern entsprechen. Jeder Punkt dieses Koordinatenraumes kann somit durch eine vollständige Liste von Designparametern eindeutig beschrieben werden.

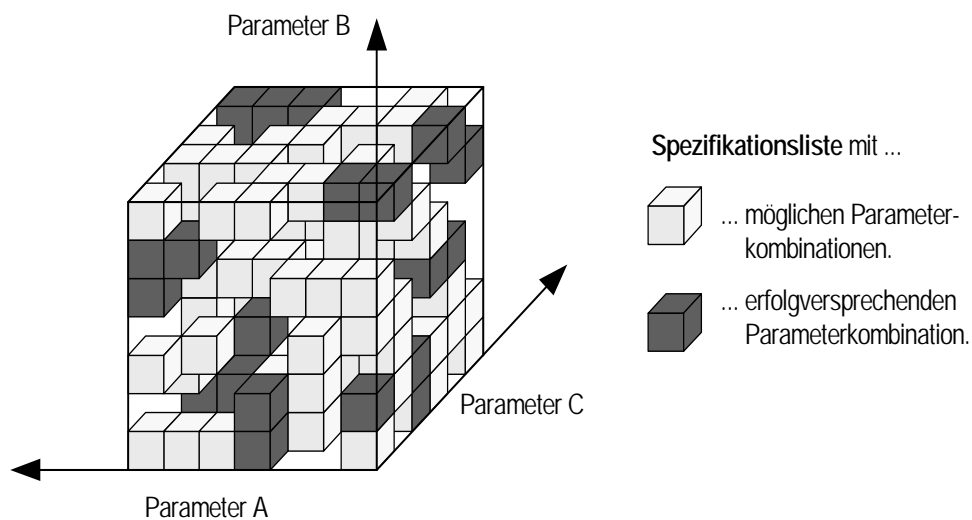


Abbildung 2.3: Spezialfall eines dreidimensionalen Spezifikationsraumes

Abbildung 2.3 zeigt dies für den Spezialfall eines dreidimensionalen Designraumes. Deutlich wird hier, dass nicht jeder Punkt des Koordinatenraumes auch technisch realisierbar ist. Technische Restriktionen führen dazu, dass einzelne Kombinationen von

<sup>61</sup> Vgl. Baldwin/Clark (2000), S. 25ff.

Werten sich ausschließen. Außerdem existieren Parameterkombinationen, die bezüglich der Kundenanforderungen keine Funktionserfüllung leisten können.

Die Spezifikationsliste, welche den Punkt eines Designraumes eindeutig bestimmt, ist nicht nur als eine reine Aufzählung von einzelnen Designparametern zu verstehen.<sup>62</sup> Vielmehr kann eine rein hierarchische Struktur identifiziert werden, bei der einzelne Sets von Attributen mit erfolgten Designentscheidungen in Zusammenhang gebracht werden können.<sup>63</sup> Je nach Ausgang der Designentscheidung sind die Designparameter in der Spezifikationsliste enthalten und spannen weitere Dimensionen im Designraum auf.

### **2.2.2 Ausprägungen einer unternehmensübergreifenden Produktspezifikations-erstellung**

Die Rolle der Zulieferer hat sich von den Anfängen der Industrialisierung bis ins heutige Zeitalter, welches durch „Lean-Production“-Ansätze geprägt wird, grundlegend geändert.<sup>64</sup> Während zu früheren Zeiten die Aufgabe des Zulieferers lediglich darin bestand, einzelne Komponenten oder Teile zu fertigen und diese der Endfertigung des Herstellers zuzuführen, besitzen Zulieferer heutzutage eine wesentlich weitgehendere Beteiligung und Verantwortung in der gesamten Wertkette. Diese verändernde Rolle der Zulieferer hat deutliche Veränderungen für den Umgang mit der Produktspezifikation mit sich gebracht. Je mehr sich ein Zulieferer in den Produkterstellungsprozess einbringt, desto höher ist die Notwendigkeit, sich an der Erstellung der Spezifikation zu beteiligen. Während in den Anfängen des Industrialisierungszeitalters dem Zulieferer lediglich sehr grobe Spezifikationen vorgegeben wurden, erfordert eine „Lean-

---

<sup>62</sup> Bei Betrachtung einer solchen Spezifikationsliste kann dieser Eindruck leicht entstehen. Vgl. beispielsweise Ulrich/Eppinger (2000), S. 81.

<sup>63</sup> Vgl. Baldwin/Clark (2000), S. 27f.

<sup>64</sup> Vgl. Nellore (2001), S. 8.

Production“ das gemeinsame Erarbeiten einer detaillierten Produktspezifikation.<sup>65</sup> Die Rolle der Produktspezifikation wechselte somit von einer sehr losen Spezifikation hin zu einer sehr detaillierten und genauen, welche im Extremfall aus einer Zusammenarbeit zwischen dem Hersteller und dem Zulieferer hervorgegangen ist.<sup>66</sup>

Die Entwicklungs- und Produktionstiefe des Zulieferers ist somit grundlegend bestimmend für den jeweiligen Umgang mit der Produktspezifikationen. Dies wird deutlich, bei einer Kategorisierung von unterschiedlichen Zuliefererbeziehungen nach dem jeweiligen Komplexitätsgrad der Produktkomponente:<sup>67</sup>

- „Partner“: Stehen an der Spitze der Zuliefererhierarchie mit einem sehr hohen Eigenanteil an der Entwicklungstiefe. Partner entwickeln gesamte Sub-Systeme und sind kooperierende Mitglieder während der Spezifikationserstellung.
- „Mature supplier“: Überwiegend identische Zulieferbeziehung wie ein „Partner“. Auch von diesen Zulieferern werden sehr komplexe Systeme entwickelt und produziert. Ein Unterschied ist dadurch gegeben, dass der Hersteller kritische Spezifikationen vorgibt, welche durch den Zulieferer berücksichtigt werden müssen.
- „Child suppliers“: Unterscheidet sich zu den beiden vorherigen Kategorien in der zur Verantwortung übergebenen Komplexität des technischen Systems. Dieser Zulieferer entwickelt einfache Baugruppen entsprechend einer vom Hersteller vorgegebenen detaillierten Spezifikation.
- „Contractual suppliers“: Dieser Zulieferer entwickelt und produziert standardisierte Komponenten, welche über einen Katalog bestellt werden können. Die Komplexität des technischen Systems ist eher gering.

---

<sup>65</sup> Vgl. Nellore (2001), S. 9.

<sup>66</sup> Vgl. Nellore (2001), S. 8f.

<sup>67</sup> Vgl. Kamath/Liker (1994), S. 158.

Unterscheidet man zusätzlich zum Komplexitätsgrad der Komponente nach der Vorgabe von detaillierten Produktspezifikationen durch den Hersteller, erhält man die folgende Darstellung:

Komplexität des technischen System	hoch	„Partner“	„Mature Supplier“
	gering	„Contractual Supplier“	„Child Supplier“
		nein	ja
		Spezifikationsvorgaben durch Hersteller	

Abbildung 2.4: Kategorisierung von Zulieferbeziehungen

Der „Partner“-Zulieferer arbeitet bereits vor einem gemeinschaftlichen Spezifikations-erstellungprozess an unterschiedlichen technischen Konzepten und Designlösungen und bringt dieses Wissen in die Diskussionen mit dem Hersteller ein.<sup>68</sup> Dieser gibt lediglich relevante Top-Level Spezifikationen des Gesamtsystems an den Zulieferer vor und verlässt sich des Weiteren auf die Expertise des Partners. Bei einem „Mature Supplier“ leistet der Hersteller wesentliche Vorarbeit, indem er entsprechend seiner Kompetenz einzelne detaillierte Spezifikationen erarbeitet und dem Zulieferer vorgibt.<sup>69</sup> Dieser muss diese Vorgaben innerhalb fortführender Entwicklungstätigkeiten berücksichtigen. Korrekturen der vom Hersteller vorgegebenen Spezifikationen sind innerhalb eines gemeinsamen Spezifikationserstellungsprozesses möglich, jedoch nicht die Regel. Der „Child Supplier“ leistet sehr wenig oder keinen Beitrag zur Spezifikation des Produktes.<sup>70</sup> Er empfängt die Produktvorgaben vom Hersteller und setzt diese konsequent, aber auch unreflektiert, in der Realisierung des technischen Systems um. Der „Contractual Supplier“ richtet sich nicht nach individuellen Spezifikationsvorgaben durch den

<sup>68</sup> Vgl. Kamath/Liker (1994), S. 158ff.; Ward u.a. (1995), S. 54; Cusumano/Takeishi (1991), S. 565.

<sup>69</sup> Vgl. Kamath/Liker (1994), S. 161f.; Ward u.a. (1995), S. 54; Cusumano/Takeishi (1991), S. 565.

<sup>70</sup> Vgl. Kamath/Liker (1994), S. 164; Ward u.a. (1995), S. 54; Cusumano/Takeishi (1991), S. 565.

Hersteller.<sup>71</sup> Er bietet ein standardisiertes Endprodukt an, welches vom Hersteller entweder akzeptiert werden oder aufgrund von Differenzen in den Anforderungen abgewiesen werden kann. Für umfassende herstellereigenspezifische Änderungsaufträge ist bei dieser Zulieferbeziehung kein Freiraum.

### 2.2.3 Produktspezifikation als Kommunikationsmedium zwischen Unternehmen

Eine Produktspezifikation ist nicht nur die schriftliche Beschreibung von Gütern und Dienstleistungen, sondern auch die schriftliche Kommunikation zwischen dem Entwicklungspersonal. Dies gilt sowohl innerhalb eines Unternehmens als auch für den kommunikativen Austausch zwischen Hersteller und Zulieferer. Der Produktentstehungsprozess von komplexen Produkten und großen Systemen ist ein höchst interaktiver sozialer Prozess, in welchem mehrere hundert Personen involviert sind. Tausende in einer Wechselbeziehung stehende Elemente müssen entwickelt und Millionen von gekoppelten Entscheidungen getroffen werden.<sup>72</sup> Die Produktspezifikation stellt hier einen strukturierten Kommunikationsweg dar, welcher die Diskussion und Verhandlungen über auszuwählende Designalternativen durch eine textuelle Beschreibung auf eine konkrete Datenbasis stellt. Sind die hier getroffenen Entwicklungsentscheidungen endgültig, können die Entscheidungsinhalte über das Medium Produktspezifikation an jene Entwickler kommuniziert werden, deren weiterführende Entwicklungstätigkeit von den Entscheidungen betroffen sind.

Der Produktspezifikation in einer unternehmensübergreifenden Produktentstehung kommt eine besondere Bedeutung zu. Der Hersteller und der Zulieferer setzen sich in unterschiedlicher Umgebung mit den Entwicklungstätigkeiten auseinander, was eine Verknüpfung der separat ausgeführten Tätigkeiten notwendig macht. Um zu einem

---

<sup>71</sup> Vgl. Kamath/Liker (1994), S. 164.

<sup>72</sup> Vgl. Eppinger/Salminen (2001), o.S.

erfolgreichen Resultat zu kommen, müssen bestehende Wechselbeziehungen und Abhängigkeiten über die Unternehmensgrenzen hinweg kommuniziert werden.<sup>73</sup> Dem Informationsfluss kommt für die notwendige Koordination und Integration zwischen den Unternehmen eine zentrale Rolle zu.<sup>74</sup> Die Produktspezifikation bewirkt zum einen in dem Dialogprozess zwischen Hersteller und Zulieferer eine verbesserte Kommunikation, welche zu einer effektiven Koordination zwischen den beiden Parteien führt.<sup>75</sup> Zum anderen kann die Integration der unterschiedlichen Entwicklungstätigkeiten durch den für die Produktspezifikation notwendigen gemeinsamen Erstellungsprozess erzielt werden.<sup>76</sup> Gemeinschaftliche Anstrengungen sind notwendig, um die Produktspezifikation zu artikulieren und ein letztendlich erfolgreiches Endprodukt zu definieren.

Eine zuvor beschriebene intensive Kommunikation zwischen Hersteller und Zulieferer ist nicht generell erforderlich. Die Notwendigkeit zur Koordination und Integration einzelner Entwicklungstätigkeiten nimmt entsprechend der jeweiligen Ausprägung der Zuliefererbeziehung verschiedene Kommunikationsmuster an. Bei diesen unterschiedlichen Kommunikationsmustern zwischen Unternehmen können vier Modi identifiziert werden, welche sich untereinander in vier Dimensionen unterscheiden (siehe Abbildung 2.5).<sup>77</sup>

---

<sup>73</sup> Vgl. Womack/Jones (1994), S. 102; Clark/Fujimoto (1992), S. 276ff.; Karlsson/Nellore (1999), S. 24.

<sup>74</sup> Vgl. Imai u.a. (1985), S. 369f.

<sup>75</sup> Vgl. Nellore (2001), S. 12.

<sup>76</sup> Vgl. Nellore (2001), S. 12.

<sup>77</sup> Vgl. Clark/Wheelwright (1993), S. 470ff.

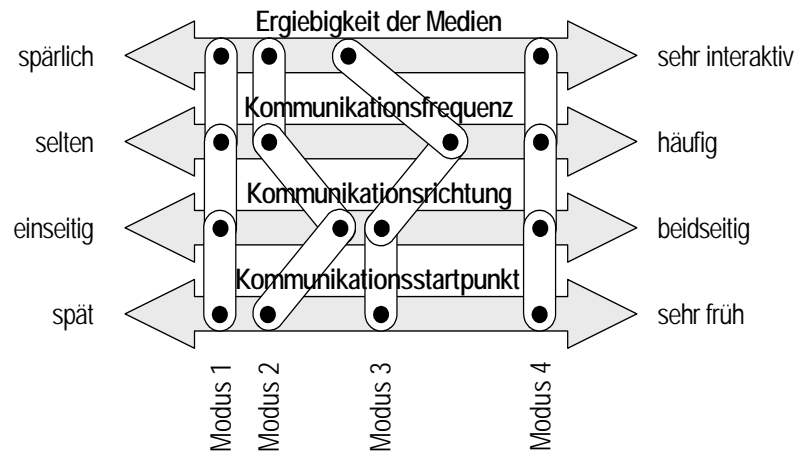


Abbildung 2.5: Kommunikationsmuster in Zulieferbeziehungen

Innerhalb des ersten Kommunikationsmodus erarbeitet der Hersteller die Designlösung für die Komponente selbstständig und übergibt die ausgearbeiteten Produktinformationen zu einem einzigen Zeitpunkt an den Zulieferer. Eine Mitarbeit durch den Zulieferer am Spezifikationserstellungsprozess ist nicht erwünscht, auf Inputs des Zulieferers wird keine Rücksicht genommen. Das Kommunikationsmuster ist somit geprägt von einer einseitigen Kommunikationsrichtung, welche erst zu einem sehr späten Zeitpunkt im Produktentstehungsprozess ansetzt, eine sehr geringe Frequenz besitzt und nur spärliche Informationen über die jeweilige Komponente weitergibt.

Der zweite Kommunikationsmodus entspricht dem frühen Produktentwicklungsstart eines Zulieferers, welcher bereits im Vorfeld einer möglichen Beauftragung die Komponente spezifiziert und entwickelt. Der Zulieferer führt dies bei diesem Kommunikationsmuster ohne Informationen über erforderliche Produkthanforderungen vom Hersteller aus. Ist die Produktentwicklung auf Seiten des Zulieferers abgeschlossen, informiert dieser den Hersteller und bietet die spezifische Designlösung zur Integration in das Gesamtsystem an. Da bei diesem Modus die meiste Entwicklungsarbeit auf beiden Seiten parallel ohne gegenseitige Koordination abläuft, ist bei komplexen technischen Systemen am Ende die Wahrscheinlichkeit groß, dass Differenzen in den Anfangsspezifikationen zu Inkompatibilitäten führen. Dieses Kommunikationsmuster führt aus die-

sem Grund nur bei standardisierbaren technischen Systemen zum Erfolg. Bewertet man dieses Kommunikationsmuster nach den vier Dimensionen, so lässt sich im Vergleich zu Modus 1 eine eher bidirektionale Kommunikationsrichtung feststellen.

Der Modus 3 einer Hersteller-Zulieferer-Kommunikation ist von einem frühen Informationsaustausch geprägt. Der Zulieferer wird früh in die Spezifikationserstellung eingebunden, allerdings erst nachdem der wesentlichste Teil der Spezifikation vom Hersteller festgelegt wurde. Der Zulieferer wird zu einer gemeinsamen Designfindung hinzugezogen, damit von seinen fachlichen Kompetenzen profitiert werden kann. Hinsichtlich der Kommunikationsdimensionen kann eine häufige Frequenz des gegenseitigen Austausches festgestellt werden, bei dem beide Parteien früh aufeinander zugehen, wenn auch die Inhalte des Informationsaustausches nur eine mittelmäßige Aussagekraft besitzen. Die Hintergründe für eine kritische Spezifikation wird aus Wettbewerbsgründen meist ausgelassen.

Der Modus 4 ist das kommunikationsreichste Muster einer Hersteller-Zulieferer-Beziehung. Hier wird ganz zu Beginn in eine gegenseitige Diskussion eingetreten und eine gemeinsame Spezifikationserstellung betrieben. Unterschiedliche Ideen zu Designalternativen werden von Anfang an geteilt und offen diskutiert. Innerhalb der Produktspezifikationserstellung wird eine gemeinsame Produktauslegung erarbeitet, welche für beiden Parteien von Vorteil ist. Im Sinne der Kommunikationsdimensionen wird frühestmöglich ein Austausch zwischen Hersteller und Zulieferer angeregt, welcher bidirektional keine Informationen zurückhält und so eine extrem hohe Interaktivität der Kommunikationsmedien erreicht.

Die unternehmensübergreifende Produktspezifikationserstellung kann je nach zugrundeliegendem Kommunikationsmuster aus zwei Perspektiven gesehen werden: Der Beauftragungsperspektive und der Vermittlungsperspektive.<sup>78</sup> Beide stellen Extreme dar und

---

<sup>78</sup> Vgl. Kaulio (1997), S. 3(7)f.

erhalten je nach zugrundeliegendem Kommunikationsmuster der Zuliefererbeziehung ihre Berechtigung. Bei der Beauftragungsperspektive, welche weitgehend dem Modus 1 entspricht, steht eine Ein-Weg-Kommunikation im Vordergrund. Inhalte der Spezifikation sind hier bereits ausgearbeitet und werden zur Weiterbearbeitung an den anderen Partner weitergegeben. Der Spezifikationserstellungsprozess wird als ein linearer Vorgang betrachtet, welcher sukzessiv durch die Anreicherung von Informationen ausgeführt wird und nur das Endresultat einer produktbeschreibenden Spezifikation zum Ziel hat.<sup>79</sup> Jedes Spezifikationselement ist dabei präzise interpretierbar, was einen tiefergehenden Dialog zwischen Hersteller und Zulieferer unnötig macht.

Im Gegensatz hierzu bildet die Produktspezifikation bei Einnahme der Vermittlungsperspektive ein Dialogforum, an welchem die unterschiedlichen Beteiligten der Produktentstehung beteiligt sind. Diese Perspektive wird vollständig in Kommunikationsmodus 4 eingenommen. Die Produktspezifikation entstammt einer iterativen Vorgehensweise zwischen Hersteller und Zulieferer, bei der der Fokus auf der Erfahrungsgenerierung und dem Erfahrungsaustausch zwischen den Parteien liegt. In dieser Transitionsphase muss von beiden Seiten jedes Spezifikationselement richtig interpretiert und die Hintergründe verstanden werden, um zu einer gemeinsam vertretenen Produktspezifikation zu gelangen. Das Spezifikationsdokument repräsentiert aus diesem Grund keine im Voraus festgelegte Produktauslegung, sondern lediglich eine generelle Designrichtung, welche in Verhandlungen und gemeinsamen Unterredungen weiter detailliert ausgeführt werden muss.

---

<sup>79</sup> Vgl. Kaulio (1997), S. 3(8), und im Folgenden.

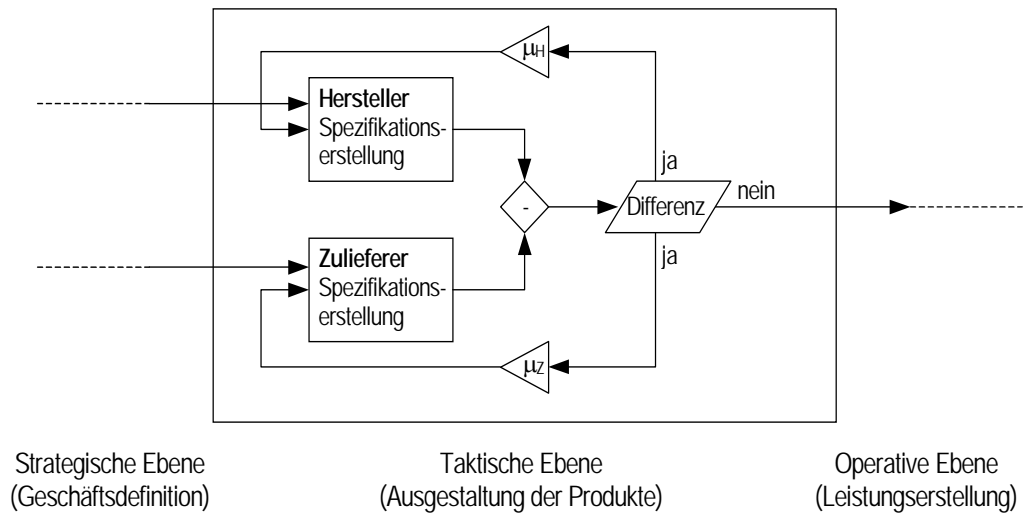


Abbildung 2.6: Informationsfluss der unternehmensübergreifenden Produktspezifikationserstellung

Der Informationsfluss innerhalb einer unternehmensübergreifenden Produktspezifikationserstellung nimmt sowohl bei der Betrachtung aus der Beauftragungsperspektive als auch aus der Vermittlungsperspektive die Form einer Feedback-Schleife an (siehe Abbildung 2.6). Als Input dienen Informationen aus einer strategischen Planungsebene. Die Feedback-Schleife wird daraufhin von Hersteller und Zulieferer solange durchlaufen, bis beide Parteien eine identische Vorstellung vom späteren Produkt erarbeitet haben. Sind alle Differenzen beseitigt, wird das Ergebnis der gemeinsamen Spezifikationserstellung an eine nachfolgende Produktrealisierung auf operativer Ebene weitergegeben. Bei der Beseitigung von Differenzen bestimmt ein in der Abbildung als variable Verstärkung angedeutete Faktor  $\mu$ , in welchem Umfang die jeweilige Partei von ihren ursprünglichen Vorstellungen abrückt und sich zu einer gemeinsamen Auslegung des Produktes hinbewegt. Im Fall der Beauftragungsperspektive beträgt der Verstärkungsfaktor  $\mu_H$  auf Herstellerseite gleich Null. Informationen über Differenzen einer Produktspezifikationen führen zu keinen Auswirkungen in der Spezifikationserstellung des Herstellers. Dieser bewegt sich in keinem Maße auf die Vorstellungen des Zulieferers

zu. Im anderen Fall der Vermittlungsperspektive nehmen die beiden Faktoren  $\mu_H$  und  $\mu_Z$  einen Wert zwischen Null und Eins ein. Differenzen in der Produktspezifikation bewirken je nach Dialogausprägung eine oder mehrere Iterationsschleifen in der Spezifikationserstellung des Hersteller und Zulieferers.

#### 2.2.4 Besondere Stellung der Produktspezifikation innerhalb von Wertschöpfungspartnerschaften

Die Produktspezifikation nimmt gerade in Wertschöpfungspartnerschaften eine zentrale Stellung ein.<sup>80</sup> Ehemals lose verbundene Zulieferer werden hier von alleinigen Teilefertigern im Produktionsbereich zu System- und Problemlösern im Produktions- als auch im Produktentwicklungsbereich<sup>81</sup>. Wurden früher die Spezifikationen positionsweise vom Hersteller übernommen, so werden nun die Zulieferer dazu aufgefordert, ihren eigenen Beitrag zur Erstellung der Produktspezifikation zu erbringen. Hierzu ist es notwendig, das in der Wertkette vorgelagerte Partnerunternehmen frühzeitig auszuwählen und in die Produktentwicklung zu integrieren.<sup>82</sup> Die Spezifikation nimmt dann eine vermittelnde Rolle ein, indem die einzelnen Produktparameter auf Basis eines gegenseitigen Einverständnisses vertragsseitig festgelegt werden.<sup>83</sup> Um die Wettbewerbsfähigkeit der gesamten Wertkette sicherzustellen, ergibt sich für den Hersteller die Notwendigkeit, für sogenannte „Black-Box“-Komponenten lediglich die grundsätzlichen Anforderungen zu spezifizieren und die restlichen Arbeiten dem Zulieferer zu überlassen.<sup>84</sup> Spezifiziert werden lediglich die generellen Anforderungen an Produktfunktionalität und -leistung sowie an Zielkosten und Entwicklungszeiten. Zu detaillierte Vorgaben

---

<sup>80</sup> Vgl. Karlsson u.a. (1998), S. 534; Nellore/Söderquist (2000a), S. 252ff.; Nellore/Söderquist (2000b), S. 526.

<sup>81</sup> Vgl. Johnston/Lawrence (1988), S. 94ff.; Wildemann (1998), S. 94.

<sup>82</sup> Vgl. Nellore/Taylor (2000), S. 9.

<sup>83</sup> Vgl. Kaulio (1997), S. 3.7ff.; Nellore/Söderquist (2000b), S. 529.

<sup>84</sup> Vgl. Clark (1989), S. 1250ff.; Clark/Fujimoto (1992), S. 144f.; Cusumano/Takeishi (1991), S. 565; Ward u.a. (1995), S. 48ff.

werden vermieden, um so dem Zulieferer einen möglichst großen Freiraum für eine optimale Designvariante zur Verfügung zu stellen.

Der Entwicklungskontext in Wertschöpfungspartnerschaften wird somit sowohl für den Hersteller als auch den Zulieferer grundlegend geändert. Die primäre Aufgabe des Herstellers ist es, zu erkennen, welche Spezifikationen für das Gesamtsystem von großer Bedeutung sind und auf welche Details ohne weiteres verzichtet werden kann. Auf Basis dieser Überlegungen hat er die Produktspezifikationen bei erreichter Detaillierungsgenauigkeit abubrechen und die für die generelle Beschreibung der „Black-Box“-Komponente notwendigen Informationen weiterzuleiten.

Der Zulieferer hat ebenfalls seine Vorgehensweise bei der Produktentwicklung anzupassen. Die Möglichkeit eines eigenen Entwurfs des Produktes bleibt ihm weiterhin verwehrt. Für ihn ist es notwendig, die vom Hersteller bereits aufgestellten Anforderungen zu berücksichtigen und innerhalb des eigenen Produktentwicklungsprozesses weiter auszuführen.

Eine steigende Anzahl von Unternehmen verfolgt heute den Ansatz des „Black-Box“-Engineering.<sup>85</sup> Verbreitung und Ausführung unterscheiden sich allerdings je nach Industrie und Unternehmen stark voneinander.<sup>86</sup> Eine vereinheitlichte Vorgehensweise kann nicht ersichtlich werden. Kenntnisse über Wirkungszusammenhänge und geeignete Vorgehensweisen liegen im Unscharfen und bedürfen einer systematischen Erarbeitung.<sup>87</sup>

---

<sup>85</sup> Vgl. Karlsson u.a. (1998), S. 537.

<sup>86</sup> Vgl. Ward u.a. (1995), S. 59.

<sup>87</sup> Vgl. Ward u.a. (1995), S. 60.

## **2.3 Herausforderungen einer unternehmensübergreifenden Produktspezifikationserstellung**

Bei der Auswahl unterschiedlicher Designvarianten sind die Erfolgsdeterminanten von Forschung und Entwicklung unter Berücksichtigung der gesamten Wertkette zu optimieren (siehe Kapitel 2.3.1). Unvollkommene Informationen in Wertschöpfungspartnerschaften, welche durch eine hohe Unsicherheit und Unvollständigkeit über die zukünftige Ausprägung der Wertkette geprägt sind, erschweren dies (siehe Kapitel 2.3.2). Eine geeignete Produktspezifikation übernimmt hier die Funktion sowohl zukünftige Entwicklungsziele auf operativer Basis vorherzusagen als auch über bisherige Entwicklungsergebnisse Auskunft zu erteilen (siehe Kapitel 2.3.3).

### **2.3.1 Optimierung nach wirtschaftlichen Erfolgsdeterminanten**

Die unternehmensübergreifende Produktspezifikationserstellung kann nicht isoliert von anderen Tätigkeiten der Wertkette ausgeführt werden. Angrenzende Bereiche wie die Produktion oder der Vertrieb sind im Rahmen einer gesamtheitlichen Sichtweise zu berücksichtigen, um innerhalb der Wertschöpfungskette der besonderen Stellung von Forschung und Entwicklung im Allgemeinen, bzw. der Produktspezifikation im Speziellen, gerecht zu werden.<sup>88</sup> Dabei muss der Wertschöpfungsprozess „als offener Prozess von Zielsetzung, Planung und Durchführung begriffen werden.“<sup>89</sup> Unternehmensgrenzen gilt es zu überschreiten. Als Zielgrößen eines Produkterfolges sind wirtschaftliche Variablen wie Umsatz, Gewinn, Marktanteile und Kundenzufriedenheit zu optimieren, welche die entsprechende Wertschöpfung bestimmen. Diese Optimierungsbestrebungen lassen sich zum Zeitpunkt der Spezifikationserstellung jedoch nicht direkt ausführen. Ein fehlender direkter Marktzugang von Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten

---

<sup>88</sup> Vgl. Bürgel u.a. (1996), S. 28; Bürgel/Zeller (1997), S. 219.

<sup>89</sup> Bürgel u.a. (1996), S. 28.

verhindert dies.<sup>90</sup> Optimierungsbestrebungen können aus diesem Grund nur durch die Verwendung von indirekten Ersatzzielgrößen umgesetzt werden. Zur Bildung dieser Ersatzzielgrößen werden so genannte Erfolgsdeterminanten bestimmt, welche ein möglichst identisches Abbild der jeweils zugrundeliegenden Erfolgszielgrößen wiedergeben. Die Erfolgsdeterminanten zeigen dabei signifikante Ursachen auf, welche sich in der Vergangenheit durch den wirtschaftlichen Erfolg<sup>91</sup> einer Tätigkeit herausgebildet haben.<sup>92</sup> Die Erfolgsdeterminanten sind somit Hilfsgrößen, welche keinen Anspruch auf Verallgemeinerung besitzen und ihre Relevanz bezüglich des erfolgreichen Erreichens der Zielgrößen erst in den jeweiligen Fallsituationen unter Beweis stellen müssen.<sup>93</sup>

Definition 2.5: Eine **Erfolgsdeterminante** steht stellvertretend für die aufgrund eines fehlenden Marktzugangs schwer abzuschätzenden Zielgrößen einer Wertkette. Unter Erfolg versteht man dabei sowohl die technische als auch die wirtschaftliche Zielerreichung.

Das in der Betriebswirtschaftslehre vorherrschende Streben nach Effektivität („das Richtige zu tun“) und Effizienz („Dinge richtig zu tun“) führt bei der Bestimmung der Erfolgsdeterminanten von Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten zu den drei Größen „Zeit“, „Qualität“ und „Kosten“, welche in der Literatur auch unter dem Namen „Magisches Dreieck“ zusammengefasst werden.<sup>94</sup> Dabei werden die Größen „Qualität“ und „Leistung“ als gleichwertig betrachtet, bilden doch beide Determinanten das gleiche technische Ergebnis ab.<sup>95</sup> Die Erfolgsdeterminanten „Zeit“ und „Kosten“ gilt es im

---

<sup>90</sup> Vgl. Schrank/Perlitz (1999), S. 149; Pleissner (1999), S. 126.

<sup>91</sup> Determinanten eines wirtschaftlichen Erfolges beziehen auch die eines technischen Erfolgs ein. Ein Umkehrschluss ist jedoch nicht zulässig. Vgl. Hauschildt (1997), S. 22f.; Hauschildt (1993), S. 302.

<sup>92</sup> Der Begriff der „Erfolgsdeterminante“ entstammt der Erfolgsfaktorenforschung. Er ist als Synonym des Begriffs „Erfolgsfaktor“ zu sehen. Vgl. Melheritz (1999), S. 40.

<sup>93</sup> Vgl. Bürgel/Zeller (1997), S. 220.

<sup>94</sup> Vgl. Bürgel u.a. (1996), S. 38; Christensen (1999), S. 312; Rommel (1993), S. 77; Zahn (1995), S. 17; Ulrich/Eppinger (2000), S. 2f.; Sommerlatte/Mollenhauer (1992), S. 26ff.

<sup>95</sup> Vgl. [DIN 55350] (o.J.), zitiert nach Oess (1989), S. 59.

Allgemeinen zu minimieren, die Erfolgsdeterminante „Qualität“ zu maximieren (siehe Abbildung 2.7).

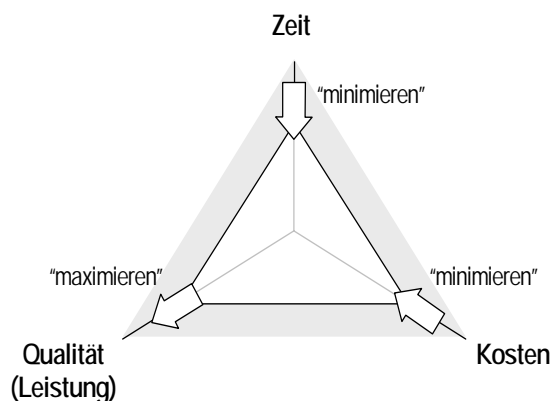


Abbildung 2.7: Erfolgsdeterminanten in Forschung und Entwicklung<sup>96</sup>

Die Erfolgsdeterminante „Zeit“ ist definiert durch die Zeitdauer einer Entwicklungstätigkeit,<sup>97</sup> welche sich im physikalisch-mathematischen Sinne durch eine kontinuierliche lineare Zeitmenge bewerten lässt.<sup>98</sup> Diese Zeitdauer wird beschrieben durch zwei Zeitpunkte, welche den Anfang bzw. das Ende einer Aktivität darstellen. Indem zwischen kurzen und langen Zeiträumen unterschieden wird, geben diese Zeitpunkte eine Möglichkeit zur Differenzierung verschiedener Tätigkeiten. Zeitdauereinsparungen stehen als möglichen Handlungsoptionen Zeitdauerverzögerungen gegenüber. Nicht Gegenstand der Erfolgsdeterminante „Zeit“ ist der konkrete Zeitpunkt der jeweiligen Aktivität. Die hiermit verbundene Wahl eines Handlungs- bzw. Wirkungszeitpunktes und die dadurch mögliche Differenzierung in die Kategorien Zeitvorsprung versus Zeitrückstand wird innerhalb dieser Arbeit aufgrund fehlender Wirkungszusammenhänge nicht berücksichtigt.

---

<sup>96</sup> In Anlehnung an Bürgel u.a. (1996), S. 38.

<sup>97</sup> Vgl. Gmünden (1992), S. 23; Voigt (1998), S. 92.

<sup>98</sup> Vgl. Voigt (1998), S. 10; Buchholz (1996), S. 22.

Definition 2.6: Die Erfolgsdeterminante „**Zeit**“ steht für die benötigte Zeitdauer einer bestimmten Entwicklungstätigkeit. Diese wird bestimmt durch den Abstand zweier Zeitpunkte, innerhalb derer die Aktivität durchgeführt wird.

Als zweite Größe steht die Erfolgsdeterminante „**Qualität**“ für die produktbezogene Erfüllung von technischer Leistung und Funktionalität. Diese wird zu Beginn des Entwicklungsprozesses festgelegt und definiert die Mindestanforderungen an die Kundenerwartung, die Funktionserfüllung, den Ressourcenverzehr und den Verschleiß bezogen auf den gesamten Lebenszyklus des Produktes. Der Qualitätsbegriff wird somit stark kundenorientiert definiert als „die Gesamtheit der Eigenschaften und Merkmalswerte einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen“.<sup>99</sup> Dabei ist die Qualität nicht als eine Eigenschaft des Produktes zu verstehen, welche im Nachhinein in das Produkt hineingepüft wird. Die erforderliche Güte der Funktionserfüllung und damit die Qualität des Produktes lässt sich vielmehr durch den integrativen Ansatz aller beteiligter Prozesse erreichen.<sup>100</sup>

Definition 2.7: Die Erfolgsdeterminante „**Qualität**“ steht für das Ausmaß der Übereinstimmung zwischen den in der Planung festgelegten und den tatsächlich realisierten Eigenschaften und Merkmalswerten eines Produktes.

Die Erfolgsdeterminante „**Kosten**“ besitzt innerhalb von Forschung und Entwicklung zwei Ausprägungen. Zum einen wird hier auf den möglichst geringen Verbrauch von Unternehmensressourcen für ein Entwicklungsvorhaben abgezielt. Diese Forschungs- und Entwicklungskosten stellen innerhalb der betrieblichen Kostenrechnung Sondereinzelkosten dar, welche als Vorleistungskosten Voraussetzung für den zukünftigen Unter-

---

<sup>99</sup> Vgl. [DIN 55 350] (o.J.), zitiert nach Oess (1989), S. 59. Mit dieser Definition sind Kennzahlen zur Qualitätsermittlung keine absoluten Größen, sondern werden im Verhältnis zu den geforderten Werten gesetzt und laufen im Idealfall betragsmäßig gegen Eins.

<sup>100</sup> Diese prozessorientierte Sichtweise entstammt dem Ansatz des Total Quality Managements. Vgl. Clausing (1994), S. 25ff.; Oess (1989), S. 89; Sommerlatte/Ring (1992), S. 3f.

nehmenserfolg bilden.<sup>101</sup> Da Personalkosten in vielen Branchen den größten Anteil an den betrieblichen Forschungs- und Entwicklungskosten darstellen,<sup>102</sup> ist hier die Umsetzung einer möglichst bedarfsorientierten Personalstruktur notwendig. Zum anderen erhält die Erfolgsdeterminante „Kosten“ ihre zweite Ausprägung durch das Erzielen von möglichst geringen Herstellkosten. Diese werden innerhalb der Kostenträgerstückrechnung bestimmt.<sup>103</sup> Da ca. 70 % der Herstellkosten eines Produktes innerhalb der Entwicklungsphase bestimmt werden,<sup>104</sup> hat die Berücksichtigung von Strategien zur Reduzierung der Herstellkosten („Design-to-Cost“) die größte Bedeutung bei der Reduzierung dieser Determinante. Im Rahmen dieser Arbeit wird lediglich die letztere Interpretation der Erfolgsdeterminante „Kosten“ als Herstellkosten verfolgt, da im Fall der betrieblichen Forschungs- und Entwicklungskosten die maßgeblichen Personalkosten als eine abhängige Variable der Zeit verstanden werden können und somit die Notwendigkeit einer gesonderten Betrachtung entfällt.

Definition 2.8: Die Erfolgsdeterminante „**Kosten**“ steht für die innerhalb der Produktentwicklung indirekt festgelegten Herstellkosten eines Produktes.

Zwischen den drei aufgeführten Determinanten des Forschungs- und Entwicklungsmanagements bestehen die unterschiedlichsten gegenseitigen Abhängigkeiten.<sup>105</sup> Aufgrund dieser Interdependenzen lässt sich eine gesamtheitliche Optimierung aller drei Determinanten nur schwer ausführen. Die Optimierung der einen Größe hat in den meisten Fällen negative Auswirkungen auf eine andere. Beispielsweise ziehen Maßnahmen zur Qualitätserzielung einen höheren Personaleinsatz mit sich, welcher durch inflexible Personalstrukturen und der damit fehlenden Möglichkeit zur Zeitkompression zu einer Entwicklungszeitverlängerung führt. Diesem allgemeinen Sachverhalt der gegenseitigen

---

<sup>101</sup> Vgl. Kilger (1993), S. 270.

<sup>102</sup> Vgl. Bürgel u.a. (1996), S. 40; Ehrlenspiel u.a. (1998), S. 122; Gräfe (1998), S. 24.

<sup>103</sup> Vgl. Kilger (1993), S. 677.

<sup>104</sup> Vgl. Bullinger/Voegele (1982), S. 21; Ehrlenspiel u.a. (1998), S. 12; Scholl (1997), S. 24.

<sup>105</sup> Vgl. Bürgel u.a. (1996), S. 38f.

Abhängigkeiten verdanken die drei Größen „Zeit“, „Qualität“ und „Kosten“ den Begriff „Magisches Dreieck“.<sup>106</sup>

### 2.3.2 Umgang mit unvollkommenen Informationen

In den frühen Entwicklungsphasen eines Produktes ist die Information, welche dem Spezifikationsersteller über Gestalt und Funktion eines technischen Systems als auch über den später produzierenden Teil der Wertkette vorliegen, durch hohe Unsicherheit geprägt.<sup>107</sup> Viele Informationen stehen überhaupt nicht zur Verfügung und müssen erst erarbeitet werden.<sup>108</sup> Diese beiden Eigenschaften, die Unsicherheit und die Unvollständigkeit der Information, werden unter dem Begriff Unvollkommenheit zusammengefasst.<sup>109</sup>

Eine unternehmensübergreifende Produktspezifikationserstellung muss sich im Besonderen der Herausforderung eines geeigneten Umgangs mit unvollkommenen Informationen stellen. Entscheidungen bezüglich einzelner Designattribute der Produktspezifikation können nur auf Basis unvollkommener Informationen getroffen werden.<sup>110</sup> Grund hierfür ist die nur beschränkt verfügbare Zeit für die Informationsbeschaffung und -verarbeitung, die begrenzt individuelle Fähigkeit der Entwickler zur Systemmodellierung sowie die Informations- und Wissensbarrieren auf Grund von Unternehmensgrenzen und wettbewerbsbedingte Kompetenzerhaltung. Während sowohl nicht transparente

---

<sup>106</sup> Vgl. Sommerlatte/Mollenhauer (1992), S. 26f.

<sup>107</sup> Vgl. Ulrich/Eppinger (2000), S. 6; Pahl/Beitz (1997), S. 129f.

<sup>108</sup> Vgl. Pahl/Beitz (1997), S. 66f.; Ehrlenspiel u.a. (1998), S. 25-27; Fujimoto (1999a), S. 8. Für empirische Ergebnisse vgl. Frankenberger (1997), S. 157; Kennedy u.a. (1997), S. 273ff.; Pugh (1996), S. 436.

<sup>109</sup> Die Begriffe entstammen einer normativen Entscheidungstheorie. Vgl. Laux (1998), S. 21ff.; ebenda, S. 333ff.; Mag (1990), S. 6-9; Schirmeister (1981), S. 8.

<sup>110</sup> Zum Begriff des begrenzt rationalen Verhaltens vgl. Simon (1957), S. 196ff.; Simon (1959), S. 39ff.; March (1994), S. 8f.; Adam (1996), S. 40.

Produktionsstrukturen und Entwicklungsressourcen auf Seiten der jeweiligen Partner als auch ein möglicher späterer Partnerwechsel Unsicherheit über die zugrundeliegende Wertkette verursacht, vergrößern anfangs nicht definierte Wertschöpfungsglieder die Unvollständigkeit der Informationslage. Ein Zustand vollkommener Information, welcher durch einen totalen Informations- und Wissensaustausch charakterisiert ist, schließt sich innerhalb von Wertschöpfungspartnerschaften aus.<sup>111</sup>

Definition 2.9: Unter der **Unvollkommenheit von Informationen** bei der Produktspezifikationserstellung wird die Unsicherheit und Unvollständigkeit verstanden, welche innerhalb von Wertschöpfungspartnerschaften bei Entscheidungen bezüglich der einzelnen Designattribute eines Produktes und der damit verbundenen Optimierung der Erfolgsdeterminanten zu bewältigen sind.

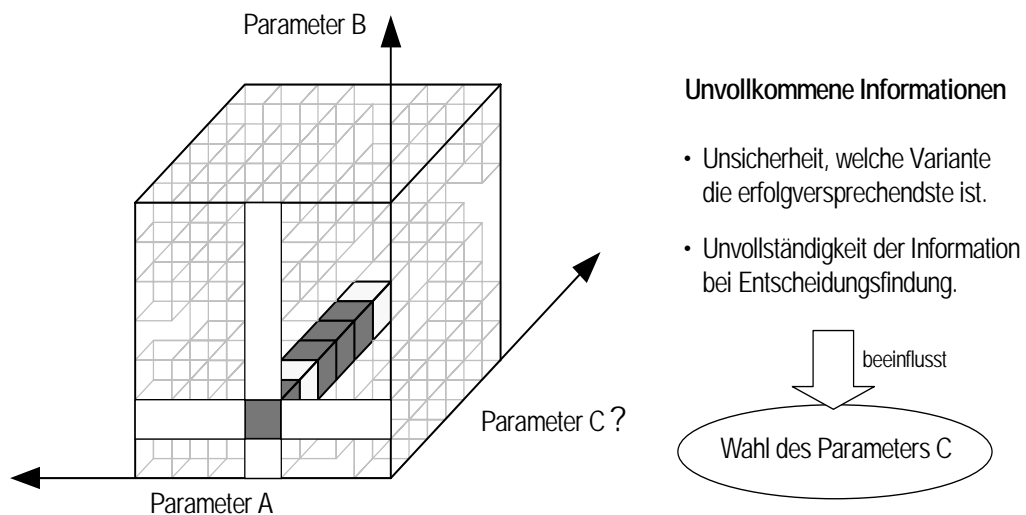


Abbildung 2.8: Unvollkommene Information in der Produktspezifikationserstellung

<sup>111</sup> Vgl. Handfield u.a. (2000), S. 46.

Die Unsicherheit der Informationen zu Beginn der Produktentwicklung zeigt sich durch die Existenz mehrerer Designvarianten, unter denen sich der Spezifikationsersteller für die erfolgversprechendste Variante entscheiden muss.<sup>112</sup> Um diese Wahl entsprechend ausführen zu können, müsste er in der Lage sein, die einzelnen Designvarianten mit einer Erfolgswahrscheinlichkeit der Realisierung in Verbindung zu bringen<sup>113</sup> und den Erfüllungsgrad bezüglich der Erfolgsdeterminanten<sup>114</sup> zu bestimmen. Diejenige Designvariante muss weiterverfolgt werden, welche die größte Aussicht auf eine erfolgreiche Realisierung besitzt. Die hierfür notwendige Wahrscheinlichkeitsabschätzung ist jedoch auf objektive Art nur in seltenen Fällen durchführbar. Entscheidungen darüber, welche Designvarianten weiterverfolgt werden, basieren vor allem auf intuitiven Präferenzen oder folgen den persönlichen Erfahrungen eines Entwicklers.<sup>115</sup>

Die Unvollständigkeit der Informationen bei Entwicklungsbeginn ist stark verknüpft mit der Informationsbeschaffung des Spezifikationserstellers zur Verbesserung seines Kenntnisstandes. Wird eine grundsätzliche Beschaffungsmöglichkeit vorausgesetzt, so bildet für den Spezifikationsersteller ein Kosten-Nutzen-Kalkül das notwendige Entscheidungskriterium.<sup>116</sup> Nur diejenigen Informationen sind zu erarbeiten, welche der erfolgreichen Beschreibung des Produktes dienlich sind.<sup>117</sup> Die hierfür notwendige qualitative Bewertung durch eine objektive Kosten- und Nutzenabschätzung ist nicht durchführbar. Die Frage nach den verursachten zusätzlichen Kosten einer Informationsverbesserung und nach dem erreichten Nutzen einer höheren Prognosewahrscheinlichkeit lässt sich nicht beantworten.

---

<sup>112</sup> Vgl. Souder (1980), S. 7; Baldwin/Clark (2000), S. 34f.; Ulrich/Eppinger (2000), S. 94.

<sup>113</sup> Im Gegensatz zum Erfüllungsgrad der Produktanforderungen stellt die Realisierungswahrscheinlichkeit der Designvariante ein ausschließendes Selektionskriterium dar. Vgl. Ulrich/Eppinger (2000), S. 152.

<sup>114</sup> Zur Wirtschaftlichkeitsrechnung bei unsicheren Erwartungen vgl. Albach (1959), S. 1ff.

<sup>115</sup> Vgl. Pahl/Beitz (1997), S. 103f.; Norman (1988), S. 141ff.; Kaulio (1997), S. 3.2.

<sup>116</sup> Vgl. Adam (1996), S. 134.

<sup>117</sup> Vgl. Pahl/Beitz (1997), S. 66.

Ein direkter Lösungsweg zum Umgang mit unvollkommenen Informationen bleibt über die Ansätze der normativen Entscheidungstheorie also versperrt.<sup>118</sup> Für den Informationsverarbeitungsprozess wäre ein fundiertes und exaktes Entscheidungsmodell erforderlich, welches die Erfolgswahrscheinlichkeit bzw. Art und Menge der Informationen quantifiziert und festlegt. Ein die Komplexität des Produktmodells übertreffendes Entscheidungsmodell würde benötigt, dessen Aufstellung gerade vermieden werden muss.<sup>119</sup> Aus diesem Grund ist zu fragen, welche weiteren Möglichkeiten bestehen, dem Entwickler neben seinem intuitiven Handeln eine konkrete Entscheidungshilfe zu geben.

Die Schwierigkeit eines geeigneten Umgangs mit unvollkommenen Informationen innerhalb einer unternehmensübergreifenden Produktspezifikation kann durch das Aufzeigen von heutigen Problemfeldern in Hersteller-Zuliefer-Beziehungen hinterlegt werden. Eine empirische Erhebung bei 350 Zulieferern ergab folgende Problemfelder:<sup>120</sup>

---

<sup>118</sup> Der Beitrag der Entscheidungstheorie ist gering, da hier von einem eingeschränkten Unsicherheitsbegriff ausgegangen wird. Im Rahmen eines geschlossenen Entscheidungsfeldes besteht Sicherheit über das Ausmaß der Unsicherheit. Die Art und Anzahl der Entscheidungsalternativen sowie eine Erfolgsgröße zur quantitativen Alternativenauswahl werden als bekannt vorausgesetzt. Vgl. Adam (1996), S. 224-228; Saliger (1993), S. 133ff.

<sup>119</sup> Vgl. Mag (1977), S. 139ff.; Gottwald (1990), S. 68ff.; Eisenführ/Weber (1999), S. 12.

<sup>120</sup> Vgl. Karlsson u.a. (1998), S. 538.

Pos.	Problembereich	Erwähnungen auf Seite der Zulieferer
1	Spezifikationen ändern sich dauernd.	52 %
2	Probleme treten bei der Interpretation der Spezifikation und bei der Übersetzung aus anderen Sprachen auf.	49 %
3	Umfangreiche Überspezifikationen verhindern kostengünstige Ausführungen.	35 %
4	Bei Änderungen in der Produktspezifikation werden keine Hintergründe geliefert.	35 %
5	Möglichkeit zur Kostenoptimierung werden teilweise ausgelassen.	32 %
6	Hersteller berücksichtigen die Expertise der Zulieferer nicht.	29 %
7	Zum Teil sind Spezifikationen zu allgemein gehalten und behandeln nicht die Anforderungen der Teilkomponente.	23 %
8	Die zur Verfügung stehenden Entwicklungszeiten sind extrem kurz.	22 %
9	Neue Spezifikationen werden innerhalb der Planungsphase nicht diskutiert.	19 %
10	Selbst bei Dringlichkeit werden wichtige Spezifikationen ausgelassen.	15 %
11	In manchen Fällen missbraucht der Zulieferer den Interpretationsspielraum von Spezifikationen, um nachträglich höhere Kosten geltend zu machen.	15 %
12	Individuell ausgeprägte Anforderungen führen zu individuellen Ausführungen. Fehlende Standards führen zu ansteigenden Kosten.	10 %

Abbildung 2.9: Problemfelder der unternehmensübergreifenden Produktspezifikationserstellung

Bezüglich der technischen Ausgestaltung von Produkten und die damit erforderliche Optimierung von Erfolgsdeterminanten in Wertschöpfungspartnerschaften können bei einer genaueren Analyse der Ergebnisse vier unterschiedliche Problemkategorien identifiziert werden: der technische Inhalt und die damit verbundene Detaillierungstiefe (Position 3, 7, 10 und 12), die Änderungshäufigkeit (Position 1, 4 und 8), die Interpretation und das gemeinsame Verständnis (Position 2) sowie die aktive Beteiligung des Zulieferers an der Spezifikationserstellung (Position 5, 6, 9 und 11).<sup>121</sup> Wenn es wie in der ersten Kategorie um den technischen Inhalt der Produktspezifikation geht, stellt die Über- bzw. Unterspezifikation des technischen Systems das dominierende Problem dar. Einerseits wurde in vielen Fällen die Unvollständigkeit der Spezifikation bemängelt, welche vom Hersteller an den Zulieferer weitergegeben wird.<sup>122</sup> Designattribute wurden vom Zulieferer als wichtig erachtet, konnten jedoch nicht den Vorgaben des Herstellers entnommen werden. Der Zulieferer fühlte sich nicht in der Lage, die notwendigen Ent-

<sup>121</sup>Eine ähnliche Kategorisierung der Problemfelder findet sich bei Karlsson u.a. (1998), S. 539.

<sup>122</sup> Vgl. hierzu auch Karlsson/Ahlström (1996), S. 290.

scheidungen in eigener Verantwortung zu treffen. Die Ursache dieser Unterspezifikation auf Seiten des Herstellers kann jedoch nicht eindeutig bestimmt werden. Das fehlerhafte Unterlassen einer Spezifikationsdefinition oder das bewusste Auslassen einer Anforderung im Rahmen des „Black-Box“-Engineerings kann hier die Ursache sein. Andererseits wird von Zulieferern eine Überspezifikation von Designattributen beanstandet. Durch eine fehlende Abstimmung mit Experten werden hier vom Hersteller Designattribute verlangt, die von Seiten des Zulieferers nicht oder nur unter einem hohen Kostenaufwand zu realisieren sind.

Die zweite Problemkategorie, die hohe Änderungshäufigkeit, kann durch unterschiedlichste Ursachen wie fehlerhafte Spezifikationen auf Seiten des Herstellers oder wechselnde Anforderungen des Gesamtsystems an die einzelnen Komponenten hervorgerufen werden. Besonders schwerwiegend sind Änderungen, welche erst in einer späten Phase der Produktentwicklung kommuniziert werden oder zu diesem Zeitpunkt erst auftreten. Der Zulieferer ist gezwungen, bereits weit fortgeschrittene Entwicklungsarbeiten zu wiederholen und einen teilweise sehr hohen Mehraufwand zu erbringen. Höhere Kosten und eine Verzögerung der Entwicklungszeit sind die unerwünschten Folgen, welche sich negativ auf die Wettbewerbsfähigkeit der gesamten Wertkette auswirken.

Eine dritte Problemkategorie aus Zulieferersicht bilden Interpretations- und Verständnisprobleme. Technische Spezifikationen sind häufig als umfangreiche Dokumente mit viel Text und technischen Attributen aufbereitet, deren Inhalt sich lediglich von einer geringen Anzahl von Experten detailliert erschließen lassen. Eine Fokussierung auf eine spezielle Aussage lässt sich nicht ohne weiteres herausarbeiten. Dies führt dazu, dass kritische Aspekte der Produktauslegung dem Zulieferer nicht transparent werden und bei weiteren Entwicklungsarbeiten unberücksichtigt bleiben. Erkannt werden diese fehlerhaften Ausführungen erst bei einer Zusammenführung der „Black-Box“-Komponenten in das Gesamtsystem. Als Folge resultieren späte und große Iterations-

zyklen, die mit hohen Kosten und Zeitverzögerungen verbunden sind. Neben diesen Fehlinterpretationen können innerhalb internationaler Hersteller-Zulieferer-Beziehungen auch Übersetzungsprobleme von einer Sprache in die andere zu Missverständnissen in der Produktspezifikation führen.

Die vierte und letzte Problemkategorie bildet der Umfang einer aktiven Beteiligung des Zulieferers in der Produktspezifikation. Art und Weise des Informationsaustausches zwischen Hersteller und Zulieferer bilden hier lediglich einen Nebenaspekt. Der Kernfokus beruht auf einer für die Wertkette möglichst optimalen Zusammenarbeit, bei der beide Parteien ihre jeweiligen Kompetenzen möglichst zielführend in die Produktspezifikation einbringen können. Beispielsweise sind Designattribute, welche aus Kostenminimierungsgründen dem Zulieferer vorgeschrieben werden, unakzeptabel, wenn dessen Expertise Qualitätsmängel in der späteren Betreiberphase erwarten lassen. Hier muss der Hersteller auf die Kompetenz des Zulieferers vertrauen und eigene Spezifizierungsintentionen ausblenden.

### **2.3.3 Bedeutung der Produktspezifikation als Erklärungs- und Prognosemodell**

Ihre zentrale Bedeutung erhält die Produktspezifikation im unternehmensübergreifenden Produktentwicklungsprozess durch die Verwendung als Prognose- und Erklärungsmodell (siehe Abbildung 2.10).

Die Bedeutung als Prognosemodell verdankt die Spezifikation der Tatsache, dass ein reales Objekt beschrieben werden muss, welches zu diesem Zeitpunkt noch überhaupt

nicht existiert.<sup>123</sup> Alle Designattribute mitsamt der abgeschätzten Erfolgswahrscheinlichkeit stellen somit eine Prognose dar, deren Durchführbarkeit bzw. Richtigkeit sich erst zu einem späteren Zeitpunkt zeigt. Ein Kontrollmechanismus muss sicherstellen, dass latente Fehler möglichst früh im Entwicklungsprozess identifiziert und beseitigt werden.<sup>124</sup> Um den Validierungsaufwand gering zu halten, ist eine möglichst vollständig technisch und wirtschaftlich umsetzbare Spezifikation erwünscht. Die Praxis zeigt aber, dass in der Spezifikation eher eine nicht abgeschlossene Vorlage zu sehen ist, welche ständig hinterfragt und bei Unstimmigkeiten verändert werden muss.<sup>125</sup>

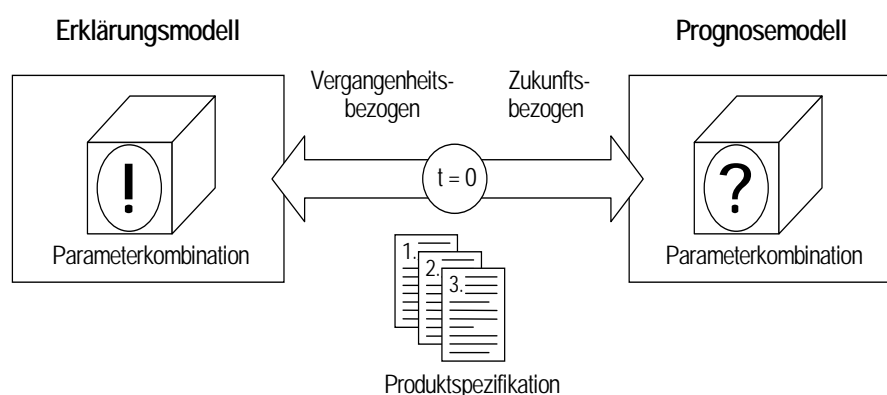


Abbildung 2.10: Zentrale Bedeutung der Spezifikation im Entwicklungsprozess

Definition 2.10: Die **Prognosewahrscheinlichkeit** steht für die Richtigkeit der Vorhersage über den voraussichtlichen Verlauf der zukünftigen Entwicklung eines betrachteten Objektes.

Die Bedeutung der Spezifikation als Erklärungsmodell ist Folge der Beteiligung von unterschiedlichen Personen an den Entwicklungsarbeiten. Ein Kommunikationsmedium

<sup>123</sup> Eine Ausnahme bildet hier die Spezifikation, welche im Rahmen eines Reverse-Engineerings erstellt wird. In diesem Fall stellt das Produkt eines Wettbewerbers das reale Objekt dar, welches mit Hilfe der Spezifikation beschrieben und anschließend analysiert wird. Vgl. Schmitz (1998), S. 52; Motavalli (1998), S. 25ff.; Lee/Woo (1998), S. 21.

<sup>124</sup> Vgl. Reinertsen (1998), S. 175.

<sup>125</sup> Vgl. Reinertsen (1998), S. 181.

ist erforderlich, welches die beteiligten Personen über bisher geleistete Entwicklungsarbeiten informiert und als Input für weitere Entwicklungstätigkeiten zur Verfügung steht. Die Mehrdeutigkeit der Wahrnehmung sowie die Subjektivität der Kommunikationspartner erschweren es jedoch, beide Akteure auf ein identisches Informationsniveau zu bringen. Bereits Unterschiede in den Ingenieurdisziplinen können hier zu unterschiedlichen Sichtweisen führen. Bei Einbezug von betriebswirtschaftlich geprägten Akteuren im Entwicklungsprozess verstärkt sich diese Wahrnehmungsproblematik. Die Variation der Kommunikationsmittel kann helfen, die Wahrnehmung unterschiedlicher Tatbestände zu reduzieren.<sup>126</sup> Zur Auswahl stehen Medien, welche sowohl die technische als auch die wirtschaftliche Struktur des zu entwickelnden Objektes möglichst realitätsnah abbilden. Neben einer textuellen Beschreibung eignen sich Tabellen, wissenschaftliche Beschreibungssprachen, Systemmodelle, CAD-Zeichnungen, Entwurfsskizzen, Photos oder auch Prototypen. Je nach Charakter und zugehöriger Fachdisziplin des zu spezifizierenden Objektes wird bei der Produktspezifikation eine Kombination dieser Darstellungsweisen angewandt.

Definition 2.11: Das **Erklärungsvermögen** steht für die Fähigkeit der Beschreibung eines Objektes, dem Betrachter unmittelbar einen erklärungsbedürftigen Sachverstand zu vermitteln.

Die zentrale Bedeutung der Produktspezifikation durch die Verwendung als Erklärungs- und Prognosemodell im Entwicklungsprozess gilt in gleichem Maße für den allgemeinen Produktentstehungsprozess als auch für eine auf unterschiedliche Wertschöpfungspartnerschaften verteilte Produktentwicklung. Die unterschiedlichen Problemfelder einer unternehmensübergreifenden Produktspezifikation können den beiden Verwendungsmodellen zugeordnet werden (siehe Abbildung 2.11).

---

<sup>126</sup> Vgl. Ninck u.a. (1997), S. 32f.

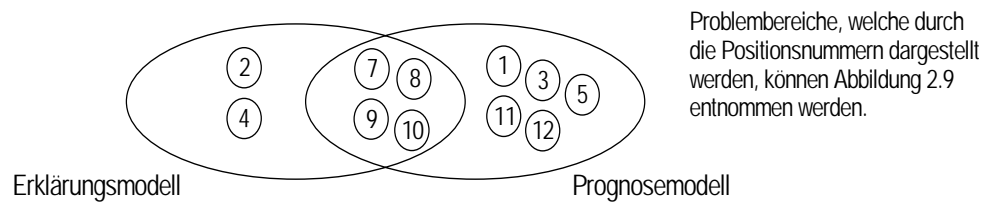


Abbildung 2.11: Problemfelder der unternehmensübergreifenden Spezifikations-  
erstellung nach zugrundeliegendem Verwendungsmodell

Probleme bei der Interpretation einer Spezifikation und auch die Änderung von Produktspezifikationen ohne Erläuterung der näheren Hintergründe können eindeutig der Verwendung der Produktspezifikation als Erklärungsmodell zugerechnet werden. Parallel hierzu können eine hohe Spezifikationsänderungshäufigkeit, die Verhinderung von kostengünstigen Designalternativen durch umfangreiche Überspezifikationen und ein Auslassen von Kostenoptimierungspotentialen der Bedeutung der Spezifikation als Prognosemodell zugewiesen werden. Keine eindeutige Zuweisung auf ein einziges Verwendungsmodell kann bei den Problemfeldern Unterspezifikation durch eine zu allgemein gehaltene Beschreibung, fehlende Diskussion der Spezifikation in Frühphasen und dem Auslassen wichtiger Spezifikationen bei Dringlichkeit ausgeführt werden. Hier ist die Bedeutung sowohl als Erklärungs- wie auch als Prognosemodell ausgeprägt.

### **3 Theoretischer Bezugsrahmen: Wirkungen einer Simplifizierung in der Produktspezifikationserstellung**

Die Simplifizierung ist eine Vorgehensweise, deren Vorteile sowohl in der Wissenschaft als auch in der Industrie anerkannt werden (siehe Kapitel 3.1). Der Nutzen einer Simplifizierung lässt sich mit Hilfe einer formallogischen Argumentationskette und faktisch ausgeprägten Wirkungszusammenhängen deduktiv ableiten. Für die Produktspezifikation kann der Zusammenhang gebildet werden, dass die Einführung von Simplifizierungsebenen in der Produktbeschreibung das Erklärungsvermögen und die Prognosewahrscheinlichkeit der Produktspezifikation erhöht (siehe Kapitel 3.2). Dies hat wiederum einen positiven Einfluss auf die betriebswirtschaftlichen Dimensionen „Zeit“, „Qualität“ und „Kosten“ (siehe Kapitel 3.3).

#### **3.1 Begriffliche und konzeptionelle Grundlagen der Simplifizierung**

Die Simplifizierung ist gleichbedeutend mit einer komprimierten Darstellung von Informationen (siehe Kapitel 3.1.1). In der Produktspezifikation kann dies durch die Einführung von Beschreibungsebenen mit unterschiedlichen Detaillierungstiefen umgesetzt werden (siehe Kapitel 3.1.3). Jede Simplifizierungsebene beschreibt dabei das Produkt vollständig, jedoch auf jeweils unterschiedlicher Detaillierungstiefe. Hierdurch können Entscheidungen über die Auslegung von Designattributen noch vor der Entstehung von Komplexität getroffen werden (siehe Kapitel 3.1.2). Einem minimalistischen Ansatz zur Produktbeschreibung wird gefolgt (siehe Kapitel 3.1.4).

### 3.1.1 Was bedeutet Simplifizierung?

Simplifizierung wird im alltäglichen Sprachgebrauch häufig missverstanden. Eigenschaften wie naiv, primitiv, gewöhnlich oder oberflächlich stehen in keinem direkten Zusammenhang zu diesem Begriff. Dies gilt insbesondere, wenn die Darstellung oder Beschreibung eines Objektes gemeint ist. Einen ersten Ansatz zur Klärung der Bedeutung des Wortes „Simplifizierung“ kann die etymologische Herkunft leisten. Im Mittel-lateinischen ist der Ausdruck „simplificare“ gleichbedeutend mit „etwas vereinfacht darstellen“.<sup>1</sup> Dies darf nun nicht mit dem Vernachlässigen einzelner Details verwechselt werden. Bei der Darstellung von Objekten steht Simplifizierung vielmehr für die Komprimierung von Daten bzw. Informationen. Die wesentliche Bedeutung des Objektes wird unabhängig von der möglichen Detaillierungstiefe auf hoher Ebene erfasst.<sup>2</sup>

Definition 3.1: Die **Simplifizierung** steht für eine komprimierte Darstellung von Daten bzw. Informationen. Die resultierende simplifizierte Beschreibung gibt das zugrundeliegende System umfassend wieder. Im Vergleich zur nicht-simplifizierten Darstellung verringert sich lediglich die Beschreibungstiefe.

Begreift man ein System als Bestandteil aus Elementen und gegenseitigen Beziehungen, so wird aus Abbildung 3.1 gut die Vorgehensweise zur Erstellung einer simplifizierten Beschreibung ersichtlich. Während im nicht zutreffenden Fall ein einzelnes Element ausgelassen wird, vereinfacht sich die Darstellung des Systems bei korrekter Ausführung durch die Zusammenfassung zweier Einzelelemente zu einem umfassenderen Element. Nur dieser zuletzt beschriebene Fall entspricht einer Simplifizierung im Sinne dieser Forschungsarbeit.

---

<sup>1</sup> Vgl. [Webster] (1986), S. 2122; [Duden] (1990), S. 719.

<sup>2</sup> Vgl. Minto (1993), S. 11.

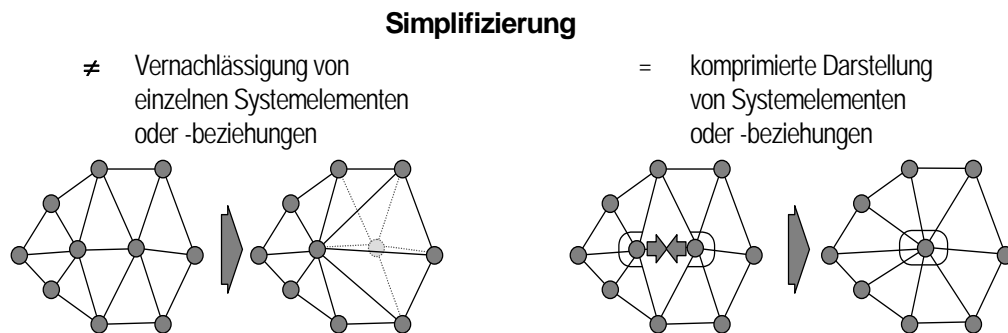


Abbildung 3.1: Definition des Begriffs „Simplifizierung“

Die Simplifizierung bedeutet somit, die einfachste Darstellungsform für ein System mit den zur Verfügung stehenden Informationen zu finden. Zu betonen ist, dass es sich hier um eine rein qualitative Definition der Vorgehensweise handelt, welche bei Ausführung zu einer vereinfachten Darstellung eines Systems führt. Möchte man das Ergebnis dieser Vorgehensweise bewerten, so ist es notwendig, eine quantitative Definition der Simplizität bzw. Einfachheit zu geben. Diese muss es ermöglichen, objektiv zwischen einer einfachen und einer weniger einfachen Darstellung oder Beschreibung eines Objektes zu unterscheiden.<sup>3</sup> Als erster Ansatz kann hier die Effizienz einer kurzen Beschreibung als Maß für den Erfolg der Simplifizierung verwendet werden.<sup>4</sup> Dies soll im Rahmen einer formallogischen Ableitung der Vorteilhaftigkeit des Simplifizierungsansatzes in Kapitel 3.2 weiter ausgeführt werden.

---

<sup>3</sup> Vgl. Popper (1994), S. 105.

<sup>4</sup> Vgl. Li/Vitányi (1997), S. 240.

### 3.1.2 Interaktion von Simplifizierung und Komplexität

In der heutigen Zeit gilt Komplexität als ein ganz alltägliches Phänomen. Für eine einzelne Person ist es nicht mehr möglich, alle technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Sachverhalte zu erkennen und zu verstehen.<sup>5</sup> Technologische Weiterentwicklungen, hohe Verfügbarkeit von Informationen und eine äußerst dynamische Veränderung der Umwelt haben eine Umgebung geschaffen, welche uns an die Hilflosigkeit in komplexen Situationen gewöhnen lässt. Dies geht soweit, dass Komplexität häufig als unausweichlich angesehen wird, steht sie doch für technologischen Fortschritt. Eine Studie bei 461 Top-US-Firmen hat ergeben, dass 60-80% der Angestellten eines Unternehmens aus Komplexitätsgründen nicht die notwendigen Informationen für schnelle und erfolgreiche Entscheidungen finden oder verwenden können.<sup>6</sup>

Komplexität muss jedoch nicht an sich etwas problematisches sein. Insbesondere im Entscheidungsfall zwischen vermeintlich relevanten Alternativen gilt es, Komplexität zu handhaben. Denn diese ist gleichbedeutend mit Merkmalen wie Unüberschaubarkeit, Vernetztheit, Eigendynamik, Undurchsichtigkeit, Wahrscheinlichkeitsabhängigkeit und Instabilität.<sup>7</sup> Entscheidungen sind in einer durch solche Eigenschaften geprägten Situation schwer zu treffen. Die Auswahl aus einer Vielzahl und Vielfalt von Entscheidungsmöglichkeiten kann nicht erfolgversprechend ausgeführt werden. Versteckte Zusammenhänge werden leicht übersehen und führen zu einer Fehlinterpretation der

---

<sup>5</sup> Vgl. Rycraft/Kash (1999), S. 3.

<sup>6</sup> Vgl. Jensen (1997), S. 73f. Die Gruppe der befragten Personen setzt sich zu 17% aus dem Senior-Management, zu 43% aus dem mittlerem Management und zu 40% aus den unteren Funktionsebenen zusammen. Vgl. Jensen (1997), S. 144.

<sup>7</sup> Vgl. Reither (1997), S. 14ff.

eigentlichen Situation.<sup>8</sup> Diese Missinterpretation führt zu einer fehlenden Kontrolle der Entscheidungsabfolge. Da nur einzelne Teile eines Problems erfasst werden, kommt es zu einem späteren Zeitpunkt zu Unstimmigkeiten oder zumindest zu nicht zu erwartenden Situationen. Außerdem führt die Beschränkung der Wahrnehmung auf einen unvollkommenen Teil der Realität zu einer fehlenden Nachvollziehbarkeit der Entscheidung. Eindeutige Entscheidungskriterien lassen sich nur schwer kommunizieren.

Durch die Simplifizierung von komplexen Sachverhalten wird dem Entscheidungsträger eine zuverlässige Entscheidungsbasis zur Verfügung gestellt.<sup>9</sup> Die größte Einschränkung bei der Simplifizierung besteht dabei in der Fähigkeit des Einzelnen, Klarheit zu schaffen.<sup>10</sup> Häufig wird Simplifizieren mit dem Vernachlässigen aller komplizierten Teile verwechselt. Vielmehr ist es jedoch notwendig, sich auf die wesentlichen Kernpunkte und Zusammenhänge des Systems zu beschränken und eine möglichst einfache Darstellung zu finden.<sup>11</sup> Nur durch eine Strukturierung des Wissens und die Fähigkeit wiedergeben zu können, was und warum etwas wissenswert ist, können komplexe Situationen transparent gemacht werden.<sup>12</sup> Eine simplifizierte Darstellung ist somit nicht gleichzusetzen mit einem voreilig erstellten Entwurf des Sachverhalts. Es handelt sich vielmehr um eine stark komprimierte Darstellung, die vielfältige Überlegungen und Abwägungen darüber erfordert, welche Elemente zusammengefasst werden können und letztendlich von zentraler Bedeutung für das Gesamtsystem sind. Vergleichbar mit Fraktalen in deterministisch-chaotischen Systemen ist es bei der Simplifizierung notwendig, einfache Muster herauszuarbeiten und diese als Entscheidungsgrundlage zu

---

<sup>8</sup> Eine deutliche Leistungssteigerung beim Problemlösen kann verzeichnet werden, wenn der Einzelne in der Lage ist, sein eigenes Vorgehen zu beschreiben, zu rekapitulieren und zu bewerten. Vgl. Bartl/Dörner (1998), S. 237.

<sup>9</sup> Vgl. Jensen (2000a), S. 140-143; Trout/Rivkin (1999), S. 16.

<sup>10</sup> Vgl. Jensen (2000a), S. 6; Trout/Rivkin (1999), S. 24; Tichy/Charan (1989), S. 114.

<sup>11</sup> Vgl. Malik (1999), S. 72f.; Minto (1993), S. 11

<sup>12</sup> Vgl. Hecló (1994), S. 7; Minto (1993), S. 9ff.

verwenden.<sup>13</sup> Genau wie bei der Bestimmung von „seltsamen Attraktoren“ in der Experimentalphysik ist es erforderlich, durch einen umfassenden Iterationsprozess die Darstellung des Systems zu bestimmen, welches chaotische Bewegungen als regelmäßige Erscheinungen interpretiert.<sup>14</sup>

Im Folgenden wird die bewusste Gestaltung eines allgemeinen komplexen Systems betrachtet. Bei dessen Bildung kann die Komplexität des Systems nur geformt werden, indem diese gesteigert wird: „The only way to make a complex system that works is to begin with a simpler system that works.“<sup>15</sup> Der Versuch, ein komplexes System in einem Schritt zu schaffen, scheitert zwangsläufig an den mit der Komplexität verbundenen Eigenschaften, welche keine bewusste Ausgestaltung des Systems erlauben. Nur eine Komplexitätssteigerung in überschaubaren Schritten ermöglicht eine Beeinflussung in dem Sinne, wie es von dem jeweiligen Individuum gewünscht wird.<sup>16</sup> Wird als Ausgangsbasis ein einfaches und damit überschaubares System herangezogen, können durch eine schrittweise Komplexitätssteigerung die folgenden vier Anforderungen erfüllt werden:<sup>17</sup>

- Stetigkeit und Robustheit: Bei Entscheidungen innerhalb eines dynamischen Umfeldes werden unerwartete Erkenntnisse im Zeitverlauf das System nicht gänzlich aus dem Gleichgewicht bringen.
- Effizienz: Redundante Informationen zur Systemgestaltung können vermieden werden, indem von Beginn für eine eindeutige Systemstruktur gesorgt wird. Entscheidungsfelder bei der Systemgestaltung werden präzise vorgegeben.

---

<sup>13</sup> Bezüglich der Bestimmung von seltsamen Attraktoren in der Chaostheorie vgl. Bergmann/Schaefer (1998), S. 640-651; Nicolis/Prigogine (1989), S. 276.

<sup>14</sup> Zum Begriff der „seltsamen Attraktoren“ vgl. Bergmann/Schaefer (1998), S. 640ff.; Peitgen u.a. (1998), S. 211ff.

<sup>15</sup> Kelly (1995), S. 470.

<sup>16</sup> Vgl. Jost (2000), S. 103.

<sup>17</sup> Vgl. Keuzenkamp/McAleer (1997), S. 559.

- **Konsistenz:** Neueingehende Elemente können systematisch aus zuvor definierten Subsystemen abgeleitet werden. Zulässige Folgerungen auf Basis des vorherigen Systemstandes ermöglichen die Rechtfertigung von neuen Systemelementen.
- **Vorhersagbarkeit:** Die grundsätzliche Entwicklungsrichtung wird durch die einfache Systembeschreibung an den Entscheidungsträger vorgegeben. Zukunftsprojektionen werden ermöglicht.

Diese Erkenntnis der Notwendigkeit einer grundsätzlichen Komplexitätssteigerung von Systemen stimmt auch mit Beobachtungen aus der Evolutionstheorie überein. Betrachtet man beispielsweise evolutionäre Prozesse in der Biologie, so kann ein grundsätzlicher Übergang vom Einfachen zum Komplexen festgestellt werden.<sup>18</sup> Eine der wesentlichen Folgerungen der Paläontologie, der Lehre von den Lebewesen der Vorzeit, zeigt auf, dass auf der Erde zunächst nur einfache Lebewesen aufgetreten sind, welche sich dann zu einem späteren Zeitpunkt der Erdgeschichte zu komplizierteren Lebewesen entwickelt haben. Sehr einfache Systeme wie beispielsweise Elementarteilchen, Atome oder auch einzellige Organismen bilden sich innerhalb der Evolution zu mehrzelligen Organismen, Wirbel- oder Säugetieren sowie menschlichen Wesen, welche alle eine höhere Komplexität aufweisen.<sup>19</sup> Umgebungseinflüsse führen dazu, dass sich bei genügend langer Zeit Sequenzunterschiede in den Genomen der Organismen bilden. Die Evolution zweier Organismen aus einem gemeinsamen Vorfahren ist die Folge.

Ein weiteres anzuführendes Beispiel für die Notwendigkeit des Übergangs von einfachen zu komplexen Systemen stellt die Selbstorganisation komplexer molekularer Systeme dar.<sup>20</sup> Diese supramolekularen Gebilde zeichnen sich durch eine räumliche Größe aus, welche mit der von Proteinen, Viren oder zellularen Organismen vergleich-

---

<sup>18</sup> Vgl. Maynard Smith/Szathmáry (1995), S. 3ff.; Heylighen (1999), S. 18; Arthur (1999), S. 66ff.; Edmonds (1999), S. 11; Nicolis/Prigogine (1989), S. 32.

<sup>19</sup> Vgl. Mainzer (1997), S. 91ff.

<sup>20</sup> Vgl. Müller/Kögerler (1999), S. 103ff.; Kauffmann (1995), S. 54ff.

bar ist. Zum Erreichen dieser Größe ist eine entsprechende Gestaltung von Rahmenbedingungen notwendig, da ein komplexes Molekül dieser Größenordnung nicht auf direkte Weise erstellt werden kann.<sup>21</sup> Notwendige Werkzeuge in einer Größenordnung von 1-100 Nanometer sind nicht vorhanden, so dass ein direktes Gestalten des Moleküls nicht möglich ist.<sup>22</sup> Die aufwendige schrittweise Prozedur der sukzessiven Isolierung und Reinigung der einzelnen Zwischenprodukte ist ebenfalls an ihre Grenzen gelangt.<sup>23</sup> Einzige Möglichkeit für die Bildung dieser komplexen Konstrukte bietet hier die bedingt kontrollierbare Selbstorganisation des Moleküls.<sup>24</sup> Die Umgebungsbedingungen müssen in diesem Fall so gestaltet werden, dass die einzelnen Elemente ihre eigene Position im komplexen Ganzen durch das Streben nach einem Zustand im thermodynamischen Energieminimum erhalten.<sup>25</sup>

Im Allgemeinen kann somit davon ausgegangen werden, dass bei fortschreitender Evolutionshöhe die Komplexität der Strukturen, Funktionen und Leistungen zunimmt.<sup>26</sup> Es existieren Fälle, bei denen die Komplexität des Systems konstant bleibt, bei manchen Systemen ist in seltenen Fällen auch eine Verringerung der Komplexität zu erkennen.<sup>27</sup> Mehrheitlich wird jedoch bei biomechanischen Systemen zum Startpunkt der Evolution ein einfacher Systemzustand deutlich, welchem innerhalb des evolutionären Prozesses inkremental eine Komplexitätssteigerung widerfährt. Die Simplifizierung ist somit Grundbedingung für den langfristig orientierten Aufbau und die Lebensfähigkeit eines komplexen Systems.

---

<sup>21</sup> Vgl. Mainzer (1997), S. 74f.

<sup>22</sup> Vgl. Mainzer (1997), S. 74.

<sup>23</sup> Vgl. Müller/Kögerler (1999), S. 103.

<sup>24</sup> Vgl. Müller/Kögerler (1999), S. 103f.

<sup>25</sup> Vgl. Heylighen (1999), S. 27.

<sup>26</sup> Vgl. Heylighen (1999), S. 22.

<sup>27</sup> Vgl. Heylighen (1999), S. 17f.; Maynard Smith/Szathmary (1995), S. 4f.

### 3.1.3 Simplifizierungsebenen für die Produktspezifikation

Der Komplexität der Beschreibung eines hochtechnologisch ausgeprägten Systems kann nicht ausgewichen werden. Dies entspricht der Auffassung, dass Komplexität kein „ungewollter Nebeneffekt einer ansonsten geordneten oder in Ordnung zu bringenden Welt darstellt“, sondern „in der Natur der Dinge“<sup>28</sup> selbst liegt.<sup>29</sup> Möchte man ein reales System mit den zur Verfügung stehenden Mitteln der Produktspezifikation modellieren, ist eine detaillierte und damit zwangsläufig komplexe Beschreibung unumgebar. Handlungsspielraum ergibt allerdings die Art und Weise, wie dieses komplexe Produktmodell erlangt wird.

Wie bereits in Kapitel 3.1.2 angeführt, ist die Bildung eines komplexen Systems nur durch die Steigerung seiner Komplexität möglich. Jede voreilige Komplexitätsreduktion kann zu einer falschen Designentscheidung führen.<sup>30</sup> Die Reduktion eines komplexen Systems entspricht einer Selektion, deren Auswirkungen zum Entscheidungszeitpunkt nicht vorhersagbar sind.<sup>31</sup> Aus diesem Grund ist es vorteilhaft, entsprechend dem Entwicklungsfortschritt eine möglichst simplifizierte Beschreibung des Systems zu wählen.<sup>32</sup> Durch die Vorgabe, das technische System bei Entwicklungsende vollständig spezifiziert zu haben, erhält man verschiedene Spezifikationsebenen, welche sich durch ihre unterschiedliche Detaillierungstiefe unterscheiden.<sup>33</sup> Auf hohem Abstraktionsgrad werden für das Gesamtsystem wichtige Elemente definiert und ihre bestehenden Ab-

---

<sup>28</sup> Baecker (1997), S. 21.

<sup>29</sup> Innerhalb eines Komplexitätsmanagements kann Komplexität als Problem beschrieben werden, dessen Lösung in bestimmten Formen des Managements zu suchen ist. Oder man sieht, wie in diesem Fall, die Komplexität als Lösung an, dessen Problem erst noch zu finden ist. Vgl. Baecker (1997), S. 21-23; Jost (2000), S. 45.

<sup>30</sup> Vgl. Leinert u.a. (1999), S. 31.

<sup>31</sup> Vgl. Jost (2000), S. 40-45; Königswieser (1997), S. 163.

<sup>32</sup> Vgl. Hacker (1999), S. 95; Pache u.a. (1999), S. 681.

<sup>33</sup> Bezüglich der Theorie von hierarchischen Systemen vgl. Mesarovic u.a. (1970), S. 34ff.; Schneeweiss (1999), S. 1-23.

hängigkeiten spezifiziert, während auf untergeordneten Ebenen diese globalen Vorgaben weiter detailliert ausgeführt werden. Die Anzahl der notwendigen Spezifikationsebenen wird von der Art und Komplexität des Produktes determiniert.

Definition 3.2: Jede **Simplifizierungsebene** der Produktspezifikation beschreibt das technische System umfassend, jedoch mit jeweils unterschiedlicher Detaillierungstiefe. Die Spezifikationsdetails einer tieferen Betrachtungsebene finden sich in komprimierter Form auf den übergeordneten Simplifizierungsebenen wieder.

Der Verlauf der Detaillierungstiefe im Entwicklungsablauf folgt beim Entwurf der Simplifizierungsebenen dem Top-down Prinzip<sup>34</sup>, d.h. die Inhalte der untergeordneten Spezifikationsebenen werden von der jeweils übergeordneten Spezifikationsebene abgeleitet. Dies führt dazu, dass eine Bestimmung der Produktgestalt auf nachgeordneter Spezifikationsebene erst ausgeführt wird, wenn die nächsthöhere Ebene vollständig festgelegt wurde. Die untergeordneten Spezifikationsebenen werden bei erfolgter Unterteilung zeitlich unabhängig voneinander weitergeführt.

Das mit den Simplifizierungsebenen verfolgte Top-down Prinzip ist für eine erfolgreiche Produktspezifikation notwendig, damit die Anforderungen des Kunden auf das Produkt abgebildet werden können.<sup>35</sup> Eine Bottom-up Vorgehensweise, als welche der Evolutionsprozess häufig interpretiert wird,<sup>36</sup> verbietet sich bei der Produktgestaltung. Durch Variation und Selektion würden sich hier die Evolutionsvarianten behaupten, welche am ehesten den äußeren Rahmenbedingungen der Produktentwicklung entsprechen. Diese Trial-and-Error Ansätze sind in der zeit- und kostensensitiven Produktent-

---

<sup>34</sup> Dies entspricht einer ganzheitlichen Herangehensweise im Systemgestaltungsprozess, welcher der Grundlage eines Systems Engineering Vorgehensmodells entspricht. Vgl. Sage/Rouse (1999), S. 25ff.; Rehtin (1991), S. 39; Daenzer (1988), S. 28-30.

<sup>35</sup> Vgl. Patterson (1999), S. 77; Hooks/Farry (2001), S. 140.

<sup>36</sup> Vgl. Mainzer (1999), S. 11ff.

wicklung nicht zulässig, „Do it right the first time“ muss hier die Devise sein.<sup>37</sup> Die Produktbeschreibung mit der höchsten Wahrscheinlichkeit zur Darstellung der späteren Realität muss gefunden werden. Im Fokus steht die spätere technische Ausführbarkeit und das Erzielen von Wirtschaftlichkeitsanforderungen.

Betrachtet man die heutige Vorgehensweise bei der Produktspezifikation, kann weder ein reiner Top-down noch ein reiner Bottom-up Prozess identifiziert werden.<sup>38</sup> Die Ursache ist hier in der Tatsache zu finden, dass die Simplifizierung nicht unbedingt in der Natur des Menschen liegt. Dieser neigt vielmehr dazu, sich mit bekannten Details zu beschäftigen.<sup>39</sup> Auf unbekannte Arbeitsgebiete reagiert er mit Angst und Unbehagen. Die Ausgestaltung des Systems erfolgt nicht nach Gesichtspunkten der späteren Erfolgswahrscheinlichkeiten, sondern nach rein persönlichen Präferenzen des Entwicklers. Als Einstiegspunkt für die Beschreibung des Systems wählt der Spezifikationsersteller den am meisten vertrauten Bereich und arbeitet von hier in unterschiedlichen Richtungen des Abstraktions- bzw. Aggregationslevels weiter.<sup>40</sup> Die Über- bzw. Unterspezifikation des Systems ist die Folge.<sup>41</sup>

Visualisiert werden kann der Ansatz der Simplifizierungsebenen unter Verwendung der Metapher eines modernen betrieblichen Kennzahlensystems, welches sich durch die Beschränkung auf einige wenige Schlüsselvariablen sowie einer Durchgängigkeit über unterschiedliche Hierarchieebenen der Organisation hinweg auszeichnet.<sup>42</sup> Dieses ist die idealisierte Form der Simplifizierung. Informationen werden mit Hilfe einer Spitzenkennzahl auf ein Maximum verdichtet. Diese Beschränkung auf eine Variable ist, be-

---

<sup>37</sup> Vgl. Fujimoto (1999a), S. 22ff.

<sup>38</sup> Vgl. Guindon (1990), S. 319ff.

<sup>39</sup> Vgl. Hooks/Fairy (2001), S. 16ff.; Hacker (1999), S. 90; Guindon (1990), S. 327.

<sup>40</sup> Vgl. Hooks/Fairy (2001), S. 136; Guindon (1990), S. 319ff.

<sup>41</sup> Vgl. Hooks/Fairy (2001), S. 134.

<sup>42</sup> Vgl. Kaplan/Norton (1996), S. 75-77; Horváth/Kaufmann (1998), S. 39ff.; Brown (1997), S. 3-15.

trachtet man nun technische Systeme, naturgemäß nicht möglich. Allerdings können hier, ebenso wie bei Organisationen, unterschiedliche Hierarchiestufen identifiziert werden. Wird nun jede dieser Hierarchiestufen vollständig beschrieben, erhält man einzelne Simplifizierungsebenen, welche das technische System je nach Detaillierungsgrad darstellen. Abbildung 3.2 verdeutlicht dies.

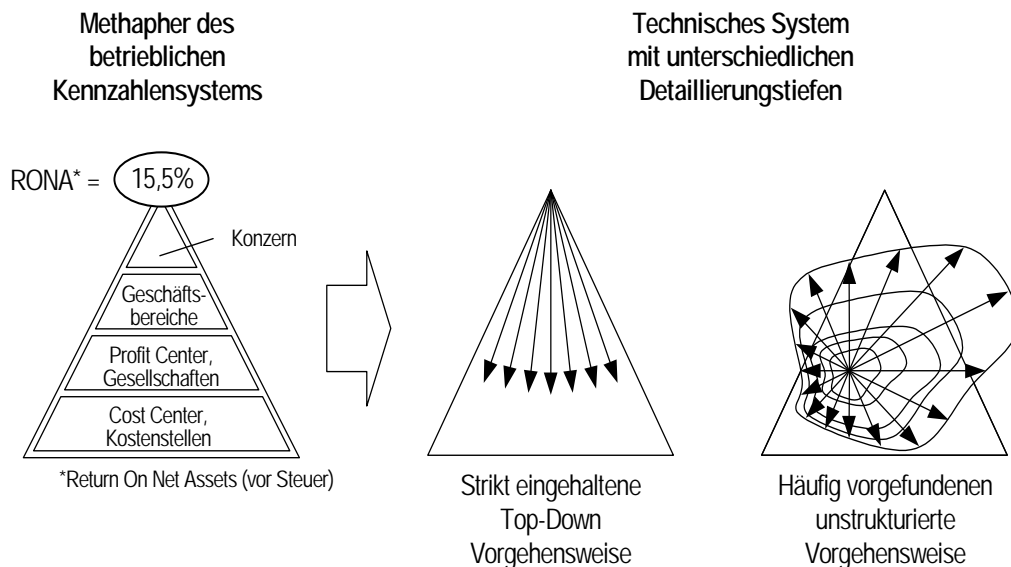


Abbildung 3.2: Top-down Interpretation der Simplifizierungsebenen

Jede Simplifizierungsebene der Spezifikation beschreibt das Produkt umfassend, jedoch auf jeweils unterschiedlichen Detaillierungsebenen. Durch die phasenweise erfolgende Steigerung der Betrachtungstiefe wird es ermöglicht, Entscheidungen bezüglich der Designparameter und der damit verbundenen wirtschaftlichen Erfolgsfaktoren nicht sofort im Detail treffen zu müssen. Die simplifizierten Darstellungen auf den einzelnen Beschreibungsebenen schränken lediglich spätere Parameterkombinationen ein und führen so im Entwicklungszeitverlauf zu einer Einengung der vorteilhaften Parameterkombinationen (siehe Abbildung 3.3). Entscheidungen bezüglich einer späteren Produktauslegung können so getroffen werden, noch bevor die Komplexität stark an-

steigt.<sup>43</sup> Im Gegensatz zur bisherigen Spezifikationserstellung, bei der eine allumfassende Parameterauswahl auf unterster Detaillierungstiefe ausgeführt wird, muss bei der Erstellung von Simplifizierungsebenen nicht jede Designalternative im Detail berücksichtigt werden. Informationen über das Produkt werden priorisiert oder zurückgestellt, um durch diese einfachere Darstellung des Produktes die unüberschaubare Berücksichtigung aller Details zu umgehen und zu einer leistungsfähigen Lösung zu kommen.<sup>44</sup>

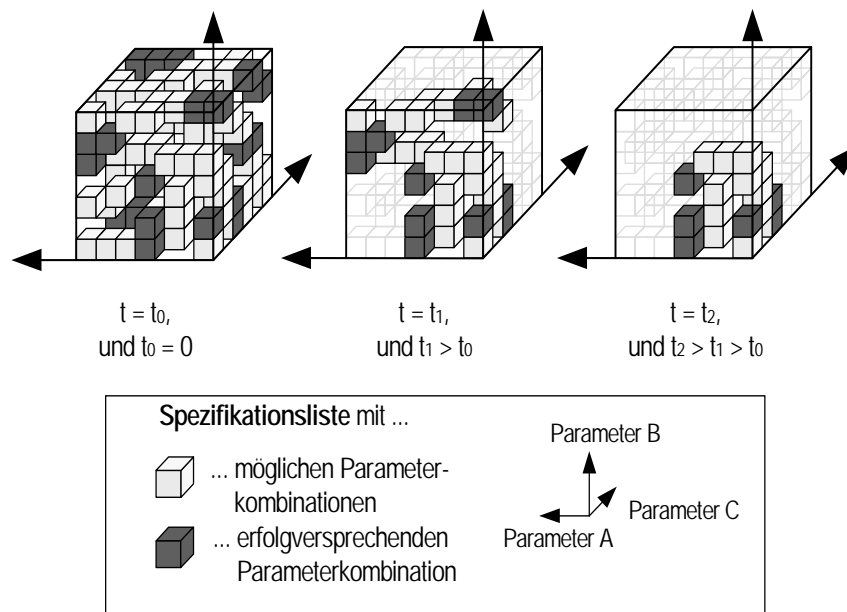


Abbildung 3.3: Alternativenbegrenzung im Designraum

Anhand von Abbildung 3.3 soll nachfolgend aufgezeigt werden, wie eine Alternativenbegrenzung im Designraum voranschreitet. Zu Beginn der Spezifikationserstellung ist der Designraum durch eine Vielzahl von möglichen und erfolgversprechenden Parameterkombinationen gekennzeichnet. Nach Fertigstellung einer ersten Simplifizierungs-

<sup>43</sup> Vgl. Laux/Liermann (1997), S. 57; Thomke/Reinertsen (1998), S. 23; Iansiti (1995), S. 49. Für eine praxisnahe Umsetzung im Produktentstehungsprozess vgl. Kokes (1999), S. 3.

<sup>44</sup> Vgl. Hacker (1999), S. 89; ebenda, S. 95.

ebene zum Zeitpunkt  $t_1$  wurde durch eine erste Festlegung von Anforderungen für das spätere Produkt einige mögliche Parameterkombinationen als spätere Wahlmöglichkeiten ausgeschlossen. Zeitgleich haben sich andere anfänglich als erfolgversprechend betrachtete Parameterkombinationen als nicht zielführend erwiesen. Diese Beschränkung des Designraumes wird nun weiter getrieben, indem die nächste Simplifizierungsebene erstellt wird. Hierdurch werden zum Zeitpunkt  $t_2$  weitere mögliche und anfangs als erfolgversprechend betrachtete Parameterkombinationen ausgeschlossen. Letztendlich besteht bei der Bestimmung der untersten Beschreibungsebene nur noch eine stark reduzierte Anzahl von Designalternativen, unter denen dann eine Auswahl getroffen werden muss.

Bei einer Übertragung des Simplifizierungsprinzips auf die Produktspezifikation ist eine maximale Simplifizierung unerreichbar. Dies muss bei einer Umsetzung in der betrieblichen Praxis berücksichtigt werden. Zum einen verbietet eine notwendige Detaillierung in den nachfolgenden Beschreibungsebenen das Erreichen eines maximal möglichen Simplifizierungsgrades in darüberliegenden Beschreibungsebenen. Zum anderen kann selbst auf der obersten Simplifizierungsebene nicht sichergestellt werden, dass die einfachste Beschreibungsmöglichkeit vorliegt.<sup>45</sup> Diese anwendungsspezifischen Übertragungsschwierigkeiten des Simplifizierungsprinzips können jedoch teilweise entschärft werden, wenn als einziges die grundsätzliche Ausführbarkeit einer vereinfachten Darstellungsweise in den Vordergrund rückt und so bereits das Aufstellen von Simplifizierungsebenen in der Produktspezifikation als grundsätzlich durchführbar betrachtet wird. Für den jeweiligen Betrachtungszeitpunkt, sei es in der Erstellungsphase der Produktspezifikation oder in späteren Einarbeitungsphasen, sind die notwendigen Informationen komprimiert zusammengefasst. Geht man von einem strikt eingehaltenen Top-down Vorgehen aus, so erhält man für den jeweiligen Betrachtungszeitpunkt eine

---

<sup>45</sup> Vgl. Kapitel 3.2.2.

Produktbeschreibung, die der jeweiligen Betrachtungstiefe entspricht und somit die der Informationslage angepasste und am weitestgehende simplifizierte Beschreibung darstellt.

### 3.1.4 Minimalistischer Ansatz der Produktbeschreibung

Bezüglich des Umfangs einer Produktbeschreibung wird durch die Einführung der Simplifizierungsebenen das Minimalprinzip verfolgt. Dieses besagt, dass ein bestimmter Zweck mit minimalen, d.h. geringst möglichen Mitteln erreicht werden soll.<sup>46</sup> Übertragen auf die Produktspezifikation bedeutet dies, dass das Streben nach einem der jeweiligen Situation angepasstem vollständigen Systemverständnis (Zweck) mit der kürzesten Produktbeschreibung (Mittel) ausgeführt wird. Wie jedes wirtschaftliche Handeln wird somit auch die Produktspezifikation nach dem Rationalprinzip ausgerichtet.<sup>47</sup>

Mit Abbildung 3.4 kann das Übertragen des Minimalprinzips auf die Simplifizierungsebenen einer Produktspezifikation visualisiert werden. Die aufgezeigten Zusammenhänge gelten dabei sowohl für die Erstellung der Produktspezifikation, wenn ein Systemverständnis definiert werden soll, als auch für die Einarbeitung in eine Produktspezifikation, wenn ein Systemverständnis erarbeitet werden soll. Alle Punkte innerhalb des Kreises entsprechen den prinzipiell möglichen Systembeschreibungen einer Simplifizierungsebene, welche sich durch das Vermitteln eines Systemverständnisses mit unterschiedlicher Detaillierungstiefe und den Umfang der Systembeschreibung unterschei-

---

<sup>46</sup> Vgl. Pack (1965), S. 525f.; Wöhe (1996), S. 1f.

<sup>47</sup> Ein Ausrichten des Handelns nach dem Maximalprinzip verbietet sich beim Umgang mit der Produktspezifikation, da hier ein Mitteleinsatz vorgegeben ist. Gerade dieser bildet in Form des Beschreibungsumfanges das mögliche Stellglied, den Umgang mit der Produktspezifikation dem Grundprinzip der Wirtschaftlichkeit zu unterwerfen.

den. Unterstellt man dem Umgang mit der simplifizierten Produktspezifikation das Rationalprinzip, so ergeben sich im Falle des Minimalprinzips Punkte auf dem linken Rand des Kreises als mögliche Lösungen. Der Extremwert  $M_{min}$  stellt dabei die Produktspezifikation dar, welche bei vorgegebenem Zweck die kürzeste Beschreibungslänge aufweist. Dieser vorgegebene Zweck bildet sich aus der für den jeweiligen Betrachter notwendigen Detaillierungstiefe des Systemverständnisses. Diese Detaillierungstiefe kann von Fall zu Fall variieren. Nicht immer wird es notwendig sein, jedes Detail eines Systemzusammenhangs zu betrachten.

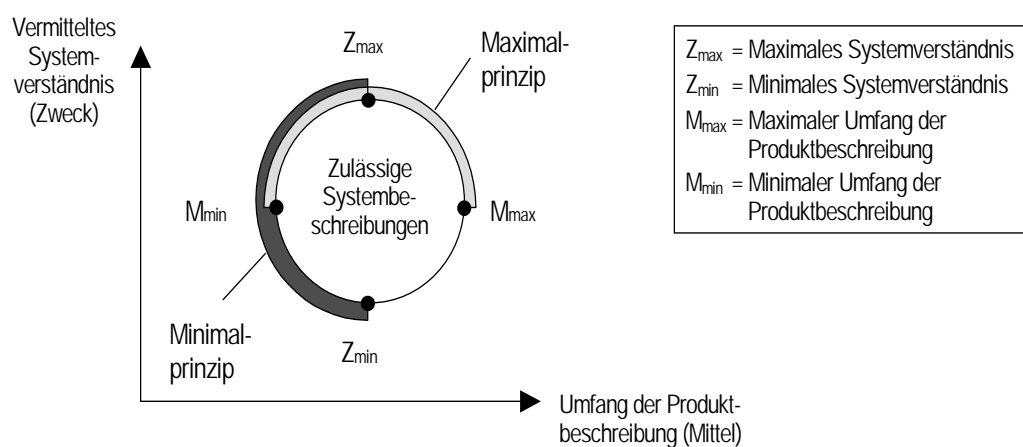


Abbildung 3.4: Minimalprinzip innerhalb einer Simplifizierungsebene<sup>48</sup>

Die Punkte auf dem linken Rand, welche oberhalb des Extremwertes  $M_{min}$  liegen, stellen in Abbildung 3.4 Systembeschreibungen dar, welche das durch den jeweiligen Anwendungsfall vorgegebene notwendige Systemverständnis überschreiten. Hier beinhaltet eine Simplifizierungsebene mehr Informationen, als zu einem Betrachtungszeitpunkt des Systems benötigt wird. Im Gegenzug können Punkte, die sich ebenfalls auf dem linken Rand befinden, aber unter dem Extremwert  $M_{min}$  liegen, nicht die notwendigen Systemzusammenhänge liefern. Der Betrachter muss sich noch detaillierter mit der

<sup>48</sup> In Anlehnung an Bartels (1988), S. 136.

Produktspezifikation auseinandersetzen, damit eine entsprechende Informationsbasis zum detaillierteren Verständnis des Gesamtsystems zur Verfügung steht.

Durch die Existenz unterschiedlicher Simplifizierungsebenen wird dem Betrachter der Zugriff auf einen geeigneten Beschreibungsumfang ermöglicht, welcher sich in Bezug auf das vermittelte Systemverständnis in der Nähe eines Optimums  $M_{min}$  befindet. Wenn auch sicherlich nicht immer das Optimum getroffen wird, so kann trotzdem davon ausgegangen werden, dass die einzelnen simplifizierten Produktbeschreibungsebenen in der Nähe des linken Randes liegen. Die grundsätzliche Einhaltung des Rationalprinzips kann als gesichert angesehen werden. Entsprechend dem Entwicklungsfortschritt ergeben die Simplifizierungsebenen eine dynamische Produktspezifikation, welche das Produkt je nach Detaillierungstiefe ausreichend genau darstellt. Der jeweilige Bearbeiter bzw. Betrachter der Produktspezifikation wird auf jeder Betrachtungsebene nur mit denjenigen Informationen konfrontiert, welche zu einem bestimmten Betrachtungszeitpunkt notwendig sind.

## 3.2 Wirkung der Simplifizierung auf Prognosewahrscheinlichkeit und Erklärungsvermögen

Die Vorteilhaftigkeit einer Simplifizierung kann mit Hilfe einer mathematischen Argumentationskette deduktiv abgeleitet werden (siehe Kapitel 3.2.1). Ausgehend von zwei wahrscheinlichkeitsbasierten Grundaussagen und einer unter Verwendung der Kolmogorov-Komplexität (siehe Kapitel 3.2.2 und Kapitel 3.2.3) ausgeführten Transformation kann vermutet werden, dass eine Darstellung mit dem höchsten Simplifizierungsgrad sowohl das höchste Erklärungsvermögen als auch die höchste Prognosewahrscheinlichkeit besitzt (siehe Kapitel 3.2.4). Unterstützung findet diese formallogische Argumentationskette durch den faktischen Entwicklungspfad eines Simplifizierungsprinzips in der deskriptiven bzw. normativen Wissenschaft (siehe Kapitel 3.2.5).

### 3.2.1 Überblick auf die prognostizierten Wirkungszusammenhänge

Wie bereits in Kapitel 2.2.1 ausgeführt, entspricht die Spezifikation eines technischen Systems der verbalen oder mathematischen Modellierung eines späteren Realsystems. Ein Verwendungszweck für dieses Spezifikationsmodell ist der Einsatz als Prognoseinstrument. Innerhalb der Produktgestaltung sollen künftige Systemzustände des Produktes mit den gegebenen Informationen und unter den gewählten alternativen Designvarianten möglichst zutreffend vorhergesagt werden. Wie deduktiv abgeleitet werden kann, besitzt die simplifizierte Beschreibung eines Produktmodells eine erhöhte Prognosewahrscheinlichkeit. Diese Aussage entspricht der folgenden Arbeitshypothese:

Arbeitshypothese 3.1: *Wenn* in der Produktspezifikationserstellung unter unvollkommenen Informationen simplifiziert wird, *dann* wird eine erhöhte Prognosewahrscheinlichkeit erreicht.

Neben der Verwendung als Prognoseinstrument hat das Spezifikationsmodell auch zur Erklärung eines späteren Systemverhaltens des Produktes zu dienen. Durch eine entsprechend detaillierte Darstellung des Originalsystems soll zu einem späteren Zeitpunkt eine Erklärung des beobachteten Systemverhaltens möglich sein. Wie aus einem logischen und faktischen Wirkungszusammenhang abgeleitet werden kann, wird in der Produktspezifikation ein erhöhtes Erklärungsvermögen erreicht, indem die Produktdarstellung mit dem höchsten Simplifizierungsgrad erarbeitet wird. Die folgende Arbeitshypothese kann, wie noch zu zeigen ist, deduktiv abgeleitet werden:

Arbeitshypothese 3.2: *Wenn* in der Produktspezifikationserstellung unter unvollkommenen Informationen simplifiziert wird, *dann* wird ein erhöhtes Erklärungsvermögen erreicht.

Im Folgenden gilt es nun, die beiden Arbeitshypothesen 3.1 und 3.2 auf ihre Herkunft zu untersuchen. Hierzu wird sowohl der logische als auch der faktische Zusammenhang dargelegt (siehe Abbildung 3.5). Während der logische Ursprung durch eine streng formale, mathematisch geführte Argumentation aufgezeigt wird, kann der faktische Ursprung durch das Aufzeigen von erfahrungswissenschaftlichen Erkenntnissen hergeleitet werden.

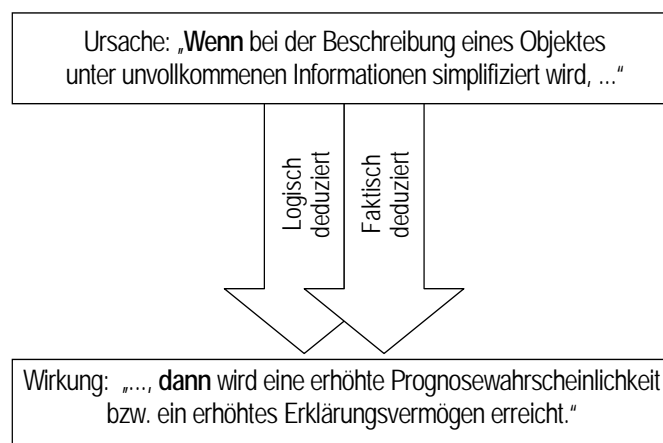


Abbildung 3.5: Logisch und faktisch determinierte Wirkungszusammenhänge einer Simplifizierung

Im Vordergrund des Aufzeigens eines logisch-determinierten Wirkungszusammenhanges und der damit verbundenen mathematischen Argumentationskette steht das mit der Mathematik verbundene Paradigma einer beweisenden, von der Erfahrung unabhängigen Wissenschaft.<sup>49</sup> Besonders in den Naturwissenschaften ist die Mathematisierbarkeit ein Kriterium der Wissenschaftlichkeit. Diese Geltung der Mathematik gründet sich auf die Sicherheit, welche einem mathematischen Beweis zugesprochen wird. Diese Sicherheit darf jedoch nicht unreflektiert auf das spätere Anwendungsgebiet übertragen werden. Die Mathematik muss scharf von ihrer Anwendung getrennt werden.<sup>50</sup> Sie fungiert hier als eine von der Wahrnehmung unabhängigen Wissenschaft. So lässt sich beispielsweise eine mathematische Aussage durch ein empirisches Ergebnis weder belegen noch widerlegen.

Die im Folgenden ausgeführte mathematische Argumentationskette zum Nachweis einer logischen Wahrheit der aufgestellten Hypothesen ist nicht als eine mathematische Modellierung zu verstehen, bei welcher der Gegenstandsbereich eine Strukturierung durch die mathematische Struktur aufgeprägt wird. Hier wäre es notwendig, jede mathematische Operation empirisch zu deuten. Bei dem Aufzeigen einer logischen Wahrheit der Vorteilhaftigkeit einer Simplifizierung handelt es sich vielmehr um die formalisierte Beschreibung eines Argumentationszusammenhangs, bei welchem die Mathematisierbarkeit eines bereits beschriebenen Gegenstandsbereichs ausgenutzt wird. Aufgezeigt wird lediglich ein logischer Zusammenhang, durch den eine Verbindung zwischen der Wenn-Komponente und der Dann-Komponente der aufgestellten Arbeitshypothesen hergestellt werden kann. Für eine Anwendung der Mathematik auf Erfahrungsebene stellen sich somit zwei Fragen: „(1) Für welche Elemente der mathematischen Deutung gibt es eine empirische Deutung? [...] (2) Ist die Modellierung vollständig, d.h. haben alle für wesentlich gehaltenen Eigenschaften eines Gegenstandsbereiches eine Zuord-

---

<sup>49</sup> Vgl. Poser (1989), S. 207.

<sup>50</sup> Vgl. Körner (1968), S. 214f.; Poser (1989), S. 207.

nung zu mathematischen Strukturelementen erfahren?“<sup>51</sup> Beide Fragen können prinzipiell nicht beantwortet werden.<sup>52</sup> Bei der Umsetzung einer mathematischen Argumentation sollten sie jedoch soweit wie möglich beachtet werden. Wichtig dabei ist, eine faktische Deutung für die Zuordnungsregeln bei einem Übergang von Erfahrungsebene und mathematischer Struktur anführen zu können. Nicht notwendig ist es, für alle mathematischen Operationen innerhalb der mathematischen Argumentationskette eine faktische Deutung zu finden.<sup>53</sup>

### 3.2.2 Informationstheoretische Ansätze zur Quantifizierung von Komplexität

Der enge Zusammenhang von Simplifizierung und Komplexität wurde in Kapitel 3.1.2 deutlich aufgezeigt. Aus diesem Grund liegt es nahe, für eine formallogische Deduktion auf Erkenntnisse der Komplexitätswissenschaft zurückzugreifen. Forschungsbemühungen in diesem Bereich sind darauf ausgelegt, ein gemeinsames Theoriegebäude über Struktur und Verhalten komplexer Systeme zu erstellen. Dieser Vorsatz eines gemeinsamen Theoriegerüsts gestaltet sich allerdings äußerst schwierig. So zeigt sich bereits die einheitliche Definition eines gemeinsamen Komplexitätsbegriffs als nicht durchführbar. Mehr als 31 Definitionen konnten in der Literatur identifiziert werden.<sup>54</sup> Des Weiteren wurden bislang im Bereich eines fundierten und verallgemeinerten Erklärungsansatzes keine Erfolge verzeichnet.<sup>55</sup> Für die formallogische Deduktion der Vorteilhaftigkeit einer Simplifizierung wird aus diesem Grund auf die disziplinär-orientierte Einzelwissenschaft der Informationstheorie zurückgegriffen.

---

<sup>51</sup> Poser (1989), S. 212f.

<sup>52</sup> Vgl. Poser (1989), S. 213.

<sup>53</sup> Vgl. Körner (1968), S. 218f.; Poser (1989), S. 214.

<sup>54</sup> Vgl. Gell-Mann (1996), S. 66; Horgan (1995), S. 77; Lloyd (1999), o.S.

<sup>55</sup> Vgl. [Economist] (2001), S. 91f.; Horgan (1995), S. 74.

Innerhalb der Informationstheorie existieren zwei elementare Definitions- und Interpretationsansätze der Komplexität. Es kann zwischen dem Shannonschen Entropiemaß<sup>56</sup> und der Kolmogorov-Komplexität<sup>57</sup> unterschieden werden. Die Differenz dieser beiden informationstheoretischen Ansätze zur Quantifizierung von Komplexität kann anhand der jeweiligen Definition des Begriffs Komplexität verdeutlicht werden. Shannon verwendet in Anlehnung an den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik den Begriff Entropie als Maß für die Komplexität eines Systems. Die Entropie steht für die Unordnung eines Systems und bildet ein Maß für diejenige Informationsmenge, welche benötigt wird, um von einem Makrozustand aus die potentiellen Mikrozustände beschreiben zu können.<sup>58</sup> Je größer die Differenz zwischen dem, was man a priori über ein System wissen könnte, und dem, was zu dieser Zeit bekannt ist, ausfällt, desto größer ist die Entropie der Information und damit die Komplexität des Systems.<sup>59</sup> Im Gegensatz zu diesem originär physikalischen Entropiebegriff wählt die Kolmogorov-Theorie eine Interpretation auf algorithmischer Basis. Das Komplexitätsmaß für ein System ist hier gleichgesetzt mit der Länge des kürzesten Programms, welches dieses System reproduziert. Je länger die kürzeste binäre Beschreibung eines Systems ausfällt, desto höher ist dessen Systemkomplexität.<sup>60</sup>

---

<sup>56</sup> Vgl. Shannon (1948), S. 392-399; Hartley (1928), S. 538ff.

<sup>57</sup> Vgl. Kolmogorov (1965), S. 4-6; Solomonoff (1964), S. 9ff.; Chaitin (1966), S. 553ff.

<sup>58</sup> Vgl. Ebeling u.a. (1998), S. 36. In Analogie besagt der zweite Hauptsatz der Thermodynamik, dass ein Energie-Potentialgefälle bei zunehmender Nutzung in einen gleichförmigen und nicht reversiblen Zustand der Durchmischung übergeht. Bei dieser Umsetzung von Energie nimmt die Entropie des Systems zu. Vgl. Halliday u.a. (1993), S. 624-627.

<sup>59</sup> Vgl. Binswanger (1994), S. 169.

<sup>60</sup> Vgl. Nørretranders (1997), S. 126.

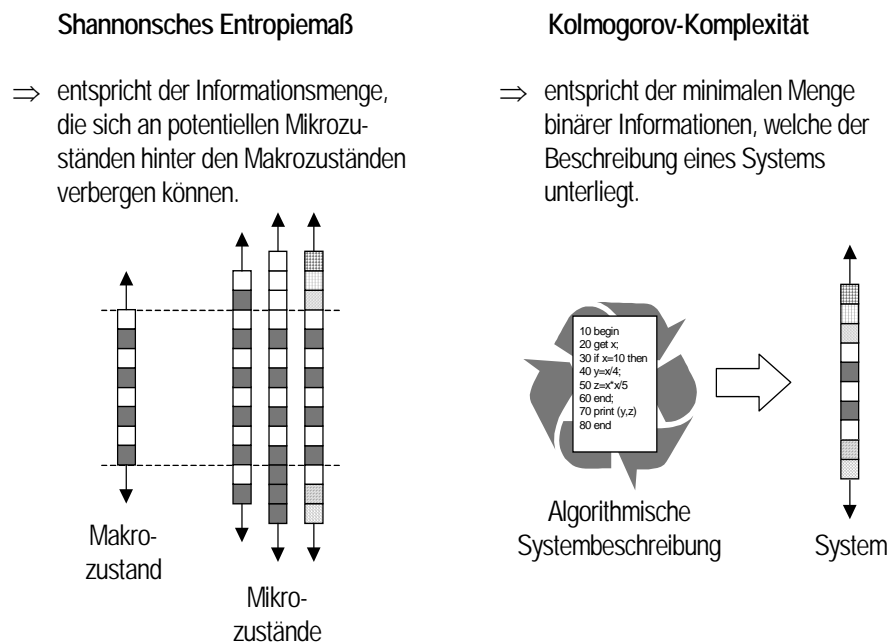


Abbildung 3.6: Informationstheoretische Ansätze zur Quantifizierung von Komplexität

Für die in dieser Arbeit aufgestellte formallogischen Deduktion der Vorteilhaftigkeit einer Simplifizierung wird der Ansatz der Kolmogorov-Komplexität der Theorie von Shannon vorgezogen. Zwei Gründe sind bei dieser Wahl ausschlaggebend: Zum Ersten behandelt die Theorie von Shannon nur das spezifische Problem der Datenübertragung und blendet dabei den Inhalt der zu übertragenden Mitteilungen aus.<sup>61</sup> Das Maß der Entropie quantifiziert lediglich die zu übertragenden Informationen, welche notwendig sind, um ein Objekt aus einem zuvor abgestimmten Set von Alternativen auszuwählen.<sup>62</sup> Innerhalb der Herleitung einer Vorteilhaftigkeit der Simplifizierung ist jedoch ein absoluter Informationswert notwendig, welcher das Objekt komplett beschreibt. Ein solches universelles Maß kann lediglich die Kolmogorov-Komplexität bieten.<sup>63</sup> Diese stellt

<sup>61</sup> Vgl. Li/Vitányi (1997), S. 65.

<sup>62</sup> Vgl. Ebeling u.a. (1998), S. 40f.; Li/Vitányi (1997), S. 48.

<sup>63</sup> Vgl. Li/Vitányi (1997), S. 65f.

einen Absolutwert dar, dessen Kodelänge einen Aufschluss über den insgesamt benötigten Umfang für die Beschreibung eines Objektes gibt.

Zum Zweiten ist das Entropiemaß stark abhängig von der Art der Beschreibung des jeweiligen Objektes.<sup>64</sup> Im Gegensatz hierzu bietet die Kolmogorov-Komplexität durch die Einführung einer Universal-Programmiersprache<sup>65</sup> eine gemeinsame Beschreibungssprache, welche sich je nach dem spezifisch gewählten Typus lediglich um eine Konstante unterscheidet.<sup>66</sup> Im speziellen Fall der Produktgestaltung kann die Notation der Programmiersprache auf die weiter gefasste Interpretation einer Prozedur zur Beschreibung einer Produktspezifikation erweitert werden.<sup>67</sup>

Eine Unzulänglichkeit, welche der Theorie des algorithmischen Informationsgehaltes zugewiesen werden muss, ist die fehlende Beweismöglichkeit des Minimalcharakters einer Systembeschreibung.<sup>68</sup> In Anlehnung an Gödels Theorem der Unvollständigkeit ist die eindeutige Identifikation einer minimalen Systembeschreibung nicht beweisbar.<sup>69</sup> Lediglich die Unwahrheit dieser Aussage kann durch den Nachweis einer kürzeren Beschreibung ausgeführt werden, was jedoch zu einem Ersatz der Systembeschreibung durch eben diese kürzere führt. Auf die in dieser Arbeit vorgestellte mathematische Argumentationskette hat diese Unzulänglichkeit jedoch keine Auswirkungen. Hier soll lediglich die grundsätzliche Vorteilhaftigkeit einer Simplifizierung bei der Produktspezifikation nachgewiesen werden, ohne dass die explizite Identifikation einer kürzesten Systembeschreibung ausgeführt werden müsste. Erst bei einer späteren Operationalisie-

---

<sup>64</sup> Vgl. Li/Vitányi (1997), S. 71.

<sup>65</sup> Als sogenannte Universalprogrammiersprachen gelten hier beispielsweise PROLOG, LISP, FORTRAN oder PASCAL. Vgl. Li/Vitányi (1997), S. 98f.

<sup>66</sup> Vgl. Kolmogorov (1965), S. 5; Li/Vitányi (1997), S. 96ff.

<sup>67</sup> Zur grundsätzlich möglichen Durchführbarkeit einer Bewertung der algorithmischen Komplexität von Texten vgl. Gell-Mann (1996), S. 91ff.; Bliss (2000), S. 115f. Zur weitgreifenderen Bewertung des Outputs von Geschäftsprozessen mit der Kolmogorov-Komplexität vgl. Kanevsky/Housel (2002), o.S.

<sup>68</sup> Vgl. Gell-Mann (1996), S. 80f.; Bliss (2000), S. 112-114.

<sup>69</sup> Vgl. Gödel (1931), S. 173ff.

Die Quantifizierung der Einfachheit einer Systembeschreibung muss berücksichtigt werden, dass eine eindeutige Bestimmung des Minimalcharakters einer Systembeschreibung nicht möglich ist.

### 3.2.3 Kolmogorov-Komplexität für eine formallogische Deduktion

Die Quantifizierung der Einfachheit einer Systembeschreibung ist notwendig, möchte man einen objektiven Anhaltspunkt für die formallogische Deduktion der Vorteilhaftigkeit einer simplifizierten Systemdarstellung haben. Ohne eine objektive Bewertungsgröße entfällt die Möglichkeit, eine logisch geschlossene Argumentationskette, wie es die mathematisch geführte Darlegung darstellt, auszuführen. Wie zuvor begründet, soll hierzu die Kolmogorov-Komplexität herangezogen werden. Die Besonderheit dieses Ansatzes ist es, dass die Wahl der einfachsten Systembeschreibung nicht durch eine alleinige Auswahl der einfachsten, dem Betrachter vorliegenden Systembeschreibung, ausgeführt wird. Ein nicht lösbares Problem ist bei dieser Vorgehensweise, Beschreibungen auszuschließen, welche nicht dem zu beschreibenden Objekt entsprechen. Notwendig wäre es bei diesem Alternativenvergleich, zwischen einer Konsistenz der Systembeschreibung mit dem realen Objekt und einer Einfachheit der Interpretation zu mitteln. Dieser Optimierungsprozess ist jedoch nur sehr schwer zu realisieren.<sup>70</sup> Einen wesentlich erfolgversprechenderen Ansatz bietet hier der von Kolmogorov verfolgte Ansatz, die Systembeschreibung als eine Möglichkeit zu betrachten, Daten über ein Objekt zu enkodieren. Bei dieser Vorgehensweise werden die Beschreibungen bevorzugt, welche die einfachste Enkodierung der Daten bezüglich eines betrachteten Objektes zulassen. Simplifizierte Beschreibungen des Systems, die nicht mehr dem realen Objekt entsprechen, werden automatisch ausgeschlossen, da diese keinen Beitrag zur Enkodierung der Objektdaten leisten.

---

<sup>70</sup> Vgl. Li/Vitányi (1997), S. 318ff.

Diese algorithmische Interpretation einer Systembeschreibung kommt nun zu einer quantifizierbaren Komplexitätsgröße  $K(x)$ , in dem die Länge des kurzmöglichsten Computerprogramms  $l(p)$  mit der Komplexität des Systems gleichgesetzt wird.<sup>71</sup> Die zugrundeliegende Idee basiert auf der faktischen Grundlage, dass ein Programm, das in Universalprogrammiersprache geschrieben ist, genau dann ein Objekt  $x$  enkodiert, wenn sich dieses Objekt als Output oder Endresultat des Ablaufes dieses Programms ergibt. Der Output  $x$  besteht dabei aus einer Sequenz  $n(x)$  der Zahlen „Null“ und „Eins“. Die Komplexität eines Objektes  $x$  in Abhängigkeit der verwendeten Methode  $f(p)$  kann somit mit Gleichung (3.1) ausgedrückt werden:<sup>72</sup>

$$K(x) = \min\{l(p) : f(p) = n(x)\} \quad \text{Glg. (3.1)}$$

Sollte keine algorithmische Beschreibung  $p$  gefunden werden, wird die Kolmogorov-Komplexität  $K(x) = \infty$  gesetzt.<sup>73</sup> Drückt man Gleichung (3.1) in der Computer-Terminologie aus, stellt die Variable  $p$  ein Programm und die Variable  $f$  einen Computer dar, so dass  $K(x)$  die minimale Länge  $l$  eines Computerprogramms quantifiziert, welches den Output  $x$  generiert.<sup>74</sup>

Entsprechend zu dieser Definition der Kolmogorov-Komplexität kann die konditionale Kolmogorov-Komplexität  $K(x|y)$  definiert werden. Ergänzend zur Bereitstellung einer Maßgröße zur Quantifizierung der Komplexität eines einzelnen Objektes  $x$  wird nun die Kolmogorov-Komplexität generalisiert zur Bewertung der Komplexität der Transformation eines Objektes  $y$  in ein Objekt  $x$ . Die Länge des kürzesten Programms, welches aus dem Input  $y$  den Output  $x$  generiert, nennt sich konditionale Kolmogorov-Komplexität

---

<sup>71</sup> Vgl. Li/Vitányi (1997), S. 94.

<sup>72</sup> Vgl. Kolmogorov (1965), S. 5; Li/Vitányi (1997), S. 94.

<sup>73</sup> Vgl. Kolmogorov (1965), S. 5.

<sup>74</sup> Vgl. Li/Vitányi (1997), S. 94.

und kann durch Gleichung (3.2) mathematisch dargestellt werden.<sup>75</sup> Die Variable  $\phi$  stellt dabei die verwendete Methode dar, welche mit einem Input  $y$  und einem Programm  $p$  das zu beschreibende Objekt  $x$  bestimmt.

$$K(x|y) = \min \{l(p) : \phi(\langle y, p \rangle) = x\} \quad \text{Glg. (3.2)}$$

Sollte keine algorithmische Beschreibung  $p$  gefunden werden, wird die konditionale Kolmogorov-Komplexität  $K(x|y) = \infty$  gesetzt.<sup>76</sup> Drückt man Gleichung (3.2) in der Computer-Terminologie aus, stellt die Variable  $p$  ein Programm und  $\phi$  ein Computer dar, so dass  $K(x|y)$  die minimale Länge  $l$  eines Computerprogramms quantifiziert, welches aus dem Input  $y$  den Output  $x$  generiert.

Vergleicht man das Größenverhältnis der beiden Komplexitätsmaße  $K(x)$  und  $K(x|y)$  miteinander, so kann aus den Gleichungen (3.1) und (3.2) abgeleitet werden, dass die konditionale Kolmogorov-Komplexität im Allgemeinen kleiner oder gleich ist wie die Kolmogorov-Komplexität. Handelt es sich bei zwei Objekten  $x$  und  $y$  um Systeme mit nahezu zufallsbasierten Inhalten, so ist eine Komprimierung durch ein algorithmisches Programm nicht ausführbar. Beide Komplexitätsmaße werden sich in diesem Fall nicht wesentlich unterscheiden. Besteht jedoch eine enge Beziehung zwischen den beiden Objekten  $x$  und  $y$ , beispielsweise durch eine einfache Umkehrung der Inhaltsabfolge, wird die konditionale Größe  $K(x|y)$  wesentlich geringer ausfallen als  $K(x)$ . Des Weiteren kann über das Verhältnis von Kolmogorov-Komplexität und konditionaler Kolmogorov-Komplexität ausgesagt werden, dass letztere im relativen Verhältnis niemals wesentlich größer sein kann. Der Grund ist darin zu finden, dass ein möglicher Weg der Transformation eines Objektes  $y$  in ein Objekt  $x$  immer durch die sehr kurze Anweisung der vollständigen Löschung eines Objektes  $y$  mit nachfolgender Rekonstruktion des

---

<sup>75</sup> Vgl. Li/Vitányi (1997), S. 97.

<sup>76</sup> Vgl. Kolmogorov (1965), S. 5.

Objektes  $x$  auszuführen ist. Die konditionale Kolmogorov-Komplexität  $K(x|y)$  kann somit niemals substantiell größer ausfallen als die Kolmogorov-Komplexität  $K(x)$  selbst. Daraus folgt die Richtigkeit der nachfolgenden Gleichung:<sup>77</sup>

$$K(x|y) \leq K(x) + c_{\text{löschen}} \quad \text{Glg. (3.3)}$$

Eine zentrale Bedeutung für die Verwendung von Kolmogorov- bzw. konditionaler Kolmogorov-Komplexität als anwendungsgerechte Maßgrößen kommt nun dem Invarianz-Theorem zu. Als ein Resultat der Überlegungen zur Theorie von Kolmogorov besagt dieses, dass die kürzeste Beschreibung eines beliebigen Objektes bis auf eine Konstante  $c$  unabhängig von der gewählten Universalprogrammiersprache ist.<sup>78</sup> Vergleicht man beispielsweise für die beiden Programmiersprachen PASCAL und LISP die Länge der jeweiligen kürzesten Beschreibungsprozeduren für ein Objekts  $x$ , so kann die folgende Regelmäßigkeit identifiziert werden:

$$K_{LISP}(x) = K_{PASCAL}(x) + c \quad \text{Glg. (3.4)}$$

Identisches kann auch für die konditionale Kolmogorov-Komplexität aufgezeigt werden. Die Existenz einer Universalprogrammiersprache ermöglicht es, bei einer Komplexitätsmessung durch Kolmogorov von der Beschreibungssprache einigermaßen unabhängig zu sein.<sup>79</sup> Noch wesentlich bedeutsamer ist die Tatsache, dass sich die Universalprogrammiersprache auf alle gängigen Computersprachen ausdehnen lässt. Dies geht so weit, dass die Definition einer Universalprogrammiersprache praktisch auf jede Sprache ausgedehnt werden kann, die mächtig genug ist, eine rekursive Funktion zur

---

<sup>77</sup> Vgl. Kolmogorov (1965), S. 6; Li/Vitányi (1997), S. 98f. Die Variable  $c_{\text{löschen}}$  steht für die benötigte Codelänge einer Anweisung zur zuvor beschriebenen möglichen Löschung des Inputs  $y$ .

<sup>78</sup> Vgl. Li/Vitányi (1997), S. 96ff.

<sup>79</sup> Vgl. Li/Vitányi (1997), S. 98f.

Programmierung auszudrücken.<sup>80</sup> Der Begriff der Universalprogrammiersprache umschließt aus diesem Grund auch die Ausdruckssprache des Menschen.

Ein häufig angeführtes Beispiel für die Verwendung der Kolmogorov-Komplexität zur Bestimmung der Komplexität von literarischen Texten stellt das „Shakespeare-und-die-Affen“-Beispiel dar.<sup>81</sup> Hier wird ein Werk von Shakespeare, welches sich auf dreihundert Seiten erstreckt, bezüglich seiner algorithmischen Komplexität bewertet. Im dazu parallelen Vergleich wird der von einem Affen erstellte, ebenfalls 300 Seiten starke, Text bezüglich der Komplexität bewertet. Dieser Affe wurde an eine Schreibmaschine gesetzt und dazu gebracht, durch einen vollkommenen zufallsbasierten Prozess des Eintippens unterschiedlicher Buchstaben einen ebenfalls dreihundert Seiten langen Text zu generieren. Als ein dritter Vergleichstext wird ein Buch herangezogen, welches auf dreihundert Seiten das Wort „Telefon“ aneinander gereiht hat. Die Bewertung dieser drei Texte unter Zuhilfenahme der Kolmogorov-Komplexität und ein anschließender Vergleich ergeben, dass das letzte Werk den geringsten Komplexitätsgrad aufweist. Dieser Text lässt sich durch den einfachen Algorithmus „Schreibe auf dreihundert Seiten das Wort ‚Telefon‘!“ darstellen. Demgegenüber stellt das Werk von Shakespeare einen Text mit höherem Komplexitätsgrad dar. Eine Komprimierung der Beschreibungslänge des Originaltextes ließe sich beispielsweise durch eine sekundärliterarische Nacherzählung des Werkes erreichen. Die maximale algorithmische Komplexität dieser drei Texte weist jedoch das von dem Affen geschaffene Werk auf.<sup>82</sup> Die kürzeste Beschreibung stellt in diesem Fall die vorliegende Zeichenfolge selbst dar. Eine Komprimierung des Textes ist auf Grund seiner vollkommenen stochastischen Natur nicht möglich.

---

<sup>80</sup> Vgl. Rogers (1967), S. 26ff.

<sup>81</sup> Vgl. Gell-Mann (1996), S. 91ff.; Nørretranders (1997), S. 110ff.; Bliss (2000), S. 115f.

<sup>82</sup> Unserer Intuition widerspricht es zwar, dass eine zufällig generierte Zeichenfolge den höchsten Komplexitätsgrad aufweisen soll. Vgl. hierzu Gell-Mann (1996), S. 83 und Ebeling u.a. (1998), S. 26. Auf diese Diskussion kann jedoch verzichtet werden, solange beim Bewerten von Texten lediglich die einfachste Darstellungsform von Interesse ist.

### 3.2.4 Logisch deduzierter Wirkungszusammenhang einer Simplifizierung

Ein formalisierter Argumentationszusammenhang für die Wirkung einer Simplifizierung auf die Prognosewahrscheinlichkeit einer Objektbeschreibung (Arbeitshypothese 3.1) kann unter Verwendung des folgenden Rechengangs aufgezeigt werden.<sup>83</sup> Stark vereinfacht wird das Spezifikationsmodell als eine Reihe von Ziffern der Werte 0 und 1 betrachtet. Ein Teil dieser Sequenz, nämlich  $x_1, \dots, x_n$ , ist bekannt. Aufgabe ist es nun, die nächste Ziffer  $x_{n+1}$  vorauszusagen. Die elementare Wahrscheinlichkeit gibt hier mit dem Satz für bedingte Wahrscheinlichkeiten folgende Beziehung vor:

$$P(x_{n+1}|x_1, \dots, x_n) = \frac{P(x_1, \dots, x_n, x_{n+1})}{P(x_1, \dots, x_n)} \quad \text{Glg. (3.5)}$$

Die beste Voraussage für  $x_{n+1}$  ist nun die Prognose, welche die höchste Wahrscheinlichkeit auf Richtigkeit besitzt. Für Gleichung (3.5) muss also ein Maximum bestimmt werden. Vernachlässigt man den Nenner der Gleichung, da dieser von der Wahl eines  $x_{n+1}$  unabhängig ist, so ist bei einer Maximumbestimmung lediglich der Term

$$P(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}) \quad \text{Glg. (3.6)}$$

zu betrachten. Dies ist identisch mit der Minimierung des aus Gleichung (3.6) abgeleiteten Terms

$$-\log P(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}) \quad \text{Glg. (3.7)}$$

---

<sup>83</sup> Die grundsätzliche Vorgehensweise bei der mathematischen Argumentation folgt einem Ansatz von Li/Vitányi (1997), S. 324ff.

Die algorithmische Komplexität kann nun als gleichbedeutend mit der algorithmischen Zufälligkeit angesehen werden.<sup>84</sup> Ein System, dessen Inhalt durch Regelmäßigkeiten komprimierbar ist, weist eine niedrigere Komplexität auf als ein System, dessen Inhalt völlig ungeordnet und zufallsbasiert ist. Dieser Zusammenhang erlaubt es, für die beste Voraussage eines Folgegliedes  $x_{n+1}$  den zu minimierenden Term

$$K(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}) \quad \text{Glg. (3.8)}$$

zu erhalten.

Aus dem hiermit aufgezeigten logischen Zusammenhang kann gefolgert werden, dass die beste Voraussage auf Basis des kürzesten Codes für  $x_1, \dots, x_n$  und der Wahl eines  $x_{n+1}$ , welcher dem zuvor aufgezeigten Modell folgt, erreicht werden kann. Bezüglich der Produktgestaltung kann nun gefolgert werden, dass die Wahl eines Spezifikationsmodells nach dem Simplitätsprinzip die höchste Wahrscheinlichkeit besitzt, zutreffend zu sein und einem späteren realen Objekt zu entsprechen.

Neben einem logischen Zusammenhang zwischen der Simplifizierung und einer erhöhten Prognosewahrscheinlichkeit gilt es innerhalb dieser Forschungsarbeit, einen Wirkungszusammenhang mit dem Erklärungsvermögen einer Objektbeschreibung aufzuzeigen (Arbeitshypothese 3.2). Der folgende Rechengang schlussfolgert, dass das Beschreibungsmodell mit dem höchsten Simplifizierungsgrad auch das höchste Erklärungsvermögen bietet.<sup>85</sup> Das Bayessche Theorem ermöglicht die Berechnung der Verbesserung einer Wahrscheinlichkeitsaussage für den Fall, dass zusätzliche Informatio-

---

<sup>84</sup> Vgl. Gell-Mann (1996), S. 83; Bliss (2000), S. 114.

<sup>85</sup> Die grundsätzliche Vorgehensweise bei der mathematischen Argumentation folgt einem Ansatz von Li/Vitányi (1997), S. 353-355.

nen über den Eintritt eines Ereignisses verarbeitet werden.<sup>86</sup> Die resultierende Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P(H|D)$  einer Informationsbeschaffung kann somit als Indikator für eine verbesserte Entscheidungsfindung herangezogen werden. Die „a priori“-Wahrscheinlichkeit  $P(H)$  des probabilistischen Beschreibungsmodells steht dabei für den anfänglichen Informationsstand, die „a posteriori“-Wahrscheinlichkeit  $P(H|D)$  für den Informationsstand bei korrigierter Wahrscheinlichkeitsaussage. Für letzteren wurde der empirische Datensatz  $D$  zur besseren Entscheidungsfindung eingearbeitet. Der Satz von Bayes besagt nun, dass die bedingte Wahrscheinlichkeit  $P(H|D)$  des korrigierten Modells proportional zu der anfänglichen Wahrscheinlichkeit  $P(H)$  des ursprünglichen Modells multipliziert mit der bedingten Wahrscheinlichkeit  $P(D|H)$  eines Datensatz  $D$  bei eingetretenem Modell  $H$  ist:<sup>87</sup>

$$P(H|D) = \frac{P(D|H)P(H)}{P(D)} \quad \text{Glg. (3.9)}$$

Wird nun das Beschreibungsmodell  $H$  gesucht, welches durch das Beschaffen von zusätzlichen Daten  $D$  das höchste Erklärungsvermögen besitzen soll, entspricht dies der Forderung nach einer maximalen revidierten Wahrscheinlichkeit  $P(H|D)$ . Wendet man bei Gleichung (3.9) den negativen Logarithmus auf beiden Seiten an, ist die Suche nach der maximalen revidierten Wahrscheinlichkeit von  $P(H|D)$  identisch mit der Bestimmung des Minimums der Gleichung

$$-\log P(H|D) = -\log P(D|H) - \log P(H) + \log P(D) \quad \text{Glg. (3.10)}$$

---

<sup>86</sup> Der Begriff der „Wahrscheinlichkeit“ ist klassisch definiert als Quotient aus der Anzahl an günstigen Ereignissen und Anzahl der insgesamt möglichen Ereignissen. Vgl. Bourier (1999), S. 12.

<sup>87</sup> Vgl. Bourier (1999), S. 60ff.; Laux/Liermann (1997), S. 336ff.

Der Term  $\log P(D)$  kann bei der Suche nach dem Minimum vernachlässigt werden, da dieser nicht von der Wahl des Beschreibungsmodells  $H$  abhängig ist. Es verbleibt

$$-\log P(D|H) - \log P(H) \quad \text{Glg. (3.11)}$$

Bei erneuter Verwendung der Gleichwertigkeit von Kolmogorov-Komplexität und Wahrscheinlichkeit<sup>88</sup> kann der Term  $-\log P(D|H)$  mit der konditionalen Kolmogorov-Komplexität  $K(D|H)$  ersetzt werden.<sup>89</sup> Entsprechendes gilt für den Term  $-\log P(H)$ , welcher durch die Kolmogorov-Komplexität  $K(H)$  ausgedrückt werden kann. Ausgehend von Gleichung (3.11) erhält man für den zu minimierende Term:

$$K(D|H) + K(H) \quad \text{Glg. (3.12)}$$

Innerhalb Gleichung (3.12) kann  $K(D|H)$  als die Länge des kürzesten Codes interpretiert werden, welcher auf Basis des hypothesierten Beschreibungsmodells  $H$  die einzubringenden Daten  $D$  beschreibt. Der Term  $K(H)$  steht dagegen für die Länge des kürzesten Codes, welcher das hypothesierte Modell  $H$  spezifiziert. Die Summe dieser beiden Größen ist damit die kürzeste Kodelänge für die Generierung der einzubringenden Daten  $D$ , wenn dabei das hypothesierte Beschreibungsmodell  $H$  verwendet wird.

Dies bedeutet, dass die Wahl eines Beschreibungsmodells  $H$ , welches den Satz von Bayes und damit Gleichung (3.9) maximiert, identisch ist mit der Wahl eines Modells  $H$ , welches Gleichung (3.12) minimiert. Die Forderung nach dem kürzesten Beschrei-

---

<sup>88</sup> Vgl. Kapitel 3.1.3.

<sup>89</sup> Vgl. Li/Vitányi (1997), S. 353f.

bungsmodell  $H$  für ein maximales Erklärungsvermögen wird gerechtfertigt, da dies dazu beiträgt, Gleichung (3.12) zu minimieren und damit die wahrscheinlichste Erklärung eines Beschreibungsmodells zu erhalten. Die kürzeste Beschreibung entspricht also jenem Modell mit dem maximalen Erklärungsvermögen.

Deduziert man nun diesen logischen Wirkungszusammenhang auf den speziellen Fall der Produktbeschreibung, so kann für die Spezifikationserstellung bei unvollkommenen Informationen gefordert werden, die kürzeste und somit simplifizierte Beschreibung eines Produktes anzustreben. Idealisiert kann mit dem kürzesten Beschreibungsmodell die wahrscheinlichste Erklärung und damit das höchste Erklärungsvermögen erzielt werden.

### 3.2.5 Faktisch deduzierter Wirkungszusammenhang einer Simplifizierung

Die Simplifizierung stellt sowohl in der Wissenschaft als auch im menschlichen Alltag keinen neuen Ansatz dar. Die zugrunde liegende Idee entstammt einer Maxime von William of Occam (1285-1349),<sup>90</sup> in welcher er die folgende Forderung aufstellte: „If there are alternative explanations for a phenomenon, then, all other things being equal, we should select the simplest one.“<sup>91</sup> Unter der Annahme, dass alle weiteren Eigenschaften zweier Modelle identisch sind, wird dasjenige präferiert, welches am wenigsten detailliert ausgeführt wurde. Aus Gründen der deutlicheren Darstellung und der Vorhersage wird der spezifischen und damit auch restriktierten Version des Modells der Vorzug gegeben. Dieser nützliche, aber noch sehr vage ausgeprägte allgemeine Grund-

---

<sup>90</sup> Vgl. Thorburn (1918), S. 345; Keuzenkamp/McAleer (1995), S. 2; Hayo (1998), S. 249.

<sup>91</sup> Ursprung und genauer Wortlaut der als „Occam’s Razor“ bekannten Phrase differieren in der Literatur stark. Eine Originalreferenz ist nicht bekannt. Vgl. Li/Vitányi (1997), S. 317; Keuzenkamp/McAleer (1995), S. 2; Thorburn (1918), S. 345. Die hier angeführte Formulierung wurde aufgrund ihrer höchsten Aussagekraft in Bezug auf diese Forschungsarbeit gewählt.

satz wurde dann in Wissenschaft und Alltag aufgegriffen und auf die jeweilige Ausgangssituation übertragen.

Von der Wissenschaft wurde „Occam’s Razor“ sowohl im normativen als auch im deskriptiven Bereich aufgegriffen.<sup>92</sup> Diese Bereiche können zur Deduktion faktischer Zusammenhänge einer Ursache-Wirkungs-Kette zwischen der simplifizierten Beschreibung eines Objektes und der Prognosewahrscheinlichkeit bzw. dem Erklärungsvermögen zugrunde gelegt werden. Dabei entspricht eine Simplifizierung im normativen Bereich dem Erwirken einer erhöhten Prognosewahrscheinlichkeit (Arbeitshypothese 3.1), während die Simplifizierung im deskriptiven Bereich auf das Erzielen eines erhöhten Erklärungsvermögens abzielt (Arbeitshypothese 3.2).

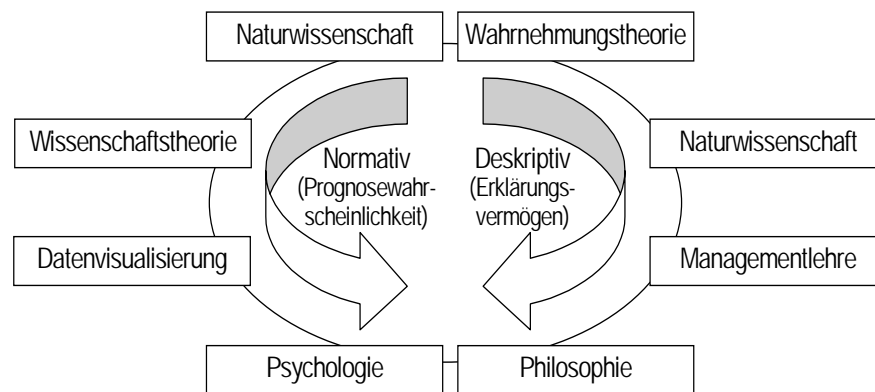


Abbildung 3.7: Simplifizierungsansätze in den Wissenschaftsdisziplinen

Im normativen Bereich der Wissenschaft wird eine hohe Prognosewahrscheinlichkeit zur möglichst zuverlässigen Deutung und Erklärung einer wahrgenommenen Umwelt angestrebt. Die Übereinstimmung von theoretischen Konstrukten mit der Realität spielt hier eine wesentliche Rolle, aus welchem Grund Occams allgemeiner Grundsatz ein Stan-

<sup>92</sup> Nicht in allen Fällen kann ein direkter Zusammenhang mit „Occam’s Razor“ nachgewiesen werden. Die für einen vollständigen Nachweis notwendigen Referenzen fehlen. Die offensichtlich enge Verbindung des Gedankenguts berechtigt jedoch von einem Aufgreifen von bereits ausgeführten Überlegungen zu sprechen.

dardprinzip zur Auswahl unterschiedlicher Erklärungsansätze wurde. Die im Folgenden aufgezeigten fachspezifischen Interpretationen aus Naturwissenschaft, Wissenschaftstheorie, Datenvisualisierung und Psychologie zeigen den weiten Verbreitungsgrad des Simplifizierungsansatzes in diesen Gebieten auf (siehe Abbildung 3.7).

In den Naturwissenschaften wird gefordert, bei mehreren, das gleiche Phänomen erklärenden Theorien die einfachere zu präferieren. Isaac Newton (1642-1727) schreibt in seiner *Principia Mathematica*: „No more causes of natural things should be admitted than are both true and sufficient to explain the phenomena. As the philosophers say: Nature does nothing in vain, and more causes are in vain when fewer suffice. For nature is simple and does not indulge in luxury of superfluous causes.“<sup>93</sup> Die Existenz von einfachen Gesetzen und Regeln wird hier als eine Qualität der Natur angesehen.<sup>94</sup> Allein diese Einfachheit ermöglicht es dem Naturwissenschaftler, die Naturgesetze dieser Welt abzuschätzen. „Occam’s Razor“ ist in diesem Zusammenhang nicht als metaphysisches Dogma für die Frage „Ist die Welt komplex oder einfach?“ anzusehen.<sup>95</sup> Vielmehr handelt es sich um eine methodische Regel, welche einen Anhaltspunkt zur Auswahl von gleichwertigen Erklärungsansätzen liefert. Henri Poincaré (1854-1912), Mitbegründer der fraktalen Theorie, führt hierzu aus: „It is clear that any fact can be generalized in an infinite number of ways, and it is a question of choice. The choice can only be guided by considerations of simplicity. [...] we know beforehand, or think we know, that the law we have to express cannot be so complicated as all that. [...] To sum up, in most cases every law is held to be simple until the contrary is proved.“<sup>96</sup> Die operative Auswahl von einfachen Gesetzen kann in der Naturwissenschaft bei der Annahme der grundsätzlichen Existenz von beschreibenden Differentialgleichungen ausgeführt werden. Diejenige Theorie wird als einfacher angesehen, deren beschreibendes System von

---

<sup>93</sup> Newton (1725), S. 794.

<sup>94</sup> Vgl. Wrinch/Jeffreys (1921), S. 380.

<sup>95</sup> Vgl. Thorburn (1918), S. 352.

<sup>96</sup> Poincaré (1905), S. 146.

Differentialgleichung die niedrigere Ordnung besitzt.<sup>97</sup> Während die lineare Differentialgleichung 2. Ordnung der Form  $y_d'' + a_1(x_d) y_d' + a_0(x_d) = r(x_d)$  zwei Koeffizientenfunktionen und eine Störfunktion zur eindeutigen Bestimmung benötigt, kommt die lineare Differentialgleichung 1. Ordnung der Form  $y_d' + a_0(x_d) = r(x_d)$  mit einer Koeffizientenfunktion und einer Störfunktion aus. Eine lineare Differentialgleichung 1. Ordnung enthält somit weniger voneinander logisch unabhängige Annahmen als eine lineare Differentialgleichung 2. Ordnung. Dieser kann bei wahrscheinlichkeitstheoretischer Argumentation die größere nachträgliche (Aposteriori-) Wahrscheinlichkeit zugewiesen werden.

Identisches wie in der Naturwissenschaft, wenn auch stärker hinterfragt und diskutiert, fordert eine moderne Wissenschaftstheorie.<sup>98</sup> Die grundsätzliche Vorteilhaftigkeit der Einfachheit von Theorien wird hier nachdrücklich hervorgehoben, indem Simplität von Hypothesen gleichgesetzt wird mit höherem empirischem Gehalt und einer besseren Überprüfbarkeit.<sup>99</sup> Wird der Popper'schen Auffassung gefolgt, dass sich wissenschaftliche Theorien lediglich falsifizieren lassen, so kommt dieser Eigenschaft der Einfachheit eine herausragende Bedeutung zu.<sup>100</sup> Eine gute Theorie zeichnet sich bei dieser Sichtweise dadurch aus, dass möglichst viele Überprüfungsmöglichkeiten offen stehen.<sup>101</sup> Jede durch einen Beobachtungssatz widerlegte Hypothese lässt sich jedoch durch Einführung von neuen Hilfhypothesen und Zusatzannahmen so umgestalten, dass der ursprüngliche Widerspruch aufgehoben wird.<sup>102</sup> Der Falsifizierbarkeitsgrad der

---

<sup>97</sup> Vgl. Wrinch/Jeffreys (1921), S. 389f.

<sup>98</sup> Vgl. Popper (1994), S. 97-105; Kemeny (1953), S. 391ff.; Sober (1975), S. 60ff.; Friedmann (1990), S. 55-84; Kuhn (1976), S. 217.

<sup>99</sup> Dies erfolgt unabhängig von der wissenschaftstheoretischen Sichtweise, aus welchem Grund häufig von einem Basisgesetz der Wissenschaft gesprochen wird. Vgl. Barker (1957), S. 170; Goodman (1958), S. 1064; Foster/Martin (1966), S. 238ff.

<sup>100</sup> Vgl. Popper (1994), S. 47ff.

<sup>101</sup> Vgl. Popper (1994), S. 77ff.

<sup>102</sup> Eine Theorie der Forschungsprogramme geht davon aus, dass Widersprüche in theoretischen Grundlagen solange behoben werden, bis sich die Schwierigkeiten häufen und das Vertrauen in die theoretischen Grundlagen schwindet. Vgl. Lakatos (1974), S. 131ff.

Aussage reduziert sich. Stehen nun zwei konkurrierende Hypothesen zur Auswahl, welche mit den bekannten Tatsachen übereinstimmen, so wird jene als vorteilhafter angesehen, welche eine größere Einfachheit und damit auch einen höheren Falsifizierbarkeitsgrad aufweist. Mit der Hypothese unvereinbare Beobachtungsaussagen lassen sich bei der einfacheren Hypothese mehr Möglichkeiten zur Falsifikation erarbeiten als bei der weniger einfachen Hypothese.<sup>103</sup>

Als eine weitere Anwendung des Simplitzitätsprinzips wird in der Datenvisualisierung diejenige Darstellungsform als vorteilhaft bewertet, welche die zugrundeliegenden Daten am einfachsten repräsentiert. Ziel ist es, mittels einer geeigneten Visualisierung die zugrundeliegende Informationssituation möglichst eindeutig zu kommunizieren und somit die erfolgreiche Interpretation von Informationen zu ermöglichen. Im Rahmen der Visualisierung von Management-Informationen wird gefordert, sich innerhalb der Auswahl von Schaubilder wie Kreis- oder Balkendiagramme nur nach den zu visualisierenden Daten zu richten und dabei zusätzliche oder redundante Informationen unberücksichtigt zu lassen.<sup>104</sup> Einem Minimalprinzip ist zu folgen, bei dem „nur die Informationen [...] visuell dargestellt werden, die auch als nicht-visuelle Form vorgegeben sind.“<sup>105</sup> So soll beispielsweise bei einer möglichen zweidimensionalen Datenstruktur keine dreidimensionale Darstellung gewählt werden. Die Verwendung einer dritten Dimension entstammt lediglich einer Schaubildgestaltung und unterstützt es nicht, die zugrundeliegenden Informationen zu interpretieren.<sup>106</sup>

Des Weiteren wird bei der Visualisierung von Datenstrukturen, Flussgraphen, Petrinetzen oder Schaltplänen angestrebt, zur möglichst zuverlässigen Deutung einer wahrge-

---

<sup>103</sup> Vgl. Popper (1994), S. 100ff.; Friedmann (1972), S. 27.

<sup>104</sup> Vgl. Meyer (1996), S. 104ff.; Fischer (1998), S. 59ff.

<sup>105</sup> Vgl. Meyer (1999), S. 132.

<sup>106</sup> Vgl. Meyer (1999), S. 132; Zelazny (1999), S. 39.

nommenen Realität ein möglichst simplifiziertes Layout zu erreichen.<sup>107</sup> Übersichtlichkeit und Realitätsnähe werden durch Kompaktheit, eine hohe Uniformität der Kantenlängen und gleichmäßige Winkel des Graphen angestrebt.<sup>108</sup> Die geringe Anzahl der Kreuzungen oder eine geringe Anzahl von Kantenknicken sind operative Kriterien, welche den Einzelnen oder auch automatisierten Algorithmen zu einer erfolgsversprechenden Darstellung führen.<sup>109</sup>

Als letzter aufgezeigter normativer Bereich der Wissenschaft weisen neue Forschungserkenntnisse in der Psychologie darauf hin, dass das kognitive System des Menschen die Muster in der Welt verwendet, welche die vorhandenen Informationen am einfachsten darstellen.<sup>110</sup> Empirische Ergebnisse aus verschiedenen Disziplinen der Psychologie legen den Schluss nahe, dass die Mustererkennung des Menschen auf Basis des Simplifizierungsprinzips erfolgt. So haben beispielsweise Untersuchungen in der Wahrnehmungstheorie ergeben, dass die Komprimierung der vom jeweiligen Sensor stammenden Eingangsdaten zentrales Ziel der menschlichen Wahrnehmung darstellt.<sup>111</sup> Als Grund hierfür wurde bislang die begrenzte Informationsübertragungsrate des menschlichen Gehirns angeführt. Neuere Arbeiten stellen jedoch die Vermutung auf, dass komprimierte und damit simplifizierte Darstellungsformen bevorzugt werden, um auf diesem Weg kognitive Vorteile in Bezug auf eine bessere Vorhersagbarkeit der Generierung der sensorischen Daten nutzen zu können.<sup>112</sup> Weitere Forschungsarbeiten müssen in dieser Wissenschaftsdisziplin aufgenommen werden, um das Simplifizierungsprinzip als fundamentales kognitives Prinzip zu bestätigen.

---

<sup>107</sup> Vgl. Brandenburg u.a. (1997), S. 200.

<sup>108</sup> Vgl. Brandenburg u.a. (1997), S. 200.

<sup>109</sup> Vgl. Mutzel/Weiskircher (2000), S. 95ff.; Mutzel (2001), S. 1065ff.

<sup>110</sup> Vgl. Chater (1999), S. 273ff.

<sup>111</sup> Vgl. Atick/Redlich (1990), S. 309ff.; Barlow u.a. (1989), S. 413ff.

<sup>112</sup> Vgl. Chater (1999), S. 284f.; Chater (1997), S. 498.

Neben diesen Anwendungsfeldern von „Occam’s Razor“ aus dem normativen Bereich der Wissenschaft lässt sich das Simplifizierungsprinzip auch im deskriptiven Bereich identifizieren. Geht es um die einzelnen Präferenzen von Personen bei der Beschreibung von Objekten, lassen sich auf einer intuitiven Ebene in den unterschiedlichsten Situationen eine Bevorzugung von einfachen Darstellungen erkennen. Das Erwirken eines hohen Erklärungsvermögens steht hier im Vordergrund, um die eigene Umwelt besser erklären zu können. Beispiele aus der Gestalttheorie, der Naturwissenschaft, der Managementlehre und der Philosophie geben Anhaltspunkte dafür, dass hier das Simplifizierungsprinzip eine Bestätigung erfährt (siehe Abbildung 3.7).

Zentrale Erkenntnis der Gestalttheorie ist es, dass psychologische Phänomene nicht als eine Kombination einzelner Elemente interpretiert werden können. Einzelne Elemente leiten ihre Bedeutung von der Gesamtheit ab, aus welchem Grund Personen eher komplex zusammenhängende Gesamtsysteme als deren jeweilige Einzelteile wahrnehmen. Bei dieser kognitiven Wahrnehmung wird das Simplifizierungsprinzip zur Beschreibung der kognitiven Prozesse verwendet. Die Simplizität wird hier häufig mit ästhetischen Präferenzen in Verbindung gebracht. Eigenschaften wie Eleganz, Zeitlosigkeit und Sparsamkeit werden mit dem Begriff „Einfachheit“ assoziiert. So wird in Anlehnung an die Gestalt-Tradition argumentiert, dass bei der wahrnehmungsgesteuerten Ausgestaltung von Systemen die „Prägnanz“ maximiert wird.<sup>113</sup> Dieser Begriff steht in direktem Zusammenhang zur Simplizität, beschreibt er doch das Zusammenspiel verschiedener Gestaltungsprinzipien (gute Form, kontinuierliche Übergänge, etc.).

Naturwissenschaftler bevorzugen bei der Bildung und Bewertung von Theorien ebenfalls Merkmale, welche zu einer Simplizität der Theorie beitragen. Eine formale Logik verlangt zwar nicht die Einhaltung des Prinzips der Einfachheit.<sup>114</sup> Ästhetische und ökonomische Gründe führen jedoch dazu, dass sich Theorien auf eigentlich außerwis-

---

<sup>113</sup> Vgl. Koffka (1962), S. 110ff.

<sup>114</sup> Vgl. Ushenko (1951), S. 449.

senschaftliche Erwägungen stützen und mathematische sowie logische Zusammenhänge auf möglichst einfache Weise beschreiben. Des Öfteren wird Albert Einstein (1879-1955) mit der Aussage zitiert: „Alles sollte so einfach wie möglich gemacht sein. Aber nicht einfacher“.<sup>115</sup> Hier wird vor dem Extremfall einer Vereinfachung gewarnt, bei der die Theorie oder das Modell getrennt von der eigentlichen Realität betrachtet wird. Das auf diese Weise erhaltene theoretische Konstrukt entspricht der Auffassung und Überzeugung des Wissenschaftlers, jedoch weniger den empirischen Daten. Die Theorie des bedeutenden theoretischen Physiker und Nobelpreisträger Paul Dirac (1902-1984) kann hier als Beispiel für eine solche Übersimplifizierung herangezogen werden. In seiner Theorie der Quantenmechanik entsprach das von ihm aufgestellte Differentialgleichungssystem zur Beschreibung eines Elektrons nicht den Beobachtungen in der Natur.<sup>116</sup> Diese Differenz wurde jedoch bewusst akzeptiert mit der Begründung, dass die tatsächlichen Phänomene der Natur sich durch ihre hohe Komplexität nicht übereinstimmend beschreiben lassen.

Im Bereich der Unternehmensführung wird der Fähigkeit zur Simplifizierung eine bedeutende Rolle zugewiesen. Für Top-Manager und ranghohe Politiker gilt diese Fähigkeit als eine entscheidende Voraussetzung zur effizienten und letztendlich auch effektiven Steuerung des Unternehmens. So wird Hilmar Kopper, Vorstandsvorsitzender der Deutschen Bank, im Rahmen der Neuausrichtung des damaligen Daimler-Benz-Konzerns im Jahr 1996 in einem Interview über Jürgen Schrempp, Vorstandsvorsitzender der Daimler-Benz AG, mit der Äußerung zitiert: „Ich habe großen Respekt vor seiner Fähigkeit zur Simplifizierung. Wo gibt es denn das heute noch? Ich erstickte doch hier in Komplexität.“<sup>117</sup> Eine identische Fähigkeit zur Simplifizierung forderte Jack Welch von seinen Mitarbeitern, als er die Aussage tätigte: „Insecure managers create

---

<sup>115</sup> Zitiert nach Jost (2000), S. 43. Bezüglich dem von Albert Einstein verwendeten Begriff der „logischen Einfachheit“ vgl. Einstein (1951), S. 8.

<sup>116</sup> Vgl. Stewart/Golubitsky (1992), S. 88; [Britannica] (2001), o.S.

<sup>117</sup> Leinemann (1996), S. 123.

complexity. [...] Real leaders don't need clutter."<sup>118</sup> Diese Auffassung spiegelt sich unter anderem im „General Electric Value Statement“ wieder, innerhalb dessen Simplizität als eines von sechs anzustrebenden Individualcharakteristiken eines jeden Mitarbeiters festgehalten wurde.<sup>119</sup> Eine der operativen Konsequenzen war es, innerhalb der strategischen Neuausrichtung des General Electric Konzerns zwischen den Jahren 1981 und 1986 die Wettbewerbsdynamik eines jeden Geschäftsbereichs mit Hilfe von fünf Fragen und einem jeweils eine Seite umfassenden Antwort-Chart zusammenzufassen. Diese wurden dann innerhalb der jährlich stattfindenden „Officers' Meeting“ präsentiert und ermöglichte es auf oberster Managementebene, ein gemeinsames Verständnis der Wettbewerbssituation des Unternehmens zu schaffen. Die Durchsetzung dieser auf Simplizität basierende Vorgehensweise kommentierte Jack Welch folgendermaßen: “People always overestimate how complex business is. This isn't rocket science; we've chosen one of the world's more simple professions.”<sup>120</sup> Eine Bevorzugung von kurzen, prägnanten und einfachen Darstellungsformen wird auch dem amerikanischen Präsidenten J. F. Kennedy (1917-1963) nachgesagt. Bei für ihn inhalt fremden Themen, sowohl politischer als auch wirtschaftlicher Art, forderte er von seinen Regierungsmitarbeitern eine schriftliche Kurzzusammenfassung, welche die wesentlichen Punkte in Kürze aufzeigen.<sup>121</sup> Kennedy wurde es so ermöglicht, sich schnell in die Thematik einzuarbeiten und klare Entscheidungen auf Basis einiger weniger Alternativen zu treffen.<sup>122</sup>

Neben den zuvor genannten Bereichen wird in philosophischen Abhandlungen der Eigenschaft „Simplizität“ im menschlichen Alltag einen hohen Stellenwert beigemessen. Das Verlangen nach Einfachheit wird hier als zyklisch beschrieben. Perioden des exzessiven Konsums wechseln sich ab mit Zeiten eines erhöhten Fokus auf Simplizität. Während der amerikanische Schriftsteller Henry D. Thoreau bereits Mitte des 19. Jahr-

---

<sup>118</sup> Tichy/Charan (1989), S. 114.

<sup>119</sup> Vgl. Tichy/Charan (1989), S. 119.

<sup>120</sup> Tichy/Charan (1989), S. 115.

<sup>121</sup> Vgl. Schlesinger (1965), S. 604ff.

<sup>122</sup> Vgl. Schlesinger (1965), S. 613; Heideking (1995), S. 352.

hunderts die Forderung „Simplify, Simplify“<sup>123</sup> für ein glücklicheres Leben aufstellte, kann auch in der heutigen Zeit ein Abwenden von bisher hoch eingestuften materiellen Werten festgestellt werden.<sup>124</sup> Während im Jahr 1845 für Henry D. Thoreau der Antrieb für ein einfacheres Leben die Ungerechtigkeit des Staates in Bezug auf Billigung der Sklaverei und Führung eines imperialistischen Krieges darstellte, kann heute der erreichte Wohlstand und ein weit fortgeschrittener Technologiestand als Ursache für eine Rückbesinnung auf die wahren Werte des Lebens angesehen werden. Die Informationsflut durch Fernsehen und Internet und die dadurch bedingte Orientierungslosigkeit trägt zur Förderung der Erkenntnis bei, dass die Qualität des Lebens nicht mit dem erreichten Lebensstandard gleichgesetzt werden kann. Ein Streben nach mehr Gesundheit und Jobs mit hohem Status wird verdrängt durch den Wunsch nach persönlicher Freiheit, vertiefenden zwischenmenschlichen Beziehungen, einer stärkeren intellektuellen Ausrichtung und einem zweckdienlichen und bedeutungsvollen Arbeitsplatz.<sup>125</sup> „Einfachheit heißt sehen, urteilen und handeln von dem Punkt her, in dem wir in uns selber ruhen. Wie vieles fällt da weg! Und wie fällt alles andere in die rechte Lage.“<sup>126</sup> Eine intuitive Bevorzugung von Einfachheit kann also immer dann festgestellt werden, wenn der Sinn einzelner Aktivitäten für den Einzelnen nicht mehr deutlich werden und ein Beitrag zum Erreichen seiner eigenen Lebensziele nicht bestimmbar ist. Der Wunsch nach einer aktiven Auseinandersetzung mit seiner eigenen Umwelt und den damit verbundenen Gestaltungsmöglichkeiten führt zu einem Verlangen nach Einfachheit im eigenen Leben.

Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass die Vorteilhaftigkeit der Simplifizierung in unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen eine weite Verbreitung findet. Eine allgemein gültige wissenschaftliche Theorie ist jedoch nicht existent. Die Ausführungen von Occam's Razor sind zu schemenhaft, als dass diese hierzu herangezogen werden

---

<sup>123</sup> Thoreau (1854), S. 60.

<sup>124</sup> Vgl. Pierce (2000a), S. 289-321; Wheatley/Kellner-Rodgers (1996), S. 5ff.

<sup>125</sup> Vgl. Pierce (2000b), S. 2.

<sup>126</sup> Vgl. Hammar skjöld (1997), S. 237.

können. Von einer Theorie als konsistentes, strukturiertes Ganzes, wie es von Forschungsprogrammen verlangt wird,<sup>127</sup> kann nicht gesprochen werden. Einen kennzeichnenden Kern, von dem aus Erweiterungen und Änderungen vorgenommen werden können, ist nicht greifbar. Nichtsdestoweniger kann aus den verschiedenen Simplifizierungsansätzen im normativen und deskriptiven Bereich der Wissenschaft ein allgemeingültiges Prinzip abgeleitet werden. Die Simplifizierung erscheint in den verschiedensten Disziplinen als erstrebenswert. Ein angestrebte hohe Prognosewahrscheinlichkeit im Bereich der normativen Wissenschaft, als auch ein hohes Erklärungsvermögen im Bereich der deskriptiven Wissenschaft lassen den Schluss zu, dass der Entdeckungszusammenhang für die Wirkungsweise eines Simplifizierungsansatzes (Arbeitshypothese 3.1 und 3.2) gegeben ist.

---

<sup>127</sup> Vgl. Lakatos (1974), S. 129ff.; Chalmers (1999), S. 79ff.

### **3.3 Wirkung von Prognosewahrscheinlichkeit und Erklärungsvermögen auf die Erfolgsdeterminanten**

Für die Simplifizierung in der Produktspezifikation bestehen Wirkungsfelder, welche einen Zusammenhang zwischen dem Erklärungsvermögen und der Prognosewahrscheinlichkeit einerseits und den Erfolgsdeterminanten „Zeit“, „Qualität“ und „Kosten“ andererseits aufzeigen (siehe Kapitel 3.3.1). Der wirtschaftliche Vorteil einer Erstellung von Simplifizierungsebenen und das damit verbundene Erreichen einer Win-Win-Situation für Wertschöpfungspartnerschaften kann hieraus abgeleitet werden (siehe Kapitel 3.3.2 und Kapitel 3.3.3).

#### **3.3.1 Überblick auf die prognostizierten Wirkungsfelder**

Für eine betriebswirtschaftliche Arbeit ist es nicht ausreichend, die Vorteilhaftigkeit einer Simplifizierung in der Produktspezifikationserstellung an den Größen „Prognosewahrscheinlichkeit“ und „Erklärungsvermögen“ zu überprüfen (siehe Kapitel 3.2). Für die Produktentwicklung mögen dies erstrebenswerte qualitative Eigenschaften darstellen, doch sind sie innerhalb eines betriebswirtschaftlichen Umfeldes wenig aussagekräftig. Im Rahmen der unternehmensübergreifenden Spezifikationserstellung in Wertschöpfungspartnerschaften bildet insbesondere das Erreichen einer wirtschaftlichen Win-Win-Situation das zentrale Handlungsziel. Dieses kann durch das Aufzeigen einer alleinigen Steigerung von Prognosewahrscheinlichkeit und Erklärungsvermögen nur unzureichend überprüft werden. Aus diesem Grund wird im Folgenden unter Heranziehung von Erfolgsdeterminanten der Forschung und Entwicklung die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit einer Simplifizierung in der Produktspezifikation hergeleitet. Wie in Kapitel 2.3.1 aufgezeigt, gilt es, diese innerhalb der Erstellung einer Produktspezifikation in Wertschöpfungspartnerschaften zu optimieren. Im Folgenden werden die einzelnen Determinanten „Zeit“, „Qualität“ und „Kosten“ strikt isoliert betrachtet. Diese Vorgehensweise stützt sich auf dem „ceteris paribus“-Prinzip. Demzufolge führt die Erhöhung bzw. Verminderung eines einzigen Systemparameters zum Anstieg bzw.

Rückgang eines anderen Parameters desselben Systems, sofern sämtliche anderen bekannten und unbekanntem Systemparameter konstant gehalten werden.<sup>128</sup> Die Präsenz von darüber hinausgehenden, begleitenden Wirkungerscheinungen wird nicht verneint, es wird lediglich gefordert, dass sämtliche nicht betrachteten Parameter konstant gehalten werden. Diese Betrachtung nach dem Leitsatz „ceteris paribus“ hat in der Betriebs- und der Volkswirtschaftslehre eine lange Tradition, ermöglicht sie doch das Aufspalten von sehr komplizierten Wirkungszusammenhängen.<sup>129</sup>

Für die Bestimmung des Einflusses von Prognosewahrscheinlichkeit und Erklärungsvermögen auf die einzelnen Erfolgsdeterminanten eines Forschungs- und Entwicklungs-Managements ergibt sich die folgende Arbeitshypothese:

Arbeitshypothese 3.3: *Wenn* durch eine Simplifizierung in der Produktspezifikationserstellung eine erhöhte Prognosewahrscheinlichkeit und ein erhöhtes Erklärungsvermögen erzielt wird, *dann* wird ein positiver Einfluss auf die Erfolgsdeterminanten der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten erreicht.

Die hier angeführte Arbeitshypothese prognostiziert einen positiven Einfluss der Steigerung von Prognosewahrscheinlichkeit und Erklärungsvermögen auf die drei Erfolgsdeterminanten von Forschung und Entwicklung. Theoretische oder empirisch gestützte Ausführungen existieren jedoch nicht zu dieser Wirkungskette. Die aufgestellte Arbeitshypothese lässt sich nicht auf deduktivem Weg herleiten, stellen doch die beiden unabhängigen Variablen „Prognosewahrscheinlichkeit“ und „Erklärungsvermögen“ zwei in der betriebswirtschaftlichen Literatur nicht vorkommende Größen dar. Ein

---

<sup>128</sup> Vgl. Schurz (1995), S. 269ff.; Schiffer (1991), S. 1.

<sup>129</sup> Vgl. Bierens/Swanson (2000), S. 224ff.; und stellvertretend für viele Anwendungsbeispiele Tinbergen (1935), S. 241ff.

allgemein anerkannter Wirkungszusammenhang steht in der Wissenslandschaft nicht zur Verfügung.

Ein Wirkungszusammenhang zwischen den Größen „erhöhte Prognosewahrscheinlichkeit“ und „erhöhtes Erklärungsvermögen“ einerseits und den Erfolgsdeterminanten andererseits lässt sich aus diesem Grund nur durch den Umweg über die Darstellung von Wirkungsfelder spannen (siehe Abbildung 3.8).

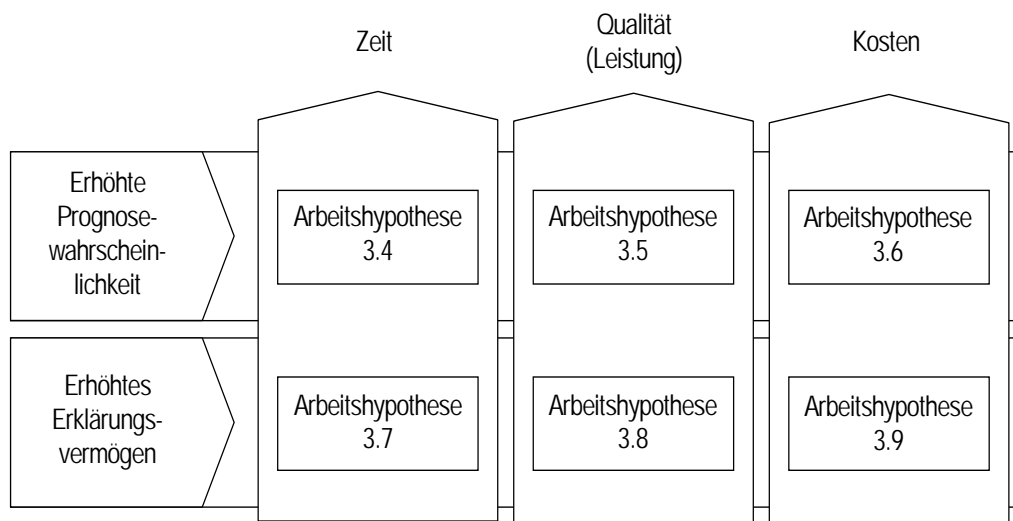


Abbildung 3.8: Erfolgsdeterminanten und ihre Wirkungsfelder

Jedem Feld kann eine Arbeitshypothese zugeordnet werden, womit eine implizite Verknüpfung zwischen der abhängigen und unabhängigen Größen ausgewiesen werden kann. Dieser Zusammenhang erlaubt es, im Falle eines erhöhten Erklärungsvermögens durch die Deduktion einer geringeren notwendigen Einarbeitungstiefe, einer erhöhten Transparenz über Systemgrenzen hinaus und einem gestiegenen Verständnis von inter- und intradisziplinären Systemzusammenhängen den Einfluss der Simplifizierung auf die Erfolgsdeterminanten auszuweisen. Im Falle einer erhöhten Prognosewahrscheinlichkeit kann die Verkürzung von Iterationsschleifen bei der Fehlererkennung, die Steigerung der Wiederverwendungswahrscheinlichkeit sowie ein gesteigener Handlungsspielraum für Design-to-Cost Strategien den Einfluss auf die Größen „Zeit“, „Qualität“ und „Kosten“ herleiten.

### 3.3.2 Wirkungsfelder einer erhöhten Prognosewahrscheinlichkeit

Der positive Einfluss der erhöhten Prognosewahrscheinlichkeit einer simplifizierten Produktspezifikation auf die Erfolgsdeterminante „Zeit“ kann durch Verwendung des „Front-Loading“-Ansatzes deduziert werden. Dieser besagt, dass das wirtschaftliche Ergebnis einer Produktentwicklung verbessert werden kann, indem die Identifikation und Lösung von Designproblemen in möglichst frühen Phasen durchgeführt wird.<sup>130</sup> Der Problemlösungsprozess wird dabei als iterativer Vorgang verstanden, bei dem einzelne Problemlösungszyklen möglichst klein gehalten werden.<sup>131</sup> Nicht zielführende Lösungswege können bei kleinen Iterationsschleifen wesentlich früher aufgedeckt werden und „Blindleistung“ auf Seiten der Entwickler verhindert werden. Indirekte Folge dieser Bemühungen ist eine Verkürzung der Entwicklungszeit, wie sie in Abbildung 3.9 dargestellt ist.

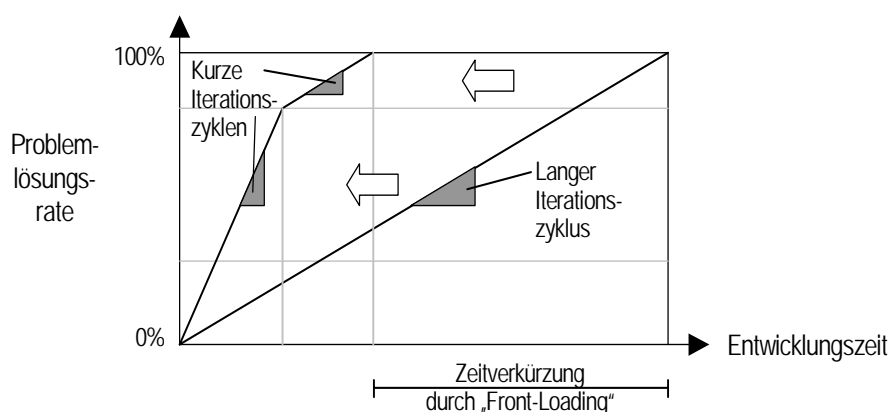


Abbildung 3.9: Verkürzung der Entwicklungszeit durch „Front-Loading“<sup>132</sup>

<sup>130</sup> Vgl. Thomke/Fujimoto (2000), S. 129; Iansiti (1995), S. 53f.; Thomke/Reinertsen (1998), S. 20f.; Iansiti/MacCormack (1999), S. 97ff.

<sup>131</sup> Vgl. Thomke/Fujimoto (2000), S. 132.

<sup>132</sup> Vgl. Thomke/Fujimoto (2000), S. 137.

Empirische Studien zur Wirksamkeit dieser „Front-Loading“-Strategie in der japanischen Automobilindustrie haben ergeben, dass signifikante Entwicklungszeitverkürzungen erzielt werden können. Wenn auch innerhalb der Studie genaue Zahlen nicht genannt werden konnten, wurde seitens des betrachteten Unternehmens eine Reduzierung der Entwicklungszeit von bis zu 30-40 % genannt.<sup>133</sup>

Das Erstellen von Simplifizierungsebenen der Produktbeschreibung ermöglicht es innerhalb der Produktentstehung, die Anforderungen an ein Produkt auf unterschiedlichen Detaillierungstiefen zu beschreiben und anschließend auch zu testen. Dies gilt sowohl bei der Spezifikationserstellung, wenn die aufgestellten Spezifikationen auf ihre innere Konsistenz geprüft werden müssen, als auch für die Produktentwicklung selbst, wenn Designkonzepte auf das Erfüllen von vorgegebenen Anforderungen zu bewerten sind. Jede einzelne Simplifizierungsebene beschreibt das technische System in der jeweiligen Detaillierungstiefe vollständig. Bevor eine weitere Verfeinerung der Systembeschreibung bzw. der Designlösung vorgenommen wird, können alternative Konzepte auf ihre Eignung untersucht und erst anschließend weiter detailliert ausgeführt werden. Der Entdeckungszusammenhang für die folgende Arbeitshypothese ist gegeben:

Arbeitshypothese 3.4: *Wenn* in der Produktspezifikationserstellung simplifiziert wird, *dann* werden kleinere Iterationszyklen ermöglicht (verglichen mit einer gewöhnlich erstellten Spezifikation ohne Simplifizierungsebenen).

Ein Wirkungszusammenhang zwischen der Prognosewahrscheinlichkeit einer Produktspezifikation und der Erfolgsdeterminanten „Qualität“ kann durch die Deutung der unterschiedlichen Simplifizierungsebenen als wiederverwendbare Systembeschreibung hergeleitet werden. Empirische Untersuchungen im Bereich des Qualitätsmanagements haben ergeben, dass zwischen dem prozentualen Anteil der wiederverwendeten Kom-

---

<sup>133</sup> Vgl. Thomke/Fujimoto (2000), S. 139.

ponenten eines Produktes und dessen Erfüllungsgrad der operativen Anforderungen ein enger Zusammenhang besteht (siehe Abbildung 3.10).<sup>134</sup> Unter Wiederverwendung versteht man dabei den Verzicht auf eine Neuentwicklung und der stattdessen ausgeführte Rückgriff auf Teilkomponenten, Konzepte, Testsimulationen oder Spezifikationen eines bereits bestehenden Produktes.<sup>135</sup> Die Hebelwirkung der Wiederverwendung ist dabei um so höher, je früher man damit im Entwicklungsprozess ansetzt.<sup>136</sup> Die Wiederverwendung von Teilen der Spezifikation, die bereits zum Zeitpunkt des Entwicklungsstarts eingebracht werden, ist effektiver als die Wiederverwendung eines Simulationsmodells in der zeitlich nachgelagerten Verifikationsphase am Ende des Produktentwicklungsprozesses.

Die Wiederverwendung von Entwicklungsergebnissen lässt sich nicht ad hoc ausführen. Für eine erfolgreiche Wiederverwendung ist es notwendig, bereits bei den Vorgängermodellen einen möglichen Rückgriff auf Entwicklungsergebnisse vorzubereiten.<sup>137</sup> Der hierfür notwendige Mehraufwand, welcher in erster Linie durch eine einheitliche Dokumentation und eine konsequente Schnittstellenfestlegung verursacht wird, lässt sich bereits beim ersten Modellnachfolger bzw. Folgeprojekt amortisieren.<sup>138</sup>

---

<sup>134</sup> Vgl. Frakes/Succi (2001), S. 102ff.; Deiss u.a. (2000), S. 134. Zum Begriff der Erfahrungskurve vgl. Henderson (1984), S. 42.

<sup>135</sup> Vgl. Clausing (1994), S. 364ff.; Bertram (1997), S. 7.

<sup>136</sup> Vgl. Bertram (1997), S. 8.

<sup>137</sup> Vgl. Bertram (1997), S. 9; Stütze/Siedersleben (2000), S. 38; Ryan (1999), S. 42f.

<sup>138</sup> Vgl. Ryan (1999), S. 43f.; Kauba (1997), S. 14.

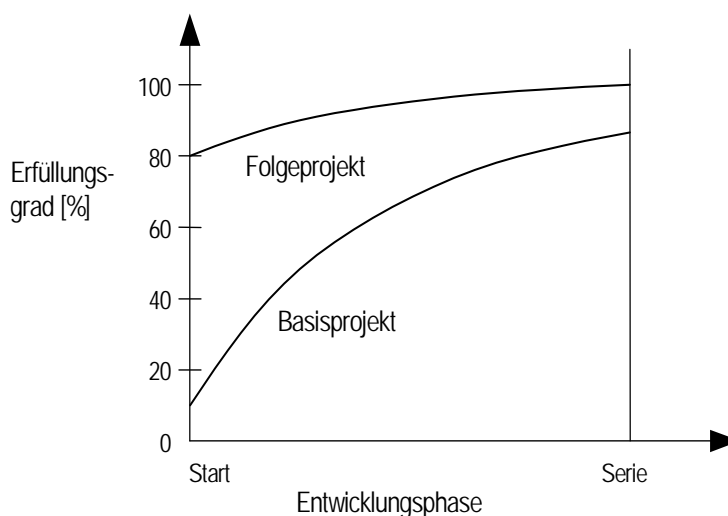


Abbildung 3.10: Qualitätsverbesserung durch Wiederverwendung von Entwicklungsergebnissen<sup>139</sup>

Die Wiederverwendung von Entwicklungsergebnissen kann nun auch auf die Produktspezifikation bzw. die simplifizierte Produktspezifikation übertragen werden. Durch die erhöhte Prognosewahrscheinlichkeit einer simplifizierten Produktbeschreibung kann vermutet werden, dass die grundsätzliche Möglichkeit zur Wiederverwendung gesteigert wird. Nicht nur einzelne Details des bisherigen Produktes können übernommen werden, sondern auch einzelne Simplifizierungsebenen der Spezifikation mit einer geringeren Detaillierung. Diese können im Falle der Wiederverwendung unverändert transferiert werden, um das neue System auf einer gewissen Detaillierungsebene gesamtlich zu beschreiben. Für eine folgende Verfeinerung besteht dennoch die Möglichkeit, Neuerungen einzubringen und modellspezifische Designlösungen zu realisieren. Da selbst bei Übernahme von höheren Detaillierungsebenen eine Wiederverwendung von Entwicklungsergebnissen vorliegt, kann hier eine Verbesserung des Erfüllungsgrades erwartet werden.

---

<sup>139</sup> Vgl. Deiss u.a. (2000), S. 134.

Arbeitshypothese 3.5: *Wenn* in der Produktspezifikationserstellung simplifiziert wird, *dann* wird Möglichkeit auf die Wiederverwendung eines Spezifikationsteils erhöht (verglichen mit einer gewöhnlich erstellten Spezifikation ohne Simplifizierungsebenen).

Das dritte Wirkungsfeld einer erhöhten Prognosewahrscheinlichkeit - der Einfluss auf die Erfolgsdeterminante „Kosten“ - lässt sich unter Verwendung der „Set-based“-Theorie herleiten. Hierunter subsumieren sich Ansätze, welche sich innerhalb der Produktentwicklung für eine parallelisierte Beibehaltung von unterschiedlichen Designkonzepten aussprechen.<sup>140</sup> Diese entsprechen einem gewissen Set von Möglichkeiten, unter denen sich die Designteams für das erfolgversprechendste entscheiden können. Innerhalb einer wechselseitigen konkurrierenden Produktentwicklung werden Designalternativen zwischen den unterschiedlichen Teams ausgearbeitet, kommuniziert, analysiert und verglichen, bis innerhalb einer stetigen Elimination von Alternativen sich eine einzige Designlösung durchsetzt.<sup>141</sup> Die letztlich zu realisierende Designlösung wird durch die Verengung unterschiedlicher Designalternativen erzielt. Auch in späteren Entwicklungsschritten besteht die Möglichkeit, innerhalb eines gewissen Handlungsspielraums zwischen verschiedenen Designlösungen auszuwählen.

Wie Untersuchungen innerhalb der Unternehmenspraxis zeigen, konnten bei einer Vorgehensweise nach dem „Set-based“-Ansatz am Ende eines Entwicklungsauftrages wesentlich kostengünstigere Produktauslegungen erreicht werden.<sup>142</sup> Zwischen einzelnen Produktauslegungen kann gewechselt werden, sobald durch den Zugriff auf neue Informationen höhere Herstellkosten für eine Alternative prognostiziert werden. Diese Handlungsfreiheit hat einen hohen Stellenwert, wenn man bedenkt, dass die Herstell-

---

<sup>140</sup> Vgl. Liker u.a. (1996), S. 165f.; Sobek II u.a. (1999), S. 68.

<sup>141</sup> Vgl. Sobek II u.a. (1999), S. 68; Pugh (1996), S. 169ff.

<sup>142</sup> Vgl. Liker u.a. (1996), S. 177; Sobek II u.a. (1999), S. 77; Fujimoto (1999b), S. 143; Srinivasan u.a. (1997), S. 159f.

kosten zwischen unterschiedlichen Designkonzepten eine Varianz von 50% und mehr betragen können.<sup>143</sup>

Besonders in Zulieferbeziehungen konnte die positive Wirkung der parallelen Bearbeitung von Designlösungen aufgezeigt werden. Wie ein internationaler Vergleich zwischen japanischen, rein U.S.-amerikanischen und japanisch geführten U.S.-amerikanischen Zulieferbeziehungen ergab, hat sich die Strategie, den Zulieferer möglichst spät auszusuchen und ihm dabei einen möglichst großen Freiraum zu lassen, als besonders erfolgreich bei der Erarbeitung von kostengünstigen Designkonzepten gezeigt.<sup>144</sup> Bei japanischen Zulieferbeziehungen, welche zum größten Teil diesen „Set-based“-Ansatz verfolgen,<sup>145</sup> zeigte die Untersuchung trotz eines bereits niedrig vereinbarten Preises die durchschnittlich größten Kostenreduzierungen während der Produktentwicklung und damit die deutlichsten Preisminderungen (siehe Abbildung 3.11).

Dimension	U.S.	Japan/U.S.	Japan
Selektionskriterium	Kontakt aus Vergangenheit	Preis & Qualität	Preis
Selektionszeitpunkt	Früh	Sehr früh	Spätmöglichst
Einbeziehung des Zulieferers	70% Black-Box, 30% Detailvorgabe	64% Black-Box, 23% Detailvorgabe	96% Black-Box, 4% Detailvorgabe
Preisfestsetzung	Über Ziel (109%)	Über Ziel (109%)	Unter Ziel (98%)
Preisänderung	Verteuernd (+0,9%)	Mindernd (-0,4%)	Mindernd (-2,1%)
Informationsaustausch	Gering	Höher	Am höchsten
Zulieferervorschläge	Wenige	Viele	Viele

Abbildung 3.11: Zuliefererintegration im internationalen Vergleich<sup>146</sup>

<sup>143</sup> Vgl. Ulrich/Pearson (1998), S. 365.

<sup>144</sup> Vgl. Cusumano/Takeishi (1991), S. 576ff.

<sup>145</sup> Vgl. Liker u.a. (1996), S. 176.

<sup>146</sup> Vgl. Cusumano/Takeishi (1991), S. 577.

Das Beschreiben von technischen Systemen auf unterschiedlichen Detaillierungsebenen kann wie bei dem zuvor beschriebenen „Set-based“-Ansatz dazu führen, dass für spätere Entwicklungsschritte ein möglichst großer Handlungsspielraum zur Verfügung steht. Dem Spezifikationsersteller oder Entwickler wird eine, das Produkt beschreibende, Simplifizierungsebene vorgegeben. Gleichzeitig erhält er den Freiraum, bei einer Verfeinerung der Spezifikationen eigene Designlösungen einzubringen und das aus seiner Sicht kostengünstigste Designkonzept unter den zur Verfügung stehenden Alternativen zu wählen. Beschränkt sich der nachfolgende Spezifikationsersteller ebenfalls auf die Definition einer oder mehrerer Simplifizierungsebenen, so kann daraus ein rekursiver Prozess des „Set-based“-Ansatzes abgeleitet werden.

Arbeitshypothese 3.6: *Wenn* in der Produktspezifikationserstellung simplifiziert wird, *dann* wird nachfolgenden Spezifikationsausführungen ein größerer Handlungsspielraum vorgegeben (verglichen mit einer gewöhnlich erstellten Spezifikation ohne Simplifizierungsebenen).

### 3.3.3 Wirkungsfelder eines erhöhten Erklärungsvermögens

Ein Wirkungszusammenhang zwischen dem Erklärungsvermögen einer Produktspezifikation und der Erfolgsdeterminante „Zeit“ kann durch die Deutung der unterschiedlichen Simplifizierungsebenen als vorangestellte Zusammenfassung eines Textes hergeleitet werden. Innerhalb der Kognitionswissenschaft haben Untersuchungen über die Textgestaltung ergeben, dass die Einbeziehung von unterschiedlichen Textstrukturen zu einer unterschiedlichen Effizienz der Informationsverarbeitung durch den Lesenden führt.<sup>147</sup> Die zentrale Erkenntnis lautet, dass der Grad des Verstehens eines Systems von

---

<sup>147</sup> Vgl. Schnotz (1994), S. 227ff.; Geiling (1995), S. 142ff.

der Struktur, dem Inhalt, den internen Verbindungen und der Komplexität der textuellen Beschreibung abhängt. Der Lernaufwand zur Erarbeitung eines Verständnisses der Gesamtzusammenhänge eines realen Systems oder Sachverhalts kann je nach Gestaltungsinstrument verkürzt werden. Drei unterschiedliche Instrumentkategorien stehen dabei zur Verfügung:<sup>148</sup>

- „Advanced Organizer“, bei denen vor dem Lesen einer Textsektion eine Vorbildung über den Inhalt vermittelt wird, ohne dabei auf spezifische Details einzugehen.
- „Concurrent Organizer“, bei dem einzelne Schlüsselwörter eines Textes oder auch ganze Sätze oder Textpassagen durch Unterstreichen oder Kursivschrift hervorgehoben werden.
- „Post Organizer“, bei denen nach dem Lesen einer Textsektion eine generelle Zusammenfassung durch Aufzeigen der wichtigsten Schlüsselpunkte gegeben wird.

Die vorangestellte Zusammenfassung eines Textes stellt dabei das effizienteste Instrument eines „Advanced Organizers“ dar.<sup>149</sup> Dies zeigt eine Studie, bei der unterschiedliche Methoden mit Hilfe einer Unterschiedshypothese untersucht wurden.<sup>150</sup> Konkurrierende „Advanced Organizer“-Methoden wie ein Inhaltsverzeichnis, ein im Voraus durchgeführter Abfragetest in Form von Wahr-Falsch-Fragen oder ein vorangestellter Abfragetest zur Vervollständigung von textrelevanten Aussagen wurden dabei mit einer Kontrollgruppe verglichen, welcher nur ein normal strukturierter Text zur Verfügung stand. Bei einer Gegenüberstellung zeigt sich, dass durch die vorangestellte Zusammenfassung die intensivste Vermittlung von systemrelevanten Zusammenhängen möglich ist.<sup>151</sup>

---

<sup>148</sup> Vgl. Proger u.a. (1970), S. 28.

<sup>149</sup> Vgl. Proger u.a. (1970), S. 32; Bloom/Goldstein (1963), S. 279; Ausubel (1960), S. 267ff.

<sup>150</sup> Vgl. Proger u.a. (1970), S. 28ff.

<sup>151</sup> Vgl. Proger u.a. (1970), S. 32.

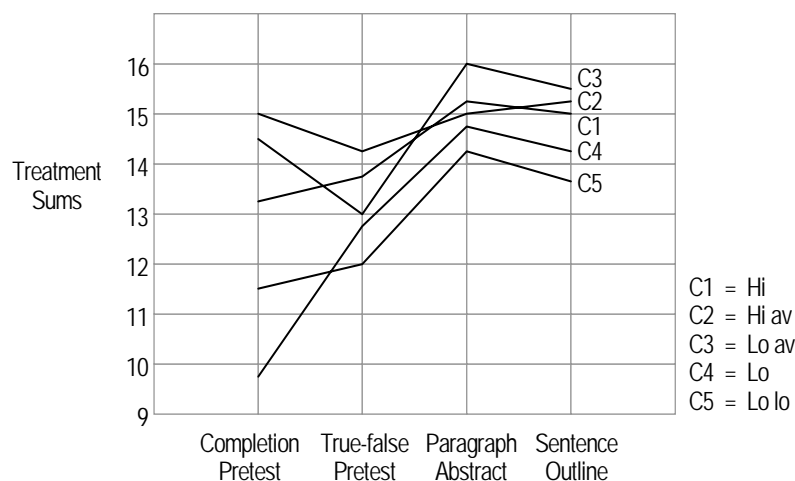


Abbildung 3.12: Verbesserung der Lesbarkeit von Texten durch „Advanced Organizer“<sup>152</sup>

Wie das Interaktionsdiagramm der Überprüfung der Unterschiedshypothesen zeigt (siehe Abbildung 3.12), kann die vorangestellte Zusammenfassung verallgemeinert die höchsten Faktorstufen („Treatment Sums“) aufweisen.<sup>153</sup> Somit kann der geringste Lernaufwand bei dieser Form der Textgestaltung prognostiziert werden. Bei theoretischer Betrachtung sind hierfür drei Gründe ausschlaggebend:<sup>154</sup> Erstens kann für den Betrachter im Voraus ein Gedankengerüst aufgebaut werden, welches später beim Lesen des Textes für eine leichtere Einordnung der Informationen sorgt. Zweitens wird dem Lesenden ein generalisierter Überblick über alle zentralen Zusammenhänge dargeboten. Diese werden explizit aufgezeigt und getrennt von Details ausgewiesen. Und drittens ermuntert die vorangestellte Zusammenfassung auf abstrakter Ebene, die Aussagen in einem ersten Schritt mit den persönlichen Erwartungen und Erfahrungen des

<sup>152</sup> Vgl. Proger u.a. (1970), S. 32. Die Wertereihen C1 bis C5 spiegeln die unterschiedlichen Fähigkeiten der Informationsarbeitung der an der Untersuchung teilgenommenen Personen dar. Hierauf wird im Rahmen dieser Arbeit nicht näher eingegangen. Für die empirische Untersuchung sind nur die verallgemeinerten Wirkungszusammenhänge von Relevanz.

<sup>153</sup> Zum Untersuchungsschema der faktoriellen Pläne vgl. Bortz/Döring (1995), S. 495ff.

<sup>154</sup> Vgl. Ausubel/Fitzgerald (1961), S. 267.

Lesenden zu vergleichen und zu bewerten, ohne die zugrundeliegenden Details der Textaussagen zu kennen.

Die einzelnen Simplifizierungsebenen der Produktspezifikation entsprechen einem „Advanced Organizer“ im Sinne der vorangestellten Zusammenfassung. Die komprimierte Beschreibung des technischen Systems in einem Top-down Verlauf der Detaillierungstiefe ist identisch mit dem Vorstellen einer Textzusammenfassung. Jede Simplifizierungsebene stellt die vorangestellte Zusammenfassung für die nächst-detailliertere dar. Der Entdeckungszusammenhang für die folgende Arbeitshypothese ist gegeben:

Arbeitshypothese 3.7: *Wenn* in der Produktspezifikationserstellung simplifiziert wird, *dann* wird auf höheren Detaillierungstiefen das Verständnis für eine zugrundeliegende Entwicklungsthematik ermöglicht (verglichen mit einer gewöhnlich erstellten Spezifikation ohne Simplifizierungsebenen).

Die simplifizierte Produktspezifikation lässt somit eine verkürzte Dauer bei der Einarbeitung in den jeweiligen technischen Sachverhalt erwarten. Dies gilt sowohl bei der Spezifikationserstellung selbst, wenn im Rahmen der Wiederverwendung bestehende technische Systeme zu übernehmen sind, als auch wenn Ergebnisse eines Simultaneous-Engineerings zusammengebracht und abgeglichen werden müssen. Zusätzlich lässt sich eine Zeitverkürzung für den der Spezifikationserstellung nachfolgenden Entwicklungsprozess vermuten, wenn es gilt, das vorgegebene Produkt zu analysieren und darauffolgend zu realisieren.

Als zweites Wirkungsfeld eines erhöhten Erklärungsvermögens der Produktspezifikation kann durch die gesamtheitliche Systembeschreibung eine Steigerung der Erfolgsdeterminante „Qualität“ abgeleitet werden. Die einzelnen Simplifizierungsebenen ermöglichen es, das System in einem ersten Schritt im Entwicklungsprozess entsprechend hochaggregiert zu beschreiben, so dass Transparenz über die horizontale Systembe-

schreibung und somit Konsistenz innerhalb des Systems möglich wird. Verzichtet man bei komplexen Produkten auf eine simplifizierte Produktbeschreibung, so entsteht die Problematik, dass eine für den Einzelnen unüberschaubare Datenmenge bewältigt werden muss.<sup>155</sup> Inkonsistenzen in der Produktspezifikation und damit ein im späteren Verlauf nicht erreichter Qualitätsstand der Entwicklungsergebnisse sind zwangsläufig die Folgen. Wie empirische Untersuchungen ergeben haben, besitzen technische Systeme mit einer geringeren Teilevielfahl eine wesentlich höhere Zuverlässigkeit, als dies bei Produkten mit hoher Teilevielfahl zu beobachten ist. Eine Erhebung in der Luftfahrtindustrie hat ergeben, dass Elektrik-/Elektronik-Komponenten mit hohen Herstellkosten eine wesentlich geringere Zuverlässigkeit besitzen als Flugzeuge mit niedrigen Herstellkosten.<sup>156</sup> Dies hat sich durch eine höhere Flugstundenanzahl zwischen einzelnen Störungen oder Systemversagen gezeigt (siehe Abbildung 3.13).

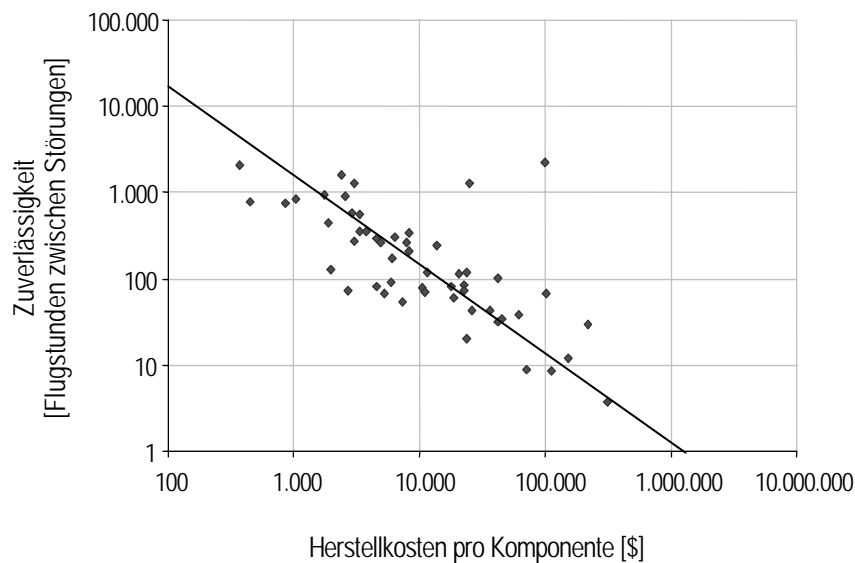


Abbildung 3.13: Zuverlässigkeit von Elektrik- und Elektronik-Komponenten<sup>157</sup>

---

<sup>155</sup> Vgl. Abrahamson u.a. (2000), S. 98.

<sup>156</sup> Vgl. Gates u.a. (1974), S. 56.

<sup>157</sup> Vgl. Gates u.a. (1974), S. 59.

Unterstellt man einen direkten Zusammenhang zwischen einer hohen Teilevielfzahl und hohen Herstellkosten, so kann gefolgert werden, dass bei einer geringen Anzahl von Einzelteilen die damit einhergehende Transparenz über Systemgrenzen hinweg zu einer höheren Qualitätserfüllung führen.<sup>158</sup> Transparenz über Systemgrenzen hinweg ist somit eine Bedingung für die zuverlässige Auslegung von technischen Systemen.

Überträgt man diese Erkenntnis auf die Produktspezifikation, so kann gefolgert werden: Je weniger Elemente für die Beschreibung eines technischen Systems benötigt werden, desto zuverlässiger zeigt sich dieses System im späteren operativen Einsatz.

Im Fall der Simplifizierung der Produktspezifikation wird genau diese Beschränkung auf die Beschreibung des Verhaltens einiger weniger hochaggrierter Systemelemente erreicht. Durch die einzelnen Simplifizierungsebenen wird es ermöglicht, in einem ersten Schritt das Verhalten einiger weniger Systemelemente mit geringer Detaillierungstiefe zu beschreiben und erst zu einem späteren Zeitpunkt eine Verfeinerung durchzuführen. Einzelne Simplifizierungsebenen geben dem Spezifikationsersteller die Möglichkeit, sich ein Systemverständnis zu erarbeiten und Subsysteme mit diesem Hintergrundwissen über Gesamtzusammenhänge weiter zu bearbeiten. Die folgende Arbeitshypothese kann hieraus abgeleitet werden:

Arbeitshypothese 3.8: *Wenn* in der Produktspezifikationserstellung simplifiziert wird, *dann* wird auf höheren Detaillierungstiefen eine Beschreibung von systemübergreifenden Zusammenhängen erreicht (als im Vergleich zu einer gewöhnlich erstellten Spezifikation ohne Simplifizierungsebenen).

Als drittes Wirkungsfeld eines erhöhten Erklärungsvermögens in der Produktspezifikation lässt sich die Möglichkeit zum Erhalt von kostengünstigeren Produktauslegungen

---

<sup>158</sup> Vgl. Anderl/Philipp (1997), S. 21.

durch ein gestiegenes Verständnis von inter- und intradisziplinären Systemzusammenhängen anführen. Nur auf diesem Weg lassen sich beispielsweise mechatronische Designlösungen systematisch erschließen.<sup>159</sup> Unter Mechatronik ist dabei die funktionelle und räumliche Fusion von Mechanik, Elektronik und Informatik zu verstehen.<sup>160</sup> Durch eine Reduzierung der Aufwände für Projektierung, Inbetriebnahme, Fehlerdiagnose und Energieverbrauch können hier kostengünstigere Designkonzepte verwirklicht werden.<sup>161</sup> Das Erreichen einer kostengünstigen Designlösung muss dabei nicht zwingend durch ein mechatronisches Realisierungskonzept verwirklicht werden. Auch bei intradisziplinären Designlösungen besteht die Notwendigkeit, Erkenntnisse aus anderen Unternehmensbereichen wie der Produktion, dem Vertrieb oder der Kostenplanung mit in den Designprozess einzubringen.<sup>162</sup>

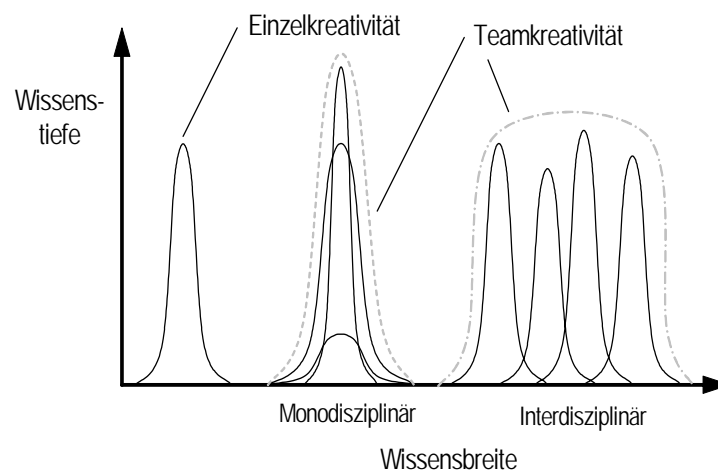


Abbildung 3.14: Wissenstiefe und -breite bei interdisziplinären Systemzusammenhängen<sup>163</sup>

<sup>159</sup> Vgl. Fruchter u.a. (1995), S. 231f.; Roddeck (1997), S. 6.

<sup>160</sup> Vgl. Isermann (1996), S. 16.

<sup>161</sup> Vgl. Eversheim u.a. (1998), S. 24ff.; Gausemeier (2000a), S. 3; Gausemeier (2000b), S. 162ff.

<sup>162</sup> Vgl. Pugh (1996), S. 307f.; Ulrich/Eppinger (2000), S. 237; Wiendahl/Kanitz (2000), S. 49ff.

<sup>163</sup> Vgl. [VDI] (1991), zitiert nach Kümmel (1999), S. 122.

Die inter- und intradisziplinäre Zusammenarbeit erfordert dabei auf Seiten der Beteiligten eine gewisse Wissenstiefe in den beteiligten Disziplinen (siehe Abbildung 3.14). Alle Teammitglieder müssen ein bestimmtes inter- und intradisziplinäres Verständnis über die zu lösende Aufgabe mitbringen, um kostengünstige Designwege im Verbund beschreiten zu können.<sup>164</sup>

Dieses gemeinsame Systemverständnis unter den Wissensdisziplinen kann dabei auf unterschiedlichen Wegen geschaffen werden. Jeweils ungeeignet sind die beiden Ansätze, das Selbstverständnis als ein Verstehen des Anderen aufzufassen, oder das Verstehen des Anderen als ein Selbstverstehen zu begreifen.<sup>165</sup> Im ersten Fall geht man davon aus, dass die anderen Personen sich dem eigenen Verständnis angleichen, und im zweiten Fall ist man selbst aufgefordert, sich in die Position des Anderen zu versetzen. Beide Ansätze sind ungeeignet, da sich die Denk- und Arbeitsweisen als auch die unterschiedlichen Sprachverständnisse der einzelnen Disziplinen unterscheiden.<sup>166</sup> Wesentlich erfolversprechender ist es, sich nicht auf eine einzelne Bezugsperson oder -disziplin zu konzentrieren, sondern stattdessen eine gemeinsame „Welt“ als Bezugspunkt zu verwenden.<sup>167</sup> Eine allgemeine und disziplinunabhängige Systembetrachtung kann hier sehr nützlich sein. Ein gegenseitiges Verständnis über das Gesamtsystem wird vermittelt.

Den einzelnen Simplifizierungsebenen der Spezifikation wird nun ein solcher gemeinsamer Wahrnehmungsraum zwischen den unterschiedlichen Disziplinen zugesprochen. Durch eine simplifizierte Beschreibung kann auf detaillierte Designkonzepte, welche bereits einen disziplinspezifischen Lösungsvorschlag beinhalten würden, verzichtet werden. Systembeschreibungen mit einer niedrigen Detaillierungstiefe beschreiben das

---

<sup>164</sup> Vgl. Pugh (1996), S. 331f.; Clausing (1994), S. 40ff.

<sup>165</sup> Vgl. Yetim (1998), S. 206.

<sup>166</sup> Vgl. Fruchter u.a. (1995), S. 231; Kümmel (1999), S. 108.

<sup>167</sup> Vgl. Reinertsen (1998), S. 110.

spätere Produkt so allgemein, dass ein interdisziplinärer Dialog zwischen den unterschiedlichen Disziplinen aufgrund eines gemeinsamen Verständnisses möglich ist. Die höheren Simplifizierungsebenen dienen dabei als Orientierungsmöglichkeiten, den Beteiligten mit unterschiedlichem Wissenshintergrund eine gemeinsame Teilnehmerperspektive zu eröffnen.

Arbeitshypothese 3.9: *Wenn* in der Produktspezifikationserstellung simplifiziert wird, *dann* werden Systemzusammenhänge allgemeiner und disziplinunabhängiger vermittelt (verglichen mit einer gewöhnlich erstellten Spezifikation ohne Simplifizierungsebenen).

## **4 Technologischer Bezugsrahmen: Komplexitätsbeherrschung durch Simplifizierungsregeln für die Produktspezifikationserstellung**

In Anlehnung an einen systemisch-evolutionären Ansatz zur Komplexitätsbeherrschung stellt die regelbasierte Koordination innerhalb der Spezifikationserstellung eine erfolgversprechende Möglichkeit dar, den Partnern eine Optimierung der Wertschöpfungsbeiträge nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien zu ermöglichen (siehe Kapitel 4.1). Gegenstand dieser Regeln ist eine Handlungsroutine, welche zu einer simplifizierten Produktspezifikationsebene führt. Ein praxistauglicher Regelsatz muss dabei eine Reihe von Anforderungen erfüllen, um erfolgversprechend in Wertschöpfungspartnerschaften implementiert werden zu können (siehe Kapitel 4.2). Hierzu gehört beispielsweise die Vermeidung eines weiten logischen Interpretationsspielraumes oder die Kontrollierbarkeit einer späteren Regelbefolgung. Eine Analyse bestehender Regelsätze zeigt auf, dass die in der Wissenslandschaft identifizierten Regeln zur Simplifizierung diese Anforderungen nicht erfüllen können (siehe Kapitel 4.3). Aus dieser Divergenz ergibt sich die Notwendigkeit, ein neues Regelwerk konstruktiv zu schaffen.

### **4.1 Komplexitätsbeherrschung durch Regelvorgabe**

Die Beherrschung eines hoch komplexen Systems, wie das der Spezifikationserstellung in Wertschöpfungspartnerschaften, kann nur durch einen systemisch-evolutionären Ansatz geleistet werden (siehe Kapitel 4.1.1). Rahmenbedingungen in Form von Regeln können bei entsprechender Auslegung das Erzielen einer Win-Win-Situation für die beteiligten Parteien ermöglichen (siehe Kapitel 4.1.2). Voraussetzung für eine erfolgreiche Implementierung in der Praxis ist eine anreizeffiziente und flexible Ausgestaltung des Regelwerkes (siehe Kapitel 4.1.3).

#### 4.1.1 Technomorpher versus systemisch-evolutionärer Ansatz

Die Beherrschung von Komplexität mag bei oberflächlicher Betrachtung ein Paradox darstellen. Wie in Kapitel 3.1.2 aufgezeigt, wird Komplexität mit Eigenschaften in Verbindung gebracht, welche jede ganzheitliche Betrachtung eines komplexen Systems in Frage stellen und somit das Beherrschen unmöglich machen. Kann ein System von einem Individuum nicht überblickt werden, so ist auch die Beherrschung dieses Systems durch eine Person nicht möglich. Betrachtet man jedoch theoretische Ansätze zur Beherrschung von Komplexität tiefergehend, so lässt sich eine grundsätzliche Ausführbarkeit feststellen. In der Managementtheorie wurde dies ausführlich behandelt.<sup>1</sup> Die Handhabung von Komplexität wird hier als ein Kern der Managementaufgabe verstanden und die Beherrschung von Komplexität als notwendige Erfolgskomponente.<sup>2</sup>

Definition 4.1: Die **Komplexitätsbeherrschung** steht für das Vermögen, komplexe Systeme unter Kontrolle zu bringen. Inakzeptable Zustände sollen ausgeschaltet, akzeptable hervorgebracht und bewahrt werden. Der Möglichkeit der Gestaltung, Lenkung und Entwicklung des Systems ist dabei nicht als eine spezifische Aktivität zu verstehen, sondern als Eigenschaft des Systems.

Unterschieden wird in der Managementtheorie zwischen zwei grundsätzlichen Ansätzen zur Beherrschung von Komplexität:<sup>3</sup> Der technomorphen Variante zur Komplexitätsbeherrschung steht ein systemisch-evolutionärer Ansatz gegenüber (siehe Abbildung 4.1). Der technomorphe Ansatz unterliegt dem Paradigma der Maschine im klassischen Sinn der Mechanik.<sup>4</sup> Erfolg und Qualität des Gesamtsystems summieren sich aus den Eigenschaften der Teilkomponenten. Mit diesem Verständnis ist es möglich, das System soweit in Teilpakete herunterzubrechen, dass eine detaillierte Planung mit abschließen-

---

<sup>1</sup> Vgl. Bleicher (1999), S. 19; Malik (2000), S. 83.

<sup>2</sup> Vgl. Bleicher (1999), S. 31; Malik (2000), S. 21; Bürgel u.a. (1996), S. 19.

<sup>3</sup> Vgl. Malik (2000), S. 43f.; Malik (1996), S. 36ff.

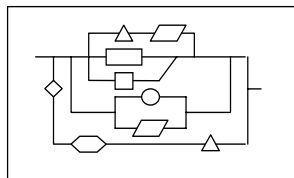
<sup>4</sup> Vgl. Malik (2000), S. 43.

der Bearbeitung möglich wird. Zu einem späteren Zeitpunkt eintretende Zustände werden als voraussagbar eingestuft, unerwartete Entwicklungen in Form von anfänglich als nicht zutreffend eingestuften Störereignissen ausgeschlossen. Die Zukunft wird somit bei einer technomorph-geprägten Sichtweise als vollkommen prognostizierbar erachtet. Als Basis eines jeden Erfolges wird die im Vorfeld ausgeführte sorgfältige Ausarbeitung eines Vorhabens und dessen strikte Umsetzung angesehen.

#### Technomorpher Ansatz

Paradigma: Maschine

Grundphilosophie:  
„Konstruieren im Detail nach  
einem vorgefertigten Plan“



#### Systemisch-evolutionärer Ansatz

Paradigma: Organismus

Grundphilosophie:  
„Schaffung und Gestaltung  
günstiger Rahmenbedingungen“

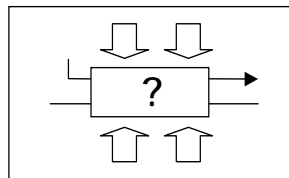


Abbildung 4.1: Ansätze im Management zur Komplexitätsbeherrschung

Der systemisch-evolutionäre Ansatz zur Komplexitätsbeherrschung unterliegt einem grundsätzlich verschiedenen Paradigma. Hier ist es der lebende Organismus, welcher sich spontan und selbststeuernd an seine Umwelt anpasst.<sup>5</sup> Für den Umgang mit einem komplexen System bedeutet dies, dass nicht jedes Detail konstruiert wird, sondern lediglich Bedingungen geschaffen werden, unter denen sich das System in die richtige Richtung entfalten kann.<sup>6</sup> Das Resultat entspricht damit nicht notwendigerweise einem im Voraus verfassten Plan; die einzige „externe“ Einflussnahme erfolgt über die Gestaltung günstiger Rahmenbedingungen. Die Zukunft wird als nicht vollkommen prognostizierbar angesehen. Anpassungen an veränderte Ausgangserwartungen können jederzeit ausgeführt werden.

<sup>5</sup> Vgl. Malik (2000), S. 44.

<sup>6</sup> Vgl. Malik (2000), S. 44.

In der Theorie wird beiden Ansätzen eine Berechtigung zugestanden.<sup>7</sup> Das technomorphe Vorgehen wird im Bereich geringer Komplexität als die effizientere Vorgehensweise angesehen. Einfache und homogene Systemzusammenhänge ermöglichen es hier, Verhaltensprognosen und -einflüsse im Voraus zu definieren. Die technomorphe Vorgehensweise scheitert allerdings zwangsläufig im Bereich großer Komplexität. Hier kann das zur Planung aller Details notwendige Wissen sowie die entsprechenden Informationen nicht an zentraler Stelle gebündelt werden. Der systemisch-evolutionäre Ansatz umgeht diese Problematik, indem auf eine Einflussnahme im Detail verzichtet wird und lediglich Rahmenbedingungen für die günstige Entwicklung eines komplexen Systems vorgegeben werden. Damit wird zwar auf der einen Seite eine gewisse Unbestimmtheit in Kauf genommen. Auf der anderen Seite wird durch die Beschränkung auf die Vorgabe von geeigneten Rahmenbedingungen dem System ermöglicht, innerhalb eines permanenten Prozesses der Selbstorganisation auf die Umgebungskomplexität zu reagieren.

Der systemisch-evolutionäre Ansatz zur Komplexitätsbeherrschung darf nicht mit der Aufgabe jeder Kontrolle über das System verwechselt werden. Die Möglichkeit der Lenkung und Steuerung eines Systems bleibt durch die Gestaltung von Rahmenbedingungen weiterhin erhalten. Der Unterschied zum technomorphen Ansatz ergibt sich dadurch, dass die Eingriffe auf das System nicht durch ein direktes Einwirken geprägt sind, sondern vielmehr durch indirektes Ausüben erfolgen.

Die heutige Vorgehensweise der Spezifikationserstellung entspricht klar einem technomorphen Vorgehen. Dieser Schluss kann auf Basis der empirischen Studie<sup>8</sup> aus Kapitel 2.3.2 gezogen werden. Wird von einer zentralen Stelle die technische Spezifikation definiert und an weitere Partner innerhalb der Wertkette weitergegeben, so kann auch bei erhöhtem Abstimmungsaufwand nicht den Anforderungen der jeweiligen Kettenglieder entsprochen werden. In Bezug auf die in Forschung und Entwicklung anzustre-

---

<sup>7</sup> Vgl. Malik (2000), S. 45f.

<sup>8</sup> Vgl. Karlsson u.a. (1998), S. 538.

benden Erfolgsdeterminanten bedeutet dies, dass Optimierungspotentiale einer jeweiligen Determinante ungenutzt bleiben. Die in der Hierarchie untergeordneten Wertschöpfungspartner müssen sich mit einer zweit- oder drittbesten Designlösung zufriedengeben und als Folge daraus eine Minderung des eigenen wirtschaftlichen Erfolges hinnehmen.

#### **4.1.2 Gestaltungsoptionen für Rahmenbedingungen eines systemisch-evolutionären Ansatzes**

Bei Verneinung der Möglichkeit einer technomorphen Vorgehensweise wird eine Koordination durch Befehl und Weisung im Rahmen einer hierarchischen Befehlsstruktur als nicht möglich betrachtet. Im Rahmen eines systemisch-evolutionären Ansatzes ist die Frage zu stellen, mit welchen Rahmenbedingungen Eingriffe auf das später zu erzielende Ergebnis zu bewerkstelligen sind. Da bei der Spezifikationserstellung in erster Linie das Verhalten des jeweiligen Bearbeiters zu koordinieren ist, bietet sich zur Lenkung dieses sozialen Systems die Vorgabe von Regeln an. Die Handlungsweise einer großen Anzahl von Personen kann über die Existenz dieser Regeln gesteuert werden.<sup>9</sup> Sie halten das soziale System zusammen und ermöglichen es, eine gewisse Verhaltensordnung zu bewahren und eine gemeinsame Zielerreichung sicherzustellen.

Die Akteure beziehen sich in ihrem Handeln auf ein überwiegend gemeinsames Set von Regeln, welche das jeweilige Handeln des Einzelnen ermöglicht und zugleich restringiert. Die Regeln bewirken das Entstehen eines sozialen Systems, welches Stabilität aufweist und jedem einzelnen Mitglied dieses Systems Verlässlichkeit zusichert.<sup>10</sup> Von Seiten der Akteure ist eine Handlungskompetenz notwendig, um die situativ ausgepräg-

---

<sup>9</sup> Vgl. Malik (2000), S. 107ff.; March (1994), S. 71.

<sup>10</sup> Vgl. Giddens (1984), S. 21.

te „richtige“ Anwendung der „richtigen“ Regeln sicherzustellen.<sup>11</sup> Denn erst im Handeln nehmen die Akteure Bezug auf die Regeln. Die aus dem Regelsatz entnommenen Regeln werden reproduziert, indem intendierte Ergebnisse erzielt und die als erfolgreich erwiesenen Handlungsfolgen von anderen Akteuren übernommen werden.<sup>12</sup> Regeln ermöglichen so die Aufrechterhaltung einer etablierten Handlungsfolge. Eine dauerhaft wiederholte Abweichung von der Regel durch eine Vielzahl von Akteuren aufgrund nicht intendierter Handlungsfolgen wird dagegen den Regelsatz verändern.

Definition 4.2: Eine **Regel** restringiert die Handlungsweise einer abgegrenzten Einheit von Individuen oder Kollektiven mit dem Ziel, bei wiederkehrenden Problemfällen eine effizientere und effektivere Bearbeitung zu ermöglichen.

In Bezug auf die Komplexitätsbeherrschung ist es Aufgabe eines systemorientierten Management, für ein Regelwerk zu sorgen, welches das soziale System eines Unternehmens unter Kontrolle bringt. Anzumerken ist hier, dass der Begriff „Kontrolle“ bei dieser Vorgehensweise weniger einer Aktivität entspricht, die von einer Person ausgeführt wird, als vielmehr einer Eigenschaft, welche ein System besitzt oder nicht.<sup>13</sup> Mit der Aufstellung eines Regelwerks wird ein Instrument geschaffen, welches der Eigen-dynamik des Systems nur in geringen Maßen Grenzen setzt und trotzdem eine Beeinflussung ausübt, welche am Ende ein Ergebnis mit einem zufriedenstellenden Output sichert. Setzt man eine erfolgreiche Regelauslegung und das Befolgen der einzelnen Regeln durch das Individuum voraus, so werden inakzeptable Ergebnisse ausgeschaltet.

Die Gestaltung der Rahmenbedingungen durch Regeln verringert somit die Unsicherheit in Bezug auf das zu erzielende Ergebnis. Es wird die Erkenntnis berücksichtigt, dass der Mensch nicht nur ein von Zielen geleitetes Wesen ist, sondern die Art und Weise seines

---

<sup>11</sup> Vgl. Giddens (1979), S. 67.

<sup>12</sup> Vgl. Giddens (1984), S. 20f.

<sup>13</sup> Vgl. Malik (2000), S. 36.

Verhaltens ebenso sehr von Regeln geleitet wird.<sup>14</sup> Können aufgrund einer sehr komplexen Sachlage keine kausalen Zusammenhänge erkannt werden, sind Verhaltensregeln die einzige Möglichkeit, eine gewisse Ordnung zu erhalten.<sup>15</sup> Ein Verfolgen von konkreten langfristigen Zielen ist nicht möglich; das Bestreben basiert auf dem Vermeiden von Ordnung störendem Verhalten. Wie in Abbildung 4.2 veranschaulicht, werden durch den Regelsatz die Handlungen der einzelnen Akteure so geleitet, dass eine gemeinsame Ausrichtung zu erkennen ist. Hält sich jeder Akteur an die aufgestellten Regeln, so kann zumindest die völlige Unordnung, wie in der linken Hälfte von Abbildung 4.2 dargestellt, vermieden werden und eine gemeinsame Vorgehensweise bei der Erzielung von Ergebnissen gesichert werden.

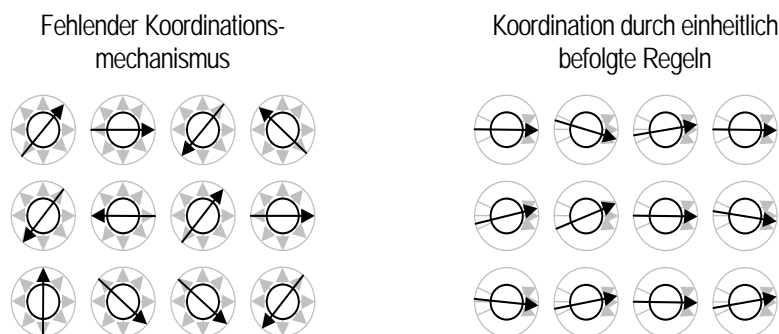


Abbildung 4.2: Koordination eines sozialen Systems durch Regelvorgabe

In Bezug auf die Spezifikationserstellung und die damit verbundene Optimierung der Erfolgsdeterminanten ist nun die Frage zu stellen, welcher Regelsatz es jedem einzelnen Wertschöpfungspartner erlaubt, den für ihn erfolgreichen Designentwurf zu wählen. Dieser Regelsatz muss von jedem Teil der Wertkette akzeptiert und innerhalb der Spezifikationserstellung umgesetzt werden. Eine Erprobung und Umsetzung dieser Spezifikationsregeln ermöglicht es dann, erfolgversprechende Interaktionen zwischen den Wertschöpfungspartnern im Bereich der Produktgestaltung dauerhaft zu festigen. Das Eing-

<sup>14</sup> Vgl. Malik (2000), S. 107; Malik (1996), S. 40.

<sup>15</sup> Vgl. Malik (2000), S. 110f.

hen von Partnerschaften kann bei entsprechendem wirtschaftlichen Erfolg ermutigt werden.<sup>16</sup>

#### 4.1.3 Koordination durch Regeln und deren Grenzen

Übertragen auf Wertschöpfungspartnerschaften können Regeln bei gleichförmigen und häufig vorkommenden Tatbeständen Effizienzvorteile erzielen.<sup>17</sup> Für den Produktentstehungsprozess ist die Spezifikationserstellung eine solche Tätigkeit. Ist es möglich, für die Erstellung einer Spezifikation Regeln aufzustellen, hat dies innerhalb von Wertschöpfungspartnerschaften die folgenden Koordinations- und Motivationsfunktionen:<sup>18</sup>

- Die Unsicherheit in Bezug auf das Verhalten der beteiligten Parteien innerhalb einer Wertschöpfungspartnerschaft wird reduziert. Regeln wirken hier sowohl unsicherheitsreduzierend als auch erwartungsstabilisierend, sofern eine langfristige Regelbefolgung gegeben ist.
- Aufgabenträger werden mit Informationen darüber versorgt, auf welche Art und Weise die Problemstellung zu bearbeiten ist. Die Regeln dienen in dieser Funktion als Speichermedium von Verhaltensweisen, welche sich in der Vergangenheit als zielführend erwiesen haben.
- Über Unternehmensgrenzen hinweg kann eine zeitliche Konsistenz und Stabilität der Entscheidungsfindung gewährleistet werden. Im Vergleich zur fallweisen Entscheidung werden abhängige, parallel verlaufende oder auch aufeinanderfolgende Entscheidungen widerspruchsfrei getroffen.
- Dynamische organisatorische Strukturen und Prozesse, wie sie für Wertschöpfungspartnerschaften charakteristisch sind, werden stabilisiert.

---

<sup>16</sup> Vgl. Axelrod (1991), S. 116.

<sup>17</sup> Vgl. Gutenberg (1983), S. 239ff.

<sup>18</sup> Vgl. Burr (1999), S. 1163f.

- Aufgabengebiet und Handlungsfeld des jeweiligen Wertschöpfungspartners werden eingegrenzt, ohne sein Verhalten vollständig zu determinieren. Gewisse Handlungsalternativen werden ausgeschlossen bzw. dem Handelnden nahegelegt.
- Gegenseitiges Lernen in einer Partnerschaft wird ermöglicht durch Bereitstellung von in der Vergangenheit gemachten Erfahrungswerten und Erkenntnissen erfolgreicher Handlungsweisen.
- Auf Motivationsmaßnahmen kann verzichtet werden, sofern die Regeln von sämtlichen Beteiligten der Partnerschaft akzeptiert werden. Notwendig ist hierzu das Erkennen der Vorteilhaftigkeit einer Regel durch den Regelunterworfenen.

Neben diesen für die Wertschöpfungspartnerschaft positiven Koordinations- und Motivationsfunktionen können Regeln auch potenzielle dysfunktionale Wirkungen besitzen.<sup>19</sup> Hierzu zählen Inflexibilität, Bürokratisierung und Behinderung organisatorischen Lernens bei einer statischen Auslegung des Regelwerks, sowie einer motivationshemmenden Funktion, sollten einzelne Wertschöpfungspartner und deren Mitarbeiter die Regeln nicht anerkennen.

Die zuvor aufgeführten negativen Einflüsse sind kein grundsätzliches Problem der Koordination durch Regeln, sondern lassen sich ausnahmslos durch eine geeignete Regelgestaltung vermeiden.<sup>20</sup> Um notwendige Gestaltungsmaßnahmen zur Vermeidung einer statischen Auslegung des Regelwerks abzuleiten, ist es notwendig, die grundsätzliche Regelentstehung zwischen den Akteuren einer Organisation genauer zu betrachten. Hier steht die konstruierende Festlegung von Regeln durch eine übergeordnete Einheit einer spontanen Bildung von Regeln durch die gegenseitige Interaktion einzelner Akteure gegenüber. Der spontanen Entwicklung von Regeln wird im Vergleich eine höhere Effizienz zugesprochen und wird aus diesem Grund als erstrebenswert angese-

---

<sup>19</sup> Vgl. Burr (1999), S. 1164.

<sup>20</sup> Vgl. Burr (1999), S. 1164.

hen.<sup>21</sup> Allerdings ist besonders bei Gruppen mit einer großen Anzahl von Akteuren und einem sehr komplexen und unregelmäßigen Beziehungsgeflecht das spontane Herausbilden von Regeln sehr unwahrscheinlich.<sup>22</sup> Spieltheoretische Überlegungen führen zu dem Schluss, dass keiner der Akteure gewillt ist, die Kosten für das Ausprobieren von neuen Verhaltensregeln zu tragen und aus diesem Grund eine abwartende Haltung gegenüber dem Regelbildungsprozess eingenommen wird.

Der Vorteil eines konstruierenden Regeldesigns ist durch die Möglichkeit gegeben, den langwierigen und stark zufallsbasierten Prozess der evolutionären Regelbildung zu umgehen und das Regelwerk bewusst zu gestalten.<sup>23</sup> Negative Regeln können von vornherein ausgeschlossen werden, während deren Bildung bei der spontanen Herausbildung von Regeln nicht zu verhindern sind. Der Nachteil einer Konstruktion von Regeln ist das fehlende zentrale Wissen über die komplexen Zusammenhänge vor Ort und die damit verbundene Ungewissheit der Regelwahl. Zukünftig eintretende Regelauswirkungen einer neu implementierten Regel können nur bedingt abgeschätzt werden, eine iterative Verbesserung kann je nach Ausmaß der Fehlbeurteilung die Folge sein.

In der betrieblichen Praxis werden durch eine Kombination von konstruierendem Regelentwurf und evolutionärer Herausbildung die Vorteile beider Gestaltungsprinzipien aufgegriffen.<sup>24</sup> Diese Kombination kann durch zwei unterschiedliche Vorgehensweisen ausgeführt werden: Entweder wird eine evolutionäre Regelentwicklung innerhalb eines fiktiv geschaffenen Regelwerks zugelassen, oder Regeln werden bewusst innerhalb eines evolutionär herausgebildeten und fortentwickelten Regelrahmens modifiziert (siehe Abbildung 4.3).

---

<sup>21</sup> Vgl. Hayek (1969), S. 32ff.; Hayek (1980), S. 24; Vanberg/Buchanan (1981), S. 12ff.

<sup>22</sup> Vgl. Burr (1998), S. 318f.

<sup>23</sup> Vgl. Hayek (1980), S. 69; Vanberg/Buchanan (1981), S. 14f.

<sup>24</sup> Vgl. Burr (1998), S. 320; Burr (1999), S. 1165; Vanberg (1994b), S. 104.

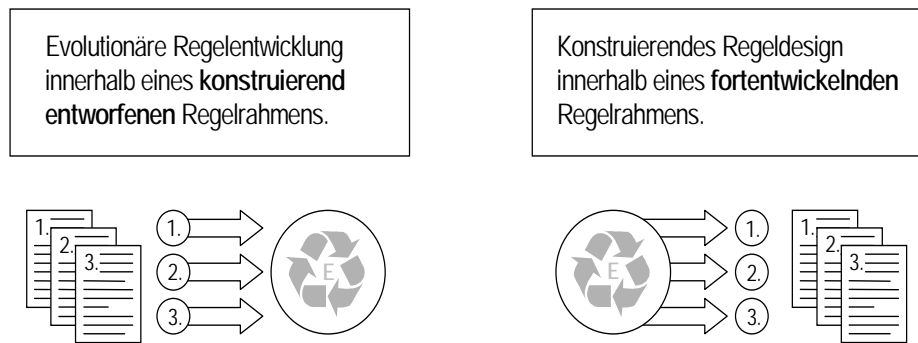


Abbildung 4.3: Gestaltung von Regeln im Unternehmen

Im ersten Fall des konstruierend entworfenen Regelrahmens wird den Akteuren ein Regelsatz von einer zentralen Einheit vorgegeben. Dieser ist als eine allgemeine Aussage über die zu erwartende Regelordnung zu verstehen, dessen Regeln sich erst in einem evolutionären Umsetzungsprozess bewähren müssen. Bei eventuell nichtbeabsichtigten negativen Auswirkungen der aufgestellten Regeln muss eine Änderung vorgenommen werden, sofern die Mehrheit der Regelanwender hierzu eine Notwendigkeit sieht. Eine hohe Änderungshäufigkeit ist dabei allerdings zu vermeiden. Denn eine langfristige und stabile Auslegung der Regeln ist Voraussetzung, um dem Kollektiv Kooperationsgewinne zu sichern.<sup>25</sup> Im zweiten Fall des konstruierenden Regeldesigns innerhalb eines fortentwickelnden Regelrahmens werden Akteure auf etablierte Handlungsweisen hin untersucht. Die zugrundeliegende Handlungsordnung wird in Form eines Regelwerks ausgewiesen. Regelmäßigkeiten in den Interaktionen von einzelnen Akteuren werden explizit ausgewiesen, um den Nutzen dieser Regelbefolgung allen Regelunterworfenen zur Verfügung zu stellen.

Als ein weiteres Problem der Regelgestaltung ist das Motivationsproblem gesondert zu betrachten. Dieses stellt sich, wenn die individuelle und kollektive Vorteilsabwägungen auseinanderfallen und eine spätere Regeleinhaltung der jeweiligen Wertschöpfungspart-

---

<sup>25</sup> Vgl. Brennan/Buchanan (1993), S. 14ff.

ner nicht gewährleistet ist. Die grundsätzlichen Kombinationsmöglichkeiten von kollektiven und individuellen Positionen lassen sich durch die folgende Matrix darstellen:

		Kollektiver Vorteil	
		nein	ja
Individueller Vorteil	nein	Verzicht auf Regelbindung	Motivations- und Sanktionsproblem
	ja	Motivations- und Sanktionsproblem	Anreizeffizient

Abbildung 4.4: Notwendigkeit von Motivation und Sanktionsmaßnahmen<sup>26</sup>

Geht man von einem gegebenen kollektiven Vorteil der Regeleinhaltung aus, so ist durch im Einzelfall abweichende Eigeninteressen die Befolgung der Regelordnung unsicher. Zusätzliche Anreiz- und Sanktionsmechanismen sind notwendig, wenn Eigeninteresse und Gesamtinteresse auseinanderdriften. Denn eine Gewährleistung der Regelbefolgung muss sichergestellt sein. Anderenfalls wird sich ein Kollektiv von Akteuren nicht einem Regelwerk unterwerfen. Als praxistaugliche Lösung bieten sich Sanktionsmaßnahmen in Verbindung mit Kontrollmaßnahmen an.<sup>27</sup> Die Regelverletzung eines Einzelnen wird hier mit Sanktionen in Verbindung gebracht, die in die Nutzenkalkulation des Regelbrechers eingehen. Die Sanktion muss so gewählt sein, dass sich eine Regelverletzung für den Einzelnen nicht lohnt.

<sup>26</sup> Vgl. Burr (1998), S. 317.

<sup>27</sup> Vgl. Burr (1998), S. 323.

## 4.2 Gestaltungsaspekte bei der Regelauslegung

Anforderungen an eine praxisgerechte Regelauslegung können unter Verwendung von Erkenntnissen aus der Komplexitätstheorie abgeleitet werden (siehe Kapitel 4.2.1). Neben einer Handlungsanleitung auf mikroskopischer Ebene und der Vermeidung eines weiten Interpretationsspielraumes sind bei der konstruktiven Gestaltung einer Regel sowohl der direkte Zugang zur täglichen Routine als auch eine Kontrollierbarkeit der Regelbefolgung anzustreben (siehe Kapitel 4.2.2).

### 4.2.1 Grundlegende Natur von Regeln

Innerhalb eines systemisch-evolutionären Ansatzes erweist sich die Vorgabe von Regeln als eine geeignete Grundform der Koordination. Innerhalb eines selbstkoordinierenden und selbstorganisierenden Systems ermöglicht die Vorgabe von Regeln die Anpassung und Modifikation des Verhaltens der beteiligten Personen.<sup>28</sup> Dabei sind die Regeln nicht als starre Anweisungen, Anordnungen oder Befehle zu verstehen. Dies würde einem technomorphen Ansatz zur Komplexitätsbewältigung innerhalb einer hierarchischen Befehlsstruktur entsprechen. Vielmehr geben die Regeln eine bestimmte Art des Verhaltens vor, welche dann für den speziellen Einzelfall vom betroffenen Entscheidungsträger gewählt und auf die jeweilige Situation angewendet werden kann.

Das Verhalten von Vogelschwärmen kann als guter Anhaltspunkt dienen, wie ein Regelwerk zur Selbstorganisation von Gruppen ausgelegt sein muss. Die Bewegung des Schwarms wird hier nicht von einem zentralen Organ gesteuert, sondern bildet das Gesamtergebnis des Verhaltens der einzelnen Vögel.<sup>29</sup> Jeder Vogel reagiert mit sehr einfachen Verhaltensregeln auf seine lokale Umgebung und trägt so zu einem äußerst

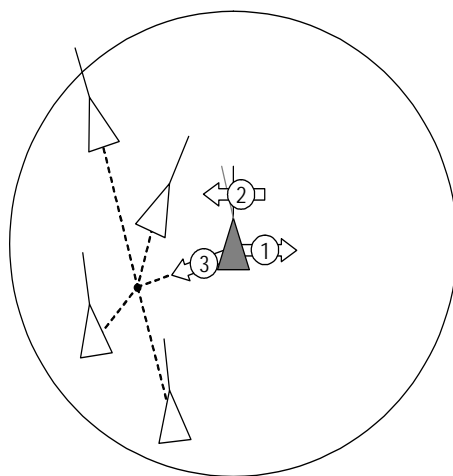
---

<sup>28</sup> Vgl. Malik (2000), S. 185.

<sup>29</sup> Vgl. Reynolds (1987), S. 25; Heppner (1997), S. 111.

komplexen Verhalten des Vogelschwarms bei. Plötzliche Geschwindigkeitsänderungen und ein extremer Wechsel der Flugrichtung des gesamten Schwarms können ausgeführt werden, ohne dass es zu Kollisionen zwischen den einzelnen Vögeln kommt.

Ein Vergleich zwischen empirischen Daten der Flugbewegung mit einer Computersimulation liefert den Nachweis für die Einhaltung von drei Verhaltensregeln, an welche sich jeder einzelne Vogel strikt hält.<sup>30</sup> In Abbildung 4.5 sind diese Regeln zusammengefasst.



#### Regeln zum Steuerverhalten von Vogelschwärmen

- ① **Separieren:** Steuere so, dass lokale Nachbarn nicht bedrängt werden!
- ② **Ausrichten:** Steuere in Richtung des Kurses der meisten anderen Vögel!
- ③ **Zusammenhalten:** Steuere in Richtung der durchschnittlichen Gesamtposition eines Schwarms!

Abbildung 4.5: Schwarmverhalten von Vögeln

Als erste Regel wurde innerhalb der Computersimulation das Verhalten festgelegt, dass es in der Verantwortung eines jeden Vogels liegt, lokale Nachbarn nicht zu bedrängen. Ein jedes Mitglied des Vogelschwarms hält nicht stur an seiner Flugrichtung fest, sondern weicht von seinem Kurs ab, sollte eine mögliche Kollision mit einem Nachbarn absehbar sein. Als zweite Regel wird jedem Vogel vorgegeben, seinen Kurs und seine Geschwindigkeit nach dem der meisten anderen Vögel zu richten. Diese Vorgabe bewirkt die grundsätzliche Bildung eines Schwarmes. Den einzelnen Individuen wird eine

<sup>30</sup> Vgl. Reynolds (1987), S. 29.

Flugbahn vorgeschrieben, welche der Flugbewegung aller anderen Vögel gleicht. Als dritte und letzte Regel wird jedem Vogel vorgeschrieben, sich in Richtung der durchschnittlichen Gesamtposition eines Schwarms zu orientieren. Diese Verhaltensweise ist eine Folge der biologischen Evolution, in welcher sich der Mittelpunkt des Vogelschwarms als sicherster Platz bei möglichen Angriffen von Greifvögeln erwiesen hat.<sup>31</sup> Um den gefährlicheren Platz am Rande eines Vogelschwarms zu meiden und somit die Wahrscheinlichkeit des Angriffs auf sich selbst zu reduzieren, hat sich die Orientierung am Mittelpunkt des Schwarms etabliert.

Zu beachten ist, dass die Regeln weder das Gesamtsystem (Vogelschwarm) beschreiben, noch das endgültige Resultat (Flugbahn) vordefinieren. Die Regeln legen lediglich fest, welche grundsätzlichen Verhaltensweisen dem einzelnen Individuum auf mikroskopischer Ebene offen stehen, um sich Schritt für Schritt dem Gesamtverhalten des Vogelschwarmes auf makroskopischer Ebene unterzuordnen. Des Weiteren wurde bei der Auslegung der Simulationsregeln darauf geachtet, dass lediglich ein Leitprinzip für das einzelne Individuum vorgegeben wird. Hätte man die Regeln im Militärstil („Dies ist erlaubt, dies ist verboten“) oder in Form einer algorithmischen Zuweisung („Wenn Situation X, dann Handlung Y“) formuliert, wäre eine infinite Anzahl von Regeln erforderlich gewesen, um für jede denkbare eintretende Flugsituation die richtige Verhaltensweise vorplanen zu können.<sup>32</sup> Eine schriftliche Ausformulierung sämtlicher Eventualitäten von Handlungsalternativen ist nicht möglich.

---

<sup>31</sup> Vgl. Lissack/Roos (1999), S. 30f.

<sup>32</sup> Vgl. Lissack/Roos (1999), S. 31.

#### 4.2.2 Anforderungen an eine praxisgerechte Regelauslegung

Für die erfolgreiche Auslegung von Regeln für die Unternehmenspraxis ist es notwendig, einige Anforderungen an das Regelwerk zu beachten. Ein Teil dieser Anforderungen leitet sich ab aus der grundsätzlichen Natur von Regeln, wie sie in Kapitel 4.2.1 beschrieben wurden. Hinzu kommen Anforderungen, welche sich durch die spezifische Umsetzung in der Unternehmenspraxis ergeben. Hierbei spielt der Regelinhalt eine wesentlich Rolle. Im Falle einer Regelauslegung zum Erhalt von Simplifizierungsebenen in der Produktspezifikation ist den folgenden vier Punkten eine besondere Aufmerksamkeit zu widmen:

- (1) Die einzelnen Regeln dürfen nicht das Gesamtsystem beschreiben, sondern lediglich den nächsten Schritt in Richtung des zu erwartenden Resultats. Hierbei wird von der Definition der Regeln auf mikroskopischer Ebene gesprochen.
- (2) Die Regeln müssen auf Arbeitsebene definiert sein. Eine Umsetzung in der Unternehmenspraxis soll ohne großen Interpretationsspielraum für den Regelbefolgenden möglich sein.
- (3) Für einen direkten Zugang des Regelwerkes zur täglichen Routine des Einzelnen ist zu sorgen. Mehrarbeit durch die Regelbefolgung soll minimiert werden. Im Idealfall kann eine Verkürzung durch die regelgeleiteten Arbeitsschritte erzielt werden.
- (4) Eine Bewertbarkeit oder Messbarkeit zur Kontrolle der Regeleinhaltung muss gewährleistet sein. Dabei sind quantitative Kriterien zu präferieren.

Die ersten beiden Anforderungen leiten sich aus der grundsätzlichen Natur eines Regelwerkes ab. Anforderung Nr. (1) entspricht der systemisch-evolutionären Auffassung. Nach dieser kann das Gesamtsystem aus Komplexitätsgründen nicht beschrieben werden. Folglich ist eine Aufstellung von Regeln, welche das Endergebnis beschreiben, nicht umsetzbar. Dem Regelunterworfenen ist bei einem komplexen System aufgrund der Unberechenbarkeit zukünftiger Entwicklungen nicht möglich, die ihm zur Verfügung stehenden Vorgehensalternativen bzw. Handlungsschritte zu bewerten, welche ihn, durch das Regelwerk eingeschränkt, effektiv und effizient zu dem Endergebnis

führt. Nur durch das Aufzeigen des jeweils nächsten Handlungsschrittes kann eine Komplexitätsbeherrschung erreicht werden. Anforderung Nr. (2) ist für eine möglichst eindeutige Interpretation des Regelwerks durch den Regelunterworfenen notwendig. Wird hier ein zu weiter logischer Interpretationsspielraum vorgegeben, kann es sein, dass der Regelbefolgende seinen nächsten Handlungsschritt zwar regelgerecht jedoch uneffizient bzw. sogar uneffektiv auswählt.<sup>33</sup> Wie in Abbildung 4.6 ersichtlich, sind allgemeingehaltene Regeln, welche einen hohen Interpretationsspielraum aufweisen, nur begrenzt in der Lage, den Einzelnen auf einem direkten Weg zu dem späteren erwünschten Resultat zu leiten. In einem komplexen System können Regeln, welche auf der Arbeitsebene formuliert sind, den Einzelnen mit wesentlich weniger Verlustleistung zu einem im Voraus definierten Ergebnis führen.

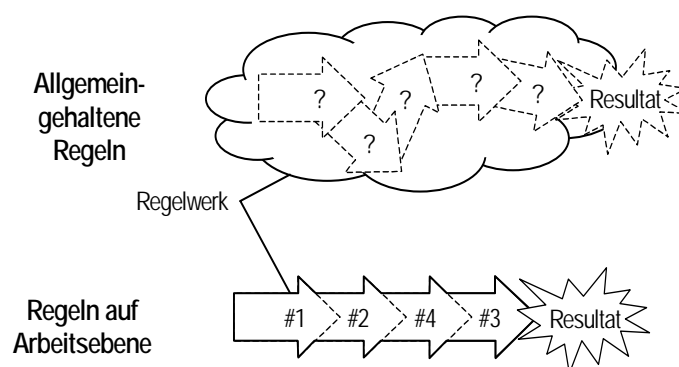


Abbildung 4.6: Logischer Interpretationsspielraum in Regelwerken

Die weiteren zwei Anforderungen ergeben sich aus der Vorgabe, innerhalb von Wertschöpfungspartnerschaften die einzelnen Parteien zu einem Befolgen und Einhalten der Regeln zu bringen. Hierzu werden zwei Wirkungsmechanismen eingesetzt. Anforderung Nr. (3) versucht auf dem Wege der geringen Mehrarbeit den Einzelnen zu einem kooperativen Verhalten zu führen. Der Regelbefolgende erkennt im besten Fall in der Anwendung des Regelsatzes seinen direkten Nutzen in Form eines effizienten und effektiven Ressourceneinsatzes und unterwirft sich aus diesen ökonomischen Überle-

<sup>33</sup> Vgl. Epstein (1995), S. XIII; Lissack/Roos (1999), S. 32-35.

gungen den vorgegebenen Handlungsschritten.<sup>34</sup> Anforderung Nr. (4) ist ebenfalls für die Absicherung einer Einhaltung der Regeln gedacht. Erstens erleichtert die geforderte Bewertbarkeit oder Messbarkeit einer Regel dem Regelbefolgenden eine massive Reduktion der Regelfehlinterpretation, indem das Ergebnis der Regelbefolgung mit dem vorgegebenen Satz von Kriterien verglichen werden kann. Zweitens wird es einer übergeordneten Einheit möglich, die Befolgung der Regel im Nachhinein zu prüfen und bei Nichtbeachtung zu sanktionieren. Die Bewertbarkeit ist dabei eine schwächere Ausprägung der Kontrolle, bei der auch qualitative Kriterien zur Regeldefinition herangezogen werden können. Im Gegenzug ist die Messbarkeit eine wesentlich stärkere Form der Überprüfung. Quantitative Kriterien ermöglichen hier eine objektive Beantwortung der Frage, ob Regeln eingehalten wurden oder nicht. Durch den Wegfall des Interpretationsspielraumes ist die Messbarkeit mit ihren quantitativen Größen den eher subjektiv ausgeprägten qualitativen Kriterien einer Bewertbarkeit vorzuziehen.

---

<sup>34</sup> Vgl. March (1994), S. 65f. Bezüglich des mikroökonomischen Konstruktes des „homo oeconomicus“ und dessen permanente Nutzenmaximierung vgl. Homann/Blome-Drees (1992), S. 92ff.; Varian (1991), S. 576ff.

### 4.3 Konstruktiver Entwurf der Simplifizierungsregeln

Bestehende Regelwerke zur Simplifizierung können die aufgestellten Anforderungen an ein praxistaugliches Regelwerk nicht erfüllen (siehe Kapitel 4.3.1). Der hierdurch notwendige konstruktive Entwurf ergibt einen Satz von vier Regeln, welche den Regelbefolger zu einer Simplifizierung in der Produktspezifikation führen sollen (siehe Kapitel 4.3.2). Mit Hilfe einer geeigneten Informationstechnologie kann die Implementierung der Regeln in den Unternehmen unterstützt werden (siehe Kapitel 4.3.3).

#### 4.3.1 Bewertung bestehender Regelwerke

Ein erfolgversprechender konstruktiver Entwurf von Simplifizierungsregeln besteht in der Übernahme eines bereits in die Wissenslandschaft oder Unternehmenspraxis eingeführten Regelwerks. Es verbleibt die Aufgabe, ein Set von Regeln zu finden, welche den Regelbefolgenden zu einer Simplifizierung in der Produktspezifikation führt und dabei den in Kapitel 4.2.2 angeführten Anforderungen entspricht. Hierbei spielt es keine Rolle, ob der Regelsatz speziell für den Umgang mit der Produktspezifikation aufgestellt wurde oder bei der originären Erstellung der Regeln auf ein gänzlich anderes Einsatzgebiet abgezielt wurde. Wie Erkenntnisse aus der Komplexitätswissenschaft zeigen, können Regeln und Gesetze für das Verhalten komplexer Systeme ihre Gültigkeit durchaus interdisziplinär finden.<sup>35</sup> Der Transfer eines Regelsatzes von einem fremden Anwendungsgebiet hin zu einer Simplifizierung in der Produktspezifikation kann je nach Einzelfall erfolgreich sein.<sup>36</sup> Wichtig ist bei dieser Transformation, die grundlegende Natur der neuen Anwendung nicht unreflektiert zu lassen und im Bedarfsfall Anpassungen zuzulassen.

---

<sup>35</sup> Vgl. Horgan (1995), S. 74; Lissack (1999), S. 112f.; Dent (1999a), S. 5.

<sup>36</sup> Vgl. Cilliers (2000), S. 28.

Im Folgenden werden fünf verschiedene Regelsätze komprimiert vorgestellt und hinsichtlich der Erfüllung der zuvor aufgestellten Anforderungen überprüft (siehe Abbildung 4.7).<sup>37</sup> Bei diesen fünf Regelsätzen handelt es sich nicht um eine Aufstellung von bestehenden Regelsätzen über den Umgang mit komplexen Systemen. Aus einer Auswahl von identifizierten Ansätzen wurden nur die Regelwerke ausgewählt, welche über ein Potential der regelbasierten Anleitung zur Simplifizierung in der Produktspezifikation verfügen.

---

<sup>37</sup> Auf eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Regeln wird im Folgenden verzichtet. Im Rahmen dieser Arbeit ist lediglich die Erfüllung der aufgestellten Anforderungen an einen praxisgerechten Regelsatz von Interesse.

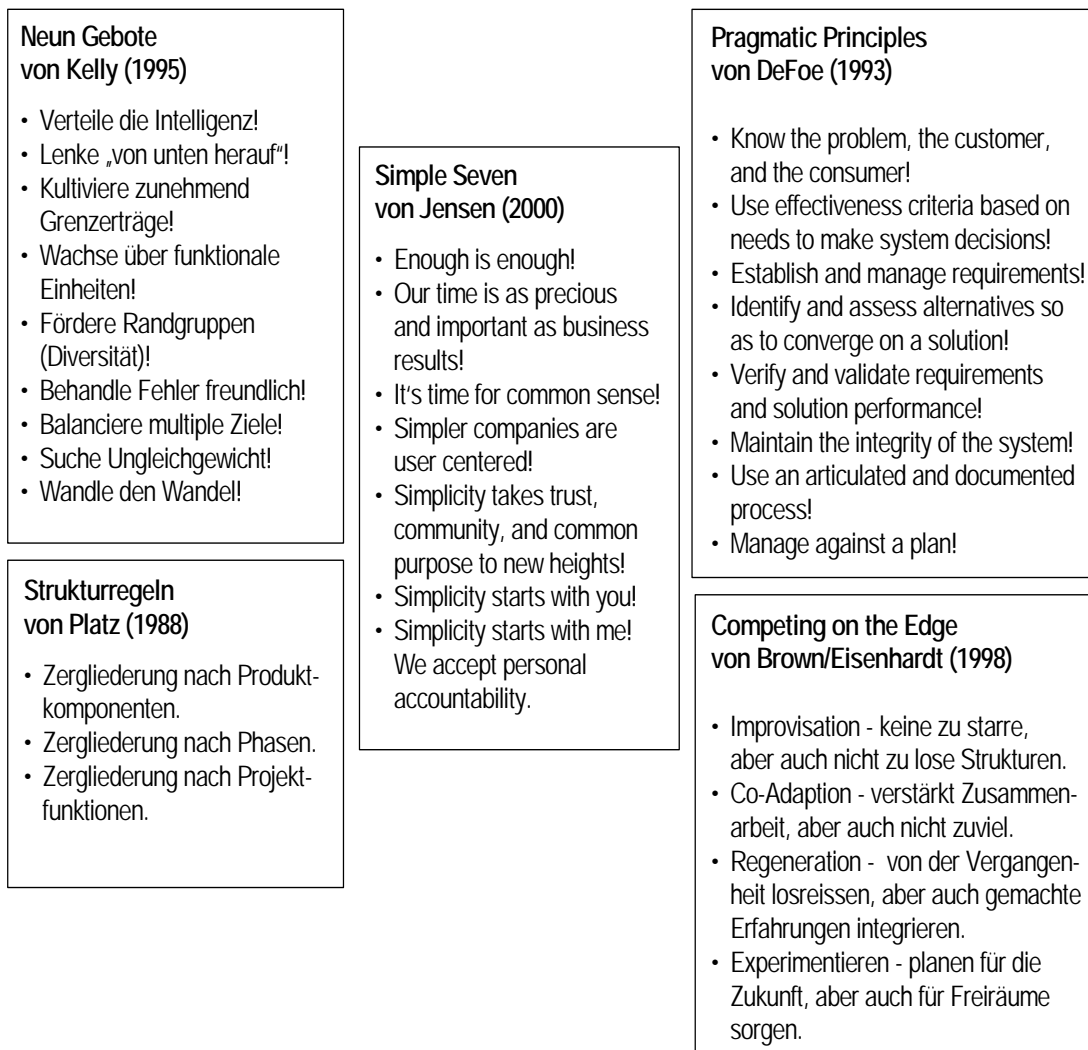


Abbildung 4.7: Bestehende Regelwerke zum Umgang mit komplexen Systemen

Einen ersten potentiellen Regelsatz stellen Kellys Gesetzeshypothesen zur Gestaltung und Entwicklung komplexer adaptiver Systeme dar.<sup>38</sup> Als solches kann auch die Produktspezifikationserstellung angesehen werden, wenn die einzelnen Spezifikationsersteller als miteinander interagierende Komponenten innerhalb eines permanenten evolutionären Prozesses aufgefasst werden.<sup>39</sup> Grundlegend für die von Kelly formulierten Leitlinien steht die Überlegung, dass die traditionelle mechanistische Vorgehens-

<sup>38</sup> Vgl. Kelly (1995), S. 468ff.

<sup>39</sup> Zur Interpretation von sozialen Systemen in Wirtschaftsunternehmen als komplexe adaptive Systeme vgl. McKergow (1996), S. 722; Griffin u.a. (1998), S. 318ff.; Lissack (1997), S. 206.

weise bei der Konstruktion von technischen und sozialen Systemen bei der heutigen Komplexität ihre Grenzen erreicht hat. Um im Vergleich zu heute leistungsfähiger im Umgang mit komplexen Systemen zu werden, ist es notwendig, bei der Gestaltung dieser Systeme sich zunehmend von Prinzipien komplexer biologischer Systeme leiten zu lassen. Diese Prinzipien, beispielsweise die Evolutions- und Adaptionfähigkeit oder eine Robustheit gegenüber äußeren Störungen, sind die Basisinhalte der sogenannten „Neun Gebote“ (siehe Abbildung 4.8).<sup>40</sup>

„Neun Gebote“ von Kelly (1994)	Beitrag zur Simplifizierung	Definition auf Mikroebene	Definition auf Arbeitsebene	Zugang zur Routine	Kontrollier-/ Messbarkeit
• Verteile die Intelligenz!	-	+	-	-	-
• Lenke „von unten herauf“!	-	+	-	-	-
• Kultiviere zunehmend Grenzerträge!	+	+	-	-	-
• Wachse über funktionale Einheiten!	+	+	-	-	-
• Fördere Randgruppen (Diversität)!	+	+	-	-	-
• Behandle Fehler freundlich!	-	+	-	-	-
• Balanciere multiple Ziele!	+	0	-	-	-
• Suche Ungleichgewicht!	+	+	-	-	-
• Wandle den Wandel!	-	+	-	-	-

Anforderung erfüllt: + , zum Teil erfüllt: 0 , nicht erfüllt: -

Abbildung 4.8: Bewertung der „Neun Gebote“ von Kelly

Bewertet man die „Neun Gebote“ hinsichtlich ihrer Möglichkeit zur Transformation in die Produktspezifikationserstellung, so wird deutlich, dass wichtige Anforderungen in Bezug auf einen für die Unternehmenspraxis tauglichen Regelsatz nicht erfüllt werden (siehe Abbildung 4.8). Verantwortlich ist hierfür der weite logische Spielraum, welcher bei der Regelerstellung offengelassen wurde. Es wird deutlich, dass die Gesetzhypothesen von Kelly zur komprimierten Darstellung des Umgangs mit komplexen Systemen zu verstehen sind. Zentrale Aussagen zur Organisation komplexer anpassungsfähiger Systeme werden durch die Regeln zusammengefasst. An eine direkte Anwendung in

<sup>40</sup> Vgl. Kelly (1995), S. 471.

der Unternehmenspraxis wurde nicht abgezielt, vielmehr stand die Anregung zur Reflektion heutiger Vorgehensweisen im Vordergrund.<sup>41</sup>

Einen weiteren Regelsatz zur potentiellen Verwendung als Simplifizierungsregeln stellen die von Jensen aufgestellten „Simple Seven“ dar.<sup>42</sup> Diese Regeln wurden definiert unter der Annahme, dass eine Simplifizierung in der Ausführung der beruflichen Tätigkeit zu mehr Erfolg führt. Die Arbeitskraft wird in diesem Fall mehr denjenigen Aufgaben gewidmet, welche wirklich wichtig für die Erzielung von Arbeitsergebnissen sind. Währenddessen wird weniger Arbeitszeit mit Tätigkeiten verbracht, welche sich als sekundär oder „von untergeordneter Bedeutung“ erweisen. Die Simplifizierung stellt dabei eine revolutionäre Umstellung heutiger Vorgehensweisen dar.<sup>43</sup> Die Art und Weise, wie mit der Zeit und der Aufmerksamkeit von anderen als auch der eigenen Person umgegangen wird, muss sich im Vergleich zu heute grundlegend ändern. Um einen ersten Anhaltspunkt für die Veränderung heutiger Vorgehensweisen zu geben, wurden die „Simple Seven“ aufgestellt. Handelt es sich um eine in der Unternehmenspraxis regelmäßig auszuführende Arbeitstätigkeit, ist dieses Regelwerk grundsätzlich auch auf die Produktspezifikationserstellung übertragbar.<sup>44</sup>

---

<sup>41</sup> Vgl. Rivkin (1999), S. 179f.

<sup>42</sup> Vgl. Jensen (2000b), S. 1.

<sup>43</sup> Vgl. Jensen (2000a), S. 19ff.

<sup>44</sup> Vgl. Reinertsen (1998), S. 165; Ulrich/Eppinger (2000), S. 80ff.

„Simple Seven“ von Jensen (2000)	Beitrag zur Simplifizierung	Definition auf Mikroebene	Definition auf Arbeitsebene	Zugang zur Routine	Kontrollier-/ Messbarkeit
• Enough is enough!	+	+	-	-	-
• Our time is as precious and important as business results!	+	-	-	-	-
• It's time for common sense!	-	-	-	-	-
• Simpler companies are user centered!	0	-	-	-	-
• Simplicity takes trust, community, and common purpose to new heights!	+	-	-	-	-
• Simplicity starts with you!	+	+	-	-	-
• Simplicity starts with me! We accept personal accountability.	+	+	-	-	-

Anforderung erfüllt: + , zum Teil erfüllt: 0 , nicht erfüllt: -

Abbildung 4.9: Bewertung der „Simple Seven“ von Jensen

Die Transformation von Jensens Regelwerk in einen Regelsatz zur Simplifizierung in der Produktspezifikation wird wie im Falle von Kellys Gesetzshypothesen durch den weiten logischen Spielraum verhindert, welcher bei der Definition der Regeln offengelassen wurde (siehe Abbildung 4.9). Wenn auch sechs der sieben Regeln auf eine Simplifizierung abzielen, sind konkrete Handlungsanleitungen nicht direkt ableitbar. Durch den Regelsatz wird lediglich die Notwendigkeit zur Simplifizierung dargestellt, bezüglich einer expliziten Umsetzung im Falle der Spezifikationserstellung können keine Hinweise entnommen werden.

Ein dritter Regelsatz, welcher den Simplifizierungsansatz zumindest implizit beinhaltet, stellen die „Pragmatic Principles“ von DeFoe dar.<sup>45</sup> Hier wurde versucht, die grundsätzliche Vorgehensweise eines praktizierten System-Engineerings in acht Regeln zusammenzufassen. Ausgangspunkt stellt dabei ein interdisziplinärer Ansatz dar, innerhalb dessen ein integriertes und ausgeglichenes Produkt- und Prozessdesign entwickelt und

<sup>45</sup> Vgl. DeFoe (1993), S. 2ff.

verifiziert wird.<sup>46</sup> Oberstes Ziel ist dabei, Kundenanforderungen zu erfüllen und dem Management Informationen als Entscheidungsbasis zu liefern. Der Regelsatz „Pragmatic Principles“ von DeFoe ist nicht als streng zu befolgendes Regelwerk zu verstehen, sondern vielmehr als Ratschlag zu bewerten. Die Regeln fungieren eher als eine Möglichkeit, bei Produktentwicklungen ohne einen explizit definierten System-Engineering-Prozess die Erkenntnisse zur gesamtheitlichen Definition und Durchführung von Entwicklungsprozessen einzubringen.

„Pragmatic Principles“ von DeFoe (1993)	Beitrag zur Simplifizierung	Definition auf Mikroebene	Definition auf Arbeitsebene	Zugang zur Routine	Kontrollier-/ Messbarkeit
• Know the problem, the customer, and the consumer!	-	+	-	-	-
• Use effectiveness criteria based on needs to make system decision!	+	+	0	-	0
• Establish and manage requirements!	-	0	-	-	0
• Identify and assess alternatives so as to converge on a solution!	0	+	0	-	0
• Verify and validate requirements and solution performance!	-	+	0	-	0
• Maintain the integrity of the system!	0	-	-	-	-
• Use an articulated and documented process!	-	-	-	-	0
• Manage against the plan!	-	0	-	-	-

Anforderung erfüllt: + , zum Teil erfüllt: 0 , nicht erfüllt: -

Abbildung 4.10: Bewertung der „Pragmatic Principles“ von DeFoe

Wie bereits durch DeFoe hingewiesen wird, sind die „Pragmatic Principles“ nicht als ein konkret zu befolgender Regelsatz zu verstehen.<sup>47</sup> Direkte Handlungsableitungen werden nur in den wenigsten Fällen vorgegeben. Auch diese Regeln sind somit als eine Zusammenfassung grundsätzlicher Vorgehensweisen zu verstehen, welche innerhalb eines System-Engineerings verfolgt werden. Hinzu kommt, dass ein Bezug zur Simpli-

<sup>46</sup> Vgl. DeFoe (1993), S. 1.

<sup>47</sup> Vgl. DeFoe (1993), S. 2.

fizierung nicht eindeutig zu erkennen ist. Die Transformation in eine Regelsystematik zur Simplifizierung in der Produktspezifikation ist aus diesem Grund nicht erfolgversprechend.

Ein vierter Regelsatz, welcher zur Simplifizierung bei der Produktspezifikationserstellung herangezogen werden kann, stellen die Projektstrukturregeln von Platz dar.<sup>48</sup> Diese entstammen einer Produkt- und Projektstrukturierung innerhalb eines Projektmanagements. Ausgangspunkt für die Strukturierung bilden die Kundenanforderungen an ein Produkt. Diese bestimmen die Komponenten eines Produktes (Produktstruktur) sowie in einem nächsten Schritt den Projektstrukturplan und das vollständige Arbeitsvolumen des Projektes.<sup>49</sup> Die Aufgabe der aufgestellten Strukturregeln ist es nun, die vollständige Projektplanung abzusichern und dadurch Termin- und Kostenüberschreitungen auf Grund in der Planungsphase vergessener oder nicht berücksichtigter Arbeitspakete zu vermeiden.<sup>50</sup> Hierzu wird je nach Ziel- und Praktikabilitäts Gesichtspunkten auf den einzelnen Ebenen des Projektstrukturplanes eine von drei verschiedenen Strukturregeln angewandt. Die Zergliederung nach Produktkomponente, Projektphase oder Projektfunktion steht zur Verfügung, um eine vollständige und überdeckungsfreie Strukturierung abzusichern. Diese Strukturregeln von Platz könnten nun, wenn auch leicht überarbeitet, auf die Spezifikationserstellung übertragen werden. Die Simplifizierung kann bei der Erstellung der Produktspezifikation als Strukturierung gedeutet werden.

---

<sup>48</sup> Vgl. Platz (1988), S. 20.

<sup>49</sup> Vgl. Platz (1988), S. 9.

<sup>50</sup> Vgl. Platz (1988), S. 10.

„Strukturregeln“ von Platz (1988)	Beitrag zur Simplifizierung	Definition auf Mikroebene	Definition auf Arbeitsebene	Zugang zur Routine	Kontrollier-/Messbarkeit
• Zergliederung nach Produktkomponenten!	0	+	+	+	0
• Zergliederung nach Projektphasen!	0	+	+	+	0
• Zergliederung nach Projektfunktionen!	0	+	+	+	0

Anforderung erfüllt: + , zum Teil erfüllt: 0 , nicht erfüllt: -

Abbildung 4.11: Bewertung der „Strukturregeln“ von Platz

Bei den „Strukturregeln“ handelt es sich um einen Regelsatz, welcher konkrete Strukturierungsalternativen auf unterschiedlichen Systemebenen vorgibt. Der Anforderung an eine Definition auf Arbeitsebene als auch der schrittweisen Anleitung des Einzelnen kann somit entsprochen werden. Für die Transformation in einen Satz von Simplifizierungsregeln sind die „Strukturregeln“ jedoch von geringem Nutzen. Das alleinige Vorgeben von Kategorien zur Strukturbildung hat nicht notwendigerweise eine Simplifizierung zur Folge, wie sie in Kapitel 3.1.3 gefordert wurde.

Als fünfter und letzter potentieller Regelsatz ist die Arbeit „Competing on the Edge“ von Brown/Eisenhardt zu erwähnen.<sup>51</sup> Hier wurde versucht, die Forschungsfrage zu beantworten: „How does one manage in a fast-paced industry?“<sup>52</sup> Hierbei wurden fünf Managementdilemmas identifiziert, welche jeweils aus zwei Extrempositionen bestehen. Aufgabe des Managements ist es nun, zwischen den beiden äußersten Grenzen eine möglichst ausgeglichene Position zu finden. Als Dilemma stehen dabei lose Strukturen einer zu starren Anordnung gegenüber, übermäßig starke Zusammenarbeit steht der Vermeidung von Kollaboration gegenüber, eine Integration von in der Vergangenheit gemachten Erfahrungen konkurriert mit einem Losreißen vom bisherigen Verständnis, sowie die detaillierte langfristige Planung steht einem gegensätzlichen Freihalten von

<sup>51</sup> Vgl. Brown/Eisenhardt (1998), S. 22.

<sup>52</sup> Forgues (1999), S. 89.

Handlungsspielräumen gegenüber.<sup>53</sup> Unter der Einbeziehung von einzelnen Komplexitätstheorie-Konzepten, wie es das komplexe adaptive Verhalten von Systemen, die Chaostheorie und die Nichtgleichgewichts-Thermodynamik darstellen, können nun fünf Regeln aufgestellt werden, welche das Verhalten innerhalb des Dilemmas beschreiben können (siehe Abbildung 4.12). Da einer Spezifikationserstellung ebenfalls die zuvor aufgeführten Management-Dilemmas unterstellt werden können, ist ein Transfer des Regelwerks grundsätzlich denkbar.

„Competing on the Edge“ von Brown/Eisenhardt (1998)	Beitrag zur Simplifizierung	Definition auf Mikroebene	Definition auf Arbeitsebene	Zugang zur Routine	Kontrollier-/ Messbarkeit
• Improvisation - keine zu starren, aber auch nicht zu lose Strukturen!	0	-	-	-	-
• Co-Adaption - verstärkt Zusammenarbeit, aber auch nicht zuviel!	-	+	-	-	-
• Regeneration - von der Vergangenheit losreißen, aber auch gemachte Erfahrungen integrieren!	-	+	-	-	-
• Experimentieren - planen für die Zukunft, aber auch für Freiräume sorgen!	0	-	-	-	-

Anforderung erfüllt: + , zum Teil erfüllt: 0 , nicht erfüllt: -

Abbildung 4.12: Bewertung der „Competing on the Edge“-Regeln von Brown/Eisenhardt

Der Regelsatz von Brown/Eisenhardt kann ebenso wie die davor vorgestellten Regelwerke nur ungenügend den Anforderungen an einen praxisgerechten Regelsatz zur Simplifizierung entsprechen (siehe Abbildung 4.12). Sowohl der Beitrag zu einer Simplifizierung als auch die Forderung nach einer Formulierung auf einer unmittelbar ausführbaren Arbeitsebene sind innerhalb des Regelsatzes nur ungenügend berücksichtigt. Die Lösungswege zu einem Umgang mit den Managementdilemmas sind nur schemenhaft beschrieben. Direkte Handlungsanweisungen in Bezug auf eine Simplifizierung in

<sup>53</sup> Vgl. Brown/Eisenhardt (1998), S. 25ff.

der Produktspezifikationen sind nicht zu erkennen. Der in den Regeln enthaltene logische Spielraum für den Einzelnen ist so umfassend ausgelegt, dass sich die unterschiedlichsten Ansätze ableiten lassen und eine grundsätzliche Simplifizierung bei Einhaltung des Regelsatzes nicht gewährleistet ist.

### 4.3.2 Ableitung und Formulierung der Simplifizierungsregeln

Wie das vorherige Kapitel gezeigt hat, konnte sowohl in der Forschungslandschaft als auch in der Unternehmenspraxis kein geeignetes Regelwerk identifiziert werden, welches für die Simplifizierung in der Produktspezifikation herangezogen werden könnte. Eine Auslegung der Simplifizierungsregeln muss aus diesem Grund selbst ausgearbeitet werden. Dieses Regelwerk stellt dann einen konstruktiv entworfenen Regelsatz dar, welcher in der späteren Unternehmenspraxis einer evolutionären Weiterentwicklung unterworfen werden muss. Änderungen sind nicht zwangsläufig zu erwarten, jedoch auch nicht auszuschließen.

Die Aufgabe der Simplifizierungsregeln soll es sein, den Entwickler Schritt für Schritt zu einer simplifizierten Beschreibung des technischen Systems zu leiten. Als Ergebnis der Regelbefolgung sollen Simplifizierungsebenen mit unterschiedlichen Detaillierungstiefen gebildet werden, wie dies bereits in Kapitel 3.1.3 ausgeführt wurde. Um dies zu erreichen, werden im Folgenden vier Regeln aufgestellt, welche bei der Produktspezifikation eingehalten werden sollten. Die Anzahl der Regeln wird auf ein Minimum beschränkt, um den Regelbefolgenden in der betrieblichen Praxis nicht mit einer Vielzahl von Handlungsanweisungen zu verwirren.<sup>54</sup> Abbildung 4.13 gibt einen Überblick über eine erste Regelauslegung und die damit verbundene Zielsetzung. Zur Visualisierung der einzelnen Zielsetzungen wurde als Metapher erneut das betriebliche Kennzahlensystem aus Kapitel 3.1.3 verwendet. Durch eine Gegenüberstellung von Sollzu-

---

<sup>54</sup> Vgl. Epstein (1995), S. 21; Lissack/Roos (1999), S. 32-35; Sobek II u.a. (1998), S. 74.

stand und „Worst-Case“-Annahme soll verdeutlicht werden, welche Auswirkungen ein Nichtbeachten der Regeln zur Folge hätte.

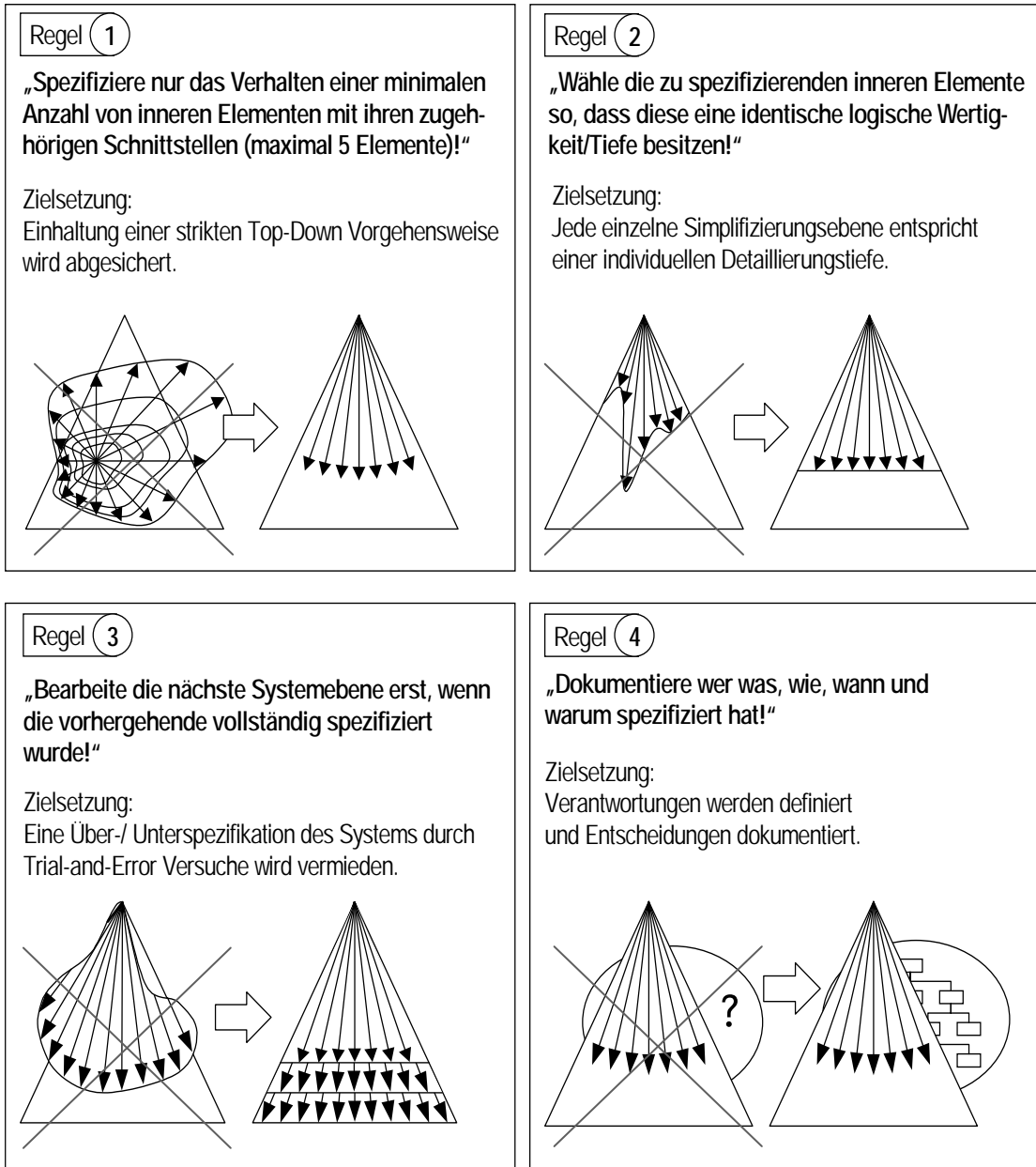


Abbildung 4.13: Konstruktiver Entwurf der Simplifizierungsregeln

Innerhalb des aufgezeigten Regelwerks ist Regel 1 für eine grundsätzliche Einhaltung der Simplifizierung vorgesehen. Durch eine Begrenzung der maximalen Elementenanzahl soll der Entwickler dazu gebracht werden, eine komprimierte Darstellungsform

zu erarbeiten. In Anlehnung an die Regel „Magic Number Seven, Plus Or Minus Two“ wird die maximal erlaubte Anzahl der zu beschreibenden Elemente auf die Zahl „Fünf“ festgelegt.<sup>55</sup> Dies ist die geringste Anzahl an Elementen, welche von einem Menschen gleichzeitig zu einem System in seinem Bewusstsein in Zusammenhang gebracht werden kann. Wenn durch die Regel 1 auch nicht sichergestellt wird, dass es sich um die einfachste Beschreibungsmöglichkeit handelt, so kann zumindest die Erstellung von einzelnen Simplifizierungsebenen erwirkt werden. Durch die begrenzte Auswahl der zu beschreibenden Elemente wird der Entwickler dazu gebracht, die Beschreibung des Produktes innerhalb eines Top-down Ansatzes immer detaillierter auszuführen. Die einzelnen beschriebenen Elemente bilden zugleich die Spezifikationsstruktur. In den nächsttieferen Detaillierungsebenen werden die zuvor ausgewählten Elemente unter erneutem Befolgen der Regel 1 weiter detailliert.

Ein weiteres zu verfolgendes Ziel ist das Ausschließen von expertenspezifischen Detaillierungspräferenzen und Voreingenommenheiten. So ist es denkbar, dass bei der Auswahl der innerhalb einer Simplifizierungsebene zu definierenden Elemente mit einem Teil der ausgewählten Elemente bereits stark ins Detail gegangen wird, während die anderen Elemente auf einer geringen Detaillierungstiefe verweilen. Dies soll mit Regel 2 vermieden werden, indem bei der Beschreibung der einzelnen Simplifizierungsebenen eine jeweils konstante Detaillierungstiefe gefordert wird. Die einzelnen ausgewählten Elemente einer Simplifizierungsebene müssen die identische logische Tiefe besitzen. Erst dann kann gesichert werden, dass die einzelnen Ebenen innerhalb des Top-down Ansatzes eine logische Kette bilden, welche gleichmäßig vom Allgemeinen zum Detaillierten übergehen. Bildlich gesprochen stellt jede Detaillierungsebene bei Einhaltung von Regel 2 eine nahezu gleichförmige Oberfläche dar, welche tiefere Details umspannt. Diese Details sind implizit in die Oberfläche eingearbeitet worden, werden jedoch nicht als solche schriftlich oder modellierend festgelegt.

---

<sup>55</sup> Vgl. Miller (1956), S. 92.

Regel 3 spiegelt die Notwendigkeit wider, die Detaillierungstiefe einzelner Simplifizierungsebenen im Erstellungsablauf strikt einzuhalten und nicht zwischen den einzelnen Ebenen zu springen, wenn diese noch unvollständig sind. Ziel ist es, eine Vermeidung von Über- oder Unterspezifikation durch „Trial-and-Error“-Versuche zu erreichen. Erst wenn alle Zusammenhänge auf einer Simplifizierungsebene ausgearbeitet und die Spezifikationen definiert und „eingefroren“ sind, sollen weitere Details angegangen werden. Andernfalls kann es vorkommen, dass neue Erkenntnisse auf den höhergelegenen Simplifizierungsebenen auch zu Änderungen in den tiefergelegenen Ebenen führen. Daraus resultiert entweder Mehrarbeit, oder im schwerwiegenderen Fall das Übergehen und Nichtberücksichtigen der Änderungen in den tiefergehenden Details. Außerdem kann durch die Forderung nach der vollständigen Ausarbeitung einer Simplifizierungsebene die Handlungsfreiheit für eine nachgelagerte Spezifikationserstellung systematisch offen gehalten werden. „Free-for-Design“-Bereiche werden für spätere Entwicklungsschritte gesichert, indem lediglich bis zu einer gewissen Detaillierungstiefe spezifiziert wird. Zum Beispiel können innerhalb eines Kompetenzmanagements Entscheidungen auf tiefergelegenen Simplifizierungsebenen bezüglich der Designattribute an die entsprechenden Parteien weitergeleitet werden.

Abschließend berücksichtigt Regel 4 den Umstand, dass sowohl die Dokumentation der Entscheidung als auch die Dokumentation des Begründungszusammenhangs für eine ganzheitliche Produktspezifikation notwendig sind.<sup>56</sup> In einer Entscheidungsdokumentation wird unter Einbindung des Entscheidungsträgers die Spezifikationsstruktur in Übereinstimmung mit der Organisationsstruktur des Unternehmens bzw. des jeweiligen Wertschöpfungspartners gebracht. Zur Dokumentation des Begründungszusammenhangs werden die Entscheidungshintergründe bei alternativen Designmöglichkeiten dokumentiert. Dies kann beispielsweise durch einen Hinweis auf zeitlich vorgelagerte Designentscheidungen auf höher gelegenen Detaillierungsebenen erreicht werden. Zusätzlich zur horizontalen Struktur einer Produktspezifikation wird somit eine vertikale Struktur aufgezeigt, welche detaillierte Spezifikationen in unteren Simplifizierungs-

---

<sup>56</sup> Vgl. [IEEE 1220] (1998), S. 35ff.; Bahill/Dean (1999), S. 197ff.; Stevens u.a. (1998), S. 269; [QSS] (2000), S. 36; Reinertsen (2000), o.S.

ebenen mit denen der oberen Simplifizierungsebenen in direkten Zusammenhang bringt. Spezifikationen können somit innerhalb des Systems auf höher gelegene Designanforderungen zurückgeführt werden.

Diese vier Regeln sind nicht als ein im Zeitablauf unveränderliches Regelwerk anzusehen. Es handelt sich vielmehr um ein mit wissenschaftlichem Hintergrund geschaffenes Konstrukt, welches einer evolutionären Weiterentwicklung im Unternehmen ausgesetzt wird (siehe Kapitel 4.1.3). So ist es durchaus denkbar, dass innerhalb der betrieblichen Praxis einzelne Regeln umformuliert werden. Die Zielsetzungen, welche mit den einzelnen Regeln verbunden sind, bleiben jedoch über die Zeit hinweg konstant. Innerhalb des evolutionär-weiterentwickelten Regelwerks muss sichergestellt sein, dass diese Anforderungen im Gesamtentwurf berücksichtigt werden.

Bewertet man nun das entworfene Regelwerk nach den in Kapitel 4.2.2 aufgestellten Anforderungen an eine praxisgerechte Regelauslegung, so kann die folgende Bewertungsmatrix aufgestellt werden:

„Simplifizierungsregeln“ (konstruktiver Entwurf)	Beitrag zur Simplifizierung	Definition auf Mikroebene	Definition auf Arbeitsebene	Zugang zur Routine	Kontrollier-/ Messbarkeit
• Regel 1: Minimale Anzahl von inneren Elementen (max. 5)!	+	+	+	+	+
• Regel 2: Innere Elemente mit identischer logischer Tiefe!	+	+	+	+	0
• Regel 3: Vollständige Bearbeitung einer Ebene!	+	+	+	+	+
• Regel 4: Entscheidungs- und Begründungsdokumentation!	+	+	+	+	+

Anforderung erfüllt: + , zum Teil erfüllt: 0 , nicht erfüllt: -

Abbildung 4.14: Bewertung der aufgestellten Simplifizierungsregeln

Wie der Bewertungsmatrix entnommen werden kann, entspricht der entworfene Regelsatz fast vollständig den aufgestellten Anforderungen. Jede der Regeln ist auf der Mikroebene definiert, wodurch der Entwickler Schritt für Schritt zu der Erstellung von

Simplifizierungsebenen in der Produktspezifikation geführt wird. Dabei ist der logische Spielraum für die Interpretation der Regeln so eng ausgelegt, dass eine direkte Umsetzung zur Erledigung der Arbeitsaufgabe sichergestellt sein sollte. Der einzige Bereich, bei dem die Anforderung nicht vollständig erfüllt werden kann, bildet die Messbarkeit zur späteren Kontrolle der Regeleinhaltung. Bei Regel 2 steht hierfür kein quantitatives Kriterium zur Verfügung. Die Einhaltung der Regel kann lediglich durch das subjektive Kriterium der logischen Tiefe bewertet werden.

### **4.3.3 Unterstützung der Simplifizierungsregeln durch Informationstechnologie**

Mit Hilfe der Unterstützung von Informationstechnologie (IT) ist es möglich, die Effizienz und Effektivität von Entwicklungstätigkeiten zu steigern.<sup>57</sup> Die Unterstützung der Simplifizierungsregeln von Kapitel 4.3.2 durch Informationstechnologie ist in diesem Zusammenhang ebenfalls erfolgsversprechend. Ein möglichst hoher Bezug zur alltäglichen Arbeit kann geschaffen werden. Gelingt es, der jeweiligen Partei ein IT-Werkzeug zur Verfügung zu stellen, welches implizit eine Regeleinhaltung unterstützt, können unbedachte Regelverletzungen verringert werden.

Besonders die Nachvollziehbarkeit einzelner Designentscheidungen sowie das „Einfrieren“ von einzelnen Simplifizierungsebenen kann durch den Einsatz von Informationstechnologie unterstützt werden. Die in Abbildung 4.15 dargestellte primäre und sekundäre IT-Werkzeugkette ist hierzu geeignet.

---

<sup>57</sup> Vgl. Bürgel u.a. (1996), S. 250; Kempis/Ringbeck (1998), S. 142f.; Pahl/Beitz (1997), S. 679.

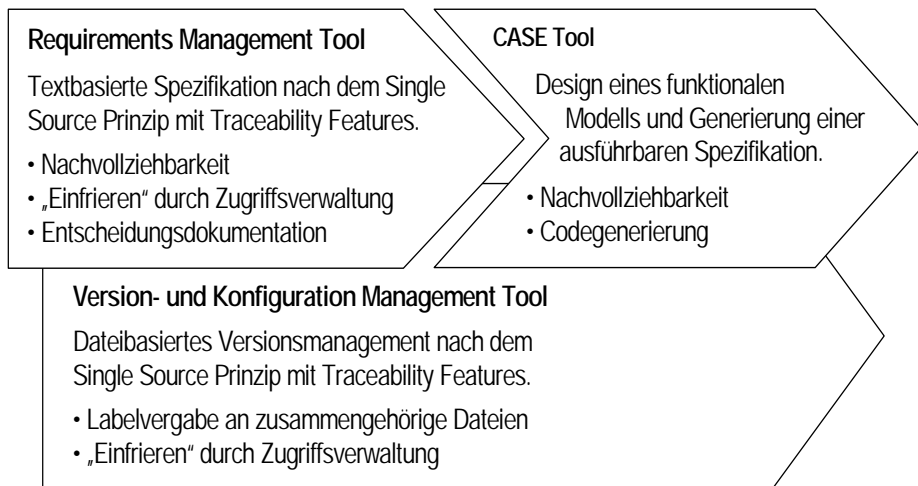


Abbildung 4.15: IT-Werkzeugkette zur Unterstützung der Simplifizierungsregeln

Zentrales Element ist das „Requirement Management (RM)“- Tool.<sup>58</sup> Dieses stellt im Allgemeinen eine objektorientierte Datenbank dar, welche unterschiedliche Bearbeiter an einem einzigen Dokument arbeiten lässt. Wertschöpfungspartner können so auf das identische Dokument zugreifen und Ergänzungen vornehmen. Dabei können Textelemente definiert, verwaltet und miteinander verknüpft werden. Der Aufbau einer Hierarchie ermöglicht es, einzelne Simplifizierungsebenen anzulegen. Die Verknüpfung von einzelnen Spezifikationen erweitert eine rein dokumentarische Bearbeitung, um verteilte Informationen miteinander in Verbindung zu bringen. Eine vertikale Struktur zwischen den Simplifizierungsebenen kann so mit geringem Aufwand erstellt werden.

Zur Funktionalität des RM-Tools gehört auch die Vergabe von Zugriffsrechten. Sollte der einen oder anderen Partei kein Einblick auf wettbewerbsrelevante Informationen gegeben werden, kann dies über die Rechtevergabe gesteuert werden. Als weitere Funktion lassen sich unterschiedliche Versionen von weiterzuverarbeitenden Dateien anlegen. In Verbindung mit der Vergabe von Zugriffsrechten können so einzelne Spezifika-

<sup>58</sup> Mögliche Software-Programme für ein „Requirement-Management“-Tool stellen DOORS (Fa. Telelogic), RTM (Fa. icConcept) oder Requisite Pro (Fa. Rational Pro) dar. Zu einem Vergleich der Funktionalitäten einzelner Anbieter vgl. [INCOSE] (2000), o.S.

tionsstände festgehalten und von einer weiteren Bearbeitung ausgeschlossen werden. Wurde eine Simplifizierungsebene fertiggestellt, kann dieses durch die Sperrung der Schreibrechte eingefroren werden.

Zur Erweiterung des zentralen RM-Tools wird es als vorteilhaft angesehen, diesem ein „Computer Aided Software Engineering (CASE)“-Tool zur Funktionsmodellierung anzukoppeln.<sup>59</sup> Eine Modellierung von Zustandsmaschinen und Regelkreisen für sowohl elektrische/elektronische als auch mechanische Komponenten lässt sich damit ausführen. Eine Schnittstelle zwischen RM- und CASE-Tool ermöglicht es, die hierarchische Struktur der textbasierten Spezifikation mit dem ebenfalls hierarchischen Aufbau einer modellbasierten Produktbeschreibung in Übereinstimmung zu bringen. Verknüpfungen zwischen textuellen Ausführungen und mathematischen Modellen können einschließlich der zugrundeliegenden Parameter ausgewiesen werden. Als einen weiteren wertvollen Beitrag zur alltäglichen Routine bieten CASE-Tools eine automatische Software-Codegenerierung an. Aufgestellte Spezifikationen können direkt in einen ausführbaren Softwarecode umgewandelt werden. Im Falle von Elektrik/Elektronik-Systemen kann eine Mehrarbeit durch eine an die Spezifikation anschließende Programmierung verhindert werden.

Neben der Verwaltung von textbasierten Informationen einer Spezifikation durch das RM-Tool ist es notwendig, weitere Dateien wie technische Zeichnungen oder auch die zuvor erwähnten mathematischen Modelle zu verwalten. Die Toolkette ist aus diesem Grund um ein Versions- und Variantenmanagement-Instrument zu vervollständigen.<sup>60</sup> Hiermit ergibt sich die Möglichkeit, unterschiedliche Versionen von Dateitypen anzulegen. Zusätzlich können zusammengehörige Dateien durch die Vergabe von einheitlichen „Labels“ gekennzeichnet werden. Dateien können somit einzelnen Simplifizierungsebenen bzw. deren inneren Elementen zugewiesen werden. Die Vergabe von

---

<sup>59</sup> Mögliche Software-Programme für ein „CASE“-Tool stellen Matlab (Fa. MathWorks), Statemate (Fa. I-Logix), MatrixX (Fa. Wind River) oder Ascet/AD (Fa. Ascet) dar.

<sup>60</sup> Mögliche Software-Programme für ein „Versions- und Variantenmanagement“-Tool stellen PVCS (Fa. Merant), RCS (Freeware) oder ClearCase (Fa. Rational) dar.

Zugriffsrechten ermöglicht es ebenso wie bei dem RM-Tool, für einzelne Usergruppen den Zugriff zu unterbinden und je nach Spezifikationsfortschritt einzelne Dateien einzufrieren.

## **5 Empirische Untersuchung: Simplifizierung in der Produktspezifikationserstellung am Beispiel eines adaptiven Lichtsystems**

Der deduktiv gewonnene Wirkungszusammenhang einer Simplifizierung in der Produktspezifikation muss einer möglichen Falsifikation zugeführt werden. Hierzu wurde eine empirische Untersuchung durchgeführt (siehe Kapitel 5.1). Auf Basis des gewonnenen Datenmaterials (siehe Kapitel 5.2) wurde eine Inhaltsanalyse durchlaufen und die Arbeitshypothesen getestet (siehe Kapitel 5.3). Wie die Interpretation des empirischen Ergebnisses ergibt, können die aufgestellten Arbeitshypothesen beibehalten werden (siehe Kapitel 5.4).

### **5.1 Untersuchungsplan**

Die empirische Untersuchung dieses Forschungsvorhabens wurde als qualitativ ausgeprägte Experimentaluntersuchung gestaltet (siehe Kapitel 5.1.1). Produktentwickler mussten dabei eine fiktive Spezifikationsaufgabe mit unterschiedlichen Regelvorgaben ausführen (siehe Kapitel 5.1.2). Das Ergebnis wurde dann mit Hilfe einer strukturierenden Inhaltsanalyse auf die Übereinstimmung mit den theoretischen Ausführungen dieser Arbeit überprüft (siehe Kapitel 5.1.3).

#### **5.1.1 Ziel der empirischen Untersuchung**

Ziel der empirischen Untersuchung ist es, die in Kapitel 3 deduktiv abgeleiteten Wirkungszusammenhänge einer Simplifizierung in der Produktspezifikation zu überprüfen. Unter dem Rückgriff auf das soziale System der Unternehmung werden die prognostizierten Wirkungszusammenhänge der Simplifizierung auf ein erhöhtes Erklärungsver-

mögen, eine erhöhte Prognosewahrscheinlichkeit und einen insgesamt positiv unterstellten Einfluss auf die Erfolgsdeterminanten in Forschung und Entwicklung („Zeit“, „Qualität“ und „Kosten“) getestet. Neben dieser wissenschaftstheoretischen Sichtweise kann die Zielsetzung der empirischen Untersuchung zudem aus dem pragmatischen Blickwinkel der Wirtschaftstechnologie definiert werden. Das Ziel der Untersuchung definiert sich dann in einem Aufzeigen der Wirksamkeit der in Kapitel 4.3.2 konstruktiv entworfenen Simplifizierungsregeln. Zu überprüfen ist bei dieser Perspektive, in welchem Ausmaß die Simplifizierungsregeln als Mittel der Einflussnahme zu einer Verbesserung der Erfolgsdeterminanten „Zeit“, „Qualität“ und „Kosten“ führen.

Das Ergebnis der empirischen Überprüfung ist zum einen für sozialwissenschaftliche Forschungsgruppen von Interesse, welche sich, zum Teil auch in betriebswirtschaftsfremden Disziplinen, mit möglichen Wirkungszusammenhängen einer Simplifizierung auseinandersetzen und das Simplifizierungsprinzip zur Erklärung von sozialwissenschaftlichen Phänomenen heranziehen.<sup>1</sup> Das empirische Untersuchungsergebnis kann entsprechend der Theorie der Forschungsprogramme<sup>2</sup> in der jeweiligen Disziplin von weiteren Forschungsarbeiten aufgegriffen und fachspezifisch untersucht werden.

Zum anderen dient die empirische Untersuchung der Überprüfung des tatsächlichen Ergebnisses einer Regelanwendung in der Unternehmenspraxis. Resultate einer Regelbefolgung lassen sich innerhalb eines sozialen Systems nicht voraussagen.<sup>3</sup> Lediglich eine Regelimplementierung innerhalb eines solchen sozialen Systems ist in der Lage, Aufschluss über die erzielten Resultate zu geben. Eine solche erste nicht erfolgte Falsifikation der Simplifizierungsregeln wird auch gefordert, möchte man zu einem späteren Zeitpunkt dem Regelsatz einen breiten Praxiszugang ermöglichen.

---

<sup>1</sup> Hierzu gehören beispielsweise kognitionspsychologische Arbeiten über das Entwurfsdenken [vgl. Hacker (1999), S. 95; Guindon (1990), S. 305ff.] oder soziodynamische Modellierungsversuche durch Makrovariablen [vgl. Weidlich (2000), S. 18].

<sup>2</sup> Vgl. Lakatos (1974), S. 129ff.

<sup>3</sup> Vgl. Hayek (1969), S. 97ff.; Vanberg (1994a), S. 42ff.; Lissack/Roos (1999), S. 37f.; Bonabeau/Meyer (2001), S. 111f.

### 5.1.2 Forschungsdesign

Das Untersuchungsdesign der empirischen Überprüfung der Wirkungszusammenhänge ist explanativ und damit hypothesenprüfend ausgelegt.<sup>4</sup> Die in Kapitel 3 deduktiv gewonnenen Arbeitshypothesen über die prognostizierte Wirkung der Anwendung einer Simplifizierung in der Produktspezifikation werden mit Hilfe der empirischen Untersuchung auf ihre Gültigkeit hin überprüft. Der Sichtweise des sogenannten kritischen Rationalismus folgend, können dadurch falsche bzw. nicht bewährte Aussagen ausgegrenzt werden.<sup>5</sup>

Als Untersuchungsart wird einer experimentellen Laboruntersuchung der Vorzug gegeben. Diese zeichnet sich durch eine weitgehende Ausschaltung oder Kontrolle möglicher Störgrößen aus.<sup>6</sup> Eine Felduntersuchung innerhalb einer vom Untersucher möglichst unbeeinflussten natürlichen Umgebung schließt sich im Falle der Produktspezifikationserstellung aus. Gründe hierfür sind eine nicht existente Untersuchungsumgebung in den Unternehmen<sup>7</sup>, extrem langfristig orientierte Wirkungsbeziehungen bezüglich der wirtschaftlichen Erfolgsdeterminanten und eine unüberschaubare Menge an Einflussgrößen, welche die Wirtschaftlichkeit von Entwicklungsprojekten bestimmen und somit keine Erklärungsansätze der Untersuchungsbefunde ermöglichen.

Die Untersuchungsdaten wurden qualitativ erhoben. Die nachfolgende Auswertung stützt sich auf die von unterschiedlichen Personen bei differierenden Regelvorgaben erstellte schriftliche Produktspezifikation. Um Rückschlüsse auf die Gültigkeit der als Unterschiedshypothesen definierten Arbeitshypothesen ziehen zu können, wurde ein

---

<sup>4</sup> Vgl. Bortz/Döring (1995), S. 51; ebenda, S. 332f.; Chmielewicz (1994), S. 151f.

<sup>5</sup> Vgl. Popper (1994), S. 54f.

<sup>6</sup> Vgl. Bortz/Döring (1995), S. 53f.; Chmielewicz (1994), S. 113; Friedrichs (1980), S. 333ff.; Schnell u.a. (1999), S. 214; Yin (1994), S. 8f.

<sup>7</sup> Eine Simplifizierung in der Produktspezifikation kann hier nicht identifiziert werden.

Mehrgruppenplan konzipiert.<sup>8</sup> Während die Kontrollgruppe darauf abzielt, eine Vergleichsbasis zu einer nicht durch Regeln restringierten Spezifikationserstellung zur Verfügung zu haben, bieten die beiden Experimentalgruppen die Möglichkeit, unterschiedliche Regelvorgaben zu berücksichtigen (siehe Abbildung 5.1). Die folgenden Gruppen wurden definiert:

- Gruppe A (Kontrollgruppe): Für die Erstellung der Produktspezifikation wird keine Restriktion durch Simplifizierungsregeln vorgegeben.
- Gruppe B (Experimentalgruppe 1): Für die Erstellung der Produktspezifikation wird eine Simplifizierungsregel vorgegeben. Diese in Kapitel 4.3.2 mit Regel 1 nummerierte Simplifizierungsregel besagt, dass „pro Beschreibungsebene eine minimale Anzahl an Elementen zu spezifizieren sind“.
- Gruppe C (Experimentalgruppe 2): Für die Erstellung der Produktspezifikation werden zwei Simplifizierungsregeln vorgegeben. Die bereits in Experimentalgruppe 2 vorgegebene Regel 1 wird ergänzt durch die Vorgabe, „die zu spezifizierenden Elemente so zu wählen, dass diese eine identische logische Tiefe besitzen“. In Kapitel 4.3.2 wurde diese Simplifizierungsregel mit Regel 2 beziffert.

Der Vergleich zwischen der Kontrollgruppe und einer der beiden Experimentalgruppen ermöglicht es dann, Aussagen über die Gültigkeit der deduktiv gewonnenen Arbeitshypothesen bezüglich der Wirkung einer Simplifizierung in der Produktspezifikation zu formulieren. Die Gegenüberstellung von Kontrollgruppe und Experimentalgruppe 1 zeigt auf, welche Auswirkungen eine grundsätzliche Beschränkung auf eine minimale Anzahl von zu beschreibenden Elementen mit sich bringt. Mit Experimentalgruppe 2 kann ein Schritt weitergegangen werden. Eine mögliche Notwendigkeit zur Wahl von Beschreibungselementen mit einer identischen logischen Tiefe pro Beschreibungsebene kann getestet werden.

---

<sup>8</sup> Vgl. Bortz/Döring (1995), S. 489ff.; Friedrichs (1980), S. 342ff.

Nicht berücksichtigt im Untersuchungsdesign werden die in Kapitel 4.3.2 konstruktiv entworfenen Simplifizierungsregeln 3 und 4. Sowohl das sequentielle Vorgehen als auch die Übereinstimmung mit der Organisationsstruktur hat bei der Experimentaluntersuchung nur geringe Bedeutung. Die Notwendigkeit eines sequentiellen Vorgehen bei der Definition der Simplifizierungsebenen besteht bei zeitlich langen Entwicklungsvorhaben mit hohem Spezifikationsumfang, wenn unterschiedliche Personen beteiligt sind und ihre Ausführungen auf eine gemeinsame Basis von Produktentscheidungen aufbauen müssen. Die Übereinstimmung mit der Organisationsstruktur wird notwendig, wenn Entscheidungen zurückverfolgt werden und Begründungen für Spezifikationsentscheidungen retrospektiv erarbeitet werden müssen. Beides trifft für den Fall der Experimentaluntersuchung nur in eingeschränktem Maße zu.

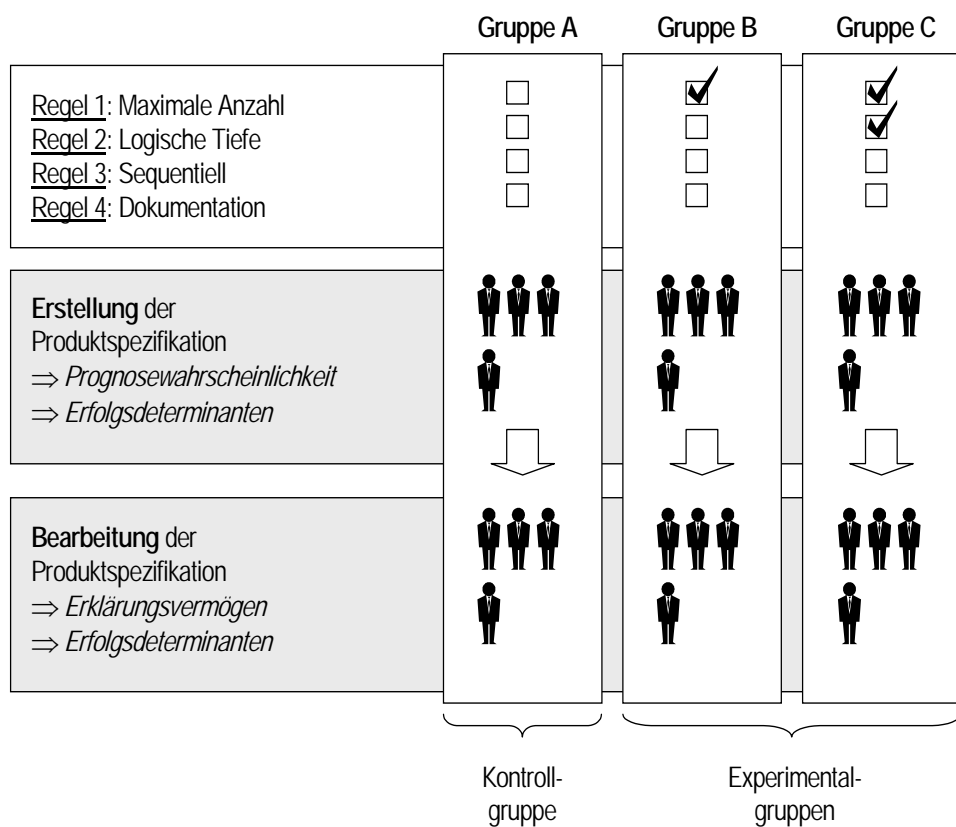


Abbildung 5.1: Mehrgruppenplan der Untersuchung

Sowohl die Kontrollgruppe als auch die beiden Experimentalgruppen setzen sich aus je 8 Probanden zusammen. Bei den insgesamt 24 Probanden handelt es sich um Entwick-

lungingenieure, welche zufallsbasiert auf die einzelnen Gruppen verteilt wurden. Eine Zuordnung der Probanden zu den Untersuchungsgruppen per Zufallsprinzip war notwendig, um personengebundene Störvariablen weitgehend zu kompensieren und eine Vergleichbarkeit der Gruppen für einen späteren Hypothesentest sicherzustellen.<sup>9</sup>

Um dem theoretischen Sachverhalt zu entsprechen, dass es sich bei der Produktspezifikation sowohl um ein vergangenheitsbezogenes Erklärungsmodell, als auch ein zukunftsbezogenes Prognosemodell handelt, wurden die Kontrollgruppe und die Experimentalgruppen in zwei gleich große Teile aufgesplittet. Die eine Hälfte wurde dazu beauftragt, unter der Vorgabe von Regeln entsprechend der jeweiligen Untersuchungsgruppe eine Produktspezifikation zu erstellen. Aussagen über die Prognosewahrscheinlichkeit lassen sich treffen. Der anderen Hälfte der Gruppe wurde eine Bearbeitung der Produktspezifikationen in Auftrag gegeben. Als Input dienten hier die Produktspezifikationen, welche vom anderen Teil der Gruppe erstellt wurden. Untersuchungsbefund ist bei diesem zweiten Teil der Untersuchungsgruppen das Erklärungsvermögen der jeweiligen Produktspezifikation.

Für die qualitative Hypothesenprüfung wird ein intersubjektiv nachvollziehbares Auswertungsverfahren ausgeführt, um der Kritik einer voreingenommenen Interpretation der Untersuchungsbefunde zu entgehen.<sup>10</sup> Dies wird häufig qualitativen Verfahren vorgeworfen, handelt es sich doch im Gegensatz zu quantitativen Methodologien um eine „freihere“ Interpretationsform. Diese „Freiheit“ ist jedoch als Chance zu verstehen, ermöglicht sie doch sowohl die Berücksichtigung von latenten Sinnstrukturen, als auch den jeweiligen Kontext der Textbestandteile, indem weniger häufig vorkommende, aber wichtige Textpassagen in den Vordergrund gestellt werden können.<sup>11</sup>

---

<sup>9</sup> Vgl. Bortz/Döring (1995), S. 489ff.; Friedrichs (1980), S. 344.

<sup>10</sup> Vgl. Bortz/Döring (1995), S. 277ff.; Aschenbach u.a. (1989), S. 33ff.; Kleining (1982), S. 345ff.

<sup>11</sup> Vgl. Mayring (1989), S. 190.

Zur Anwendung kommt eine strukturierende Inhaltsanalyse nach Mayring.<sup>12</sup> Ziel dieser Analyseform ist es, die einzelnen Aspekte einer Simplifizierung aus dem erstellten Spezifikationsmaterial herauszuarbeiten und einer Strukturierung zuzuführen. Diese Struktur wird durch ein Kategoriensystem an die Spezifikation herangetragen.<sup>13</sup> Jeder Textteil, welcher in eine der Kategorien fällt, wird aus der Spezifikation herausgefiltert und systematisch zusammengefasst.

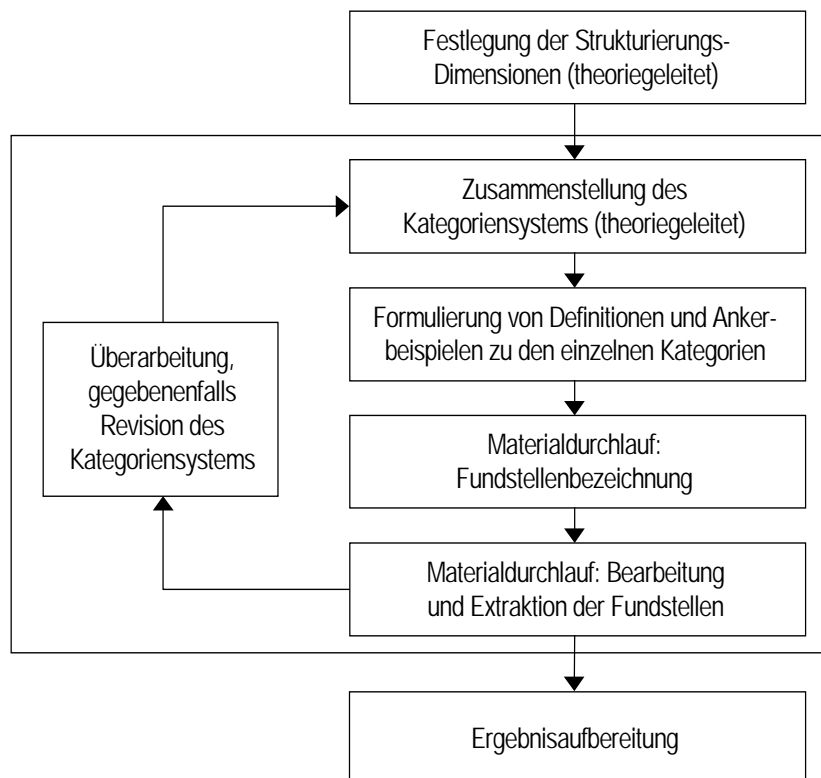


Abbildung 5.2: Strukturierende Inhaltsanalyse nach Mayring<sup>14</sup>

Der erste Schritt einer solchen strukturierenden Inhaltsanalyse besteht in der theoriegeleiteten Definition der Strukturierungsdimensionen und des Kategoriensystems.<sup>15</sup> Beide leiten sich aus der deduktiv gewonnenen Wirkungskette einer Simplifizierung ab. Aus

<sup>12</sup> Vgl. Mayring (1995), S. 76ff.

<sup>13</sup> Vgl. Friedrichs (1980), S. 316f.

<sup>14</sup> In Anlehnung an Mayring (1995), S. 78.

<sup>15</sup> Vgl. Mayring (1995), S. 77.

den Größen „Erklärungsvermögen“ und „Prognosewahrscheinlichkeit“ der Produktspezifikation sowie den drei Erfolgsdeterminanten („Zeit“, „Qualität“ und „Kosten“) bildet sich eine 2x3-Matrix, innerhalb derer die einzelnen Textstellen der Spezifikation zugeordnet werden müssen. Dieses anfänglich geschaffene Kategoriensystem ist nicht als statisch anzusehen.<sup>16</sup> Sollte es während eines ersten Materialdurchlaufs zu Widersprüchen kommen, wird eine Überarbeitung bzw. Revision des Kategoriensystems notwendig.<sup>17</sup> Solche Widersprüche können beispielsweise auftreten, wenn einzelne Kategoriefelder nicht belegt werden oder einzelne Elemente nicht eindeutig und überschneidungsfrei einer Kategorie zugeordnet werden können.

Die theoriegeleitete Definition des Kategoriensystems hat zur Folge, dass jede einzelne Kategorie mit einer Arbeitshypothese in Verbindung gebracht werden kann. Zeigt sich wie im zuvor beschriebenen Fall, dass Widersprüche zum Spezifikationsmaterial auftreten und eine Überarbeitung des Kategoriensystems notwendig wird, muss dies als eine erfolgreiche Falsifikation der in Betracht stehenden Arbeitshypothese gedeutet werden. Die in dieser Arbeit aufgestellten Begründungszusammenhänge werden somit nicht vor einer Falsifizierung abgeschirmt. Der Vorwurf eines Modell-Platonismus lässt sich entkräften.<sup>18</sup>

Die qualitative Inhaltsanalyse stellt ein höchst anspruchsvolles Auswertungsverfahren dar, welche vom Auswerter verlangt, sich in die einzelnen Aspekte der empirischen Befunde hineinzudenken und theoriegeleitete Beziehungsstrukturen aufzudecken.<sup>19</sup> Bei der Auswertung kann nicht auf ein standardisiertes mathematisches Analyseinstrumentarium zurückgegriffen werden, wie es im Fall von quantitativen Daten möglich ist. Statistische Methoden finden aufgrund der kleinen Grundgesamtheit keine Anwendung. Die Auswertung der Daten ist auf analytische Gedankenführung und logisches Schluss-

---

<sup>16</sup> Vgl. Mayring (1995), S. 77.

<sup>17</sup> Vgl. Mayring (1995), S. 77.

<sup>18</sup> Vgl. Albert (1967), S. 331ff.

<sup>19</sup> Vgl. Bortz/Döring (1995), S. 304; Mayring (1995), S. 17; Yin (1994), S. 16.

folgen beschränkt. Dies ist jedoch als Vorteil dieser empirischen Untersuchungsform zu werten. Innerhalb der Analysephase steht nicht das Einarbeiten in ein zugegebenermaßen leistungsfähiges, aber hochgezüchtetes Methodeninventar im Vordergrund<sup>20</sup>, sondern eine sensitive und situationsangemessene Explikation des Forschungsgegenstandes. Berücksichtigung findet der Kontext der einzelnen qualitativen Daten, latente Sinnstrukturen innerhalb des Datenmaterials und selten auftretende Einzelfälle, welche von zentraler Bedeutung für die Arbeit sind. Gerade in technisch-betriebswirtschaftlichen Forschungsfragen wird diese qualitative Auseinandersetzung mit den technischen Wechselwirkungen eines von einer sozialen Gruppe erstellten technischen Systems häufig ausgelassen, ist jedoch von höchster Aussagekraft.<sup>21</sup>

Wie jede wissenschaftliche Untersuchungsart muss sich auch die Inhaltsanalyse der Forderung nach eindeutig interpretierbaren und generalisierbaren Untersuchungsergebnissen unterordnen.<sup>22</sup> Dieser internen und externen Validität muss entsprochen werden, möchte man die Gültigkeit der aufgestellten empirischen Aussagen sicherstellen. Im Falle der strukturierenden Inhaltsanalyse wird eine interne Validität durch das intersubjektiv nachvollziehbare Auswertungsverfahren und dem transparenten Kategoriensystem sichergestellt.<sup>23</sup> Der externen Validität wird entsprochen, indem eine zufallsbasierte Auswahl der Grundgesamtheit an teilnehmenden Probanden vorgesehen wird. Außerdem wird bei der Auswahl der Probanden dafür gesorgt, dass es sich um typische Vertreter einer geeigneten Gruppe handelt.<sup>24</sup> Gerade bei einer im Vergleich zur quantitativen Forschung kleineren Anzahl an untersuchten Probanden, kommt diesem Kriterium bezüglich einer späteren Generalisierbarkeit der Interpretationen eine zentrale Bedeutung zu. Bei der Untersuchungsdurchführung wurde aus diesem Grund der eigentlichen

---

<sup>20</sup> Vgl. Aschenbach u.a. (1989), S. 25.

<sup>21</sup> Vgl. Eppinger (1997), S. 203.

<sup>22</sup> Vgl. Bortz/Döring (1995), S. 52f.; ebenda, S. 310ff.; Friedrichs (1980), S. 315ff.; Mayring (1995), S. 103.

<sup>23</sup> Vgl. Mayring (1989), S. 192; Mayring (1995), S. 12; ebenda, S. 76f.

<sup>24</sup> Vgl. Mayring (1989), S. 208; Mayring (1995), S. 43.

Befragung ein Pretest vorangestellt, welcher der Bestimmung der Grundgesamtheit an befragten Probanden dienen soll.<sup>25</sup>

### 5.1.3 Untersuchungsablauf und -durchführung

Die empirische Untersuchung und damit die Auswahl der Probanden wurde innerhalb der Nutzfahrzeugsparte eines deutschen Automobilherstellers durchgeführt. Der experimentelle Charakter des Untersuchungsdesigns macht die Fokussierung auf ein einzelnes Unternehmen akzeptierbar. Als Probanden standen Systementwickler von Nutzfahrzeugkomponenten mit dem Schwerpunkt Elektrik-/Elektronik zur Verfügung. Die in der Untersuchung beteiligten vierundzwanzig Probanden entsprechen dabei annähernd einem Viertel der Elektrik-/Elektronik-Entwicklungskapazität der Nutzfahrzeugsparte des betrachteten Unternehmens. Voraussetzung für die Durchführung der empirischen Untersuchung bei diesem Automobilhersteller ist die Anonymität des Datenursprungs. Diese wurde sowohl den Entscheidungsträgern einer Untersuchungsgenehmigung als auch den Probanden zugesichert.

Für die Untersuchungsdurchführung galt es zunächst, die Aufgabenstellung für die Kontroll- und die Experimentalgruppen zu definieren. Als Untersuchungsgegenstand wurde ein Modul im Automobil ausgewählt, welches für Wertschöpfungspartnerschaften einen zunehmenden Kooperationsbedarf aufweist: das Frontmodul (siehe Abbildung 5.3). Als repräsentative Aufgabenstellung für ein weites Feld von kooperativ zu entwickelnden Technologien wurde die Spezifikationserstellung zur Realisierung eines adaptiven Lichtsystems im Nutzfahrzeug formuliert.

---

<sup>25</sup> Vgl. Bortz/Döring (1995), S. 331f.; Friedrichs (1980), S. 331f.; ebenda, S. 351f.

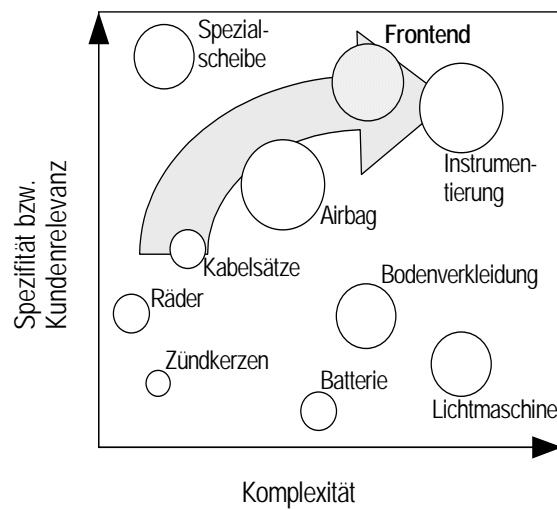


Abbildung 5.3: Zunehmender Kooperationsbedarf innerhalb von Automobilmodulen<sup>26</sup>

Bei diesem adaptiven Lichtsystem handelt es sich um ein innovatives Scheinwerfersystem, welches je nach Fahr- und Umweltsituation eine angepasste Lichtverteilung für die Fahrbahnausleuchtung bereitstellt. Insbesondere Helligkeitsverhältnisse, Straßenzustand, Verkehrssituation, Straßenart, Fahrzeuggeschwindigkeit und Beschleunigungsverhalten sollen im Rahmen der Fahrbahnausleuchtung Berücksichtigung finden. Die interdisziplinäre Zusammenfassung der Systembereiche von Mechanik, Mechatronik, Elektronik, Sensorik, Lichttechnik, Design, Erprobung und Software ist notwendig, möchte man diese Funktion im Automobil realisieren.

Die Idee eines adaptiven Lichtsystems ist nicht neu. Bereits Ende der sechziger Jahre wurde diese Funktionalität, wenn auch nur sehr rudimentär und nicht wirtschaftlich erfolgreich, im Citroen DS realisiert.<sup>27</sup> Eine wirklich innovative technologische Umsetzung wird erst heute durch den Rückgriff auf kostengünstige und leistungsfähige Elekt-

<sup>26</sup> In Anlehnung an Kaufmann (1995), S. 283.

<sup>27</sup> Vgl. [Spiegel] (2002), o.S.; [Hella] (2002), o.S.

ronik möglich.<sup>28</sup> Dabei wird ein umfassender Einsatz der Technologie in Premium-Modellen von Personenkraftwagen bis zum Jahr 2005 angedacht. Das Nutzfahrzeugsegment bleibt bei strategischen Überlegungen zur Markteinführung des adaptiven Lichtsystems in einem ersten Schritt unberücksichtigt. Der starke Kostendruck in diesem durch Wirtschaftlichkeitsabwägungen des Kunden geprägten Marktsegments erlaubt in einer solch frühen Technologiestadium keine Kundenakzeptanz. Eine Markteinführung zu einem späteren Zeitpunkt bei breiter Personenkraftwagenmarktdurchdringung ist jedoch durchaus denkbar.

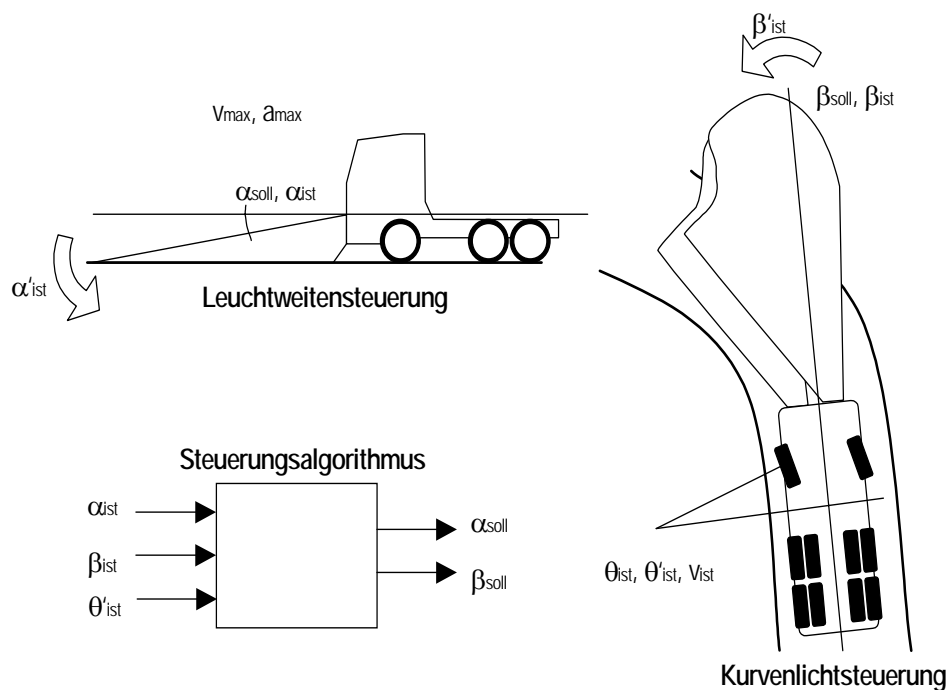


Abbildung 5.4: Grundfunktionen der adaptiven Lichtsteuerung

Abbildung 5.4 zeigt die beiden Grundfunktionen „Leuchtweitensteuerung“ und „Kurvenlichtsteuerung“, welche eine Anpassung an unterschiedliche Fahr- und Umweltszenarien ermöglichen. Von zentraler Bedeutung ist dabei der Steuerungsalgorithmus,

<sup>28</sup> Das adaptive Lichtsystem im Personenkraftfahrzeug findet zunehmend Beachtung in der Presse. Vgl. [Spiegel] (2002), o.S.; Kimberley (2002), S. 46ff.; McCann (2002), S. 18.

dessen Aufgabe es ist, die jeweilige Straßensituation auf Grund von Sensoreingangsgrößen zu erkennen und daraufhin die Aktorik der Scheinwerfer so anzusteuern, dass eine entsprechende Lichtverteilung die Sichtverhältnisse des Fahrzeuglenkers verbessern.

Neben der Repräsentativität der Aufgabenstellung besitzt das adaptive Lichtsystem als Aufgabenstellung für die empirische Untersuchung einen weiteren Vorteil: Das Vorwissen, welches für die Steuerung der Lichtverteilung notwendig ist, beschränkt sich auf ein Minimum. Die meisten Anforderungen an das System lassen sich logisch ableiten. Einzige Voraussetzung ist, dass die Probanden in der Spezifikationen eines Elektrik/Elektronik-Systems Erfahrung besitzen und persönlich die Schwierigkeiten einer Nacht- bzw. Kurvenfahrt im Automobil erlebt haben.

Auch wenn die bereitzustellenden Informationen, welche für die Lösung der Aufgabenstellung notwendig sind, gering sind, kommt der Ausformulierung der Aufgabenstellung eine bedeutende Rolle zu. Hier ist darauf zu achten, dass durch möglichst präzise Vorgaben für den einzelnen Probanden am Ende der empirischen Datengenerierung ein vergleichbares Spezifikationsresultat erzielt wird. Schließlich soll nicht der Ideenreichtum der Entwickler untersucht werden, sondern die Auswirkungen einer Regelvorgabe. Gegensätzlich zu dieser erforderlichen Präzisierung soll die Aufgabenstellung nicht in zu hohem Maße einengend wirken. Ein hinreichender Freiraum wird benötigt, damit sich unterschiedliche Resultate durch die differierende Regelrestriktionen entwickeln können. Um dieses Spannungsfeld zu bewältigen, wurde die Aufgabenstellung in Expertengesprächen<sup>29</sup> auf ihre Eignung hin bewertet und die korrigierte Fassung den Probanden vorgelegt (siehe Anhang A).

Bei der Definition der Fragen zur Bearbeitung einer Produktspezifikation wurden die gleichen Fachexperten aufgesucht. Sichergestellt werden musste hier, dass das Frageob-

---

<sup>29</sup> Hierbei handelte es sich um Fachexperten eines Automobilherstellers und einer potentiellen Zuliefererfirma, welche bereits erste Studien mit einem adaptiven Lichtsystem unternommen haben.

jekt innerhalb einer jeden Spezifikation enthalten ist. Jede Frage darf nur durch die vorliegende Spezifikation beantwortet werden. Der Proband soll darauf untersucht werden, wie er sich in der Spezifikation zurecht findet und bereits aufgestellte Produktanforderungen identifiziert, anstatt neue bisher nicht berücksichtigte Spezifikationen neu zu definieren. Ließe sich eine Frage mehrmalig nicht durch die vorliegende Spezifikation beantworten, so wäre eine beschränkte Aussagekraft zur Hypothesenprüfung die Konsequenz. Dies sollte im Vorfeld der Untersuchung durch entsprechende Fragestellungsdefinition nach Möglichkeit vermieden werden.

Die Fragen zur Bearbeitung der Produktspezifikation sollen Aussagen über die folgenden drei Metafragen hervorbringen:

- Können im Fall der Experimentalgruppen Fragen zum technischen Inhalt der Produktspezifikation auf einer höheren Detaillierungstiefe beantwortet werden?
- Liegt im Fall der durch die Experimentalgruppen erstellten Produktspezifikationen eine verbesserte Beschreibung von systemübergreifenden Zusammenhängen vor?
- Können im Fall der durch die Experimentalgruppen erstellten Produktspezifikationen allgemeine und disziplinunabhängige Systemzusammenhänge besser vermittelt werden?

Die drei Metafragen entsprechen dabei jedes dieser drei Felder des theoriegeleiteten aufgestellten Kategoriensystems zur Inhaltsanalyse. Jede dieser drei Felder soll hier eine Aussage zum Erklärungsvermögen der Produktspezifikation ermöglichen. Die detaillierte Fragestellung kann dem Anhang B entnommen werden.

Die Lösung der Aufgabenstellung bzw. die Befragung der Probanden erfolgte in einzelnen Sitzungen mit einer Dauer von maximal 3 Stunden. Diese wurden, vom jeweiligen Vorgesetzten unterstützt, während der Arbeitszeit des Probanden angesetzt, um bei

jedem Einzelnen eine Verpflichtung zur aktiven Mitarbeit zu gewährleisten<sup>30</sup> und den für Entwicklungstätigkeiten typischen Zeitdruck zu wahren. Als ergänzender Anreiz wurde jedem Teilnehmer eine Bewirtung nach Durchführung der Untersuchung in Aussicht gestellt. Der Untersuchungsleiter fungierte während den Sitzungen als Aufsichtsperson. Dies war notwendig, um zu Beginn einer Sitzung eine kompetente Einführung bezüglich der Regelinhalte und deren Interpretation geben zu können. Auch konnte durch die Anwesenheit des Untersuchungsleiters die Bedeutung der einzelnen Sitzung unterstrichen werden. Einer möglichen Kritik bezüglich der Einflussnahme durch den Untersuchungsleiter auf die Probanden wurde entgegnet, indem ein streng standardisiertes Ablaufschema eingehalten wurde, bei dem während der Lösung der Aufgabenstellung durch den Probanden keine weitere Hilfestellungen erteilt wurde. Der Untersuchungsleiter nahm hier die Rolle des Beobachters ein.

Die Untersuchungsteilnehmer wurden nach einer Vorstellung des Untersuchungsleiters auf ihre Eignung und Repräsentativität für die empirische Untersuchung abgefragt. Jeder Proband erhielt im Anschluss eine weitgehend identisch gehaltene Vorstellung der Aufgabenstellung. Handelte es sich um einen Probanden mit der Aufgabenstellung, eine Spezifikation zu erarbeiten, wurden ihm die Aufgabenblätter aus Anhang A vorgestellt. Gehörte der Proband dem zweiten Teil einer Untersuchungsgruppe an, welche die Aufgabe hatte, Fragen zu einer Spezifikation zu beantworten, wurden diesem eben diese Fragen vorgestellt. Als nächstes wurden jedem Probanden des ersten Teils der Experimentalgruppen B und C die zur Erstellung der Spezifikation zu berücksichtigten Regeln vorgestellt. Dies erfolgte unter dem Rückgriff auf ein einfaches Spezifikationsbeispiel der Beschreibung eines Erfrischungsgetränkbehälters. Bei Probanden der Kontrollgruppe A entfiel aufgrund fehlender Regelvorgabe dieser Vorgang. Den Probanden des zweiten Teils der Untersuchungsgruppe wurden die zur Beantwortung der Fragen zugrundeliegende Produktspezifikation kurz präsentiert.

---

<sup>30</sup> Vgl. Chmielewicz (1994), S. 114.

Nach dieser Vorstellung der Aufgabenstellung wurde den Probanden die Möglichkeit gegeben, Fragen über Unklarheiten zu stellen. Dabei wurden nur Fragen zugelassen, welche direkt mit den zuvor bereitgestellten Ausführungen in Verbindung zu bringen sind. Waren alle konformen Fragen beantwortet, ging es für die Probanden an die Aufgabenstellungsbearbeitung. Als Hilfsmittel war die Arbeitsumgebung des Untersuchungsteilnehmers zugelassen. Ergebnisse der Spezifikationserstellung wurden von den Untersuchungsteilnehmern handschriftlich auf vorbereiteten Formularen dokumentiert. Im Falle der Spezifikationsbearbeitung wurden die Antworten der Probanden inklusiv einer Referenz zur Produktspezifikation vom Untersuchungsleiter dokumentiert. Auf eine Verwendung der in Kapitel 4.3.3 erarbeiteten IT-Werkzeugkette wurde im Rahmen der Experimentaluntersuchung verzichtet. Wie zwei probeweise durchgeführte Untersuchungsdurchgänge zeigten, sind die Softwareprogramme aufgrund ihrer Neuigkeit für den Anwender nicht für das Experiment geeignet. Die Probanden im instrumentellen Vortest waren nicht in der Lage, sich in der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit in die Softwareprogramme einzuarbeiten und den Umgang zu lernen. Von einer Verfälschung der Spezifikationsergebnisse müsste ausgegangen werden, da in den Probendurchgängen die Anwendung der Software im Vordergrund stehen würde und nicht die Spezifikationserstellung an sich.

Abgeschlossen wurde jede Sitzung mit einer Befragung nach den in der Aufgabenstellungsbearbeitung aufgetretenen Problemen und einem Dank an den Probanden für seine Mitarbeit. Durch die sequentielle Abfolge der Befragungen war es notwendig, den Probanden am Ende einer Sitzung darauf hinzuweisen, dass er von den Inhalten der Untersuchung keine Informationen an Dritte weitergibt. Dies könnte sonst zu einer Verzerrung der Erhebung führen, da die zu einem späteren Zeitpunkt befragten Probanden von der Aufgabenstellung bereits im voraus informiert sein und sich in die Thematik eingeleasen haben könnten. Die Auswirkungen dieses Störfaktors ließe sich nur schwer abschätzen.

## **5.2 Ergebnis der Datenerhebung**

Die in einem Pretest erfassten Teilnehmermerkmale der Untersuchung entsprechen den im Untersuchungsdesign gestellten Anforderungen (siehe Kapitel 5.2.1). Die Bearbeitung der fiktiven Aufgabenstellung zur Spezifikation eines adaptiven Lichtsystems brachte umfangreiches Datenmaterial hervor, welches zur Analyse der Spezifikationsinhalte zur Verfügung steht. Zur Analyse der Spezifikationserstellung wurde von den Probanden umfangreiche Spezifikationsdokumente erstellt, während für die Untersuchung einer Spezifikationsbearbeitung Textmaterial in Form von Antworten auf vorgegebenen Fragen generiert wurden (siehe Kapitel 5.2.2 und Kapitel 5.2.3).

### **5.2.1 Ergebnis und Auswertung des Pretest**

Der durchgeführte Pretest gibt Auskunft über die Eignung der Probanden in Bezug auf die Grundgesamtheit der empirischen Untersuchung. Wie bereits in Kapitel 5.1.3 ausgeführt, sind als Untersuchungsteilnehmer Elektrik-/Elektronik-Systementwickler vorgesehen, welche operative Erfahrungen in der Produktspezifikation besitzen. Des Weiteren sollte kein größeres Vorwissen über adaptive Lichtsysteme die Herangehensweise des Entwicklers an die Thematik beeinflussen und die Probleme einer nächtlichen Kurvenfahrt den einzelnen Teilnehmer bekannt sein. Zu den folgenden sechs Merkmalen eines jeden Probanden kann im Folgenden eine Aussage gemacht werden:

- Alter des Untersuchungsteilnehmers,
- Zugehörigkeit im Unternehmen,
- Spezifikationserfahrung des Untersuchungsteilnehmers,
- akademische Grundausbildung,
- Vorwissen bezüglich adaptiver Lichtsysteme und
- Besitz des Führerscheins für Personenkraftwagen.

Während das Alter, die Betriebszugehörigkeit und die Spezifikationserfahrung eines jeden Untersuchungsteilnehmers quantitativ vorliegen, wurde die akademische Grundausbildung, das Vorwissen bezüglich eines adaptiven Lichtsystems und der Besitz eines Führerscheines qualitativ abgefragt.

Das durchschnittliche Alter der Untersuchungsteilnehmer beträgt 42 Jahre (siehe Abbildung 5.5). Die durchschnittliche Altersverteilung der Untersuchungsteilnehmer entspricht dem in Forschungs- und Entwicklungsbereichen üblichen Verteilungen. Die Hälfte des Personals ist hier zwischen 30 und 39 Jahre alt.<sup>31</sup> Einziger Unterschied zwischen Untersuchungsgruppe und branchenüblichem Gesamtdurchschnitt ist das Fehlen von Untersuchungsteilnehmern in der Altersgruppe zwischen 20 und 29 Jahren. Diese sind in der Untersuchungsgruppe durch das Vorauswahlkriterium einer mehrjährigen Berufserfahrung herausgefallen. Wie zuvor bereits erwähnt, sollen unerfahrene Entwickler von der Untersuchung ausgeschlossen werden, um Störgrößen einer geringen Spezifikationserfahrung zu vermeiden. Das vorliegende Ergebnis des Pretests zeigt, dass hiervon ausgegangen werden kann.

Das Vorauswahlkriterium einer mehrjährigen Berufserfahrung wirkt sich auch auf die durchschnittliche Betriebszugehörigkeit der Untersuchungsteilnehmer aus. Die branchenübliche Anzahl der Mitarbeiter mit einer Betriebszugehörigkeit unter 5 Jahren liegt in Forschungs- und Entwicklungsunternehmen bei 34,5%.<sup>32</sup> In der Untersuchungsgruppe liegen lediglich zwei von 30 Probanden in diesem Bereich, das entspricht gerade 6,7% (siehe Abbildung 5.5). Die durchschnittliche Betriebszugehörigkeit liegt in der Untersuchungsgruppe bei 11,1 Jahren.

---

<sup>31</sup> Vgl. Bullinger u.a. (2001), S. 27.

<sup>32</sup> Vgl. Bullinger u.a. (2001), S. 27.

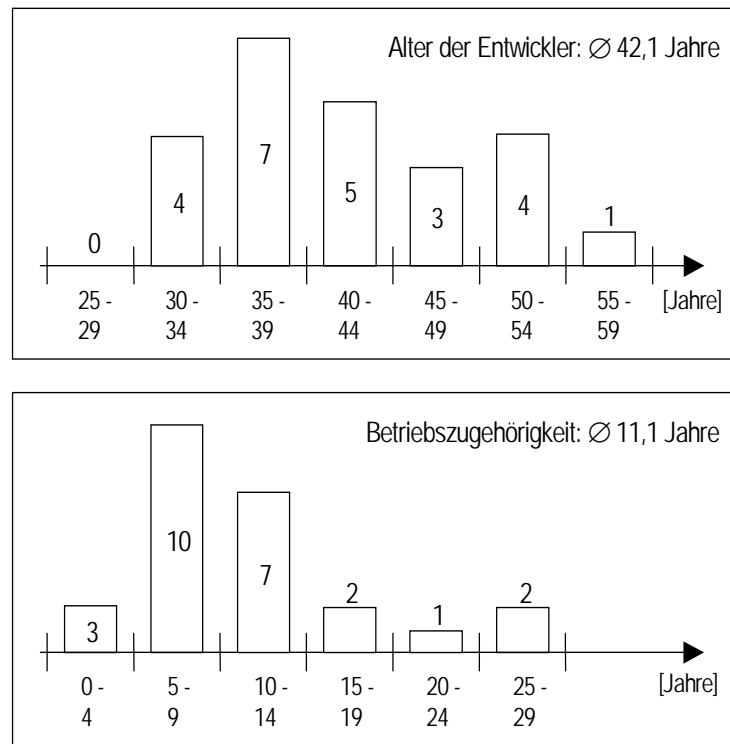


Abbildung 5.5: Verteilung von Alter und Betriebszugehörigkeit der Untersuchungsteilnehmer

Am Eindeutigsten lässt sich die Erfüllung des Auswahlkriteriums einer ausreichend großen Berufserfahrung anhand der abgefragten Entwicklungs- und Spezifikationserfahrung verdeutlichen. Diese liegt im Rahmen der Untersuchung bei 15,1 Jahren, wobei sich lediglich eine Person weniger als 5 Jahre mit der Entwicklung von Elektrik-/Elektronikkomponenten beschäftigt hat (siehe Abbildung 5.6). Dieser Proband verfügt über 4 Jahre Berufserfahrung, welches als untere Grenze für die operative Auseinandersetzung mit dem Thema Spezifikation akzeptierbar ist. Mehr als die Hälfte der Untersuchungsteilnehmer (58,3%) besitzen zwischen 10 und 20 Jahren Praxiserfahrung.

Die akademische Grundausbildung der Untersuchungsgruppe ist stark Elektrik-/Elektronik-lastig. Dies verwundert nicht, sind die Untersuchungsteilnehmer doch aus dem Forschungs- und Entwicklungsbereich von Elektrik-/Elektronik-Systemen im Nutzfahrzeug rekrutiert. Für die 2 Maschinenbauingenieure und 3 Software-Ingenieure

kann aus diesem Grund ebenfalls ein fundiertes Elektrik/Elektronik-Wissen vorausgesetzt werden. Hier handelt es sich um fachspezifische Quereinsteiger, welche ihre akademische Grundausbildung durch eine langjährige Entwicklungserfahrung mit Elektrik/Elektronik-Systemen erweitert haben. Dies kann anhand der zuvor beschriebenen Verteilung der Spezifikationserfahrung in Elektrik/Elektronik aufgezeigt werden.

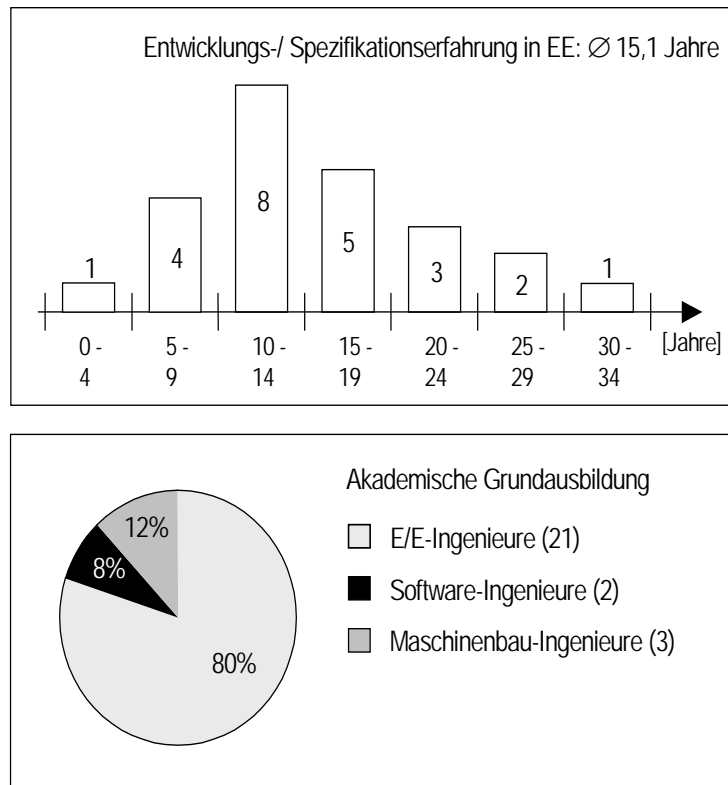


Abbildung 5.6: Verteilung von Entwicklungs-/ Spezifikationserfahrung und akademische Grundausbildung der Untersuchungsteilnehmer

Als Weiteres sichert die Abfrage von bestehendem Vorwissen bezüglich eines adaptiven Lichtsystems, dass alle Probanden die Spezifikationserstellung von einem vergleichbaren Wissensstand aus vornahmen. Nur solche Probanden sollen innerhalb der Untersuchung berücksichtigt werden, welche sich innerhalb ihrer Entwicklertätigkeit nicht intensiv mit dem Thema auseinandergesetzt haben. Wie der Pretest zum Vorschein brachte, weist keiner der Probanden ein durch vorausgegangene Produktentwicklungsprojekte erworbenes Wissen bezüglich adaptiver Lichtsysteme auf. Von einer vorurteilsfreien Herangehensweise an die Aufgabenstellung kann ausgegangen werden.

Als letztes Merkmal wurden die Untersuchungsteilnehmer nach dem Besitz eines Führerscheins befragt. Dieser ist erforderlich, um das notwendige Vorwissen für die Problematik einer Nacht- und Kurvenfahrt sicherzustellen. Der Pretest ergab, dass alle in der empirischen Untersuchung berücksichtigte Probanden einen Führerschein für Personenkraftwagen besitzen.

### 5.2.2 Inhaltliches Ergebnis der Spezifikationserstellung

Die Aufgabenstellung der Spezifikationserstellung konnte von jedem Probanden bearbeitet und gelöst werden. Die vorgegebene Aufgabenstellung wurde dabei teils, wenn auch nur marginal, unterschiedlich interpretiert. Dies hat in dem offengelassenen Freiheitsraum der Aufgabenstellung seine Ursache. Die geforderte Funktionserfüllung wurde im weiteren Sinne bei allen erstellten Spezifikationen erreicht. In seltenen Fällen kam es zu Inkonsistenz beziehungsweise teils unvollständigen Ausführungen. Dies ist jedoch für die Spezifikationserstellung nichts ungewöhnliches. So zeigt sich auch in der Unternehmenspraxis, dass der größte Teil der Produktentwicklungsfehler auf die Spezifikationsphase zurückzuführen sind.<sup>33</sup>

Die leicht differierende Spezifikationsqualität ist ohne Konsequenz für die Inhaltsanalyse. Wie die Auswertung zeigt, kann auch aus den Ausreißern wertvolle Erkenntnisse gezogen werden, solange durch den Probanden die gruppenspezifische Regelvorgabe befolgt wurde. Eben diese Regeleinhaltung kann in jeder erstellten Spezifikation identifiziert werden.

---

<sup>33</sup> Bis zu 85% der Nacharbeitskosten in einem Produktentwicklungsprojekt besitzen ihre Ursache in einer fehlerhaften Spezifikation. Vgl. Hooks/Farry (2001), S. 8.

Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über das Ergebnis der empirischen Spezifikationserhebung gegeben werden. Dabei werden die durch die Probanden erarbeiteten Spezifikationen bewertungsfrei wiedergegeben. Erste Aussagen über den empirischen Befund einer Hypothesenübereinstimmung bleiben außen vor. Nur der technische Inhalt wird vorgestellt. Zur Verdeutlichung des Simplifizierungsgedanken in der Produktspezifikation wird je ein ausgewähltes Beispiel für Kontroll- und Experimentalgruppe angeführt. Einige allgemeine Ausführungen zum Spezifikationsergebnis beenden die Vorstellung des inhaltlichen Ergebnisses der empirischen Untersuchung.

Die technischen Ausführungen der Probanden können gut durch den Lösungsraum Sensorik, Elektronik und Aktorik wiedergegeben werden. Ausführungen zu diesen drei Kategorien können in der überwiegenden Anzahl der Spezifikationen identifiziert werden. Der Lösungsraum Sensorik beinhaltet dabei Definitionen zur Bestimmung der Fahrzeugdynamik, der Umgebungsbedingung des Fahrzeuges sowie dem Fahrzeugstatus. Im Einzelnen werden hier durch die Probanden die Generierung von Informationen wie Geschwindigkeit, Beschleunigung, Gierwinkel, Kurvenradius oder Straßenart spezifiziert. Sensoren wie Fahrzeugniveausensoren, Gierratensensoren, Lenkwinkelsensoren oder auch ein satellitengestütztes Navigationssystem werden zur Bestimmung der Fahrzeugdynamik oder Fahrzeugumgebung herangezogen.

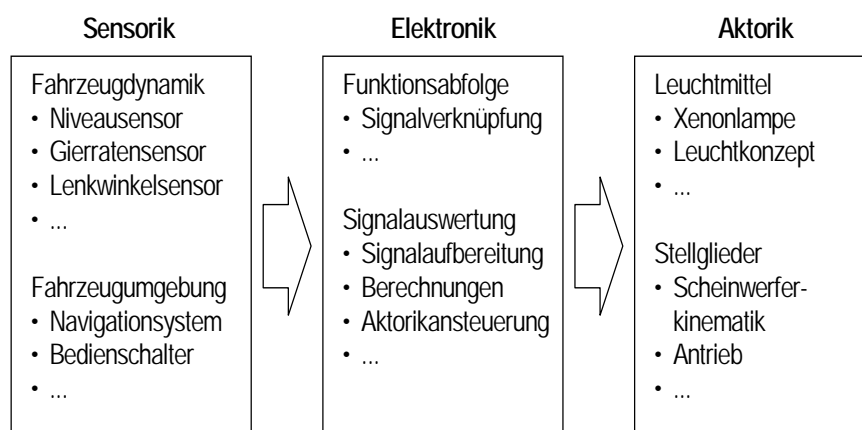


Abbildung 5.7: Lösungsraum adaptives Lichtsystem

Im Lösungsraum Elektronik werden durch die Untersuchungsteilnehmer Spezifikationsentscheidungen bezüglich der funktionalen Abfolge der Funktionen, dem zugrundeliegenden Algorithmus der Sensorik-Signalauswertung und der Ansteuerung der Aktorik dokumentiert. Entwickelt wird der logische Ablauf der einzelnen Teilfunktionen. Der Sensorik entstammenden Signale werden mit den einzelnen Komponenten der Aktorik verknüpft und damit die situationsbedingte Modifikation der Straßenausleuchtung definiert.

Der dritte Lösungsraum Aktorik beinhaltet Spezifikationen über die Leuchtmittel sowie deren Stellglieder. Das zugrundeliegende lichttechnische Konzept und die kinematischen Wirkelemente einer Scheinwerferverstellung werden beschrieben. Beim Scheinwerfersystem wird auf die Konzepte Reflexionstechnik, Projektionstechnik oder Lichtleittechnik zurückgegriffen (siehe Abbildung 5.8). Bei der Scheinwerferverstellung werden bewegbare Blenden, Veränderungen der Lichtquellenlage, das Einbringen abschattender Elemente, Bewegungen am Reflektor oder des gesamten optischen Systems berücksichtigt. Zur Realisierung der Funktion „Antrieb zur Scheinwerferverstellung“ werden Gleichstrommotoren, Schrittmotoren und Magnete als Wandler von elektrischer Leistung in Bewegungsenergie herangezogen.

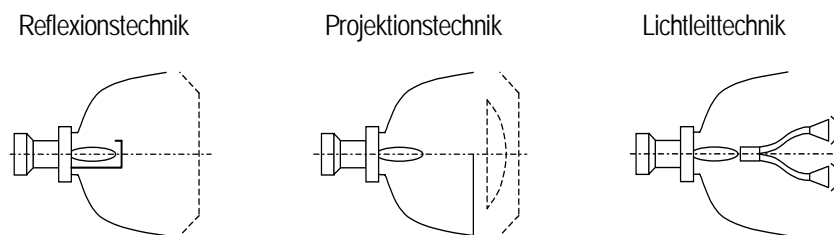


Abbildung 5.8: Scheinwerfersysteme im Automobil<sup>34</sup>

Im Folgenden soll nun ein Einblick in die durch die Probanden erstellten Spezifikationen gegeben werden. Das erste herausgegriffene Beispiel ist eine Produktspezifikation

<sup>34</sup> Vgl. Hamm u.a. (1999), S. 228.

der Kontrollgruppe. Hier wurden dem Untersuchungsteilnehmer keine Vorgaben zur Spezifikationserstellung gemacht. Regeln zur Simplifizierung wurden durch den Spezifikationsersteller nicht berücksichtigt. Dies kann sehr deutlich dem stellvertretend für alle vier anderen Spezifikationen ausgesuchten Beispiel A1 entnommen werden (siehe Abbildung 5.9). Hier weist jede Spezifikationszeile eine tiefe Detaillierung auf. Einzelne Simplifizierungsebenen, welche auf oberer Ebene das Gesamtsystem und in tieferliegenden Ebenen die Teilsysteme beschreiben, können nicht identifiziert werden. Die Reihenfolge der Inhalte einzelner Spezifikationszeilen wird durch die sequentielle Schrittfolge des Erstellers bestimmt. Der Gedankengang des Probanden bestimmt den Inhalt der nächsten Zeile. Dieser Gedankengang ist implizit durch die technische Struktur des Systems bestimmt, wird jedoch für den Betrachter nicht umgehend transparent.

## Ergebnis von Proband A1 (Kontrollgruppe, keine Regelvorgabe)

Zeile	Spezifikation
1	Zur Steuerung der Lichtfunktionalität stehen dem Fahrer zwei Schalter zur Verfügung. Mit Hilfe eines Lichtdreh-schalters können die Lichtfunktionen für Abblendlicht, automatisches Fahrlicht, Fernlicht, Parklicht, Standlicht, Nebellicht und Nebelschlussleuchte angefordert werden. Der Lenkstockschalter erkennt die Anforderungen für das Fernlicht, die Lichthupe sowie die adaptive Lichtfunktion in Form der Fahrsituationsanpassung.
2	Funktionsvoraussetzung für das Fahrlicht ist die Abblendlichtstellung des Lichtdreh-schalters und Klemmenstatus 15R und höher. Die folgenden Leuchten werden eingeschaltet: Abblendlicht (wie vorgegeben), Standlicht, Schlusslichter, Sidemarker, Kennzeichenbeleuchtung, Hintergrundbeleuchtung im Innenraum.
3	Funktionsvoraussetzung für das automatische Fahrlicht ist die Automatikstellung des Lichtdreh-schalters. Erkennt der Sonnenlichtsensor Nacht oder fordert die Wischfunktion Licht an, wird abhängig von der Stellung des Zünd-schlüssels das Standlicht und bei Motorlauf das Abblendlicht eingeschaltet.
4	Wenn der Zündschlüssel nur steckt (ausschließlich Stellung 0) wird auch bei erkannter Nacht bzw. aktueller Anforderung durch die Wischerfunktion das Licht nicht eingeschaltet.
5	Unabhängig von der Zündung wird das Licht ausgeschaltet, sobald der Sonnenlichtsensor Tag erkennt und keine Anforderung der Wischerfunktion mehr vorliegt.
6	Für die adaptive Lichtfunktion in Form der Fahrsituationsanpassung gelten die gleichen Funktionsvoraussetzungen wie für das Fahrlicht. Zusätzlich zur Abblendlichtstellung des Lichtdreh-schalters und einem Klemmenstatus 15R oder höher muss der Lenkstockschalter auf die Position "Adaptives Licht ein" geschaltet werden.
7	Sind diese Funktionsvoraussetzungen erfüllt, wird die adaptive Lichtfunktion in Form der Fahrsituationsanpassung aktiviert. Mit Hilfe von GPS-Daten und einer elektronischen Landkarte (werden dem Auto-Pilot-System entnommen) wird die aktuelle Fahrsituation bestimmt und ein entsprechender Fahrzustand zugewiesen: Kurvenlichtfahrt, Höchstgeschwindigkeitslichtfahrt und Stadtlichtfahrt.
8	Die unterschiedlichen Straßenbeleuchtungsverteilungen werden dann durch einen verstellbaren Frei-Flächen-reflektor umgesetzt. Dabei ist zu beachten, dass der Übergang bei einem Wechsel der Beleuchtungsverteilung nicht ruckartig verläuft. Ein erheblicher Einfluss auf das Wahrnehmungsverhalten des Fahrers wäre zu erwarten. Die Deformation der Lichtverteilung auf der Straße und damit auch die Verlagerung der Lichtschwerpunkte darf nur mit einem gewissen Zeitverschiebung geschehen. Innerhalb der Systemerprobung ist zwischen einer ausreichend schnellen Einstellung der berechneten Lichtfunktion und einer der momentanen Fahrsituation angepassten Wahrnehmung des Fahrers zu optimieren. So können in Bezug auf eine angepasste Wahrnehmung in Kurven Spurinformatoren besser wahrnehmbar gestaltet werden oder bei einer Stadtfahrt Gefahren am Straßenrand deutlicher gemacht werden.
9	Für die Leuchtweitenregelung gelten die identischen Funktionsvoraussetzungen wie für das Fahrlicht. Es ist immer aktiv, wenn das Fahrlicht eingeschaltet ist. Es kann nicht von der Grundfunktionalität Abblendlicht abgekoppelt werden. Die Verwendung eines Xenon-Lichtsystems und die damit einhergehende Blendungs-gefährdung des Gegenverkehrs verbietet dies.
10	Bei der Auslegung der Leuchtweitenregelung ist darauf zu achten, dass Nickbewegungen des Fahrzeuges aufgrund von Beschleunigungs- und Bremsvorgängen ausgeglichen werden. Für den Fahrer des Fahrzeuges darf kein unruhiges Flattern der Lichtverteilung erkennbar sein.
11	Informationen über die aktuellen Nickbewegungen des Fahrzeuges erhält die Leuchtweitenregelung über zwei Fahrzeugniveausensoren, welche an der Vorderradachse und der hinteren Hinterradachse angebracht sind. Beide messen Abstandsänderungen an den Achsen und geben damit Auskunft über den Nickwinkel des Fahrzeuges.
12	Nicht berücksichtigt wird durch die Fahrzeugniveausensoren eine Abplattung der Reifen und eine Diagonal-einfederung bei Kurvenfahrt bzw. bei der Überquerung von größeren Hindernissen (bspw. Baustellenfahrzeuge). Um ungewollte Blendungsgefährdung in diesen Situationen zu vermeiden, ist eine manuelle Leuchtweiten-regelung vorzusehen. Diese gibt dem Fahrer die Möglichkeit, die Scheinwerferneigung auf ein tieferes Grundniveau zu setzen.

Abbildung 5.9: Beispiel einer Produktspezifikation ohne Simplifizierungsebenen

Betrachtet man in der vorliegenden Spezifikation die Abhandlung der technischen Inhalte, kann die Definition der Lichtbedienung durch den Anwender, den Funktionsvoraussetzungen, der einzelnen Formen der Fahrsituationsanpassung, der sensorischen Erfassung der Straßensituation und die technische Umsetzung der Beleuchtungsvertei-

lungsänderung identifiziert werden. Während die Definition der Lichtbedienung und der Funktionsvoraussetzungen thematisch getrennt ausgeführt sind, wird in der folgenden Beschreibung der adaptiven Lichtfunktion unregelmäßig zwischen den Inhalten Straßensituationserfassung und Beleuchtungsverteilungsänderung gewechselt. Eine systematische Beschreibung dieser Themen ist nicht zu erkennen.

Das zweite herausgegriffene Beispiel einer Produktspezifikation C2 (siehe Abbildung 5.10) entstammt der Experimentalgruppe 2, welcher zwei Simplifizierungsregeln bezüglich der maximal zu beschreibenden Elemente und der zu wählenden identischen logischen Tiefe vorgegeben wurde. Eine entsprechende Regelumsetzung kann der Spezifikation entnommen werden. Die einzelnen Simplifizierungsebenen sind deutlich herausgearbeitet und verlaufen entsprechend einem Top-down-Ansatz vom Allgemeinen zum Speziellen. Die Detaillierungstiefe nimmt stetig zu. Auf oberster Ebene wird die Gesamtfunktionalität des adaptiven Lichts, auf nächster Ebene die einzelnen Zielsetzungen der berücksichtigten Fahrsituationen und auf unterster Ebene die zu jeder Fahrsituation entsprechende Situationserkennungsgrößen, die vorgesehene Lichtverteilung und die notwendige Lichtverteilungsmodifikation beschrieben. Die Struktur des technischen Inhaltes ist somit deutlich extrahiert. Zusätzlich lässt sich eine Ähnlichkeit in der Struktur erkennen. Auf unterster Spezifikationsebene wurde jeweils die gleiche Ebenenstruktur verwendet: Fahrsituationsbeschreibung, Definition der Lichtverteilung und die Lichtverteilungsmodifikation. Angewendet sind diese Elemente entsprechend dem technischen Inhalt der jeweiligen nächsthöheren Ebene, namentlich den einzelnen Fahrsituationen.

## Ergebnis von Proband C2 (Experimentalgruppe, zwei Regeln als Vorgabe)

Zeile	Spezifikation
1	<i>1. Adaptives Lichtsystem</i> - Das durch ein Reflexionssystem generierte Abblendlicht wird entsprechend den Fahrzeugumfeldgegebenheiten und -einflüssen angepasst. Neben den Fahrsituationen "Kurvenfahrt", "Höchstgeschwindigkeitsfahrt" und "Stadtfahrt" wird die Veränderung des Neigungswinkels durch Geschwindigkeits- und Beladungszustandsänderungen berücksichtigt.
2	<i>1.1 Kurvenfahrtpassung</i> - Bei Kurvenfahrt wird eine verbesserte Ausleuchtung des Kurvenverlaufs erzielt.
3	<i>1.2 Höchstgeschwindigkeitsfahrtpassung</i> - Bei Fahrt mit Höchstgeschwindigkeit wird eine verbesserte Weitenausleuchtung erzielt.
4	<i>1.3 Stadtfahrtpassung</i> - Bei einer Stadtfahrt wird eine verbesserte Ausleuchtung des Fahrzeugvorfeldes und der nahen Seitenbereiche erzielt.
5	<i>1.4 Neigungswinkelpassung</i> - Durch eine Neigungswinkelpassung wird eine optimale Fahrbahnausleuchtung erreicht und eine Vermeidung der Blendung von Gegenverkehr vermieden.
6	<i>1.1.1 Fahrsituationsbeschreibung</i> - Eine Kurvenfahrt liegt vor, solange der eingeschlagene Lenkwinkel größer $\alpha = 5^\circ$ ist und gleichzeitig die Fahrzeuggeschwindigkeit $v = 50$ km/h überschritten ist.
7	<i>1.1.2 Definition der Lichtverteilung</i> - Der Kurvenfahrlichtverteilung unterscheidet sich vom Abblendlicht durch eine intensivere Ausleuchtung der kurveninneren Seite. In einem Weitenbereich von 0 bis 100 m wird die Leuchtbreite auf 60 m erweitert (von der Fahrzeuglängsachse aus gemessen).
8	<i>1.1.3 Lichtverteilungsmodifikation</i> - Eine Modifikation der Lichtverteilung wird erzielt, indem beim kurveninneren Scheinwerfer eine bewegbare Blende entfernt wird.
9	<i>1.2.1 Fahrsituationsbeschreibung</i> - Eine Höchstgeschwindigkeitsfahrt liegt vor, solange die Fahrzeuggeschwindigkeit $v = 75$ km/h überschreitet.
10	<i>1.2.2 Definition der Lichtverteilung</i> - Die Höchstgeschwindigkeitslichtverteilung unterscheidet sich vom Abblendlicht durch eine erhöhte Leuchtwerte von $L = 300$ m und einer reduzierten Leuchtbreite (gesamt) von $B = 40$ m.
11	<i>1.2.3 Lichtverteilungsmodifikation</i> - Eine Modifikation der Lichtverteilung wird erzielt, indem durch einen Schwenk der Xenon-Lampe anstatt der oberen Hälfte des Reflektors die untere Hälfte bestrahlt wird.
12	<i>1.3.1 Fahrsituationsbeschreibung</i> - Eine Stadtfahrt liegt vor, wenn die Geschwindigkeit des Fahrzeuges unter 50 km/h liegt.
13	<i>1.3.2 Definition der Lichtverteilung</i> - Die Stadtfahrlichtverteilung unterscheidet sich vom Abblendlicht durch eine verkürzte Leuchtwerte von $L = 150$ m, einer erweiterten Leuchtbreite von $B = 60$ m und einer intensiveren Vorfeldausleuchtung im Bereich $L = 0 \dots 30$ m, $B = 40$ m.
14	<i>1.3.3 Lichtverteilungsmodifikation</i> - Eine Modifikation der Lichtverteilung wird erzielt, indem durch das Bewegen der oberen Reflektorsegmente eine entsprechende Lichtverteilung erzielt wird.
15	<i>1.4.1 Fahrsituationsbeschreibung</i> - Eine Notwendigkeit zur Anpassung des Scheinwerferneigungswinkel liegt vor, solange der Fahrzeugneigungswinkel sich auf Grund von Geschwindigkeits- und Beladungsänderungen vom Fahrzeugneigungswinkel bei unbeladenem Stillstand unterscheidet.
16	<i>1.4.2 Definition der Lichtverteilung</i> - Der Neigungswinkel des Scheinwerfers wird konstant zur Fahrbahnebene gehalten.
17	<i>1.4.3 Lichtverteilungsmodifikation</i> - Eine Modifikation der Lichtverteilung wird erzielt, indem durch eine rotatorische Bewegung des gesamten Scheinwerfermoduls um die durch den Brennpunkt vorgesezte Fahrzeugquerachse der Scheinwerferneigungswinkel angepasst wird.

Abbildung 5.10: Beispiel einer Produktspezifikation mit Simplifizierungsebenen

Einen interessanten Vergleich bietet die Spezifikationslänge der in den Untersuchungsgruppen erstellten Produktspezifikationen. Zu erwarten war hier ein eher längerer Beschreibungsumfang bei der Spezifikationen mit Simplifizierungsebenen. Die Kompriemierung von Produktinformationen auf unterschiedlichen Beschreibungsebenen bei Beibehaltung jeder einzelnen Simplifizierungsebenenbeschreibung hat einzelne Redundanzen in der Produktbeschreibung nahegelegt und damit auch einen längeren Beschreibungsumfang. Wie aus Abbildung 5.11 zu entnehmen ist, weisen die Spezifikati-

onen mit Simplifizierungsebenen (Gruppe B und C) eine im Vergleich zu den Spezifikationen ohne Simplifizierungsebenen (Gruppe A) tendenziell gleiche Textlänge auf. Während bei einer Spezifikationserstellung ohne Simplifizierungsregel im Durchschnitt 394 Wörter zur Systembeschreibung benötigt wurde, kam die Gruppe mit einer Regelvorgabe auf 432 Wörter, bei der Vorgabe von beiden Simplifizierungsregeln auf durchschnittlich 350 Wörter.

	Spezifikationslänge [Anzahl der Wörter]				
	1	2	3	4	Schnitt
Gruppe A	502	332	358	383	395
Gruppe B	505	381	397	446	432
Gruppe C	357	379	342	321	350

Abbildung 5.11: Produktspezifikationslänge im Vergleich

Dieses Ergebnis der tendenziell ähnlichen Beschreibungslänge bei der Einhaltung der Simplifizierungsregeln kann als ein Hinweis darauf gedeutet werden, dass Produktspezifikationen ohne Simplifizierungsebenen ebenso Redundanzen enthalten.<sup>35</sup> Diese sind jedoch wie im Fall der Simplifizierungsebenen nicht herausgearbeitet, sondern finden sich fließend in den textuellen Beschreibungen wieder. Durch die Vermischung unterschiedlicher Beschreibungsebenen ergeben sich Überschneidungen im Inhalt, welche sich auf eine Verlängerung der Produktspezifikation auswirken.

---

<sup>35</sup> Die kleine Grundgesamtheit der empirischen Untersuchung erlaubt keine prägnantere Aussage.

### 5.2.3 Inhaltliches Ergebnis der Spezifikationsbearbeitung

Bei der Beantwortung einer jeden Frage mussten die Probanden der zweiten Hälfte einer Untersuchungsgruppe auf eine zuvor von einem anderen Gruppenmitglied erstellte Produktspezifikation zurückgreifen. Die Fragestellungen zur Bearbeitung der Produktspezifikation konnte dabei grundsätzlich von jedem Untersuchungsteilnehmer beantwortet werden. Eine Referenz zum vorliegenden Spezifikationsdokument konnte ebenfalls in der überwiegenden Anzahl der Fälle angegeben werden. Die zur Beantwortung der Fragesätze herangezogenen Spezifikationsausführungen erwiesen sich dabei als ausnahmslos kompatibel. Vorwissen war bei der Beantwortung der Fragen nicht notwendig, weitere Informationsquellen wurden nicht herangezogen. Die vorgegebenen Fragestellungen erwiesen sich somit als geeignet, durch eine intensive Bearbeitung der erstellten Produktspezifikationen gelöst zu werden.

In Einzelfällen konnten Probanden auf Basis der vorliegenden Spezifikationsbeschreibung die Fragestellung nicht inhaltlich beantworten (siehe Abbildung 5.12). Die Antwort lautet in diesen Fällen „nicht spezifiziert durch Originaldokument“. Großen Anteil an einem unzureichenden Informationsgehalt der Produktspezifikationen haben die Systembeschreibungen aus Gruppe A. Vier der insgesamt sieben Fälle haben die Ursache in den ohne Simplifizierungsregeln erstellten Produktspezifikationen.

	Nicht beantwortete Fragestellungen										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Gruppe A	1		1	1			1				
Gruppe B				1							
Gruppe C	1		1								
Gesamt	2	0	2	2	0	0	1	0	0	0	0

Abbildung 5.12: Durch die Spezifikationen nicht abgedeckte Fragestellungen

Die Anzahl der nicht inhaltlich beantworteten Fragen hält sich somit sehr in Grenzen. Eine unsystematische Verteilung mit breiter Streuung lässt sich erkennen. Keine Fragestellung zeigt sich durch die Gesamtheit der Produktspezifikationen nicht abgedeckt. Am Häufigsten konnte die Frage 1, 3 und 4 nach Spezifikationsdetails des adaptiven Lichtsystems nicht beantwortet werden. Hier beläuft sich die Quote der fehlenden Antworten jeweils auf 12,5%. Die Fragen 5 bis 7 nach systemübergreifenden Spezifikationszusammenhängen konnten nur in einem Fall nicht beantwortet werden, bei den Fragen 8 bis 11 zu den inter- und intradisziplinären Systemzusammenhängen war eine durchgehende Beantwortung für die Probanden möglich. Für die Inhaltsanalyse kann insgesamt von ausreichend verwertbaren Antworten und Referenzen in der Spezifikationsbearbeitung ausgegangen werden.

In einigen Fällen der Experimentalgruppe wurde von den Untersuchungsteilnehmern die Darstellungsabfolge der einzelnen Simplifizierungsebenen im vorliegenden Spezifikationsdokument kritisiert. Durch die direkte Weitergabe der Originalausführungen vom Spezifikationsersteller zum Spezifikationsbearbeiter war nicht in jeder Produktspezifikation eine hierarchisch sequentielle Beschreibung der einzelnen Simplifizierungsebenen gegeben (siehe Abbildung 5.26). Gewünscht wurde hier von den jeweiligen Untersuchungsteilnehmern, im Lesefluss jede Simplifizierungsebene zuerst vollständig beschrieben vorliegen zu haben und erst dann in tiefere Detailebenen geführt zu werden. Für Aussagen bezüglich den Arbeitshypothesen blieb dieses Gestaltungspotential jedoch ohne Auswirkungen.

## 5.3 Ausführung der Inhaltsanalyse

Für die strukturierende Inhaltsanalyse wird theoriegeleitet ein Categoriesystem erarbeitet (siehe Kapitel 5.3.1), welches in dem abschließenden Materialdurchlauf auf seine Durchgängigkeit mit dem empirischen Ergebnis der Experimentaluntersuchung überprüft wird. Wie dieser Materialdurchlauf in einem anschließenden Schritt zeigt, kann die an die Spezifikation herangetragene Struktur bestätigt werden (siehe Kapitel 5.3.2 und Kapitel 5.3.3).

### 5.3.1 Vorbereitungen zum Materialdurchlauf

Der erste Schritt einer strukturierenden Inhaltsanalyse besteht in der theoriegeleiteten Definition der Strukturierungsdimensionen und des Kategoriensystems. Dies wurde bereits in Kapitel 5.1.2 ausgeführt. Mit der deduktiv gewonnenen Wirkungskette einer Simplifizierung wurde eine 2x3-Kategorienmatrix abgeleitet, welche aus den beiden Vektoren Erklärungsvermögen/Prognosewahrscheinlichkeit und den Erfolgsdeterminanten („Zeit“, „Qualität“, „Kosten“) aufgespannt wird. In einem folgenden Schritt wird das empirische Ergebnis der Untersuchung in Form der erstellten Produktspezifikationen und der beantworteten Fragestellungen auf eine Übereinstimmung mit diesen sechs Kategoriefeldern untersucht. Um diesen Materialdurchlauf transparenter zu gestalten, werden für jedes Kategoriefeld Ankerbeispiele definiert. Diese besitzen eine prototypische Funktion, indem sie Beispiele für die Kategorien darstellen und bei einem späteren Materialdurchlauf zum Vergleich bzw. zur Verdeutlichung der einzelnen Kategorien herangezogen werden können. Eine einfachere und eindeutige Zuordnung der Textstellen zu den Kategorien ist die Folge.<sup>36</sup> Abbildung 5.13 zeigt das aus der Theorie abgeleitete Kategoriensystem mit den jeweils zugeordneten Ankerbeispielen.

---

<sup>36</sup> Vgl. Mayring (1995), S. 77.

	Zeit	Qualität (Leistung)	Kosten
Erhöhte Prognosewahrscheinlichkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frühere Möglichkeit zum Konzepttest</li> <li>• Kleinere Iterationsschleifen</li> <li>• Frühere Fehlererkennung</li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rückgriff auf bereits erfolgreiche Systemauslegungen</li> <li>• Wahrscheinlichere Wiederverwendungsmöglichkeit zu einem späterem Zeitpunkt</li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Handlungsspielraum für Design-to-Cost-Strategien</li> <li>• Vermeidung von kostenrelevanten Designentscheidungen in Frühphasen</li> <li>• ...</li> </ul>
Erhöhtes Erklärungsvermögen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leichtere Einarbeitung in vorgegebenen spezifischen Zusammenhang</li> <li>• Einfacheres Auffinden von Teilspezifikationen</li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höhere Transparenz über Systemgrenzen</li> <li>• Beschreibung von Gesamtsystem-übergreifenden Zusammenhängen</li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestiegenes Verständnis von disziplinübergreifenden Systemzusammenhängen</li> <li>• Mehr mechatronische Systemlösungen</li> <li>• ...</li> </ul>

Abbildung 5.13: Kategoriensystem mit Ankerbeispielen

Wird die von den Probanden erstellte Produktspezifikation auf ihre Prognosewahrscheinlichkeit untersucht, so lässt sich durch das Extrahieren einer früheren Möglichkeit zum Konzepttest, kleinerer Iterationsschleifen bei der Spezifikationserstellung oder einer früheren Fehlererkennung im Erstellungsablauf auf eine verkürzte Erarbeitung des Spezifikationsumfanges schließen. Hinweise zur Erzielung einer erhöhten Qualität des Spezifikationsergebnisses lässt sich durch einen möglichen Rückgriff auf bereits erfolgreiche Systemauslegungen oder einer wahrscheinlicheren Wiederverwendungsmöglichkeit der erstellten Produktspezifikation zu einem späteren Zeitpunkt belegen. Ankerbeispiele für die Erzielung einer kostengünstigeren Produktauslegung sind das Freihalten eines möglichst großen Handlungsspielraumes für Design-to-Cost-Strategien während des Spezifikationserstellungsverlaufes oder das Vermeiden von kostenrelevanten Designentscheidungen in Frühphasen der Spezifikationsfestlegung.

Zur Identifikation von Textstellen in Bezug auf ein erhöhtes Erklärungsvermögen wird entsprechend dem Untersuchungsdesign die durch die Probanden ausgeführte Beant-

wortung der Fragestellung herangezogen. Die leichtere Einarbeitung in einen spezifischen Systemzusammenhang oder ein einfacheres Auffinden von Teilspezifikationen stellen hierbei ein Indiz für eine verkürzte Einarbeitungszeit dar. Ankerbeispiele für eine erhöhte Qualität stellen eine höhere Transparenz über Systemgrenzen sowie die Beschreibung von gesamtsystemübergreifenden Zusammenhängen dar. Von einer Vermittlung kostenrelevanter Aspekte kann gesprochen werden, wenn ein gestiegenes Verständnis von disziplinübergreifenden Systemzusammenhängen für mechatronische Systemlösungen oder ein häufigerer Rückgriff auf mechatronische Systemlösungen ausgewiesen wird.

### **5.3.2 Ergebnis des Materialdurchlaufs zur Prognosewahrscheinlichkeit**

Für die Untersuchung des ersten Kategoriefeldes kann die schrittweise Vorgehensweise eines jeden Probanden in der Produktspezifikationserstellung herangezogen werden. Hierzu war es notwendig, die einzelnen Schritte eines Probanden bei der Erstellung der einzelnen Spezifikationszeilen zu dokumentieren. Zeigt das Spezifikationsdokument weite Sprünge zwischen den einzelnen Spezifikationszeilen auf, so kann von großen Iterationsschleifen beim Spezifikationsersteller ausgegangen werden. Ein versehentlich ausgeführter Spezifikationsfehler oder ein ausgelassenes Spezifikationsdetail wird bei einer solchen großen Iterationsschleife erst zu einem fortgeschrittenen Zeitpunkt erfasst und kann nur durch einen weiten Zeilensprung geändert bzw. ergänzt werden. Alle bereits erfolgten Spezifikationsausführungen müssen darauffolgend auf die Übereinstimmung mit der ausgeführten Änderung oder Ergänzung überprüft werden. Ein nicht unerheblicher Zusatz an Mehraufwand ist die Folge dieses weitgefassten Iterationszykluses, eine längere Spezifikationszeit die ableitbare Konsequenz.

Gegenteilig kann von kleinen Iterationszyklen gesprochen werden, wenn eine Spezifikation in der Bearbeitungsfolge ohne oder nur mit wenigen und nicht weiten Sprüngen zwischen den Spezifikationszeilen erstellt wurde. Gibt es wie im Extremfall keine

Sprünge und wurde jede Zeile strikt sequentiell abgearbeitet, so kann von sehr kleinen Iterationszyklen ausgegangen werden, welche sich innerhalb einer einzigen Spezifikationszeile befinden.

Eine weitere mögliche Interpretation ist bei dem zuvor beschriebenen Extremfall der rein sequentiellen Vorgehensweise das gänzliche Ausbleiben von Fehlern oder Änderungen im Spezifikationsablauf. Wird nicht zwischen den Spezifikationszeilen gesprungen, so kann dies auch in der fehlenden Notwendigkeit für Korrektur oder Ergänzung seine Ursache haben. Durch die hohe Fehlerhäufigkeit in der Produktspezifikationserstellung kann diese Interpretationsmöglichkeit jedoch weitgehend ausgeschlossen werden. Sie findet im Weiteren keine Berücksichtigung.

In Abbildung 5.14 ist der Spezifikationsverlauf getrennt nach Untersuchungsgruppe aufgezeigt. Die einzelnen Bearbeitungsschritte des Probanden sind dabei den jeweiligen Spezifikationszeilen gegenübergestellt. Jedem Diagramm ist entsprechend den beiden Achsen eine Diagonale eingefügt. Diese besitzt die Steigung Eins und entspricht somit dem Extremfall einer rein sequentiellen Erstellung der Spezifikationszeilen. Jeder Bearbeitungsschritt ist vorwärtsgerichtet zur nächsten Zeile, bereits abgeschlossene Spezifikationszeilen werden nicht mehr verändert. Diese Diagonale besitzt die höchste Steigung im Diagramm. Nur in Einzelfällen kann es zu einer Überschreitung der Diagonalen durch die Schrittabfolge der Probanden kommen. Wird durch den Untersuchungsteilnehmer eine Spezifikationszeile ausgelassen und später darauf zurückgekehrt, kann dieser Sprung zu einem Überschreiten der Diagonalen führen.

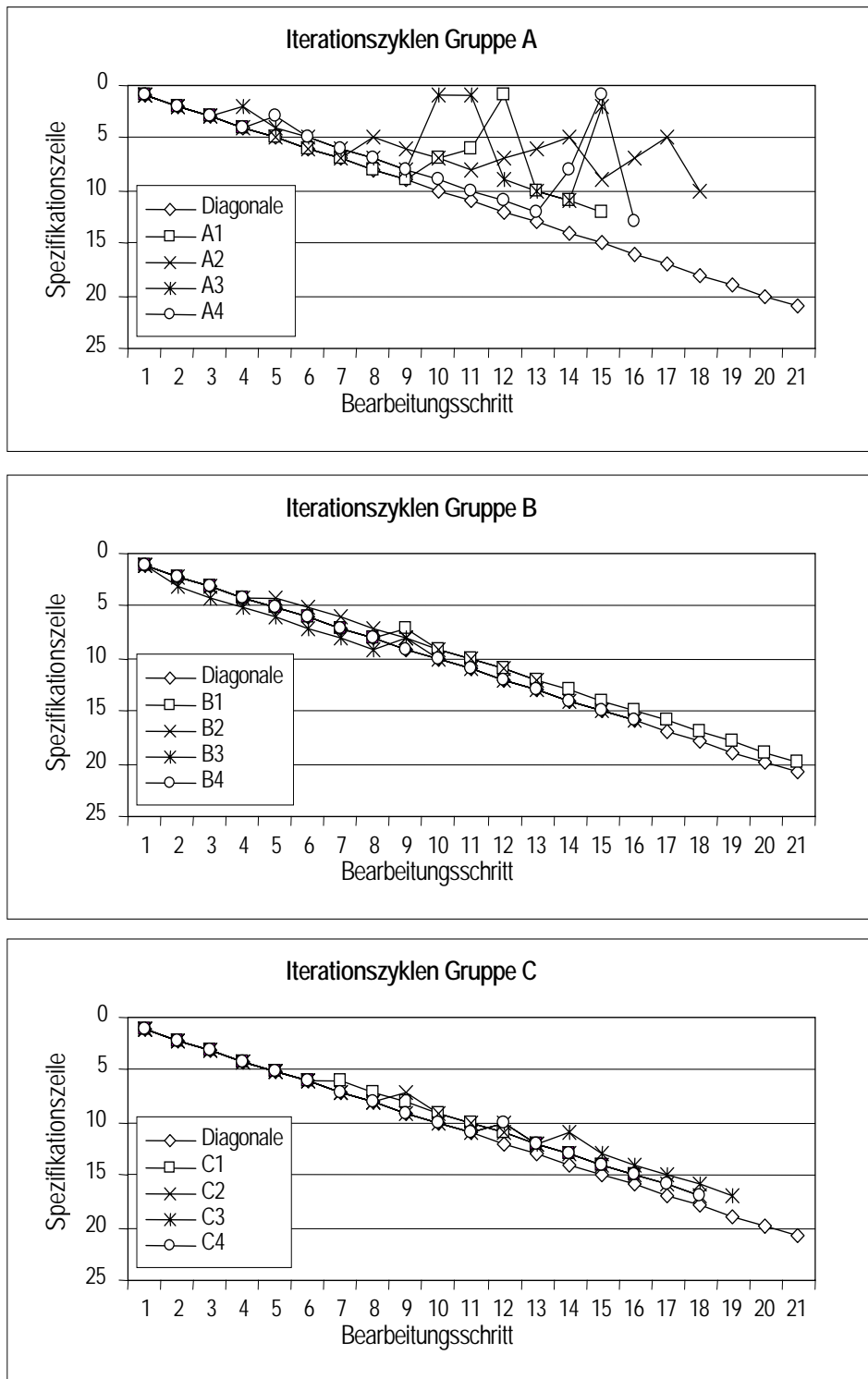


Abbildung 5.14: Schrittfolge bei der Spezifikationserstellung

Wie aus dem oberen Diagramm der Abbildung 5.14 zu entnehmen ist, kann im Fall der Kontrollgruppe ein häufiges Wechseln zwischen den Zeilen identifiziert werden. Der Verlauf der Bearbeitungsabfolge bei einer Spezifikationserstellung ohne Simplifizierungsregeln weist teilweise große Sprünge auf. So geht beispielsweise als größter Sprung Proband A4 von der vorletzten Zeile 12 noch einmal an den Anfang zu Zeile 1, um Spezifikationsausführungen hinzuzufügen.

Im Gegensatz hierzu zeigt der Verlauf in den beiden unteren Diagrammen der Abbildung 5.14 kaum rückwärtige Schritte auf. Bei beiden Experimentalgruppen zeichnet sich eine überwiegend sequentielle Abarbeitung der Simplifizierungsebenen ab. Wenn Änderungen an bereits abgeschlossenen Spezifikationszeilen vorgenommen wurden, dann nur innerhalb einer Simplifizierungsebene oder zwischen zwei nachfolgenden Simplifizierungsebenen. Bei der Ausprägung dieser rückwärtigen Schritte kann kein signifikanter Unterschied zwischen den Spezifikationen der beiden Experimentalgruppen herausgearbeitet werden.

Greift man für eine Untersuchungsgruppe ein Beispiel heraus und betrachtet die ausgeführten Korrekturen der bereits abgeschlossenen Spezifikationszeilen genauer, so kann die Größe der jeweils verfolgten Iterationsschleifen verdeutlicht werden. In Abbildung 5.15 ist hierzu ein Iterationssprung aus der Kontrollgruppe (Proband A3) dem Iterationssprung aus der zweiten Experimentalgruppe (Proband C4) gegenübergestellt. Die graugefärbte Schriftfarbe kennzeichnet dabei den vom Probanden geänderten Textteil.

Schritt	Zeile	Spezifikation (Proband A3)	Schritt	Zeile	Spezifikation (Proband C4)
1	1	Das adaptive Licht besteht aus einem Set von drei verschiedenen Lampen zur Realisierung der drei Lichtmodi: "Kurvenfahrt", "Höchstgeschwindigkeitsfahrt", "Stadtfahrt".	...	...	...
...	...	...	10	10	1.2.2 <i>Auslöser Seitenausleuchtung</i> - Navigationssystem meldet vor dem Fahrzeug liegende Kurve oder Kreuzungsbereich.
9	8	Die Lichtverteilung für die drei Modi „Kurvenfahrt“, „Höchstgeschwindigkeit“ und „Stadtfahrt“ wird durch die Modifikation des von der einen Zusatzlampe erzeugten Lichtstrahles erzeugt...	11	11	1.2.3 <i>Ablauf Seitenausleuchtung</i> - Xenonlampe Nr. 1 bleibt aktiv. Meldet das Navigationssystem eine vor dem Fahrzeug liegende Kurve, so wird Xenonlampe Nr. 2 auf der kurveninneren Seite des Fahrzeuges aktiviert. Meldet das Navigationssystem eine Seitenstraße, so wird auf der kurveninneren Seite Xenonlampe Nr. 2 und Xenonlampe Nr. 3 aktiviert...
10	1	Das adaptive Licht besteht aus einem Set von zwei verschiedenen Lampen. Die eine Lampe ist zur Erzeugung der vorgegebenen Abblendlichtverteilung vorgesehen. Die andere Lampe zum Hinzuschalten von überlagerten Lichtverteilungen zur Realisierung der drei Lichtmodi: "Kurvenfahrt", "Höchstgeschwindigkeitsfahrt", "Stadtfahrt".	12	10	1.2.2 <i>Auslöser Seitenausleuchtung</i> - Navigationssystem meldet vor dem Fahrzeug liegende Kurve, Seitenstraße oder Kreuzungsbereich.
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...

Abbildung 5.15: Textbeispiele zur Verdeutlichung der Iterationszyklusgröße

Bei Betrachtung der Vorgehensweise von Proband A3 wird deutlich, welche grundlegende Änderung hier zu einem bereits fortgeschrittenen Spezifikationszeitpunkt vorgenommen wurde. Während in einem ersten Schritt für jeden Lichtmodus eine Lampe vorgesehen wurde, bemerkte der Ersteller bei der Erarbeitung von weiteren Spezifikationsdetails, dass eine Erzeugung der drei Lichtmodi auch durch zwei einzelne Lampen erzielt werden kann. In dieser neuen Lösung ist eine Lampe für die vorgegebene Abblendlichtverteilung vorgesehen. Eine zweite wird durch geeignete Aktuation den drei Lichtmodi angepasst und ergänzt somit die Abblendlichtverteilung.

Im Gegensatz hierzu handelt es sich bei der von Proband C4 ausgeführten Ergänzung um einen wesentlich kleineren Iterationssprung. Dieser befindet sich, wie der Kapitelbezeichnung entnommen werden kann, auf einer gleichen Simplifizierungsebene. Bei der Spezifikation von Zeile 11 wurde bemerkt, dass innerhalb der Funktion Seitenausleuchtung neben Kurven und Kreuzungen auch Seitenstraßen berücksichtigt werden müssen. Da dies nicht in der zuvor definierten Auslösbedingungen für diese Funktion

berücksichtigt wurde, ist der Proband eine Zeile zurückgegangen und hat die entsprechende Ergänzung eingetragen.

Bei einem Materialdurchlauf für das zweite Kategoriefeld zur Identifikation von Textstellen, welche eine erhöhte Qualität bei der Simplifizierung in der Produktspezifikation belegen, wurden Spezifikationszeilen markiert, welche auf eine mögliche Einbringung von bereits erstellten Produktspezifikationen oder auf eine spätere Wiederverwendung der neuerstellten Produktspezifikation schließen lassen. Eine generelle Darstellung der Auswertung ist hier aufgrund fehlender universaler Messgrößen nicht möglich. Im Folgenden wird jeweils ein Beispiel für die beiden Ankerbeispiele dieses Kategoriefeldes angeführt.

Der im Falle der Simplifizierung verbesserte Rückgriff auf bereits bewährte Spezifikationsdokumente lässt sich anhand der Leuchtweiten-Handverstellung eines Automobils aufzeigen. Eine solche Verstellung gehört in der heutigen Zeit zur Standardausrüstung eines jeden Automobils. Die Scheinwerferneigung kann hier vom Fahrersitz aus dem Beladungszustand angepasst werden. Es liegt nahe, Gemeinsamkeiten zwischen der bisherigen Leuchtweiten-Handverstellung und der Leuchtweitenregelung eines adaptiven Lichtsystems zu vermuten. Wenn auch erhöhte dynamische Anforderungen an den Aktuator der adaptiven Version gestellt werden, so sind funktionale Voraussetzungen und Abfolgen im Groben identisch. Um eine Übernahme dieser funktionalen Beschreibungen zu ermöglichen, ist es vorteilhaft, wenn in der neu erstellten Produktspezifikation zwischen dem Sensoreingang, der Sensorsignalverarbeitung und der Aktuatorverstellung getrennt wird. Während bei Sensorsignalverarbeitung und der Aktuatoransteuerung größere Potentiale zur Übernahme von Spezifikationen bestehen, sind diese beim Signaleingang nicht vorhanden. Bei einer Handverstellung besteht der Signaleingang aus einem Stellrad mit Potentiometer, bei einem adaptiven Lichtsystem liefern Neigungssensoren den Input über die Fahrzeuglage. Wird die beschriebene Trennung in der Produktbeschreibung vorgefunden, können in den Spezifikationsausführungen mit hohem Übernahmegrad direkt Spezifikationszeilen übernommen werden. Aus einer Qualitäts-

perspektive heraus kann somit von der bereits bewährten Spezifikationsausführung ohne Einschränkung profitiert werden.

Zelle	Spezifikation (Proband A3)	Zelle	Spezifikation (Proband C1)
...	...	...	...
6	Eine Leuchtweitensteuerung wird durch zwei Ultraschallsensoren mit den Nickwinkelinformationen des Fahrzeuges versorgt. Ein Sensor misst den Bodenabstand im Frontbereich des Fahrzeuges, ein Sensor misst den Bodenabstand im Heckbereich des Fahrzeuges. Hieraus lässt sich der entsprechende Nickwinkel und damit die notwendige Verstellung des längsgerichteten Scheinwerferstrahles errechnen. Bei einem Absenken der Fahrzeuglängsachse muss der Scheinwerferwinkel um den entsprechenden Betrag nach oben verstellt werden und umgekehrt.	2	<i>1.1 Input</i> - Informationen werden zum einen über die Nickbewegung des Fahrzeuges und zum anderen über die Fahrsituation angefordert.
		3	<i>1.2 Verarbeitung</i> - Die angeforderten Informationen werden analysiert und die notwendigen Änderungen des Fahrlichts abgeleitet.
		4	<i>1.3 Output</i> - Die Scheinwerfer werden angewiesen, der notwendigen Änderung zu entsprechen und ihre Fahrbahnausleuchtung anzupassen.
7	Der Nickwinkel wird aus der Bewegungsgleichung eines Mehrkörpersystems bestimmt.	5	<i>1.1.1 Fahrzeugnickwinkel</i> - Informationen über den Fahrzeugnickwinkel werden über einen Längs-Beschleunigungsmesser eingeholt. Der Beschleunigungswert mit Vorzeichen wird ausgelesen.
...	...	...	...
		8	<i>1.2.1 Fahrzeugnickwinkel</i> - Die vom Längsbeschleunigungsmesser erhaltenen Beschleunigungswerte werden mit Hilfe einer fahrzeugspezifischen Kennlinie mit dem Nickwinkel des Fahrzeuges in Verbindung gebracht. Der für eine gleichbleibende Straßenausleuchtung erforderliche Nickwinkel des Scheinwerfers kann mit Hilfe eines Mehrkörpermodells abgeleitet werden.
		...	...
		13	<i>1.3.1 Scheinwerfernickenwinkeländerung</i> - Ein Aktuator, welcher den Scheinwerfer um die Fahrzeugquerachse rotieren lassen kann, wird aufgefordert, den berechneten Scheinwerfernickenwinkel anzufahren.
		...	...

Abbildung 5.16: Textbeispiele zur Möglichkeit des Rückgriffs auf bereits erfolgreiche Systemauslegungen

Wie in Abbildung 5.16 ersichtlich, kann eine solche Trennung zwischen Sensorinput und Aktuatoransteuerung wesentlich systematischer im Falle der simplifizierten Spezifikationserstellung C1 erzielt werden. Durch die einzelnen Simplifizierungsebenen und die systematische Beschreibung der einzelnen Elemente kann eine solche Trennung ausgewiesen werden. Die Konsequenz könnte eine direkte Übernahme von Handverstellungs-Spezifikationsteilen sein, welche sich überwiegend in tieferen Simplifizierungsebenen der neuen Produktspezifikation wiederfinden. Gegenteilig verhält es sich bei dem Spezifikationsbeispiel A3 aus der Kontrollgruppe. Hier wurde keinerlei systemati-

sche Aufbereitung des Spezifikationsumfanges betrieben. Eine Vermischung von Sensorinput und Aktuatoransteuerung innerhalb einer Spezifikationszeile ist die Folge. Bei der Übernahme von Handverstellungs-Spezifikationsumfänge müssen in diesem Fall umfangreiche Änderungen und Anpassungen erfolgen. Die Qualitätsvorteilhaftigkeit des Rückgriffes auf eine bereits bewährte Produktspezifikation wird im Fall A3 durch neue Fehlerquellen bei der Bearbeitung stark reduziert.

Die im Falle einer Simplifizierung erhöhte Wahrscheinlichkeit der Wiederverwendung von Spezifikationsteilen lässt sich bei Betrachtung der in den Produktspezifikationen A4 und B3 ausgeführten Lichtverteilungsdefinitionen aufzeigen (siehe Abbildung 5.17). Im Fall des Beispiels A4 aus der Kontrollgruppe wird die Beschreibung von Lichtverteilung und Lichtverteilungsmodifikation innerhalb einer Spezifikationszeile vermischt. Die Konsequenz hieraus ist, dass sich die Spezifikationsausführung nur für ein Reflexionssystem verwenden lassen. Wird beispielsweise das Nachfolgersystem auf moderne Lichtleiter als Lichtquelle umgestellt, so muss eine gänzlich neue Spezifikation erarbeitet werden. Anders sieht es bei der Spezifikation B3 aus der Experimentalgruppe aus. Hier wird durch die systematische Beschreibung von Simplifizierungsebenen und deren Elemente die technische Realisierung als Reflexionssystem und die Definition der Lichtverteilung getrennt beschrieben. Für den zuvor beschriebenen Fall einer Änderung von Reflexionssystem auf Lichtleitersystem könnte die Lichtverteilungsdefinition mit den Zeilen 10 bis 13 ungeändert übernommen werden. Gleiches gilt für höhere Systembeschreibungen des Systems, welche auf höherer Ebene realisierungsneutral gehalten sind. Hierfür stellt Zeile 4 ein Beispiel dar.

Zeile	Spezifikation (Proband A4)	Zeile	Spezifikation (Proband B3)
...	...	...	...
10	Je nach identifizierter Straßensituation wird das Licht über einen Freiformflächen-Reflektor modifiziert.	4	<i>1.3 Lichtverteilung je Fahrsituation</i> - Je nach ermittelter Fahrsituation wird das Scheinwerferlicht so verändert, dass ein maximaler Kompromiss zwischen Fahrkomfort, Blendungsvermeidung, guter Ausleuchtung und Verkehrssicherheit erzielt wird.
11	Kurvenlicht wird durch das Entfernen eines abschattenden Elementes erzielt. Ein Zusatzreflektor wird somit wirksam und erhellt die kurveninnere Seite der Straße.	...	...
12	Stadtlicht wird durch die geeignete Veränderung bzw. Verformung des Reflektors erzielt. Die Lichtverteilung auf der Straße wird auf die Weite von $w=140\text{m}$ gestaucht, während die Breite der Lichtverteilung auf $b=120\text{m}$ vergrößert wird.	10	<i>1.3.1 Grundlichtverteilung</i> - Die Default-Einstellung ist die alleinige Abblendlichtverteilung, wie sie im Aufgabenblatt angegeben ist.
13	Höchstgeschwindigkeitslicht wird durch Verändern der Lage der Lichtquelle erzielt. Während die obere Hälfte des Reflektors die vorgegebene Lichtverteilung mit dem Kurven- und Stadtlicht erzeugt, wird mit der unteren Hälfte des Reflektors das Höchstgeschwindigkeitslicht mit einer verlängerten Strahlenweite von $w=320\text{m}$ und einer verschmälerten Gesamtbreite von $b=60\text{m}$ gebildet.	11	<i>1.3.2 Kurvenfahrt-Lichtverteilung</i> - Diese Lichtverteilung bildet sich aus der Grundlichtverteilung plus einer breiteren Ausleuchtung der kurveninneren Fahrseite in einem Weitenbereich von 20m bis 100m.
...	...	12	<i>1.3.3 Höchstgeschwindigkeitsfahrt-Lichtverteilung</i> - Diese Lichtverteilung unterscheidet sich zur Abblendlichtverteilung durch eine erhöhte Reichweite von 300m und einen wesentlich dünneren Strahlenverlauf mit einer symmetrischen Gesamtbreite von 40m.
		13	<i>1.3.4 Stadtfahrt-Lichtverteilung</i> - Diese Lichtverteilung ist geprägt durch eine verkürzte Leuchtweite von 150m, einer intensiveren Ausstrahlung des direkt vor dem Fahrzeug liegenden Straßenbereiches (0 bis 50m), und einem einseitigem Einleuchten in Seitenstraßen oder einem beidseitigen Einleuchten bei Verkehrskreuzungen.
...	...	...	...

Abbildung 5.17: Textbeispiele zur höheren Wahrscheinlichkeit der Wiederverwendung von Spezifikationszeilen

Als letztes Kategoriefeld einer erhöhten Prognosewahrscheinlichkeit wird der Einfluss einer Simplifizierung auf die Kosten betrachtet. In einem Materialdurchlauf wurden hierfür die Spezifikationsausführungen auf das Freilassen von Free-for-Design Gebieten im Zeitablauf des Erstellungsprozesses untersucht. Behilflich war hier das Ergebnis der jeweils zweiten Gruppe von Kontroll- und Experimentalgruppe, welche die einzelnen Zeilen einer Spezifikation auf ihre Realisierungsneutralität hin bewertet haben. Weist man diese Realisierungsneutralität entsprechend der fortlaufenden Zeilennummer aus (siehe Abbildung 5.18), kann ein Eindruck über das früher oder eher später ausgeprägte Festlegen von spezifischen Designlösungen gewonnen werden. Ersichtlich wird, ob im Verlauf der Spezifikationserstellung sehr schnell ein technisches Konzept festgelegt

oder möglichst lange Freiräume für die Realisierung für kostengünstigen Systemauslegungen offengelassen wird.

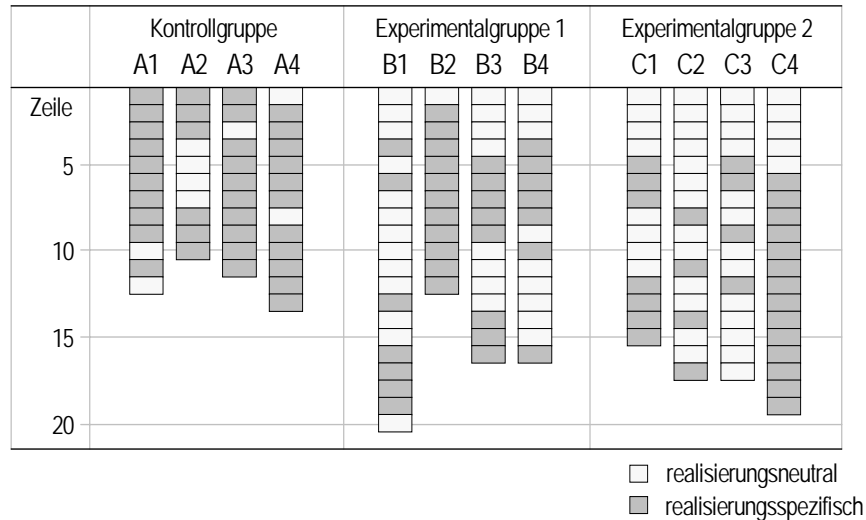


Abbildung 5.18: Freilassen von Free-for-Design Gebieten im Erstellungsprozess

Analysiert man das in Abbildung 5.18 vorliegende Ergebnis, so wird ein wesentlich systematischeres Offenlassen von Gestaltungsfreiräumen im Simplifizierungsfall deutlich. Während im Fall der Kontrollgruppe sehr schnell auf technische Lösungen eingegangen und festgelegt wird, zeichnet sich bei den Experimentalgruppen in den ersten Spezifikationszeilen überwiegend realisierungsneutrale Ausführungen ab. Dabei ist ein Unterschied zwischen den beiden Experimentalgruppen zu erkennen. Spezifikationen von Probanden der Experimentalgruppe 2 bleiben in ihren ersten Ausführungen länger realisierungsneutral wie Spezifikationen von Probanden der Experimentalgruppe 1. Betrachtet man die gesamte Spezifikationsausführung, so ist im Fall der zweiten Experimentalgruppe auch der Anteil an realisierungsneutralen Spezifikationszeilen größer. In der Kontrollgruppe stehen im Durchschnitt 20% realisierungsneutrale Spezifikationszeilen 80% realisierungsspezifische gegenüber, im Fall der ersten Experimentalgruppe ist es ein Verhältnis von 45% zu 55%, bei der zweiten Experimentalgruppe 59% zu 41%. Der Gesamtanteil der realisierungsneutralen Spezifikationszeilen ist insofern von Bedeutung, als dass es sich bei den vorliegenden Ergebnissen der Experimentaluntersuchung um Spezifikationen handeln, welche nicht bis zur unteren möglichen Detaillie-

nungsebene ausgeführt sind. Dies hat die begrenzte Zeitdauer der einzelnen Untersuchungssitzungen nicht zugelassen. Spezifikationszeilen, welche am Ende des Dokumentes stehen, können aus diesem Grund ebenso einem frühen Zeitpunkt der Spezifikationsausführung zugewiesen werden.

Bei der Interpretation von Abbildung 5.18 ist anzumerken, dass ein Nicht-Simplifizieren in der Spezifikationserstellung nicht unbedingt mit dem frühen Eingehen von Designlösungen gleichzusetzen ist. Wie jedoch aus dem Materialdurchlauf ersichtlich wird, kann durch eine verfolgte Simplifizierung wesentlich systematischer das Offenlassen von Free-for-Design Gebieten erreicht werden.

Mit dem folgenden Beispiel kann das Offenlassen von Systemauslegungen im Spezifikationserstellungsverlauf verdeutlicht werden. Herausgezogen werden hierzu zwei Spezifikationsumfänge zur Beschreibung der Fahrsituationserkennung (siehe Abbildung 5.19).

Zeile	Spezifikation (Proband A1)	Zeile	Spezifikation (Proband C3)
...	...	1	<i>1. Adaptives Lichtsystem</i> - Ausgehend von Informationen über die aktuelle Fahrzeugbewegung und -umgebung wird eine optimierte Fahrbahnausleuchtung bestimmt und an das Scheinwerfersystem ausgegeben.
7	Sind diese Funktionsvoraussetzungen erfüllt, wird die adaptive Lichtfunktion in Form der Fahrsituationsanpassung aktiviert. Mit Hilfe von GPS-Daten und einer elektronischen Landkarte (werden dem Auto-Pilot-System entnommen) wird die aktuelle Fahrsituation bestimmt und ein entsprechender Fahrzustand zugewiesen: Kurvenlichtfahrt, Höchstgeschwindigkeitslichtfahrt und Stadtlichtfahrt.	...	...
...	...	3	<i>1.2 Verarbeitung der Eingangsgrößen</i> - Aus den Eingangsgrößen wird die aktuelle Fahrsituation bestimmt und die Scheinwerfermodifikation für eine optimierte Fahrbahnausleuchtung abgeleitet.
...	...	...	...
		7	<i>1.2.1 Bestimmung der Fahrsituationen</i> - Jedem Straßenabschnitt der digitalen Karte ist eine von vier Fahrsituationen zugeordnet: "Normal", "Kurvenfahrt", "Höchstgeschwindigkeitsfahrt" und "Stadtfahrt". Aufgrund einer Positionsbestimmung unter Verwendung der geographischen Position kann die aktuelle Fahrsituation bestimmt werden.
		...	...

Abbildung 5.19: Textbeispiele für das Offenlassen von Free-for-Design Gebieten

Bei Proband A1 aus der Kontrollgruppe wird in der Spezifikation sofort die Verwendung von GPS-Daten als Informationsquelle für die geographische Lagebestimmung definiert. Die Spezifikationszeile fällt somit rein realisierungsspezifisch aus, ein Freiraum für differierende und eventuell kostengünstigere Systemauslegungen wird nicht offengelassen. Anders verhält es sich bei der mit Simplifizierungsebenen erstellten Produktspezifikation C3. Hier wird bis in die tiefsten Beschreibungsdetails die technische Realisierung der geographischen Lagebestimmung offengelassen. Die Verwendung von geographischen Daten eines GPS-Systems drängt sich zwar dem Betrachter auf. Mit der vorliegenden Spezifikation ist jedoch ebenso die Nutzung von in der Straße hinterlegte Informationen zur Straßenführung oder die Verwendung von Koppel- oder Trägheitsnavigationssystemen denkbar.

### **5.3.3 Ergebnis des Materialdurchlaufs zum Erklärungsvermögen**

Bei der Durchführung einer Inhaltsanalyse zum Wirkungszusammenhang einer Simplifizierung und einem erhöhten Erklärungsvermögen wird sowohl die durch die Untersuchungsteilnehmer beantworteten Fragestellungen als auch die Spezifikation, auf welcher Basis die Fragen beantwortet worden sind, herangezogen. Bei einem Materialdurchlauf zur Untersuchung des ersten Kategoriefeldes „Zeit“ sind die Fragen 1 bis 4 der Aufgabenstellung von Interesse. Hier wurden den Probanden einzelne Detailfragen gestellt, welche auf Basis einer vorliegenden Produktspezifikation beantwortet werden mussten. Im Materialdurchlauf wurden nun die vom Probanden mitangegebenen Referenzen einer jeder Antwort betrachtet und nach der jeweiligen Simplifizierungsebene gegliedert.

	Referenz zum Spezifikationsdokument											
	Kontrollgruppe Antwort zu Frage				Experimentalgr. 1 Antwort zu Frage				Experimentalgr. 2 Antwort zu Frage			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
auf unterster Ebene	III	IIII	III	III		I	IIII	III		I	I	III
auf höherer Ebene					IIII	III			III	III	II	I
keine Referenz	I		I	I				I	I		I	

Abbildung 5.20: Simplifizierungsebene der Referenzen bei Detailfragen

Wie aus Abbildung 5.20 zu entnehmen ist, können in der Kontrollgruppe die Fragen nur auf unterster Detaillierungsebene beantwortet werden. Übergeordnete Simplifizierungsebenen, auf die sich ein Beantworter beziehen kann, gibt es nicht. Anders verhält es sich im Fall der Experimentalgruppen, bei denen sich der Aufgabenbearbeiter auf Spezifikationen mit mehreren Simplifizierungsebenen stützen kann. Wie der Abbildung entnommen werden kann, können 16 Antworten mit Referenz auf eine höhere Simplifizierungsebene beantwortet werden, während 13 weitere Antworten sich weiterhin auf Spezifikationszeilen auf unterster Detaillierungstiefe beziehen. Bei insgesamt 6 Fragen sind keine Verweise auf das Spezifikationsdokument vermerkt, sei es aufgrund von unvollständigen Systemdefinitionen oder weit verzweigten Aussagenbasen im Spezifikationsdokument. Für die Fälle einer Referenz auf höher gelegenen Spezifikationszeilen wird es dem Bearbeiter erspart, sich bis ins Detail einzuarbeiten und eine Antwort auf die gestellte Frage zu finden. Die höher gelegenen Spezifikationen dienen so als vorangestellte Zusammenfassungen von weiteren Detailausführungen und ersparen eine zeitaufwendige Beschäftigung mit den tieferliegenden und sicherlich schwieriger zu verstehenden Spezifikationsdetails.

Besonders deutlich kann dieser Zusammenhang an dem folgenden Beispiel (siehe Abbildung 5.21) herausgearbeitet werden. Betrachtet wird die Frage 1 der Aufgabenstellung, in der nach der gewählten Scheinwertertechnik gefragt wird. Während sich der

Bearbeiter A5 der Fragenstellung bis zu Zeile 8 der Produktspezifikation A1 vorarbeiten muss, um die Frage zufriedenstellend zu beantworten, kann Proband C6 in seinem vorliegenden Dokument C2 die notwendigen Informationen bereits auf oberster Simplifizierungsebene finden. Da es sich bei der Scheinwerfertechnik um ein wichtiges Detail der Systemauslegung handelt, ist das Antreffen der Information über die Verwendung eines Reflexionssystems auf höchster Ebene durchaus repräsentativ.

Zeile	Spezifikation (Proband A1)	Zeile	Spezifikation (Proband C2)
...	...	1	1. Adaptives Lichtsystem - Das durch ein Reflexionssystem generierte Abblendlicht wird entsprechend den Fahrzeugumfeldgegebenheiten und -einflüssen angepasst. Neben den Fahrsituationen "Kurvenfahrt", "Höchstgeschwindigkeitsfahrt" und "Stadtfahrt" wird die Veränderung des Neigungswinkels durch Geschwindigkeits- und Beladungszustandsänderungen berücksichtigt.
8	Die unterschiedlichen Straßenbeleuchtungsverteilungen werden dann durch einen verstellbaren Frei-Flächenreflektor umgesetzt. Dabei ist zu beachten, dass der Übergang bei einem Wechsel der Beleuchtungsverteilung nicht ruckartig verläuft. Ein erheblicher Einfluss auf das Wahrnehmungsverhalten des Fahrers wäre zu erwarten. Die Deformation der Lichtverteilung auf der Straße und damit auch die Verlagerung der Lichtschwerpunkte darf nur mit einem gewissen Zeitverschiebung geschehen. Innerhalb der Systemerprobung ist zwischen einer ausreichend schnellen Einstellung der berechneten Lichtfunktion und einer der momentanen Fahrsituation angepassten Wahrnehmung des Fahrers zu optimieren. So können in Bezug auf eine angepasste Wahrnehmung in Kurven Spurinformatoren besser wahrnehmbar gestaltet werden oder bei einer Stadtfahrt Gefahren am Straßenrand deutlicher gemacht werden.	...	...
...	...		

Abbildung 5.21: Textbeispiel zur Beantwortung von Detailfragen auf höheren Simplifizierungsebenen

Es kann also davon ausgegangen werden, dass die simplifizierte Produktspezifikation systematisch Möglichkeiten zur früheren Beantwortung von Detailfragen zur Verfügung stellt. Der Bearbeiter des Dokuments ist somit nicht gezwungen, bis in die Tiefe des Dokuments vorzustoßen und sich Zeile um Zeile durch die Details zu arbeiten. Durch die strukturierte Verbundenheit auf jeder Simplifizierungsebene kann der Bearbeiter die nachfolgenden Details im Voraus auf ihre Informationshaltigkeit einschätzen und bei Nichtverwendbarkeit die jeweiligen Zeilen überspringen.

Eine identische Vorgehensweise wie bei der Inhaltsanalyse zum ersten Kategoriefeld eines erhöhten Erklärungsvermögens wird bei der Überprüfung des zweiten Kategoriefeldes „Qualität“ vorgenommen. Diesmal werden allerdings die Fragen 5 bis 7 der Aufgabenstellung betrachtet. Hier wurden die Probanden nach systemübergreifenden Zusammenhängen in der Produktspezifikation gefragt. Aus dem Ergebnis der Antworten inklusiv Referenzen soll die Erkenntnis gewonnen werden, inwieweit Simplifizierungsebenen auch Rückschlüsse darüber geben können, zu welchem jedes Teilsystem eine relevante Verbindung besitzt. Wie der Abbildung 5.22 entnommen werden kann, finden sich auch systemübergreifende Zusammenhänge in den oberen Simplifizierungsebenen einer Produktspezifikation wieder. In 18 Fällen der Experimentalgruppe konnte eine Antwort auf Basis einer höheren Beschreibungsebene erarbeitet werden, während in nur 6 Fällen auf die tiefste Detailebene der Spezifikation heruntergegangen wurde. In keinem Fall konnte keine explizite Referenz für die Antwort gegeben werden. Im Gegensatz hierzu erstellten die Probanden der Kontrollgruppe ohne simplifizierte Spezifikation, sofern es eine mögliche Referenz im Originaldokument gibt, lediglich Verweise auf unterste Detaillierungsebenen. In einem von zwölf Fällen konnte keine Referenz zum Originaldokument angegeben werden.

	Referenz zum Spezifikationsdokument								
	Kontrollgruppe Antwort zu Frage			Experimentalgr. 1 Antwort zu Frage			Experimentalgr. 2 Antwort zu Frage		
	5	6	7	5	6	7	5	6	7
auf unterster Ebene	IIII	IIII	III		II	II		II	
auf höherer Ebene				IIII	II	II	IIII	II	IIII
keine Referenz			I						

Abbildung 5.22: Simplifizierungsebene der Referenzen bei systemübergreifenden Gesamtfragen

Bei Betrachtung zweier ausgewählter Antworten von Frage 7 nach der Abschaltbarkeit des adaptiven Lichtsystems (siehe Abbildung 5.23) kann das Auffinden von Informatio-

nen über gesamtsystemrelevante Zusammenhänge in höheren Simplifizierungsebenen verdeutlicht werden.

Zelle	Spezifikation (Proband A1)	Zelle	Spezifikation (Proband B2)
...	...	...	...
6	Für die adaptive Lichtfunktion in Form der Fahrsituationsanpassung gelten die gleichen Funktionsvoraussetzungen wie für das Fahrlicht. Zusätzlich zur Abblendlichtstellung des Lichtdrehschalters und einem Klemmenstatus 15R oder höher muss der Lenkstockschalter auf die Position "Adaptives Licht ein" geschaltet werden.	2	<i>1.1 Funktionsvoraussetzung</i> - Das adaptive Lichtsystem ist default-mäßig aktiv, wenn die Beleuchtungsfunktion auf Abblendlicht geschaltet ist. Der Fahrer besitzt jedoch die Möglichkeit, durch einen Schalter die adaptive Lichtfunktion zu deaktivieren.
...	...	...	...
...	...	...	...

Abbildung 5.23: Textbeispiel zur Beantwortung von systemübergreifenden Gesamtfragen

Bei der Beantwortung von Frage 7 kann der Proband von der in der Spezifikation A1 ausgeführten Beschreibung des Lenkstockschalters auf die Ausschaltbarkeit des adaptiven Lichtsystems schließen. Hierzu muss sich der Bearbeiter durch fünf detaillierte Spezifikationszeilen durcharbeiten. In einer sechsten Zeile kann er die für ihn notwendigen Informationen extrahieren. Aufgrund der umständlichen Erarbeitung dieses gesamtsystemrelevanten Zusammenhangs ist es gerechtfertigt, von einer fehlenden Transparenz des extrahierten Sachverhaltes zu sprechen. Wesentlich transparenter wird der Sachverhalt der Abschaltbarkeit in der Spezifikation B2 aus der ersten Experimentalgruppe beschrieben. Bereits auf der zweitobersten Simplifizierungsebene wird die Abschaltbarkeit des Systems definiert und somit dem Bearbeiter auf seinen Weg in tiefere Details als Information mitgegeben.

Als letzte Überprüfung des Wirkungszusammenhangs zwischen der Simplifizierung und eines erhöhten Erklärungsvermögens wird das Ergebnis einer Inhaltsanalyse im Kategoriefeld „Kosten“ dargestellt. Innerhalb des Materialdurchlaufes wurden hierfür Spezifikationszeilen identifiziert, welche realisierungsneutral gehalten sind und somit dem Verständnis einer mechatronischen Systemlösung weitgehend entsprechen. Jede früh-

zeitige Definition von mechanischen oder elektrisch/elektronischen Lösungskonzepten würde den Gedanken von einer im Regelfall kostengünstigeren mechatronischen Gesamtsystemlösung entgegenstehen. Die realisierungsneutrale Beschreibung dagegen lässt für eine mechatronische Systemlösung alle Möglichkeiten offen. Der Entwickler wird nicht frühzeitig auf eine fachspezifische Lösung ausgerichtet, sondern hat die Möglichkeit, nach eigenem Ermessen eine unter Umständen kostengünstigere mechatronische Designlösung zu wählen.

Zur Auswertung der vorliegenden Produktspezifikationen A1 bis C4 wurden die einzelnen Spezifikationszeilen von der zweiten Gruppe der Untersuchungsteilnehmer auf ihre Realisierungsneutralität eingeschätzt. Das Ergebnis wurde innerhalb des Materialdurchlaufes aufbereitet und in Abbildung 5.24 zusammengefasst.

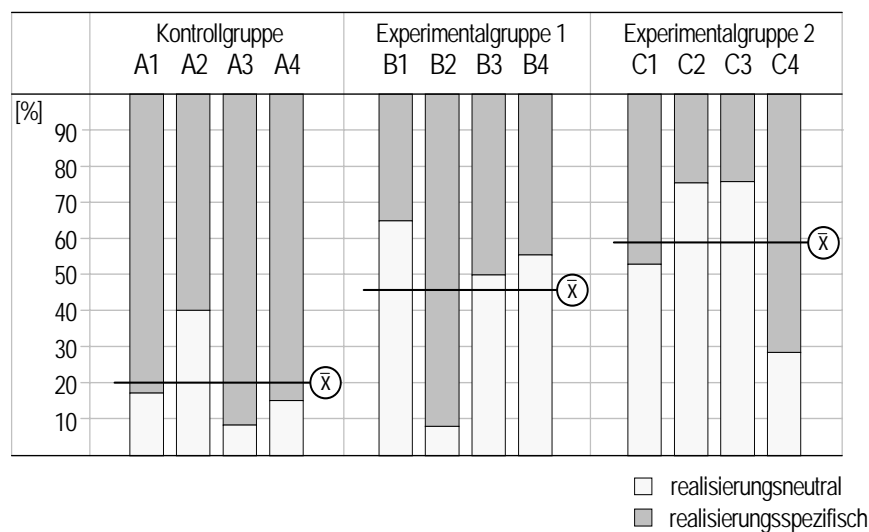


Abbildung 5.24: Realisierungsneutrale Beschreibung von Spezifikationsumfängen

Zieht man den Gesamtdurchschnitt einer Untersuchungsgruppe als Vergleichsmaßstab heran, so ergeben sich für die Spezifikationen der Kontrollgruppe 20% der Ausführungen als realisierungsneutral, in der ersten Experimentalgruppe 45% und in der zweiten 59%. Wie diesen Zahlen entnommen werden kann, wird in einer Spezifikation mit Simplifizierungsebenen der Weg zu einer mechatronischen Designlösung erleichtert, da mit den Ausführungen ein designlösungsfreies Verständnis von dem beschriebenen Sys-

tem vermittelt werden kann. Um die Frage einer besseren Vermittlung von mechatronischen Designlösungen zu testen, wurden innerhalb dieser Untersuchung mehrere Fragen zu möglichen mechatronischen Alternativen gestellt (Fragen 8 bis 10 der Aufgabenstellung). Das Ergebnis dieser Befragung brachte jedoch keinen signifikanten Wirkungszusammenhang ans Licht. Es ist zu vermuten, dass die Generierung von mechatronischen Designideen ebenfalls von der Vorstellungswelt des Betrachters abhängig ist und nicht nur von den zugrundeliegenden Informationen über das zu entwickelnde System. Nichtsdestoweniger kann im Falle einer Simplifizierung in der Produktspezifikation von einer systematisch positiven Gestaltung der Systembeschreibung zur Erzielung von mechatronischen Designkonzepten gesprochen werden.

## **5.4 Interpretation der empirischen Ergebnisse**

Durch die Bestätigung der mit der Inhaltsanalyse an die Spezifikation herangetragenen Struktur kann auch für die Arbeitshypothesen eine Aussage abgeleitet werden. Die mit den Kategoriefeldern in Übereinklang stehenden Hypothesen bleiben durch die Bestätigung der Kategoriefelder im Rahmen dieser Forschungsarbeit von einer Falsifikation verwahrt (siehe Kapitel 5.4.1). Dabei können sich auch die beiden berücksichtigten Simplifizierungsregeln in ihrer Anwendung durch die Umsetzung in der Produktspezifikationserstellung und die daraus resultierende Wirkung auf die Erfolgsdeterminanten bestätigen (siehe Kapitel 5.4.2).

### **5.4.1 Wirkung auf die Erfolgsdeterminanten**

Die in Kapitel 3.3 deduzierten Wirkungsfelder einer Simplifizierung kann durch die empirische Untersuchung nicht falsifiziert werden. Jedes Wirkungsfeld kann mit Textteilen einer Produktspezifikation belegt werden, welche einen signifikanten Unterschied zwischen Kontroll- und Experimentalgruppe ausweisen. Die Signifikanz der Aussagen kann durch den qualitativen Forschungsansatz der Untersuchung nicht mit Zahlen belegt werden. Folgt man den Ausführungen zu den Materialdurchläufen der Inhaltsanalyse, lassen sich qualitativ unterschiedliche Ausprägungen feststellen.

Am Prägnantesten kann die Arbeitshypothese 3.4 mit dem Aufzeigen von kleineren Iterationszyklen bei einer Simplifizierung in der Produktspezifikationserstellung belegt werden. Die Deutlichkeit der Unterschiede zwischen dem Vorgehen von Probanden aus der Kontrollgruppe und den beiden Experimentalgruppen sind eindeutig. Die weit geringere Anzahl von Sprüngen zwischen den Spezifikationszeilen stellen ein klares Indiz dafür dar, dass im Fall einer Simplifizierung kürzere Iterationszyklen im Erstellungsprozess ausgeführt werden.

Ebenso signifikant wie das Erreichen von kleineren Iterationszyklen kann bei einer Simplifizierung ein längeres Freihalten von Gestaltungsfreiräumen und eine häufigere realisierungsneutrale Beschreibung für mechatronische Systemlösungen identifiziert werden. Beide Sachverhalte können durch einen deutlichen Unterschied zwischen den Spezifikationsergebnissen von Kontroll- und Experimentalgruppe hinterlegt werden. Das empirische Ergebnis hat zwar aufgezeigt, dass in Einzelfällen der Kontrollgruppe ähnlich große Gestaltungsfreiräume offen gelassen und realisierungsneutrale Systembeschreibungen gewählt wurden. Eine systematische Vergrößerung dieser unabhängigen Variablen kann jedoch nur den beiden Experimentaluntersuchungsgruppen zugesprochen werden. Arbeitshypothese 3.6 und 3.9 haben sich somit im Rahmen der empirischen Untersuchung bestätigt.

Die Arbeitshypothesen 3.7 und 3.8 bezüglich einer Vermittlung von Spezifikationsdetails und gesamtsystemübergreifenden Zusammenhängen haben sich innerhalb der Untersuchung ebenfalls einer Falsifikation verwehrt. Innerhalb des Materialdurchlaufes der durch die Probanden beantworteten Fragestellungen konnten eindeutige Indizien für das Beantworten von Fragen zu Details oder Gesamtzusammenhängen auf höherer Ebene filtriert werden. Der Vergleich von Kontroll- und Experimentalgruppe ergibt, dass Fragestellungen bei einer vorgefundenen Simplifizierung nicht auf Basis der untersten Detaillierungsebene beantwortet werden müssen, sondern bereits auf höherer Ebene eine Antwort gefunden werden kann. Die Signifikanz dieser Aussage wird etwas geschwächt durch die vereinzelte Nichtbeantwortung von Fragestellungen. Die kleine Anzahl der Probanden pro Untersuchungsgruppe erweist sich hier als Nachteil. Durch den Wegfall von einzelnen Referenzen zum Spezifikationsdokument wären mehr und vor allem durchgängigere Anhaltspunkte zur Analyse in den Antworten der Probanden wünschenswert. Der für die anderen Arbeitshypothesen notwendige Freiraum in der Aufgabenstellung verhinderte jedoch eine enger gefasste Spezifikationsaufgabe mit durchgängig zu beantworteten Fragestellungen.

Die von den sechs aufgestellten Arbeitshypothesen deutlich schwächste Signifikanz muss den Ausführungen zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit der Wiederverwendung

zugewiesen werden. Der Arbeitshypothese 3.5 konnten in der Inhaltsanalyse mehrere Textteile zugewiesen werden. Eine Zusammenfassung dieses Materialdurchlaufes durch eine universell erfassbare Variable ist jedoch nicht möglich. Die Überprüfung der Arbeitshypothese beschränkt sich somit auf einem Aufzeigen von Einzelfällen. Grund für die schwächere Signifikanz der Arbeitshypothese ist somit nicht eine schwache Wirkungskette, sondern der Aufbau der Untersuchungsdurchführung. Das Wiederverwenden von Vorgängerspezifikationen und die Möglichkeit der Wiederverwendung der neu erstellten Spezifikation ließ sich im Umfang der Experimentaluntersuchung nicht vollständig integrieren. So fehlte den Probanden gänzlich die Möglichkeit des Zugriffs auf bereits erstellte Produktspezifikationen von Vorgängersystemen. Außerdem wurden die Ergebnisse der Spezifikationserstellung nur an eine Spezifikationsbearbeitung zur Fragenbeantwortung weitergegeben, nicht aber in eine erneute Spezifikationserstellung. Diese beiden Gestaltungsdetails sind nicht in Übereinklang zu bringen mit der Forderung an das Untersuchungsdesign, den Probanden nach Definition der bedingt einschränkenden Aufgabenstellung möglichst viel Freiraum zur Lösung der Spezifikationsaufgabe vorzugeben.

#### **5.4.2 Wirksamkeit der Simplifizierungsregeln**

Durch die positiven empirischen Ergebnisse der Wirksamkeit der Simplifizierung auf die Erfolgsdeterminanten kann auch den konstruktiv entworfenen Simplifizierungsregeln eine Wirksamkeit zugesprochen werden. Schließlich basierte jede simplifizierte Produktspezifikation der Experimentalgruppe auf einer Einhaltung der vorgegebenen Simplifizierungsregeln durch den Probanden. Bewertet man die beiden zur Anwendung gekommenen Regel, so kann eine kleine Differenzierung erarbeitet werden. Die Regel 1, welche von Probanden der Experimentalgruppe 1 und 2 verwendet wurde, kann eine uneingeschränkte Wirksamkeit und somit auch Notwendigkeit zugewiesen werden. Die Beschränkung auf eine Anzahl von zu beschreibenden Elementen ist bei einer Simplifizierung in der Produktspezifikationserstellung elementar. Wie man bei einem Vergleich mit der Kontrollgruppe sieht, zeigen die Spezifikationen aus der ersten und zweiten Ex-

perimentalgruppe eine wesentlich stärkere Fokussierung auf die Beschreibung des adaptiven Lichtsystems. Mit der Beschränkung auf eine Anzahl von zu beschreibenden Elementen erreicht man also nicht allein die Einhaltung einer Top-Down-Vorgehensweise, sondern auch eine in der Simplifizierung geforderte Konzentration auf das Wesentliche. Im Gegensatz hierzu sind in der Kontrollgruppe einige Spezifikationszeilen zu finden, welche sich nicht unbedingt mit den Kernfunktionen eines adaptiven Lichtsystems sondern eher mit einer allgemeinen Beleuchtungsfunktion beschäftigen (siehe Abbildung 5.25). So wird beispielsweise in der Spezifikation A1 die Funktion des Sonnenlichtsensors beschrieben, welche nicht unbedingt zu einem adaptiven Lichtsystem hinzugezählt werden kann. In Spezifikation A2 werden in einem ersten Schritt Anforderungen an die Hardware des Systems gestellt. Bereits in Zeile 1 aufgeführt, stellen diese Ausführungen sicherlich nicht die Kernspezifikation des Systems dar.

Zeile	Spezifikation (Proband A1)	Zeile	Spezifikation (Proband A2)
...	...	1	Die Steuergeräte für das adaptive Lichtsystem ist im Front-Modul des Fahrzeugs einzubauen. Durch die Nähe zum Motorraum (gemäßigte Zone, isolierter Bereich im Motorraum) ist eine Maximaltemperatur von $T_{max}=150^{\circ}$ Celsius vorzusehen. Die Minimaltemperatur beträgt $T_{min}=-40^{\circ}$ Celsius.
2	Funktionsvoraussetzung für das Fahrlicht ist die Abblendlichtstellung des Lichtdrehschalters und Klemmenstatus 15R und höher. Die folgenden Leuchten werden eingeschaltet: Abblendlicht (wie vorgegeben), Standlicht, Schlusslichter, Kennzeichenbeleuchtung, Sidemarker, Hintergrundbeleuchtung im Innenraum.	2	Eine Ölbeständigkeit und eine Beständigkeit gegenüber Kühlflüssigkeit und eine Spritzwasserdichtheit ist sicherzustellen, die dynamische Festigkeit gegenüber Fahrwerks- und Motoranregung ist zu prüfen. Außerdem ist ein elektromagnetischer Verträglichkeitstest durchzuführen.
3	Funktionsvoraussetzung für das automatische Fahrlicht ist die Automatikstellung des Lichtdrehschalters. Erkennt der Sonnenlichtsensor Nacht oder fordert die Wischfunktion Licht an, wird abhängig von der Stellung des Zündschlüssels das Standlicht und bei Motorlauf das Abblendlicht eingeschaltet.	...	...
4	Wenn der Zündschlüssel nur steckt (ausschließlich Stellung 0) wird auch bei erkannter Nacht bzw. aktueller Anforderung durch die Wischerfunktion das Licht nicht eingeschaltet.		
5	Unabhängig von der Zündung wird das Licht ausgeschaltet, sobald der Sonnenlichtsensor Tag erkennt und keine Anforderung der Wischerfunktion mehr vorliegt.		
...	...		

Abbildung 5.25: Textbeispiel zur fehlender Fokussierung in der Produktspezifikationserstellung

Ebenso verantwortlich für die Erzielung einer Simplifizierung in der Produktspezifikation ist die Regel 2, welche die Einhaltung einer gleichmäßigen logischen Tiefe pro Be-

schreibungsebene fordert. Wie ein Vergleich zwischen den Ergebnissen der beiden Experimentalgruppen zeigt, ist hier ein deutlicher Unterschied in der Wirksamkeit auf die Erfolgsdeterminanten zu erkennen. Dieser Unterschied ist nicht durch eine fehlende logische Tiefe der simplifizierten Produktspezifikationen, bei denen diese Regel nicht angewendet worden ist, zu begründen. Wie bei einem Überprüfen der Produktspezifikation B1 bis B4 ersichtlich wird, wählen die Ersteller der Produktspezifikation intuitiv Elemente auf einer annähernd identischen logischen Tiefe aus. Der Erfolg einer zusätzlichen Regel 2 lässt sich vielmehr aus einer erhöhten Thematisierung des Simplifizierungsaspektes erklären. Der Ersteller der Produktspezifikation wägt bei der Auswahl der zu beschreibenden Elemente sorgfältiger ab und erzielt so eine der Simplifizierung stärker entsprechende Beschreibungsebene. Dies kann jedoch nur ein Erklärungsversuch darstellen. Eindeutig ist, dass die Produktspezifikationen, welche mit den beiden Simplifizierungsregeln erstellt wurden, dem Erzielen der prognostizierten Wirkungszusammenhänge näher kommen, wie Produktspezifikationen, welche nur mit der Regel 1 erstellt wurden.

Die intuitive Wahl einer identischen logischen Tiefe war bei der alleinigen Befolgung von Regel 1 im Vorfeld der Untersuchung nicht unbedingt zu erwarten. Hier zeigt sich jedoch bereits deutlich die Auswirkungen einer geforderten Simplifizierung. Der Regelbefolger macht sich bereits im Vorfeld einer Spezifikationszeilenerstellung Gedanken über das Gesamtsystem und entwickelt so ein Gesamtverständnis, welches ihn intuitiv zu einer Strukturierung auf identischer logischer Tiefe führt.

Im Untersuchungsdesign wurden lediglich zwei Regeln zur Simplifizierung berücksichtigt. Grund hierfür ist der experimentelle Charakter des Untersuchungsaufbaues, welcher einer sinnvollen Verwendung der Regeln widerspricht. Durch das empirische Ergebnis der Untersuchung lässt sich jedoch eine Anmerkung zu Regel 3 ausführen. Wie Kapitel 4.3.2 zu entnehmen ist, schreibt Regel 3 die vollständige Beschreibung einer Simplifizierungsebene vor, bevor zur nächsten Ebene übergegangen wird. Wenn sich auch die Vorteilhaftigkeit dieser Regel nicht voraussagen lässt, so kann eine Aussage getroffen werden, wie Personen sich ohne eine solche Regelbeschränkung verhalten.

Die Regel 3 für die ersten beiden Simplifizierungsebenen einer Produktbeschreibung wird intuitiv von den Probanden eingehalten, wie aus der Gliederung der Spezifikationen aus den Experimentalgruppen ersichtlich wird (siehe Abbildung 5.26). Über diese zweite Beschreibungsebene hinweg unterscheiden sich jedoch die Vorgehensweisen bei den Experimentalgruppen. Während in der ersten Experimentalgruppe ab dieser Ebene zwischen den Simplifizierungsebenen gesprungen wird, weisen die Ergebnisse aus der zweiten Experimentalgruppe mit der Ausnahme C1 die intuitive Befolgung der Regel 3 auf.

Zeile	Erstellungsabfolge der Simplifizierungsebenen							
	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4
1	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
4	1.1.1	1.2.1	1.3	1.1.1	1.3	1.3	1.3	1.3
5	1.1.2	1.2.2	1.4	1.1.1.1	1.1.1	1.4	1.1.1	1.4
6	1.1.3	1.2.3	1.2.1	1.1.1.2	1.1.2	1.1.1	1.1.2	1.1.1
7	1.2.1	1.2.4	1.2.2	1.1.2	1.2.1	1.1.2	1.2.1	1.1.2
8	1.2.2	1.3	1.2.2.1	1.2.1	1.2.2	1.1.3	1.2.2	1.1.3
9	1.2.2.1	1.3.1	1.2.2.2	1.2.2	1.2.2.1	1.2.1	1.2.3	1.2.1
10	1.2.2.2	1.3.2	1.3.1	1.2.2.1	1.2.2.2	1.2.2	1.2.4	1.2.2
11	1.2.2.3	1.3.3	1.3.2	1.2.2.2	1.2.2.3	1.2.3	1.3.1	1.2.3
12	1.2.3	1.3.4	1.3.3	1.2.2.2.1	1.3.1	1.3.1	1.3.2	1.3.1
13	1.2.3.1		1.3.4	1.2.2.2.2	1.3.2	1.3.2	1.3.3	1.3.2
14	1.2.3.2		1.4.1	1.2.2.2.3	1.3.2.1	1.3.3	1.2.1.1	1.3.2
15	1.2.3.3		1.4.2	1.2.2.2.4	1.3.2.2	1.4.1	1.2.1.2	1.4.1
16	1.2.4		1.4.3	1.2.2.3		1.4.2	1.2.1.3	1.4.2
17	1.2.4.1					1.4.3	1.2.1.4	1.4.2
18	1.2.4.2							
19	1.2.4.3							
20	1.2.5							

Abbildung 5.26: Abfolge der bearbeiteten Simplifizierungsebenen

Dass in der zweiten Experimentalgruppe überwiegend eine Simplifizierungsebene fertig spezifiziert wurde, bevor tiefer ins Detail gegangen wurden, hängt mit der in dieser Gruppe befolgten Regel 2 zusammen, eine identische logische Tiefe auf jeder Ebene sicherzustellen. Die hierdurch angeregten Überlegungen scheinen beim Probanden dazu zu führen, in einem ersten Schritt die erarbeitete Simplifizierungsebene festzuhalten und erst in einem zweiten tiefere Details zu betrachten.

Aus Beobachtungen der Regelumsetzung durch die Probanden kann zusammengefasst werden, dass in beiden Experimentalgruppen die Anwendung der beiden Simplifizierungsregeln ausgeführt werden konnte. Der Inhalt einer Regel wurde verstanden und ohne Rückfragen in der Abarbeitung der Spezifikationsaufgabe umgesetzt. Die im Anschluss an die Untersuchung geführten Gespräche mit den Teilnehmern zeigten, dass die Vorteilhaftigkeit der Regelzielsetzung anerkannt und ein Defizit in der heutigen Realität der Spezifikationserstellung und -bearbeitung bestätigt wurde. Von vielen Probanden wurden jedoch Zweifel daran angebracht, ob die Regeln sich operativ in der Unternehmensrealität auf alle technischen Systeme anwenden lassen. Häufig wurde die Begründung angeführt: „Die Beschreibung von manchen technischen Systemen kann nicht in einer ersten Simplifizierungsebene auf fünf Elemente beschränkt werden.“ Ein konkretes Beispiel für diese Vermutung konnte jedoch in keinem Fall angeführt werden.

Bezüglich der Akzeptanz der Simplifizierungsregeln kann aus diesem Grund festgestellt werden, dass im Unternehmensalltag zumindest in einem ersten Schritt der Einführung Anreize für den Einzelnen geschaffen werden müssen, um eine durchgängige Umsetzung der Regeln zu gewährleisten. Gerade die bewusste konstruktive Definition des Regelsatzes unter Berücksichtigung einer möglichen quantitativen Kontrolle der Spezifikationsergebnisses ermöglichen hier die erfolgreiche Gestaltung eines Anreizsystems, welches die Arbeit des Spezifikationserstellers kontrollierbar macht.

### **5.4.3 Weitere empirische Ergebnisse**

Für eine simplifizierte Produktspezifikation lässt sich zusätzlich zu den Arbeitshypothesen 3.4 bis 3.9 eine erhöhtes Erklärungsvermögen in Bezug auf ein marktorientiertes Zielkostenmanagement herausarbeiten. Dieser Wirkungszusammenhang wurde nicht in das Kategorienfeld aufgenommen, da für eine empirische Überprüfung Kostenkalkulatoren oder Produktcontroller und nicht Produktentwickler als Probanden für die Untersuchung notwendig gewesen wären. In den aus diesem Grund nur ergänzenden Ausführ-

rungen muss aufgrund fehlender universeller Messgrößen auf eine verallgemeinerte Darstellung des Auswertungsergebnisses verzichtet werden. Die folgenden Ausführungen und ein herausgegriffenes Beispiel sollen den Wirkungszusammenhang verdeutlichen.

Innerhalb eines Target Costing wird der Ansatz verfolgt, in einem Top-Down-Prozess möglichst frühzeitig die Produktkosten marktorientiert zu steuern.<sup>37</sup> Aus der Differenz zwischen Marktpreispotential und Ergebnisvorstellung des Unternehmens werden möglichst frühzeitig die zu akzeptierenden Kosten eines neuen Produkts berechnet.<sup>38</sup> Um den einzelnen Teilsystemen jeweilige Zielkosten vorgeben zu können, ist es notwendig, die zuvor berechneten Darfkosten des Produktes auf Komponenten- oder Funktionsstruktur herunterzubrechen.<sup>39</sup> Eine Zielkostenaufspaltung ist notwendig. Betrachtet man diese Zielkostenaufspaltung im Zeitablauf, so wird in frühen Phasen eine eher grobe Aufgliederung der Zielkosten vorzufinden sein, welche mit Hilfe einer Schätz- oder Degressionskalkulation verifiziert werden. Erst zu einer späteren Phase in der Produktentwicklung kann die detaillierte Aufstellung von Teilekosten zu einem Abgleich mit den Zielkosten führen.

Der Vorteil einer Spezifikation mit Simplifizierungsebenen liegt in diesem Bereich darin, genau diesem Top-Down-Ansatz zu entsprechen. Das System wird auf jeder Ebene ganzheitlich beschrieben. Die einzelnen Ebenen unterscheiden sich in ihrer Detaillierungstiefe. Basieren die Aussagen eines Produktkalkulators auf die ihm vorliegende Produktspezifikation, so braucht er sich bei dem Antreffen von Simplifizierungsebenen nur soweit in die Details hineinarbeiten, wie die Schätzung der Produktkosten es verlangt. Da diese Detaillierungstiefe ganzheitlich in der Produktspezifikation beschrieben ist, wird dem Kalkulator eine aussagekräftige Informationsquelle zur Seite gestellt. Besitzt die Produktspezifikation keine Simplifizierungsebenen, so ist der Produktkalkula-

---

<sup>37</sup> Vgl. Seidenschwarz (1993), S. 10.

<sup>38</sup> Vgl. Seidenschwarz (1993), S. 9; ebenda, S. 115ff.

<sup>39</sup> Vgl. Seidenschwarz (1993), S. 10; ebenda, S. 152ff.

tor gezwungen, sich bis in die tiefsten technischen Details durchzuarbeiten. Die meisten Informationen, welche er hier vorfindet, sind für ihn ohne Bedeutung. In sehr frühen Phasen sind zwangsläufig die Spezifikationen unvollständig, was wiederum das Erarbeiten eines ganzheitlichen Verständnisses über das technische System erschwert. Die ableitbare Konsequenz aus Informationsflut und Unvollständigkeit ist die wesentlich geringer ausfallende Hebelkraft eines Target-Costing-Ansatzes in Bezug auf die Kostenreduzierung im Entwicklungsablauf. Das Aufstellen von Kostenreduzierungsmaßnahmen fällt wesentlich schwieriger, wenn die Inhalte einer technischen Spezifikation nur schwer verständlich sind und nicht transparent den Kalkulationsprozess unterstützen.

Das folgende, aus dem Materialdurchlauf herausgegriffene Beispiel, kann gut diese Kompatibilität zu einem Target-Costing-Ansatz verdeutlichen.

Zeile	Spezifikation (Proband A4)	Zeile	Spezifikation (Proband B2)
...	...	...	...
4	Der Stator des Drehwinkelsensors wird an der Karosserie angebracht, der Rotor wird über einen Hebel mit der Radaufhängung verbunden. Aus dem Verhältnis der Einzelspannungen der Empfangsspulen kann der Winkel der Verdrehung zwischen den beiden Sensorelementen bestimmt werden. Die Winkeländerung ist proportional zum erzeugten Spannungssignal.	3	1.2 Fahrsituationserkennung - Zur Erkennung des Beschleunigungsverhaltens und des Beladungszustands wird ein Fahrzeugniveausensor herangezogen. Zur Erkennung der Fahrsituationen Kurvenfahrt, Höchstgeschwindigkeitsfahrt und Stadtfahrt stehen Navigationsdaten über die aktuelle Position zur Verfügung.
5	Den Signalen der Drehwinkelsensoren wird durch fahrzeugspezifische Kennlinien ein bestimmter Sollwert der Scheinwerferstellung zugeordnet.	...	...
6	Der ausgelesene Sollwert wird vor einer Weiterleitung zum Scheinwerferaktuator durch einen je nach Geschwindigkeit verschieden starken Hochpass gefiltert, um Nickbewegungen aufgrund von Brems- und Beschleunigungsvorgängen schnell zu kompensieren und einen unruhigen Lichteindruck aufgrund von Fahrbahnanregungen zu verhindern. Die adaptive Filterzeitkonstante wird dabei entsprechend der aktuellen Geschwindigkeit ermittelt.		
...	...		

Abbildung 5.27: Textbeispiel zur Verdeutlichung der Kompatibilität zum Target-Costing-Ansatz

Befindet sich der Produktkalkulator in einer sehr frühen Phase des Produktentstehungsprozesses und möchte eine erste Schätzung über die Produktkosten erstellen, muss er die einzelnen Komponenten des adaptiven Lichtsystems aus der Produktspezifikation herausarbeiten. Im Falle der simplifizierten Produktspezifikation B2 kann er schnell erkennen, dass ein Fahrzeugniveausensor im System vorgesehen ist. Im Falle der aus der Kontrollgruppe stammenden Spezifikation A4 kann der Produktkalkulator sich die identische Information erarbeiten, indem er das Vorhandensein eines Drehwinkelsensors in Zeile 4 mit den Ausführungen über die Nickbewegung in Zeile 6 in Zusammenhang bringt. Ein wesentlich umständlicher Weg zur Gewinnung dieser Information ist notwendig. Kostenreduzierungsmaßnahmen lassen sich bei einer solch hohen Detaillierung nur sehr schwer ableiten. Eine hohe Detaillierungstiefe in der Spezifikation erschwert hier nur.

## 6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Ansatz erarbeitet, welcher es Wertschöpfungspartnerschaften erlaubt, bei der unternehmensübergreifenden Produktspezifikationserstellung eine Komplexitätsbeherrschung zu sichern. Der bisher verfolgte technomorphe Ansatz wird bei komplexen technischen Systemen und einer komplexen Entwicklungsumgebung als nicht zielführend erachtet. Entscheidet eine zentrale Einheit über die Produktspezifikationen, können nicht alle entscheidungsrelevanten Kriterien für eine wirtschaftlich erfolgreiche Produktauslegung berücksichtigt werden. Als Folge treten häufig ungünstige Designentscheidungen auf, die sich wiederum negativ auf die gesamte Wertkette auswirken. Die zentrale Zielsetzung einer Wertschöpfungspartnerschaft - eine Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit - wird nicht erreicht. Ein systemisch-evolutionärer Ansatz zur Komplexitätsbeherrschung wird dagegen als wesentlich erfolgversprechender beurteilt. Auf einen direkten Einfluss der Spezifikationserstellung durch eine zentrale Einheit wird bei diesem Ansatz verzichtet. Es werden vielmehr vorteilhafte Rahmenbedingungen in Form von Handlungsregeln aufgestellt, welche die einzelnen dezentralen Einheiten der Wertschöpfungspartnerschaft in Richtung eines gemeinsamen Zieles führen.

Im Rahmen dieser Arbeit konnte mit der Simplifizierung in der Produktspezifikation eine solche Handlungsweise identifiziert und empirisch bestätigt werden. Zur Bildung von Rahmenbedingungen eines systemisch-evolutionären Ansatzes wird vorgeschlagen, bei einer durch unvollkommene Information geprägten Entwicklungsumgebung die einfachste Beschreibung eines Produktes zu wählen. Durch die Vorgabe von Simplifizierungsregeln für die jeweiligen Wertschöpfungspartner kann ein indirektes Optimieren der in Forschung und Entwicklung geltenden wirtschaftlichen Erfolgsdeterminanten „Zeit“, „Qualität“ und „Kosten“ prognostiziert werden. Eine Win-Win-Situation für alle beteiligten Partner entlang der Wertkette wird geschaffen.

Die Simplifizierung in der Produktspezifikation erfolgt anhand einzelner Simplifizierungsebenen, auf welchen das Produkt in geringer Detaillierungstiefe gesamtheitlich beschrieben wird. Dabei werden die Entscheidungen über die jeweiligen Designdetails und damit der Ausgestaltung der einzelnen wirtschaftlichen Erfolgsdeterminanten dezentral getroffen. Für den in der Wertkette jeweils übergeordneten Wertschöpfungspartner ermöglicht eine Beschränkung der Spezifikationserstellung auf die simplifizierte Beschreibungsebene die Konzentration auf die Kernkompetenz der Systemzusammenführung. Durch die verschiedenen Beschreibungstiefen muss der Hersteller nicht mehr jedes Detail selbstständig mitbestimmen. Der Hersteller definiert lediglich diejenigen Spezifikationen, welche für eine Zusammenführung der einzelnen Subsysteme notwendig sind und überlässt den in der Wertschöpfungskette untergeordneten Partnern die Definition von detaillierteren Anforderungen an das Produkt. Den in der Wertkette nachgelagerten Wertschöpfungspartnern wird so die Möglichkeit geboten, ihre Kompetenz und Innovationskraft in einer Art und Weise einzubringen, dass eine Maximierung der Wertschöpfung innerhalb der gesamten Wertkette erreicht wird. Durch die Beschränkung der Spezifikationsvorgabe auf eine bestimmte Beschreibungstiefe bleibt für den Zulieferer hinreichend Freiraum, kostenoptimale Designvarianten zu realisieren.

Vor diesem Hintergrund leistet die vorliegende Arbeit den Beitrag, aus wissenschaftstheoretischer Perspektive die grundsätzlichen Wirkungszusammenhänge einer Simplifizierung in der Produktspezifikation auf die einzelnen Erfolgsdeterminanten in Forschung und Entwicklung aufzuzeigen. Mit Hilfe zweier deduktiver Prognoseansätze und einem nachfolgenden empirischen Test wird ein Ursache-Wirkungs-Aussagensystem zwischen der Simplifizierung in der Produktspezifikation, ein daraus resultierendes erhöhtes Erklärungsvermögen und eine gesteigerte Prognosewahrscheinlichkeit sowie ein letztendlich positiver Einfluss auf die wirtschaftlichen Erfolgsdeterminanten nachgewiesen.

Aus einer pragmatischen Perspektive der Wissenschaft leistet diese Arbeit den Beitrag, die zuvor erwähnten theoretischen Erkenntnisse in eine für die Unternehmenspraxis umsetzbare Wirtschaftstechnologie einzubringen. Die aufgezeigten Wirkungsprinzipien

einer Simplifizierung werden hierzu in ein Ziel-Mittel-Aussagesystem transformiert. Ergebnis dieser Transformation ist ein Regelwerk, welches zwischen den einzelnen Wertschöpfungspartnern die Simplifizierung in der Produktspezifikation sicherstellen kann. Innerhalb dieser Forschungsarbeit konnten zwei dieser Regeln auf ihre Akzeptanz und Handlungsauswirkungen in der Praxis getestet werden. Die prognostizierten Wirkungszusammenhänge konnten, wie den Ausführungen über die Wirkungszusammenhänge entnommen werden kann, im Rahmen des empirischen Teils bestätigt werden.

## Anhang A: Aufgabenstellung für die Spezifikationserstellung durch die Untersuchungsteilnehmer

### Aufgabenstellung zur Spezifikationserstellung (1)

*Produktspezifikation zur Realisierung des Adaptive Lichtsystem eines Nutzfahrzeuges:*

- Adaptiv bedeutet in diesem Fall: Anpassungsfähig an die Fahrzeugzustände.
- Maximaler Kompromiss zwischen Fahrkomfort, Blendungsvermeidung, guter Ausleuchtung und Verkehrssicherheit.
- Spezifikation einer elektrischen Auslegung des adaptiven Lichtsystems.
- Steuerung der Lichtverteilung für unterschiedliche Fahrsituationen (siehe unten). Berücksichtigung von unterschiedlichen Beladungszuständen sowie Brems- und Beschleunigungsvorgängen.
- Hardware-Restriktionen: Einbau eines Xenon-Lichtsystems (Entladungslampe) der zweiten Generation mit zugehörigem Vorschaltgerät, 24V Bordnetz, ...
- Restriktionen bzgl. der adaptiven Komponenten in heute gültigen gesetzlichen Regelungen sind nicht zu berücksichtigen.

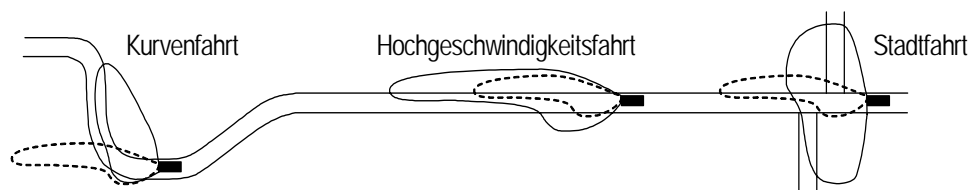
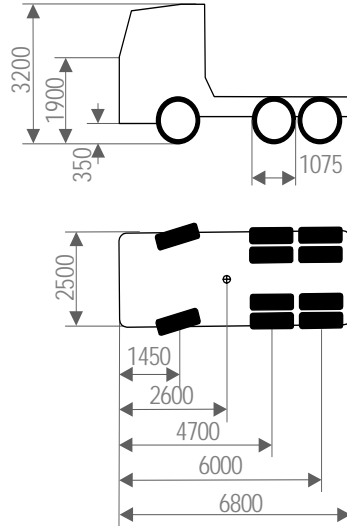


Abbildung A.1: Aufgabenblatt Seite 1

### Aufgabenstellung zur Spezifikationserstellung (2)

- Betreffender LKW ist ein Volumenmodell (große Stückzahlen) und wird als Basismodell bzw. Grundplattform für weitere Produktvarianten verwendet.
- Fahrzeugspezifische Maßgrößen können der unteren Abbildung entnommen werden.



- Wendekreisdurchmesser: 16m
- Fahrzeugdaten bei unbelastetem Zustand

Abbildung A.2: Aufgabenblatt Seite 2

### Aufgabenstellung zur Spezifikationserstellung (3)

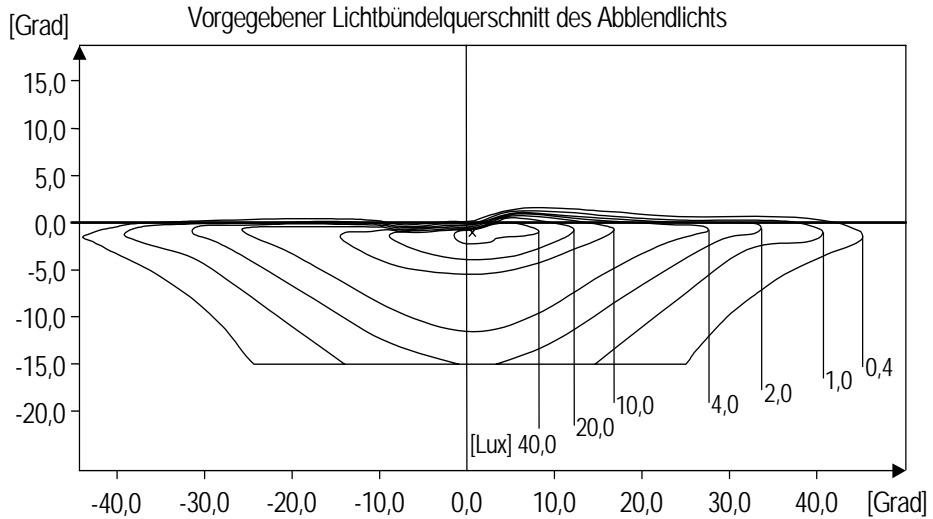


Abbildung A.3: Aufgabenblatt Seite 3

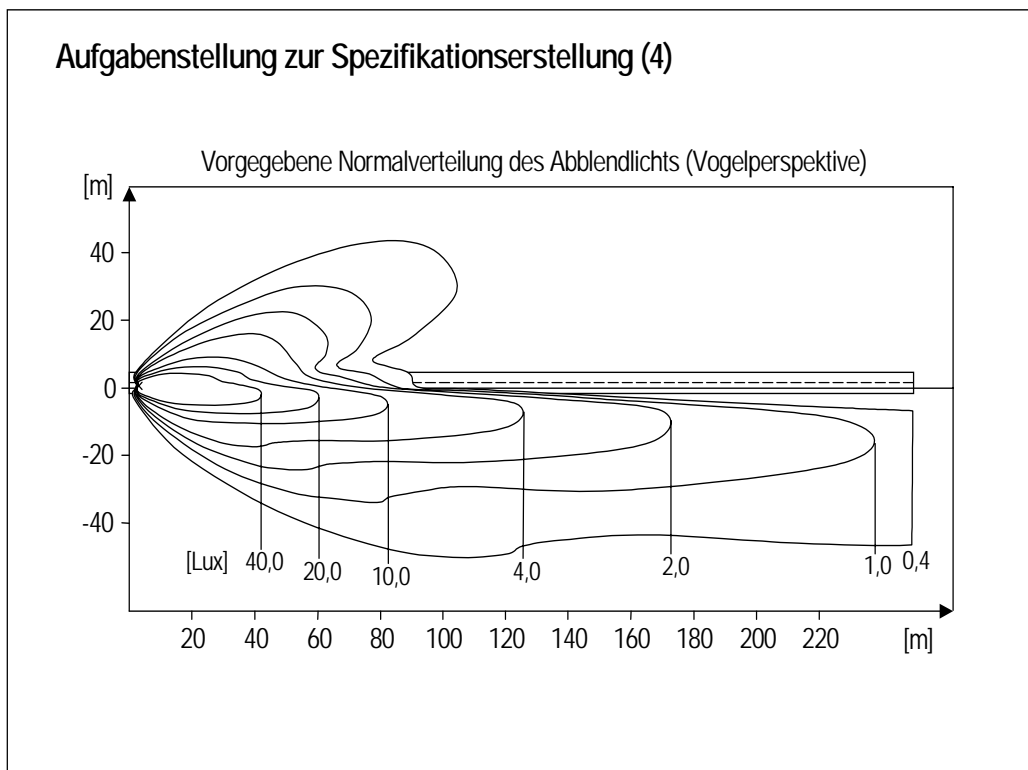


Abbildung A.4: Aufgabenblatt Seite 4

## Anhang B: Fragestellung für die Spezifikationsbearbeitung durch die Untersuchungsteilnehmer

### Fragestellung für die Untersuchungsgruppen

*Bitte beantworten Sie die Fragen unter Rückgriff auf die Ihnen vorliegende Produktspezifikation:*

- (1) Wird eine Scheinwerfertechnik (Projektion, Reflexion, Lichtleiter) spezifiziert?  
Wenn ja, welche?
- (2) Welche spezielle Fahrsituationen werden durch das adaptive Lichtsystem berücksichtigt?
- (3) Und wodurch unterscheiden sich die Lichtverteilungen einer jeder Fahrsituation?
- (4) Mit welchem Aktuator wird für eine Kurvenausleuchtung gesorgt?
- (5) Beschreiben Sie in Stichwörtern, welche Funktionen das System ausführt!
- (6) Können zwei Fahrsituationen gleichzeitig aktiv sein?!
- (7) Ist die „Adaptive Licht“-Funktionalität abschaltbar?
- (8) Erkennen Sie Funktionen, die anstatt einer mechanischen Komponente durch eine elektrische/ elektronische Komponente realisiert werden könnte?
- (9) Und umgekehrt, erkennen Sie Funktionen, die anstatt einer elektrisch/ elektronischen Komponente durch eine mechanische Komponente realisiert werden könnte?
- (10) Welche Potenziale für mechatronische Systemlösungen können Sie erkennen?
- (11) Markieren Sie im Originaldokument, welche Spezifikationszeilen realisierungsspezifisch (d.h. speziell für eine mechanische bzw. elektrisch/ elektronische Umsetzung) oder realisierungsneutral gehalten sind!

Abbildung B.1: Aufgabenblatt Seite 1

---

## Literaturverzeichnis

- Abrahamson, A., Wallace, D., Senin, N. und Sferro, P. (2000), Integrated Design in a Service Marketplace, in: Computer-Aided Design, 32, 2000, 2, S. 97-107.
- Adam, D. (1996), Planung und Entscheidung: Modelle - Ziele - Methoden, Wiesbaden 1996.
- Ahlemeyer, H. W. und Königswieser, R. (Hrsg., 1997), Komplexität managen: Strategien, Konzepte und Fallbeispiele, Frankfurt a. M./Wiesbaden 1997.
- Albach, H. (1959), Wirtschaftlichkeitsrechnung bei unsicheren Erwartungen, Köln/Obladen 1959.
- Albert, H. (1967), Marktsoziologie und Entscheidungslogik, Neuwied u.a. 1967.
- Anderl, R. und Philipp, M. (1997), Validierung technischer Systeme in frühen Phasen der Produktentwicklung, in: Konstruktion, 49, 1997, 4, S. 19-26.
- Andersson, G. und Seiffert, H. (1989), Deduktion, in: Seiffert/Radnitzky (Hrsg., 1989), S. 22-27.
- Arthur, W. B. (1999), On the Evolution of Complexity, in: Cowan u.a. (Hrsg., 1999), S. 65-81.
- Aschenbach, G., Billmann-Mahecha, E. und Zitterbarth, W. (1989), Kulturwissenschaftliche Aspekte qualitativer psychologischer Forschung, in: Jüttemann (Hrsg., 1989), S. 25-44.
- Asmus, D. und Griffin, J. (1993), Harnessing the Power of Your Supplier, in: The McKinsey Quarterly, 1993, 3, S. 63-78.
- Atick, J. J. und Redlich, A. N. (1990), Towards a Theory of Early Visual Processing, in: Neural Computation, 2, 1990, S. 308-320.
- Ausubel, D. P. (1960), The Use of Advance Organizers in the Learning and Retention of Meaningful Verbal Material, in: The Journal of Educational Psychology, 51, 1960, 5, S. 267-272.

- Ausubel, D. P. und Fitzgerald, D. (1961), The Role of Discriminability in Meaningful Verbal Learning and Retention, in: *The Journal of Educational Psychology*, 52, 1961, 5, S. 266-274.
- Axelrod, R. (1991), *Die Evolution der Kooperation*, München 1991.
- Bachmann, R. und Lane, C. (1999), Vertrauen und Macht in zwischenbetrieblichen Kooperationen: zur Rolle von Wirtschaftsrecht und Wirtschaftsverbänden in Deutschland und Großbritannien, in: Sydow (Hrsg., 1999), S. 75-106.
- Backhaus, K. und Meyer, M. (1993), Strategische Allianzen und strategische Netzwerke, in: *Wirtschaftswissenschaftliches Studium*, 22, 1993, 7, S. 330-334.
- Baecker, D. (1997), Einfache Komplexität, in: Ahlemeyer/Königswieser (Hrsg., 1997), S. 21-50.
- Bahill, T. und Dean, F. F. (1999), Discovering System Requirements, in: Sage/Rouse (Hrsg., 1999), S. 175-219.
- Baldwin, C. Y. und Clark, K. B. (2000), *Design Rules - Volume 1: The Power of Modularity*, Cambridge/London 2000.
- Barker, S. F. (1957), *Induction and Hypothesis*, Ithaca 1957.
- Barlow, H. B., Kaushal, T. P. und Mitchison, G. J. (1989), Finding Minimum Entropy Codes, in: *Neural Computation*, 1, 1989, S. 412-423.
- Barney, J. (1991), Firm Resources and Sustained Competitive Advantage, in: *Journal of Management*, 17, 1991, 1, S. 99-120.
- Bartl, C. und Dörner, D. (1998), Sprachlos beim Denken - zum Einfluß von Sprache auf die Problemlöse- und Gedächtnisleistung bei der Bearbeitung eines nicht-sprachlichen Problems, in: *Sprache & Kognition*, 17, 1998, 4, S. 224-238.
- Bartels, H. G. (1988), Was ist dran am Rationalprinzip?, in: *WISU - Das Wirtschaftsstudium*, 17, 1988, 3, S. 135-137.
- Bauer, H., Dietsche, K.-H., Crepin, J. und Dinkler, F. (Hrsg., 1999), *Automotive Electrics and Electronics*, Stuttgart 1999.
- Beck, T. C. (1998), *Kosteneffiziente Netzwerkkooperation: Optimierung komplexer Partnerschaften zwischen Unternehmen*, Wiesbaden 1998.

- Beckenbach, F. und Diefenbacher, H. (Hrsg., 1994), Zwischen Entropie und Selbstorganisation: Perspektiven einer ökologischen Ökonomie, Marburg 1994.
- Behlmer, A. (2000), Die Marke macht's, in: Automobil Industrie, 45, 2000, 11, S. 34-36.
- Bergmann, L. und Schaefer, C. (1998), Lehrbuch der Experimentalphysik, Band 1: Mechanik, Relativität, Wärme, Berlin 1998.
- Bertram, M. (1997), Wiederverwenden - aber bitte mit System, in: Diebold Management Report, 1997, 1, S. 7-10.
- Bierens, H. J. und Swanson, N. R. (2000), The Econometric Consequences of the Ceteris Paribus Condition in Economic Theory, in: Journal of Econometrics, 95, 2000, 2, S. 223-253.
- Binswanger, M. (1994), Das Entropiegesetz als Grundlage einer ökologischen Ökonomie, in: Beckenbach/Diefenbacher (Hrsg., 1994), S. 155-200.
- Bleicher, K. (1999), Das Konzept integriertes Management: Visionen - Missionen - Programme, Frankfurt a. M. 1999.
- Bliss, C. (2000), Management von Komplexität: ein integrierter, systemtheoretischer Ansatz zur Komplexitätsreduktion, Wiesbaden 2000.
- Bloom, J. H. und Goldstein, S. A. (1963), Five Experiments in Technical Writing, in: Estrin (Hrsg., 1963), S. 278-281.
- Bonabeau, E. und Meyer, C. (2001), Swarm Intelligence: A New Way to Think about Business, in: Harvard Business Review, 79, 2001, 5, S. 107-114.
- Bonner, T. C. (2000), „Margen bleiben unter Druck“, in: Automobil Industrie, 45, 2000, 1/2, S. 32-34.
- Bortz, J. und Döring, N. (1995), Forschungsmethoden und Evaluation, Berlin u.a. 1995.
- Bourier, G. (1999), Wahrscheinlichkeitsrechnung und schließende Statistik: praxisorientierte Einführung, Wiesbaden 1999.
- Brandenburg, F. J., Jünger, M., Mutzel, P. (1997), Algorithmen zum automatischen Zeichnen von Graphen, in: Informatik-Spektrum, 20, 1997, 4, S. 199-207.

- Brandenburger, A. M. und Nalebuff, B. J. (1996), Mehr Geschäftserfolg - dank der Spieltheorie, in: Harvard Business Manager, 18, 1996, 2, S. 82-93.
- Brennan, G. und Buchanan, J. M. (1993), Die Begründung von Regeln, Tübingen 1993.
- Brockhoff, K. (1999), Forschung und Entwicklung - Planung und Kontrolle, München/Wien 1999.
- Bronder, C. und Pritzl, R. (1992), Developing Strategic Alliances: A Conceptual Framework for Successful Cooperation, in: European Management Journal, 10, 1992, 4, S. 412-421.
- Brown, M. G. (1997), Kennzahlen: harte und weiche Faktoren erkennen, messen und bewerten, München/Wien 1997.
- Brown, S. L. und Eisenhardt, K. M. (1998), Competing on the Edge: Strategy as Structured Chaos, Boston 1998.
- Buchholz, W. (1996), Time-to-market-Management: zeitorientierte Gestaltung von Produktinnovationsprozessen, Stuttgart u.a. 1996.
- Bullinger, H.-J., Hauss, I., Kallmeyer, O., Schraft, R. D., Seidel, K.-A. und Westkämper, E. (2001), Engineering-Cooperations - der Nutzen von Engineering Workflow, Stuttgart 2001.
- Bullinger, H.-J. und Voegelé, A. (1982), Wirtschaftliche Grundbegriffe für den Konstrukteur, in: VDI Bericht Nr. 457, Düsseldorf, 1982, S. 21-29.
- Burr, W. (1998), Koordination durch Regeln in selbstorganisierenden Unternehmensnetzwerken, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 69, 1998, 10, S. 1159-1179.
- Burr, W. (1999), Organisation durch Regeln: Prinzipien und Grenzen der Regelsteuerung in Organisationen, in: Die Betriebswirtschaft, 58, 1999, 3, S. 312-331.
- Bürgel, H. D., Haller, C. und Binder, M. (1996), F&E-Management, München 1996.
- Bürgel, H. D., Zeller, A. (1997), Controlling kritischer Erfolgsfaktoren in Forschung und Entwicklung, in: Controlling, 9, 1997, 4, S. 218-225.
- Chaitin, G. J. (1966), On the Length of Programs for Computing Finite Binary Sequences, in: Journal of the Association for Computing Machinery, 13, 1966, S. 547-569.

- Chalmers, A. F. (1999), *Wege der Wissenschaft: Einführung in die Wissenschaftstheorie*, Berlin u.a. 1999.
- Chater, N. (1997), *Simplicity and the Mind*, in: *The Psychologist*, 1997, November, S. 495-498.
- Chater, N. (1999), *The Search for Simplicity: A Fundamental Cognitive Principle*, in: *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 52, 1999, 2, S. 273-302.
- Chmielewicz, K. (1994), *Forschungskonzeptionen der Wirtschaftswissenschaft*, Stuttgart 1994.
- Christensen, C. M. (1999), *Innovation and the General Manager*, Boston u.a. 1999.
- Cilliers, P. (2000), *What Can We Learn From a Theory of Complexity?*, in: *Emergence*, 2, 2000, 1, S. 23-33.
- Clark, K. B. (1989), *Project Scope and Project Performance: The Effect of Parts Strategy and Supplier Involvement on Product Development*, in: *Management Science*, 35, 1989, 10, S. 1247-1263.
- Clark, K. B. und Fujimoto, T. (1992), *Automobilentwicklung mit System: Strategie, Organisation und Management in Europa, Japan und USA*, Frankfurt a. M./New York 1992.
- Clark, K. B., Hayes, R. H. und Lorenz, C. (Hrsg., 1985), *The Uneasy Alliance*, Boston 1985.
- Clark, K. B. und Wheelwright, S. C. (1993), *Managing New Product and Process Development: Text and Cases*, New York 1993.
- Clausing, D. (1994), *Total Quality Development: A Step-by-Step Guide to World Class Concurrent Engineering*, New York 1994.
- Coleman, J. S. (1990), *Foundations of Social Theory*, Cambridge/London 1990.
- Cooper, R. and Slagmulder, R. (1999), *How to Undertake Effective Interorganizational Cost Management in Product Development*, in: *Controlling*, 11, 1999, 6, S. 245-252.
- Cooper, R. G. (1990), *Stage-Gate Systems: A New Tool for Managing New Products*, in: *Business Horizons*, 1990, May/June, S. 44-54.

- Corsten, D. (2000), Gestaltungsprinzipien des Supply Chain Managements. Zusammen mit Kunden und Lieferanten Wertschöpfungsketten optimieren, in: *io Management*, 69, 2000, 4, S. 36-41.
- Cowan, G. A., Pines, D. und Meltzer, D. (Hrsg., 1999), *Complexity - Metaphors, Models, and Reality*, Cambridge 1999.
- Cusumano, M. A. und Takeishi, A. (1991), Supplier Relations and Management: A Survey of Japanese, Japanese-Transplant and U.S. Auto Plants, in: *Strategic Management Journal*, 12, 1991, 8, S. 563-588.
- Daenzer, W. F. (1988), *Systems Engineering: Leitfaden zur methodischen Durchführung umfangreicher Planungsvorhaben*, Zürich 1988.
- DeFoe, J. C. (1993), *An Identification of Pragmatic Principles - Final Report*, INCOSE System Engineering Practice Working Group, Bethesda 1993.
- Deiss, H., Aumann, B. und Schober, T. (2000), Time to Market in der Softwareentwicklung - ReUse und Standardisierung bei Getriebesteuerungen, in: *VDI-Bericht 1547 zur Tagung „Elektronik im Automobil“*, Baden-Baden, 05. und 06. Oktober 2000, S. 125-141.
- Dent, E. B. (1999a), Complexity Science: A Worldview Shift, in: *Emergence*, 1, 1999, 4, S. 5-19.
- Dent, S. M. (1999b), *Partnering Intelligence - Creating Value for Your Business by Building Strong Alliances*, Palo Alto 1999.
- Dreyer, H. W. (2000), *Lieferantenspezifische Bewertung von Lieferleistungen: eine empirische Analyse*, Frankfurt a. M. u.a. 2000.
- Dyer, J. H., Cho, D. S. und Chu, W. (1998), Strategic Supplier Segmentation: A Model for Managing Suppliers in the 21st Century, in: Hamel u.a. (Hrsg., 1998), S. 257-278.
- Ebel, B. (2001), *Qualitätsmanagement: Konzepte des Qualitätsmanagements, Organisation und Führung, Ressourcenmanagement und Wertschöpfung*, Berlin 2001.
- Ebeling, W., Freund, J. und Schweitzer, F. (1998), *Komplexe Strukturen: Entropie und Information*, Stuttgart/Leipzig 1998.

- Edmonds, B. (1999), What Is Complexity? - The Philosophy of Complexity Per Se With Application to Some Examples in Evolution, in: Helighen/Aerts (Hrsg., 1999), S. 1-16.
- Ehrlenspiel, K., Kiewert, A. und Lindemann, U. (1998), Kostengünstig entwickeln und konstruieren: Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung, Berlin u.a. 1998.
- Einstein, A. (1951), Autobiographisches, in: Schilpp (Hrsg., 1951), S. 1-35.
- Eisenführ, F. und Weber, M. (1999), Rationales Entscheiden, Berlin u.a. 1999.
- Ellram, L. M. (1991), A Managerial Guideline for the Development and Implementation of Purchasing Partnerships, in: International Journal of Purchasing and Materials Management, 31, 1991, 2, S. 9-16.
- Endres, E. und Wehner, T. (1999), Störungen zwischenbetrieblicher Kooperation - eine Fallstudie zum Grenzstellenmanagement in der Automobilindustrie, in: Sydow (Hrsg., 1999), S. 215-259.
- Eppinger, S. D. (1997), A Planning Method for the Integration of Large-Scale Engineering Systems, in: Proceedings of the 11th International Conference on Engineering Design in Tampere, Finland, August 1997, S. 199-204.
- Eppinger, S. D. und Salminen, V. (2001), Patterns of Product Development Interactions, in: Proceedings zur International Conference on Engineering Design, Glasgow, 21. bis 23. August 2001.
- Epstein, R. A. (1995), Simple Rules for a Complex World, Cambridge/London 1995.
- Estrin, H. A. (Hrsg., 1963), Technical and Professional Writing: A Practical Anthology, New York 1963.
- Eversheim, W. (1999), Produktentstehung, in: Eversheim/Schuh (Hrsg., 1999), S. 7.1-7.149.
- Eversheim, W., Schernikau, J. und Niemeyer, R. (1998), Mechatronik - Konsequenzen einer Technologieintegration, in: VDI-Z, 140, 1998, 11/12, S. 24-27.
- Eversheim, W. und Schuh, G. (Hrsg., 1999), Produktion und Management 2: Produktmanagement, Berlin u.a. 1999.

- Farnham, A. (1996), In Search of Suckers, in: Fortune, 14. Oktober 1996, S. 79-84.
- Fischer, M. (1998), Visualisierung von Management-Informationen, Regensburg 1998.
- Forgues, B. (1999), Review: Competing on the Edge by Shona L. Brown and Kathleen M. Eisenhardt, in: Emergence, 1, 1999, 2, S. 89-92.
- Foster, M. H. und Martin, M. L. (1966), Simplicity - Introduction, in: Foster/Martin (Hrsg., 1966), S. 233-240.
- Foster, M. H. und Martin, M. L. (Hrsg., 1966), Probability, Confirmation, and Simplicity. Readings in the Philosophy of Inductive Logic, New York 1966.
- Frankenberger, E. (1997), Arbeitsteilige Produktentwicklung – empirische Untersuchung und Empfehlungen zur Gruppenarbeit in der Konstruktion, Darmstadt 1997.
- Frakes, W. B. und Succi, G. (2001), An Industrial Study of Reuse, Quality, and Productivity, in: The Journal of Systems and Software, 57, 2001, 2, S. 99-106.
- Friedmann, K. S. (1972), Empirical Simplicity as Testability, in: British Journal for the Philosophy of Science, 23, 1972, S. 25-33.
- Friedmann, K. S. (1990), Predictive Simplicity - Indiction Exhum'd, Oxford u.a. 1990.
- Friedrichs, J. (1980), Methoden empirischer Sozialforschung, Obladen 1980.
- Fruchter, R., Reiner, K. A., Toyne, G. und Leifer, L. J. (1995), Collaborative Mechatronic System Design, in: CERA 1995 Konferenz, Concurrent Engineering: A Global Perspective, McLean, USA, 23. bis 25. August 1995, S. 231-242.
- Fujimoto, T. (1999a), Capability-Building Competition for Lead Time Reduction. A Case of Front-Loading Problem Solving in the Auto Industry, in: R&D-Management 2000, Internationale Konferenz für F&E-Management, Stuttgart, 23. Juli 1999.
- Fujimoto, T. (1999b), The Evolution of a Manufacturing System at Toyota, New York u.a. 1999.
- Gates, H. P., Gourary, B. S. und Deitchman, S. J. (1974), Electronics-X: A Study of Military Electronics with Particular Reference to Cost and Reliability, Report R-195, Arlington 1974.

- Gausemeier, J. (2000a) Herausforderung integrativer Maschinenbau, in: Gausemeier/Lückel (Hrsg., 2000a), S. 1-22.
- Gausemeier, J. (2000b), Kooperatives Produktengineering: ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens, Paderborn 2000.
- Gausemeier, J. und Lückel, J. (Hrsg., 2000a), Entwicklungsumgebungen Mechatronik: Methoden und Werkzeuge zur Entwicklung mechatronischer Systeme, Paderborn 2000.
- Gausemeier, J. und Lückel, J. (Hrsg., 2000b), Auf dem Weg zu den Produkten für die Märkte von morgen, Paderborn 2000.
- Geiling, U. (1995), Verstehen konzentrierter Texte, Egelsbach u. a. 1995.
- Gell-Mann, M. (1996), Das Quark und der Jaguar. Vom Einfachen zum Komplexen. Die Suche nach einer neuen Erklärung der Welt, München 1996.
- Giddens, A. (1979), Central Problems in Social Theory, London u.a. 1979.
- Giddens, A. (1984), The Constitution of Society, Cambridge 1984
- Gemünden, H. G. (1992), Zeit - Wettbewerbsfaktor bei Innovationsprozessen, in: Speed-Management: das Zeitpotential Ihres Unternehmens voll auszuschöpfen, Fachkonferenz, München, 21. und 22. Mai 1992, S. 1-42.
- Goodman, N. (1958), The Test of Simplicity, in: Science, 128, 31. Oktober 1958, S. 1064-1069.
- Gödel, K. (1931), Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme, in: Monatsheft für Mathematik und Physik, 38, 1931, S. 173-198.
- Göpfert, J. (1998), Modulare Produktentwicklung – zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation, Wiesbaden 1998.
- Gottwald, R. (1990), Entscheidungen unter Unsicherheit: Informationsdefizite und unklare Präferenzen, Wiesbaden 1990.
- Gräfe, C. (1998), Kostenmanagement im Entstehungszyklus eines Serienerzeugnisses: konzeptionelle und instrumentelle Lösungsvorschläge für Theorie und Unternehmenspraxis, Hamburg 1998.

- Griffin, D., Shaw, P. und Stacey, R. (1998), Speaking of Complexity in Management Theory and Practice, in: *Organization*, 5, 1998, 3, S. 315-339.
- Gugler, P. (1992), Building Transnational Alliances to Create Competitive Advantage, in: *Long Range Planning*, 25, 1992, 1, S. 90-99.
- Guindon, R. (1990), Designing the Design Process: Exploiting Opportunistic Thoughts, in: *Human-Computer Interaction*, 5, 1990, S. 305-344.
- Gutenberg, E. (1983), *Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Erster Band: Die Produktion*, Berlin u.a. 1983.
- Hacker, W. (1999), Konstruktives Entwickeln als Tätigkeit - Versuch einer Reinterpretation des Entwurfsdenkens (design problem solving), in: *Zeitschrift für Sprache & Kognition*, 18, 1999, 3/4, S. 88-97.
- Hahn, D. (2000), Problemfelder des Supply Chain Management, in: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikvertrieb*, 95, 2000, 4, S. 174-178.
- Halliday, D., Resnick, R. und Walker, J. (1993), *Fundamentals of Physics*, New York u.a. 1993.
- Hamel, G. (1991), Competition for Competence and Interpartner Learning Within International Strategic Alliances, in: *Strategic Management Journal*, 12, 1991, S. 83-103.
- Hamel, G. und Prahalad, C. K. (1993), Strategy as Stretch and Leverage, in: *Harvard Business Review*, 71, 1993, März/April, S. 75-84.
- Hamel, G., Prahalad, C. K., Thomas, H. und O'Neal, D. (Hrsg., 1998), *Strategic Flexibility. Managing in a Turbulent Environment*, Chichester 1998.
- Hamm, M., Spingler, T., Boebel, D., Wörner, B. und Lipart, H.-J. (1999), Lighting Technology, in: Bauer u.a. (Hrsg., 1999), S. 214-260.
- Hammar skjöld, D. (1997), Zeichen am Weg, in: [Harenberg] (1997), S. 237.
- Handfield, R. B., Krause, D. R., Scannell, T. V. und Monczka, R. M. (2000), Avoiding the Pitfalls in Supplier Development, in: *Sloan Management Review*, 41, 2000, Winter, S. 37-49.
- Harrigan, K. R. (1986), *Managing for Joint Venture Success*, Lexington u.a. 1986.

- Hart, O. (1995), *Firms, Contracts and Financial Structure*, Oxford 1995.
- Hartley, R. V. L. (1928), *Transmission of Information*, in: *Bell System Technical Journal*, 1928, S. 535-563.
- Hauschildt, J. (1993), *Innovationsmanagement - Determinanten des Innovationserfolges*, in: Hauschildt/Grün (Hrsg., 1993), S. 295-326.
- Hauschildt, J. (1997), *Innovationsmanagement*, München 1997.
- Hauschildt, J. und Grün, O. (Hrsg., 1993), *Ergebnisse empirischer betriebswirtschaftlicher Forschung: zu einer Realtheorie der Unternehmung*, Stuttgart 1993.
- Hayek, F. A. (1969), *Freiburger Studien; gesammelte Aufsätze*, Tübingen 1969.
- Hayek, F. A. (1980), *Recht, Gesetzgebung und Freiheit*, Bd. 1: *Regeln und Ordnung*, München 1980.
- Hayo, B. (1998), *Simplicity in Econometric Modelling: Some Methodological Considerations*, in: *Journal of Econometric Methodology*, 5, 1998, 2, S. 247-261.
- Heclo, H. (1994), *The Coming Heresy*, in: *The Observer, Columbia University Journal for General Studies*, 6, 1994, April/Mai, S. 7.
- Heideking, J. (1995), *John F. Kennedy 1961-1963: der imperiale Präsident*, in: Heideking (Hrsg., 1995), S. 346-360.
- Heideking, J. (Hrsg., 1995), *Die amerikanischen Präsidenten: 41 historische Portraits von George Washington bis Bill Clinton*, München 1995.
- Heimbrock, K. J. (2001), *Kompetenzpartnermanagement: Beschaffung im dynamischen Unternehmen*, Wiesbaden 2001.
- Hempel, C. G. und Oppenheim, P. (1948), *Studies in the Logic of Explanation*, in: *Philosophy of Science*, 15, 1948, 2, S. 135-175.
- Henderson, B. D. (1984), *Die Erfahrungskurve in der Unternehmensstrategie*, Frankfurt a. M. 1984.
- Heppner, F. (1997), *Three-Dimensional Structure and Dynamics of Bird Flocks*, in: Parrish/Hamner (Hrsg., 1997), S. 68-89.

- Herfel, W. E., Krajewski, W., Niiniluoto, I. und Wojcicki, R. (Hrsg., 1995), Theories and Models in Scientific Processes, in: Proceedings zum AFOS '94 Workshop, Amsterdam 1995.
- Heylighen, F. (1999), The Growth of Structural and Functional Complexity During Evolution, in: Helighen/Aerts (Hrsg., 1999), S. 17-44.
- Heylighen, F. und Aerts, D. (Hrsg., 1999), The Evolution of Complexity - The Violet Book of „Einstein Meets Magritte“, Dordrecht u.a. 1999.
- Hinterhuber, H. H. und Levin, B. M. (1994), Strategic Networks - The Organization of the Future, in: Long Range Planning, 27, 1994, 3, S. 43-53.
- Hippel, E. (1990), Task Partitioning: An Innovation Process Variable, in: Research Policy, 19, 1990, S. 407-418.
- Holler, M. J. und Illing, G. (1993), Einführung in die Spieltheorie, Berlin u.a. 1993.
- Homann, K. und Blome-Drees, F. (1992), Wirtschafts- und Unternehmensethik, Göttingen 1992.
- Hooks, I. F. und Farry, K. A. (2001), Customer-Centered Products: Creating Products Through Smart Requirements Management, New York 2001.
- Horgan, J. (1995), From Complexity to Perplexity. In: Scientific American, 272, 1995, 6, S. 74-83.
- Horváth, P. (1989), Hierarchiedynamik, in: Szyperski u.a. (Hrsg. 1989), Sp. 640-648.
- Horváth, P. und Kaufmann, L. (1998), Balanced Scorecard – Werkzeuge zur Umsetzung von Strategien, in: Harvard Business Manager, 20, 1998, 5, S. 39-48.
- Iansiti, M. (1995), Shooting the Rapids: Managing Product Development in Turbulent Environments, in: California Management Review, 38, 1995, 1, S. 37-58.
- Iansiti M. und MacCormack, A. (1999), Developing Products on Internet Time, in: Tapscott (Hrsg., 1999), S. 91-106.
- Imai, K., Nonaka, I. und Takeuchi, H. (1985), Managing the New Product Development Process: How Japanese Companies Learn and Unlearn, in: Clark u.a. (Hrsg., 1985), S. 337-375.

- Isermann, R. (1996), Modeling and Design Methodology for Mechatronic Systems, in: IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 1, 1996, 1, S. 16-28.
- Jensen, B. (1997), Changing How We Work – The Search for a Simpler Way, New Jersey 1997.
- Jensen, B. (2000a), Simplicity - The New Competitive Advantage in a World of More, Better, Faster, New York 2000.
- Jensen, B. (2000b), The Simplicity Manifesto - When More-Better-Faster Meets Enough is Enough, <http://www.simplerwork.com/manifesto.htm>, zugegriffen am: 10. April 2000.
- Johnston, R. und Lawrence, P. R. (1988), Beyond Vertical Integration - The Rise of the Value-Adding Partnership, in: Harvard Business Review, 66, 1988, Juli/August, S. 94-101.
- Jost, H. R. (2000), Komplexitäts-Fitness - Wandel erfolgreich gestalten, Zürich 2000.
- Jüttemann, G. (Hrsg., 1989), Qualitative Forschung in der Psychologie: Grundfragen, Verfahrensweisen, Anwendungsfelder, Heidelberg 1989.
- Kamath, R. R. und Liker, J. K. (1994), A Second Look at Japanese Product Development, in: Harvard Business Review, 72, 1994, November/Dezember, S. 154-170.
- Kanevsky, V. und Housel, T. (2002), The Learning-Knowledge-Value Cycle: Tracking the Velocity of Change in Knowledge to Value, <http://www-rcf.usc.edu/~housel/paper1/valuecycle.html>, zugegriffen am 05. Februar 2002.
- Kanter, R. M. (1994), Collaborative Advantage. Successful Partnerships Manage the Relationship, Not Just the Deal, in: Harvard Business Review, 72, 1994, Juli/August, S. 96-108.
- Kaplan, R. S. und Norton, D. P. (1996), Using the Balanced Scorecard as a Strategic Management System, in: Harvard Business Review, 74, 1996, 1, S. 75-85.
- Karlsson, C. und Ahlström, P. (1996), The Difficult Path to Lean Product Development, in: Journal of Product Innovation Management, 13, 1996, S. 283-295.
- Karlsson, C. und Nellore, R. (1999), Improved Development by Strategic Specification Process, in: International Journal of Vehicle Design, 21, 1999, 1, S. 21-39.

- Karlsson, C., Nellore, R. und Söderquist, K. (1998), Black Box Engineering: Redefining the Role of Product Specifications, in: *Journal of Product Innovation Management*, 15, 1998, S. 534-549.
- Kauba, E. (1997), Software-Re-Use ist eine Frage guter Organisation, in: *Computerwoche*, 24, 1997, 2, S. 13-14.
- Kauffman, S. (1995), *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity*, New York/Oxford 1995.
- Kaufmann, L. (1995), Strategisches Outsourcing, in: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 47, 1995, 3, S. 275-296.
- Kaulio, M. A. (1997), Specifications as Mediating Objects: On the Tactical Use of Product Specifications, in: Kaulio (Hrsg., 1997), S. 3.1-3.12.
- Kaulio, M. A. (Hrsg., 1997), *Customer-Focused Product Development: A Practice-Centered Perspective*, Göteborg 1997.
- Kelly, K. (1995), *Out of Control: The New Biology of Machines, Social Systems and the Economic World*, Reading 1995.
- Kemeny, J. G. (1953), The Use of Simplicity in Induction, in: *The Philosophical Review*, 62, 1953, S. 391-408.
- Kempis, R.-D. und Ringbeck, J. (1998), Manufacturing's Use and Abuse of IT: Research Indicates the Greatest Potential for IT Lies in Product Development and Sales, in: *The McKinsey Quarterly*, 1998, 1, S. 138-150.
- Kennedy, J. M., Pinelli, T. H. und Barclay, R. O. (1997), The Production and Use of Information by U.S. Aerospace Engineers and Scientists - From Research through Production to Technical Services, in: Pinelli u.a. (Hrsg., 1997), S. 263-323.
- Keuzenkamp, H. A. und McAleer, M. (1995), Simplicity, Scientific Inference and Econometric Modelling, in: *The Economic Journal*, 105, 1995, January, S. 1-21.
- Keuzenkamp, H. A. und McAleer, M. (1997), The Complexity of Simplicity, in: *Mathematics and Computers in Simulation*, 43, 1997, S. 553-561.
- Kilger, W. (1993), *Flexible Plankostenrechnung und Deckungsbeitragsrechnung*, Wiesbaden 1993.

- Kimberley, W. (2002), Advanced Lighting Technology - Leading Lights, in: Automotive Engineer, 27, 2002, 7, S. 46-48.
- Kleining, G. (1982), Umriss zu einer Methodologie qualitativer Sozialforschung, in: Kölner Zeitschrift für Soziologie und Soziologiepsychologie, 34, 1982, S. 224-253.
- Kokes, M. (1999), Complexity Control at Economic Decisions in the System Development - A Gordian Knot?, in: Proceedings des Europeans Automotive Congress, Barcelona, Spain, 30. Juni bis 2. Juli 1999, S. 1-6.
- Koffka, K. (1962), Principles of Gestalt Psychology, London 1962.
- Kolmogorov, A. N. (1965), Three Approaches to the Quantitative Definition of Information, in: Problems in Transformation Transmission, 1, 1965, 1, S. 1-7.
- Königswieser, U. (1997), Flexible Berater knüpfen Netze, in: Ahlemeyer/Königswieser (Hrsg., 1997), S. 163-182.
- Koperski, D. (2001), Management in der e-Supply Chain - Trends in der Automobilindustrie, in: Automobil-Zulieferer, VDI-Konferenz, München, 20. Februar 2001.
- Körner, S. (1968), Philosophie der Mathematik. Eine Einführung, München 1968.
- Kuhn, T. S. (1976), Die Struktur wissenschaftlicher Revolution, Frankfurt a. M. 1976.
- Kumar, N. (1996), The Power of Trust in Manufacturer-Retailer Relationships, in: Harvard Business Review, 74, 1996, November/Dezember, S. 92-106.
- Kümmel, M. A. (1999), Integration von Methoden und Werkzeugen zur Entwicklung von mechatronischen Systemen, Paderborn 1999.
- Lakatos, I. (1974), Falsifikation und die Methodologie wissenschaftlicher Forschungsprogramme, in: Lakatos/Musgrave (Hrsg., 1974), S. 89-189.
- Lakatos, I. und Musgrave, A. (Hrsg., 1974), Kritik und Erkenntnisfortschritt, Braunschweig 1974.
- Lamming, R. (1994), Die Zukunft der Zulieferindustrie: Strategien der Zusammenarbeit: Lean Supply als Überlebenskonzept, Frankfurt a. M./New York 1994.
- Laseter, T. M. (1998), Balanced Sourcing: Cooperation and Competition in Supplier Relationships, San Francisco 1998.

- Laux, H. (1998), *Entscheidungstheorie*, Berlin u.a. 1998.
- Laux, H. und Liermann, F. (1997), *Grundlagen der Organisation: die Steuerung von Entscheidungen als Grundproblem der Betriebswirtschaftslehre*, Berlin u.a. 1997.
- Lee, K. und Woo, H. (1998), Use of Reverse Engineering Method for Rapid Product Development, in: *Computers and Industrial Engineering*, 35, 1998, 1-2, S. 21-24.
- Leinemann, J. (1996), „Wer bin denn schon ich?“, in: *Der Spiegel*, 50, 1996, 21, S. 114-126.
- Leinert, S., Römer, A. und Sachse, P. (1999), Externe Unterstützung der Problemanalyse bei entwerfenden Tätigkeiten, in: *Zeitschrift für Sprache & Kognition*, 18, 1999, 1/2, S. 30-38.
- Li, M. und Vitányi, P. (1997), *An Introduction to Kolmogorov Complexity and Its Applications*, New York 1997.
- Liker, J. K., Sobek II, D. K., Ward, A. C. und Cristiano, J. J. (1996), Involving Suppliers in Product Development in the United States and Japan: Evidence for Set-Based Concurrent Engineering, in: *IEEE Transaction on Engineering Management*, 43, 1996, 2, S. 165-178.
- Lindemann, U. (1996), Produktentwicklung im Wettbewerb, in: *VDI Bericht 1305 – Erfolgreiche Produkte und Prozesse*, Düsseldorf, 1996, S. 289-301.
- Lissack, M. R. (1997), Of Chaos and Complexity: Managerial Insights from a New Science, in: *Management Decision*, 35, 1997, 3, S. 205-218.
- Lissack, M. R. (1999), Complexity: The Science, Its Vocabulary, and Its Relation to Organizations, in: *Emergence*, 1, 1999, 1, S. 110-126.
- Lissack, M. R. und Roos, J. (1999), *The Next Common Sense: Mastering Corporate Complexity Through Coherence*, London/Naperville 1999.
- Lloyd, S. (1999), 31 Measures of Complexity, in: *Complexity in Engineering Conference*, Cambridge, USA, 19. bis 20. November 1999.
- Luce, R. D. und Raiffa, H. (1957), *Games and Decisions: Introduction and Critical Survey*, New York u.a. 1957.
- Luhmann, N. (1979), *Trust and Power*, Chichester u.a. 1979.

- Macharzina, K. und Oesterle, M.-J. (Hrsg., 1997), Handbuch Internationales Management: Grundlagen - Instrumente - Perspektiven, Wiesbaden 1997.
- Mag, W. (1977), Entscheidung und Information, München 1977.
- Mag, W. (1990), Grundzüge der Entscheidungstheorie, München 1990.
- Mainzer, K. (1997), Thinking in Complexity: The Complex Dynamics of Matter, Berlin u.a. 1997.
- Mainzer, K. (1999), Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft, in: Mainzer (Hrsg., 1999), S. 3-29.
- Mainzer, K. (Hrsg., 1999), Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft: Komplexitätsforschung in Deutschland auf dem Weg ins nächste Jahrhundert, Berlin u.a. 1999.
- Malik, F. (1996), Strategie des Managements komplexer Systeme: ein Beitrag zur Management-Kybernetik evolutionärer Systeme, Bern u.a. 1996.
- Malik, F. (1999), Konzentration auf Weniges, in: Malik on Management, 7, 1999, 5, S. 72-81.
- Malik, F. (2000), Systemisches Management, Evolution, Selbstorganisation, Bern u.a. 2000.
- Männel, B. (1996), Netzwerke in der Zulieferindustrie: Konzepte - Gestaltungsmerkmale – betriebswirtschaftliche Wirkungen, Wiesbaden 1996.
- Männel, B. (1997), Make-or-Buy-Entscheidungen, in: krp - Kostenrechnungspraxis, 41, 1997, 6, S. 307-311.
- March, J. G. (1994), A Primer on Decision Making: How Decisions Happen, New York u.a. 1994.
- Maynard Smith, J. und Szathmáry, E. (1995), The Major Transitions in Evolution, Oxford u.a. 1995.
- Mayring, P. (1989), Qualitative Inhaltsanalyse, in: Jüttemann (Hrsg., 1989), S. 187-211.
- Mayring, P. (1995), Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken, Weinheim 1995.

- McCann, K. (2002), Guide „Bends“ Light Without A Prism, in: *AutoTechnology*, 2, 2002, 4, S. 18.
- McKergow, M. (1996), Complexity Science and Management: What's in it for Business?, in: *Long Range Planning*, 29, 1996, 5, S. 721-727.
- Melheritz, M. (1999), *Die Entstehung innovativer Systemgeschäfte: interaktive Forschung am Beispiel der Verkehrstelematik*, Wiesbaden 1999.
- Mesarovic, M. D., Macko, D. und Takahara, Y. (1970), *Theory of Hierarchical, Multi-level, Systems*, New York/London 1970.
- Meyer, J.-A. (1996), *Visualisierung im Management*, Wiesbaden 1996.
- Meyer, J.-A. (1999), *Visualisierung von Informationen: verhaltenswissenschaftliche Grundregeln des Managements*, Wiesbaden 1999.
- Meyer-Merz, A. (1985), *Die Wertschöpfungsrechnung in Theorie und Praxis*, Zürich 1985.
- Micklethwait, J. und Wooldridge, A. (1998), *Die Gesundbeter: was die Rezepte der Unternehmensberater wirklich nützen*, Hamburg 1998.
- Miles, R. E. und Snow, C. C. (1986), Organizations: New Concepts for New Forms, in: *California Management Review*, 28, 1986, Spring, S. 62-73.
- Miles, R. E. und Snow, C. C. (1992), Causes of Failure in Network Organizations, in: *California Management Review*, 34, 1992, Summer, S. 53-72.
- Miller, G. A. (1956), The Magic Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information, in: *Psychological Review*, 63, 1956, 2, S. 81-97.
- Minto, Barbara (1993), *Das Pyramiden-Prinzip: logisches Denken und Formulieren*, Düsseldorf u.a. 1993.
- Möhrle, M. G. (Hrsg., 1999), *Der richtige Projektmix: erfolgsorientiertes Innovations- und FuE-Management*, Berlin u. a. 1999.
- Motavalli, S. (1998), Review of Reverse Engineering Approaches, in: *Computers and Industrial Engineering*, 35, 1998, 1-2, S. 25-28.

- Müller, K. und Kögerler, P. (1999), Vom Einfachen zum Komplexen: Bildung von chemischen Strukturen, in: Mainzer (Hrsg., 1999), S. 103-116.
- Mutzel, P. (2001), An Alternative Method to Crossing Minimization on Hierarchical Graphs, in: Society for Industrial and Applied Mathematics Journal on Optimization, 11, 2001, 4, S. 1065-1080.
- Mutzel, P. und Weiskircher, R. (2000), Computing Optimal Embeddings for Planar Graphs, in: COCOON 2000, Lecture Notes in Computer Science, 1858, S. 95-104.
- Nalebuff, B. und Brandenburger, A. (1996), Coopetition - kooperativ konkurrieren: mit der Spieltheorie zum Unternehmenserfolg, Frankfurt a. M./New York 1996.
- Nellore, R. (2001), Managing Buyer-Supplier Relations: The Winning Edge Through Specification Management, London 2001.
- Nellore, R. und Söderquist, K. (2000a), Portfolio Approaches to Procurement - Analyzing the Missing Link to Specifications, in: Long Range Planning, 33, 2000, S. 245-267.
- Nellore, R. und Söderquist, K. (2000b), Strategic Outsourcing Through Specifications, in: Omega - The International Journal of Management Science, 28, 2000, S. 525-540.
- Nellore, R., Söderquist, K. und Eriksson, K.-A. (1999), A Specification Model for Product Development, in: European Management Journal, 17, 1999, 1, S. 50-63.
- Nellore, R. und Taylor, J. E. (2000), Using Portfolio Approaches to Manage Engineering-Purchasing-Supplier Interaction, in: Production and Inventory Management Journal, 41, 2000, 1, S. 6-12.
- Newton, I. (1725), The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy. A New Translation by B. Cohen und A. Whitman, Berkeley u.a. 1999.
- Nicolis, G. und Prigogine, I. (1989), Exploring Complexity: An Introduction, New York 1989.
- Ninck, A., Bürki, L., Hungerbühler, R. und Mühlemann, H. (1997), Systemik - integrales Denken, Konzipieren und Realisieren, Zürich 1997.
- Norman, D. A. (1988), The Psychology of Everyday Things, New York 1988.

- Normann, R. und Ramirez, R. (1993), From Value Chain to Value Constellation. Designing Interactive Strategy, in: Harvard Business Review, 71, 1993, Juli/August, S. 65-77.
- Nørretranders, T. (1997), Spüre die Welt: die Wissenschaft des Bewusstseins, Reinbek 1997
- Oess, A. (1989), Total Quality Management, Wiesbaden 1989.
- Ordelheide, D., Rudolph, B. und Büsselmann, E. (Hrsg., 1991), Betriebswirtschaftslehre und ökonomische Theorie, Stuttgart 1991.
- Pache, M., Weißhahn, G., Römer, A., Lindemann, U., Hacker, W. (1999), Effort-Saving Modeling in Early Stages of the Design Process, in: Proceedings der International Conference on Engineering Design 99, München, 24. bis 26. August 1999, S. 679-684.
- Pack, L. (1965), Rationalprinzip, Gewinnprinzip und Rentabilitätsprinzip, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 35, 1965, 9, S. 525-551.
- Pahl, G. und Beitz, W. (1997), Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung, Berlin u.a. 1997.
- Parrish, J. K. und Hamner, W. M. (Hrsg., 1997), Animal Groups in Three Dimensions, Cambridge 1997.
- Patterson, F. G. Jr. (1999), Systems Engineering Life Cycles: Life Cycles for Research, Development, Test, and Evaluation; Acquisition; and Planning and Marketing, in: Sage/Rouse (Hrsg., 1999), S. 59-111.
- Peitgen, H.-O., Jürgens, H. und Saupe, D. (1998), Chaos: Bausteine der Ordnung, Hamburg 1998.
- Pierce, L. B. (2000a), Choosing Simplicity: Real People Finding Peace and Fulfillment in a Complex World, Carmel 2000.
- Pierce, L. B. (2000b), Why Simplify?, <http://www.simplicityonline.com>, zugegriffen am: 20. September 2000.

- Piller, F. T. und Waringer, D. (1999), Modularisierung in der Automobilindustrie – neue Formen und Prinzipien: Modular Sourcing, Plattformkonzepte und Fertigungssegmentierung als Mittel des Komplexitätsmanagement, Aachen 1999.
- Pinelli, T. E., Barclay, R. O., Kennedy, J. M. und Bishop, A. P. (Hrsg., 1997), Knowledge Diffusion in the U.S. Aerospace Industry: Managing Knowledge for Competitive Advantage, Greenwich/London 1997.
- Platz, J. (1988), Produkt- und Projektstrukturierung, in: Schelle/Schwald (Hrsg., 1988), S. 9-24.
- Pleissner, U. (1999), Transparenz durch FuE-Planung – eine Analyse in der Kfz-Zulieferindustrie und ein Konzept zur zielgerichteten Umgestaltung der Produktinnovation, in: Möhrle (Hrsg., 1999), S. 119-143.
- Poincaré, H. (1905), Science and Hypothesis, New York 1905.
- Poirier, C. C. und Reiter, S. E. (1997), Die optimale Wertschöpfungskette - wie Lieferanten, Produzenten und Handel bestens Zusammenarbeiten, Frankfurt a. M./New York 1997.
- Popper, K. R. (1974), Objektive Erkenntnis: ein evolutionärer Entwurf, Hamburg 1974.
- Popper, K. R. (1994), Logik der Forschung, Tübingen 1994.
- Porter, M. E. (1986), Wettbewerbsvorteile (Competitive Advantage). Spitzenleistungen erreichen und behaupten, Frankfurt a. M./New York 1986.
- Porter, M. E. (1990a), Wettbewerbsstrategie: Methoden zur Analyse von Branchen und Konkurrenten (Competitive Strategy), Frankfurt a. M./New York 1990.
- Porter, M. E. (1990b), „Don't Collaborate, Compete“, in: The Economist, 9. Juni 1990, S. 17-21.
- Poser, H. (1989), Mathematik, in: Seiffert/Radnitzky (Hrsg., 1989), S. 206-214.
- Prahalad, C. K. und Hamel, G. (1990), The Core Competence of the Corporation, in: Harvard Business Review, 68, 1990, Mai/Juni, S. 79-91.
- Proger, B. B., Taylor, R. G. Jr., Mann, L., Coulson, J. M. und Bayuk, R. J. Jr. (1970), Conceptual Pre-Structuring for Detailed Verbal Passages, in: The Journal of Educational Research, 64, 1970, 1, S. 28-34.

- Pugh, S. (1996), *Creating Innovative Products Using Total Design: The Living Legacy of Stuart Pugh*, Reading 1996.
- Quélin, B. und Mothe, C. (1998), *Cooperative R&D and Competence Building*, in: Hamel u.a. (Hrsg., 1998), S. 29-50.
- Quinn, J. B. (1999), *Strategic Outsourcing: Leveraging Knowledge Capabilities*, in: *Sloan Management Review*, 40, 1999, Sommer, S. 9-21.
- Quinn, J. B. (2000), *Outsourcing Innovation: The New Engine of Growth*, in: *Sloan Management Review*, 41, 2000, Sommer, S. 13-28.
- Rall, W. (1997), *Der Netzwerkansatz als Alternative zum zentralen und hierarchisch gestützten Management der Mutter-Tochter-Beziehung*, in: Macharzina/Oesterle (Hrsg., 1997), S. 663-679.
- Rechtin, E. (1991), *Systems Architecting: Creating and Building Complex Systems*, Englewood Cliffs 1991.
- Reinertsen, D. G. (1998), *Die neuen Werkzeuge der Produktentwicklung*, München/Wien 1998.
- Reinertsen, D. G. (2000), *Managing the Design Factory - The Problem with Requirements*, <http://devel.penton.com/ed/Pages/magpages>, zugegriffen am 23. Februar 2000.
- Reiss, M. (1993), *Komplexitätsmanagement (I)*, in: *WISU*, 22, 1993, 1, S. 54-60.
- Reither, F. (1997), *Komplexitätsmanagement - Denken und Handeln in komplexen Situationen*, München 1997.
- Reynolds, C. W. (1987), *Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model*, in: *Computer Graphics*, 21, 1987, 4, S. 25-34.
- Richardson, J. (1993), *Parallel Sourcing and Supplier Performance in the Japanese Automobile Industry*, in: *Strategic Management Journal*, 14, 1993, S. 339-350.
- Rivkin, J. W. (1999), *Review: Out of Control by Kevin Kelly*, in: *Emergence*, 1, 1999, 2, S. 179-182.
- Roddeck, W. (1997), *Einführung in die Mechatronik*, Stuttgart 1997.

- Rogers, H. Jr. (1967), *Theory of Recursive Functions and Effective Computability*, New York u.a. 1967.
- Rommel, G. (1993), *Einfach überlegen: das Unternehmenskonzept, das die Schlanken schlank und die Schnellen schnell macht*, Stuttgart 1993.
- Roozenburg, N. F. M. und Dorst, K. (1991), *Some Guidelines for the Development of Performance Specifications in Product Design*, in: 8th International Conference on Engineering Design, Zürich, 27. bis 29. August 1991, S. 359-366.
- Roussel, P. A., Saad, K. N. und Erickson, T. J. (1991), *Third Generation R&D - Managing the Link to Corporate Strategy*, Boston 1991.
- Ryan, D. (1999), *Wiederverwendung von Designelementen: die richtigen Rahmenbedingungen schaffen*, in: *Systeme - Zeitschrift für Elektronikentwickler und Systemintegratoren*, 13, 1999, 1, S. 42-44.
- Rycraft, W. R. und Kash, D. E. (1999), *The Complexity Challenge - Technological Innovation for the 21st Century*, London/New York 1999.
- Sage, A. P. und Rouse, W. B. (1999), *An Introduction to Systems Engineering and Systems Management*, in: Sage/Rouse (Hrsg., 1999), S. 1-58.
- Sage, A. P. und Rouse, W. B. (Hrsg., 1999), *Handbook of Systems Engineering and Management*, New York u.a. 1999.
- Salanié, B. (1997), *The Economics of Contracts: A Primer*, Cambridge/London 1997.
- Saliger, E. (1993), *Betriebswirtschaftliche Entscheidungstheorie: Einführung in die Logik individueller und kollektiver Entscheidungen*, Oldenbourg 1993.
- Sautter, M. (1999), *Virtuelle Welten - Schlüsselfaktor Informations- und Kommunikationsindustrie*, in: Warnecke/Braun (Hrsg., 1999), S. 149-186.
- Schauenberg, B. (1991), *Organisationsprobleme bei dauerhafter Kooperation*, in: Ordelheide u.a. (Hrsg., 1991), S. 329-356.
- Schelle, H. und Schwald, A. (Hrsg., 1988), *Symposium Management von Softwareprojekten*, Köln 1988.
- Schiffer, S. (1991), *Ceteris Paribus Laws*, in: *Mind*, 100, 1991, 1, S. 1-17.

- Schilpp, P. A. (Hrsg., 1951), *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*, Stuttgart 1951.
- Schirmeister, R. (1981), *Modell und Entscheidung: Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung von Modellen zur Alternativenbewertung im Entscheidungsprozess der Unternehmung*, Stuttgart 1981.
- Schlesinger, A. M. (1965), *Die tausend Tage Kennedys*, Bern u.a. 1965.
- Schmid, C. (1999), *Informationsflüsse in Zuliefernetzwerken*, Wiesbaden 1999.
- Schmitz, B. (1998), *Engineering in Reverse*, in: *Computer-Aided Engineering*, 1998, 2, S. 52-58.
- Schnell, R., Hill, P. B. und Esser, E. (1999), *Methoden der empirischen Sozialforschung*, München/Wien 1999.
- Schnotz, W. (1994), *Aufbau von Wissensstrukturen: Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten*, Weinheim 1994.
- Schneeweiss, C. (1999), *Hierarchies in Distributed Decision Making*, Berlin u.a. 1999.
- Scholl, K. (1997), *Konstruktionsbegleitende Kalkulation: computergestützte Anwendung von Prozeßkostenrechnung und Kostentableaus*, Stuttgart 1997.
- Schrank, R. und Perlitz, M. (1999), *Zielorientierte FuE-Performance-Bewertung - der GOPE Ansatz*, in: Möhrle (Hrsg., 1999), S. 145-165.
- Schurz, G. (1995), *Theories and Their Applications: A Case of Nonmonotonic Reasoning*, in: Herfel u.a. (Hrsg., 1995), S. 269-293.
- Seidenschwarz, W. (1993), *Target costing: marktorientiertes Zielkostenmanagement*, München 1993.
- Seiffert, H. (1983), *Einführung in die Wissenschaftstheorie*, München 1983.
- Seiffert, H. und Radnitzky, G. (Hrsg., 1989), *Handlexikon zur Wissenschaftstheorie*, München 1989.
- Shannon, C. E. (1948), *A Mathematical Theory of Communication*, in: *Bell System Technical Journal*, 27, 1948, S. 379-423 und S. 623-656.

- Siebert, H. (1999), Ökonomische Analyse von Unternehmensnetzwerken, in: Sydow (Hrsg., 1999), S. 7-27.
- Simon, H. A. (1957), Models of Man, New York 1957.
- Simon, H. A. (1959), Administrative Behavior, New York 1959.
- Simon, H.A. (1969), The Sciences of the Artificial, Cambridge 1969.
- Smith, D. G. und Rhodes, R. G. (1992), Specification Formulation - An Approach That Works, in: Journal of Engineering Design, 3, 1992, 4, S. 275-289.
- Smith, P. G. und Reinertsen, D. G. (1991), Developing Products in Half the Time, New York u.a. 1991.
- Sobek II, D. K., Liker, J. K. und Ward, A. C. (1998), Another Look at How Toyota Integrates Product Development, in: IEEE Engineering Management Review, 26, 1998, 4, S. 69-78.
- Sobek II, D. K., Ward, A. C. und Liker, J. K. (1999), Toyota's Principles of Set-Based Concurrent Engineering, in: Sloan Management Review, 40, 1999, Winter, S. 67-84.
- Sober, E. (1975), Simplicity, Oxford 1975.
- Solomonoff, R. J. (1964), A Formal Theory of Inductive Inference. Part 1 and Part 2, in: Information and Control, 7, 1964, S. 1-22, 224-254.
- Sommerlatte, T. und Mollenhauer, M. (1992), Qualität, Kosten, Zeit - das magische Dreieck, in: [ADL] (Hrsg., 1992), S. 26-36.
- Sommerlatte, T. und Ring, T. (1992), Qualität - deutsche Unternehmen im Aufholrennen, in: [ADL] (Hrsg., 1992), S. 1-8.
- Sommerlatte, T. und Jonash, R. S. (2000), Innovation: der Weg der Sieger: wie erfolgreiche Unternehmen Werte schaffen, Landsberg/Lech 2000.
- Souder, W. E. (1980), Management Decision Methods for Managers of Engineering and Research, New York 1980.

- Srinivasan, V., Lovejoy, W. S. und Beach, D. (1997), Integrated Product Design for Marketability and Manufacturing, in: Journal of Marketing Research, 34, 1997, 2, S. 154-163.
- Stählin, W. (1973), Theoretische und technologische Forderung in der Betriebswirtschaftslehre, Stuttgart 1973.
- Stengel, R. (1999), Gestaltung von Wertschöpfungsnetzwerken, Wiesbaden 1999.
- Stevens, R., Brook, P., Jackson, K. und Arnold, S. (1998), Systems Engineering - Coping with Complexity, London u.a. 1998.
- Stewart, I. und Golubitsky, M. (1992), Fearful Symmetry: Is God a geometer?, Oxford/Cambridge 1992.
- Stützle, R. und Siedersleben, J. (2000), Erfolgsfaktoren für die Entwicklung wiederverwendbarer Software: Dokumentation ist die halbe Miete, in: Computerwoche-Extra, Nr. 8 vom 03.11.2000, S. 38-39.
- Swink, M. L. und Mabert, V. A. (2000), Product Development Partnerships: Balancing the Needs of OEMs and Suppliers, in: Business Horizons, 43, 2000, 3, S. 59-66.
- Sydow, J. (1992), Strategische Netzwerke: Evolution und Organisation, Wiesbaden 1992.
- Sydow, J. (1999), Management von Netzwerkorganisationen - zum Stand der Forschung, in: Sydow (Hrsg., 1999), S. 279-314.
- Sydow, J. (Hrsg., 1999), Management von Netzwerkorganisationen: Beiträge aus der „Managementforschung“, Wiesbaden 1999.
- Szyperski, N. (Hrsg., 1989), Handwörterbuch der Planung, Stuttgart 1989.
- Tapscott, D. (Hrsg., 1999), Creating Value in the Network Economy, Boston 1999.
- Thomke, S. und Fujimoto, T. (2000), The Effect of „Front-Loading“ Problem-Solving on Product Development Performance, in: Journal of Product Innovation Management, 17, 2000, 2, S. 128-142.
- Thomke, S. und Reinertsen, D. (1998), Agile Product Development: Managing Development Flexibility in Uncertain Environments, in: California Management Review, 41, 1998, 1, S. 8-30.

- Thorburn, W. M. (1918), The Myth of Occam's Razor, in: *Mind*, 27, 1918, S. 345-353.
- Thoreau, H. D. (1854), *Walden; or, Life in the Woods*, Boston 1995.
- Thorelli, H. B. (1986), Networks: Between Markets and Hierarchies, in: *Strategic Management Journal*, 7, 1986, S. 37-51.
- Tichy, N. und Charan, R. (1989), Speed, Simplicity, Self-Confidence: An Interview with Jack Welch, in: *Harvard Business Review*, 67, 1989, September/Oktober, S. 112-120.
- Tinbergen, J. (1935), Annual Survey: Suggestions on Quantitative Business Cycle Theory, in: *Econometrica*, 3, 1935, S. 241-308.
- Trout, J. und Rivkin, S. (1999), *Die Macht des Einfachen: warum komplexe Konzepte scheitern und einfache Ideen überzeugen*, Wien 1999.
- Ulrich, K. T. und Eppinger, S. D. (2000), *Product Design and Development*, Boston u.a. 2000.
- Ulrich, K. T. und Pearson, S. (1998), Assessing the Importance of Design Through Product Archaeology, in: *Management Science*, 44, 1998, 3, S. 352-369.
- Ushenko, A. P. (1951), Einsteins Einfluß auf die heutige Philosophie, in: Schilpp (Hrsg., 1951), S. 446-480.
- Vanberg, V. J. (1994a), *Kulturelle Evolution und die Gestaltung von Regeln*, Tübingen 1994.
- Vanberg, V. J. (1994b), *Rules and Choice in Economics*, London/New York 1994.
- Vanberg, V. J. und Buchanan, J. M. (1981), *Liberaler Evolutionismus oder vertragstheoretischer Konstitutionalismus? Zum Problem institutioneller Reformen bei F. A. Hayek und J. M. Buchanan*, Tübingen 1981.
- Varian, H. (1991), *Grundzüge der Mikroökonomik*, München/Wien 1991.
- Voigt, K.-I. (1998), *Strategien im Zeitwettbewerb: Optionen für Technologiemanagement und Marketing*, Wiesbaden 1998.

- Ward, A., Liker, J. K., Christiano, J. J. und Sobek II, D. K. (1995), The Second Toyota Paradox: How Delaying Decisions Can Make Better Cars Faster, in: Sloan Management Review, 36, 1995, Frühling, S. 43-61.
- Warnecke, H.-J. und Braun, J. (Hrsg., 1999), Vom Fraktal zum Produktionsnetzwerk: Unternehmenskooperation erfolgreich gestalten, Berlin u.a. 1999.
- Weidlich, W. (2000), Sociodynamics: A Systematic Approach to Mathematical Modeling in the Social Sciences, Amsterdam 2000.
- Wheatley, M. J. und Kellner-Rodgers, M. (1996), A Simpler Way, San Francisco 1996.
- Wheelwright, S. C. und Clark, K. B. (1992), Revolutionizing Product Development – Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality, New York 1992.
- Wiendahl, H.-P. und Kanitz, F. (2000), Kooperatives Produktengineering - ein neues Selbstverständnis ingenieurmäßigen Wirkens, in: Gausemeier/Lückel (Hrsg., 2000b), S. 49-60.
- Wildemann, H. (1992), Unter Herstellern und Zulieferern wird die Arbeit neu verteilt, in: Harvard Business Manager, 14, 1992, 2, S. 82-93.
- Wildemann, H. (1998), Zulieferer: im Netzwerk erfolgreich, in: Harvard Business Manager, 8, 1998, 4, S. 93-104.
- Wingert, G. M. (1997), Wettbewerbsvorteile durch Lieferantenintegration: strategische und operative Gestaltung des Wertschöpfungssystems in der Elektroindustrie, Wiesbaden 1997.
- Wöhe, G. (1996), Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, München 1996.
- Wolf, S. (1999), Supply Chain Management, in: 7. Handelsblatt-Jahrestagung Automobilindustrie „Automobilindustrie im Umbruch“, Frankfurt a. M., 21. und 22. September 1999.
- Wolters, H. (1995), Modul- und Systembeschaffung in der Automobilindustrie: Gestaltung der Kooperation zwischen europäischen Hersteller- und Zulieferunternehmen, Wiesbaden 1995.

- Wolters, H. und Feige, A. (1998), Änderungswut vor Serienlauf, in: Automobil-Entwicklung, 1, 1998, 5, S. 64-69.
- Womack, J. P. und Jones, D. T. (1994), From Lean Production to the Lean Enterprise, in: Harvard Business Review, 72, 1994, 2, S. 93-103.
- Wrinch, D. und Jeffreys, H. (1921), On Certain Fundamental Principles of Scientific Inquiry, in: The London, Edingburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 42, 1921, S. 369-390.
- Yetim, F. (1998), Interkulturalität und informatische Gestaltung - eine interdisziplinäre Annäherung, in: Informatik-Spektrum, 21, 1998, 4, S. 203-212.
- Yin, R. K. (1994), Case Study Research: Design and Methods, Thousand Oaks u.a. 1994.
- Zahn, E. (1995), Gegenstand und Zweck des Technologiemanagements, in: Zahn (Hrsg., 1995), S. 3-32.
- Zahn, E. (Hrsg., 1995), Handbuch Technologiemanagement, Stuttgart 1995.
- Zahn, E. (2000), Innovative Strategien für die New Economy, in: Zahn/Foschiani (Hrsg., 2000), S. 1-20.
- Zahn, E. und Foschiani, S. (Hrsg., 2000), Erfolgsstrategien für den Wandel, Stuttgart 2000.
- Zelazny, G. (1999), Wie aus Zahlen Bilder werden: der Weg zur visuellen Kommunikation, Wiesbaden 1999.
- [ADL] (Hrsg., 1992), Arthur D. Little: Management von Spitzenqualität, Wiesbaden 1992.
- [Britannica] (2001), Encyclopaedia Britannica, <http://www.britannica.com>, zugegriffen am 09. Januar 2001.
- [Diebold] (1999), Diebold Managementberatung: Strategische Positionierung in der Wertschöpfungskette, Eschborn 1999.
- [DIN 55 350] (o.J.), Teil 11: Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik, Begriffe der Qualitätssicherung, Grundbegriffe (Entwurf), Berlin o.J.

- [Duden] (1990), Der Duden Band 5: Duden Fremdwörterbuch, Mannheim u.a. 1990.
- [Economist] (2001), Making the Complex Simple, in: The Economist, 358, 2001, 8206, S. 91f.
- [ECR Europe] (2001), What is Efficient Consumer Response?, <http://www.ecrnet.org>, zugegriffen am 08. März 2001.
- [Harenberg] (1997), Harenberg-Lexikon der Sprichwörter & Zitate, Dortmund 1997.
- [Hella] (2002), Hella KG Hueck & Co: Innovation und Tradition, <http://www.hella.com>, zugegriffen am 22. August 2002.
- [IEEE 1220] (1998), IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process, IEEE Std 1220-1998, New York 1998.
- [INCOSE] (2000), Tools Survey: Requirements Managements (RM) Tools, <http://www.incose.org/tools/tooltax.html>, zugegriffen am 04. Mai 2001.
- [QSS] (2000), Quality Systems & Software, Inc.: Writing Better Requirements, Mount Arlington 2000.
- [Spiegel] (2002), Spiegel Online: Neue Scheinwerfertechnik - Licht um die Ecke, <http://www.spiegel.de/auto/werkstatt>, zugegriffen am 25. Juli 2002.
- [VDI] (1991), VDI-Zentrum Wertanalyse: Wertanalyse, Idee - Methode - System, Düsseldorf 1991.
- [Webster] (1986), Webster's Third New International Dictionary of the English Language, Springfield 1986.

## Lebenslauf

<b>Name:</b>	<b>Ralf L U D W I G</b>	
<b>Privates:</b>	Geboren am 14. Januar 1972 in Stuttgart als Sohn der Eheleute Reinhard und Ursula Ludwig	
<b>Schule,</b>	1978 bis 1988	Grundschule und Realschule
<b>Zivildienst:</b>	1988 bis 1991	<b>Technisches Gymnasium Max-Eyth,</b> Stuttgart
	1991 bis 1992	<b>Zivildienst Deutsche Rettungsflugwacht,</b> Filderstadt
<b>Studium:</b>	1992 bis 1998	<b>Universität Stuttgart,</b> Stuttgart Diplomstudium Luft- und Raumfahrttechnik
	1996 bis 1997	<b>Illinois Institute of Technology,</b> Chicago (USA), Teilstudium Aerospace Engineering und Business Administration
	1999 bis 2002	<b>Universität Stuttgart,</b> Stuttgart, Promotionsstudium Betriebswirtschaftslehre
<b>Tätigkeiten:</b>	1998	<b>Daimler-Benz Aerospace AG,</b> München, Diplomand im Zentralressort Unternehmens- entwicklung
	1999	<b>DaimlerChrysler AG,</b> Frankfurt, Doktorand im Zentralressort Forschung und Technologie
	2000 bis 2001	<b>DaimlerChrysler AG,</b> Stuttgart, Doktorand im Geschäftsfeld Nutzfahrzeuge
	2002 bis heute	<b>DaimlerChrysler AG,</b> Stuttgart, Entwicklungs- ingenieur im Geschäftsfeld Nutzfahrzeuge
<b>Lehrbeauf- tragung:</b>	2000	<b>Universität Stuttgart,</b> Lehrstuhl Forschungs- und Entwicklungs-Management, „F&E- Management für Ingenieure“, Vortragsübungen