

**Abhandlungen aus dem
Industrieseminar der Universität Mannheim**

Heft 53

System- und objektorientierte Simulation betriebswirtschaftlicher Entscheidungen

Von

Jürgen Strohhecker



Duncker & Humblot · Berlin

DOI <https://doi.org/10.3790/978-3-428-49475-0>

Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-12-20 19:30:04
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

JÜRGEN STROHHECKER

**System- und objektorientierte Simulation
betriebswirtschaftlicher Entscheidungen**

Abhandlungen aus dem Industrieseminar der Universität Mannheim

**früher unter dem Titel
Abhandlungen aus dem Industrieseminar der Universität zu Köln
begründet von Prof. Dr. Dr. h. c. Theodor Beste**

**Herausgegeben von
Prof. Dr. Gert v. Kortzfleisch, Prof. Dr. Heinz Bergner
und Prof. Dr. Peter Milling**

Heft 53

System- und objektorientierte Simulation betriebswirtschaftlicher Entscheidungen

Von

Jürgen Strohhecker



Duncker & Humblot · Berlin

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Strohhecker, Jürgen:

System- und objektorientierte Simulation betriebswirtschaftlicher
Entscheidungen / von Jürgen Strohhecker. – Berlin : Duncker und
Humblot, 1998

(Abhandlungen aus dem Industrieseminar der Universität
Mannheim ; H. 53)

Zugl.: Mannheim, Univ., Diss., 1997

ISBN 3-428-09475-1

Alle Rechte vorbehalten

© 1998 Duncker & Humblot GmbH, Berlin

Fotoprint: Werner Hildebrand, Berlin

Printed in Germany

ISSN 0935-381X

ISBN 3-428-09475-1

Gedruckt auf alterungsbeständigem (säurefreiem) Papier
entsprechend ISO 9706 ☺

Geleitwort

Die Unterstützung betriebswirtschaftlicher Entscheidungsprobleme durch Modelle der Computersimulation spielt in der quantitativ orientierten Betriebswirtschaftslehre eine wichtige Rolle. Mit dem immer wieder betonten Zunehmen der Komplexität unternehmerischen Handelns kommt solchen Verfahren wachsende Bedeutung zu. Die Entscheidungsproblematik per se ist aber keineswegs neu und tritt als solche auch nicht verstärkt auf – ein Sachverhalt, auf den Jürgen Strohhecker schon in seinen einleitenden Ausführungen zutreffend hinweist. Bis in die Anfänge der Betriebswirtschaftslehre, bis hin zu Eugen Schmalenbach, führt der Verfasser diesen Entscheidungszwang als konstitutiven Bestandteil wirtschaftlichen Handelns zurück; er macht aber auch deutlich, dass die Rationalität bzw. Qualität der Entscheidungsprozesse durch den Einsatz formaler Modelle sehr wohl gewinnen könnte, denn diese sind in der Lage, deren Effektivität wie Effizienz zu erhöhen.

Die objektorientierte Modellierungstechnik ist in besonderem Maße geeignet, für alle Arten und Ebenen betriebswirtschaftlichen Entscheidens problemadäquate, formale Simulationsmodelle zu erzeugen. Bei der Analyse der Effektivität zeigt der Autor seine Kompetenz im Zusammenfügen von Systemtheorie, Wissenschaftstheorie und Modellierungskonzepten. Er versteht es, den System-Dynamics-Ansatz mit der objektorientierten Systemmodellierung und -simulation zu verbinden und dabei eine tragfähige Brücke zwischen den Vorgehensweisen zu schlagen.

Der Verfasser verdeutlicht anhand eines von ihm entwickelten Simulators zur Diffusion von Innovationen, wie benutzerfreundlich objektorientierte Modelle gestaltet werden können. Die grafische Aufbereitung der Ergebnisse des räumlichen und zeitlichen Diffusionsverlaufs vertieft den bisherigen Kenntnisstand der Innovationsforschung; die Verbreitung von Informationen in der Fläche knüpft an Arbeiten an, die in früheren Perioden der Diffusions- und Innovationsforschung sehr wohl eine Rolle spielten, dann aber in den Hintergrund traten. Die methodische Möglichkeit, die Regionalkomponente wieder in die modellbasierte Analyse einzubinden, eröffnet neue Betätigungsfelder und Einsichten und erweitert den Horizont betriebswirtschaftlicher Innovationsforschung.

Mannheim, im April 1998

Peter Milling

„Ich weiß, dass ich nichts weiß“

Sokrates

Vorwort

Entscheidungen fällen zu müssen, ist ein im Grunde uraltes menschliches Problem. Wo und wann auch immer Menschen agierten, stellte sich die Frage nach der besten der zur Auswahl stehenden Handlung, nach der gewinnträchtigsten aller Optionen. Die Liste der Entscheidungshilfen, die im Laufe der Geschichte von Philosophen, Theologen, Politikern, Ökonomen usw. entwickelt wurde, ist denn auch unüberschaubar lang. Die Betriebswirtschaftslehre hat den Bedarf der Unternehmenspraxis an Entscheidungsberatung ebenfalls erkannt und unter anderem entscheidungstheoretische und -logische Optimierungsmodelle entwickelt. Bei der Anwendung auf komplexe Entscheidungsprobleme geraten diese zumeist linearen Modelle jedoch schnell an ihre Grenzen. Problematische Vereinfachungen und Verkürzungen sind notwendig, um ihre analytische Lösbarkeit sicherstellen und Ergebnisse überhaupt noch hervorbringen zu können.

Mit der vorliegenden Arbeit, die als Dissertation im Wintersemester 1997/98 von der Fakultät für Betriebswirtschaftslehre der Universität Mannheim angenommen wurde, wird eine Entscheidungsunterstützungsmethodik präsentiert, die auf die prinzipiell begrenzte Rationalität menschlichen Entscheidens Rücksicht nimmt, indem sie ein modell- und simulationsbasiertes kritisch-rationales Vorgehen propagiert. Formale, objektorientiert spezifizierte Modelle spielen dabei eine zentrale Rolle, sind sie doch in besonderem Maße geeignet, alle Arten und Ebenen betriebswirtschaftlicher Entscheidungsprobleme abzubilden und der simulationsbasierten Konsequenzenanalyse zugänglich zu machen. Die bewusste Konzentration auf die Computersimulation zur Lösung dieser Modelle verhindert dabei zuverlässig, dass das Problem so lange an das Modell angepasst wird, bis eine mathematisch-analytische Lösung möglich ist. Auch für komplizierteste Entscheidungssituationen lassen sich realitätskonforme objektorientierte Modelle konzipieren.

Anhand von Beispielen aus dem Bereich der Diffusionsmodellierung wird das Potenzial des in der Arbeit entwickelten Ansatzes objektorientierter Systemmodellierung und -simulation (OOSMS) aufgezeigt und die praktische Umsetz-

barkeit demonstriert. Nicht eine mathematische Funktion, sondern die Interaktion vieler einzelner Individuen erzeugt die zeitliche wie räumliche Verbreitung von Informationen oder Gütern. Der objektorientierte Ansatz erweist sich damit als geradezu maßgeschneidert für die Disaggregation von Diffusionsmodellen und die Modellierung von Gesellschaften intelligenter Agenten.

Im Juli 1996 wurde in Wien von den zuständigen Stellen der deutschsprachigen Länder eine zwischenstaatliche Erklärung über die Neuregelung der deutschen Rechtschreibung unterzeichnet. Mit der neuen Rechtschreibung wird das Ziel verfolgt, die Ausnahmen von den Regeln zu reduzieren und das Schreiben zu erleichtern, ohne das vertraute Schriftbild der deutschen Sprache wesentlich zu verändern. Stichtag für die Einführung der neuen Regeln ist der 1. August 1998. In zahlreichen Schulen wird das neue Regelwerk jedoch schon seit dem Schuljahr 1996/97 praktiziert. Die vorliegende Dissertation ist – trotz ihrer Fertigstellung vor dem Stichtag – bereits nach den neuen amtlichen Rechtschreibregeln verfasst, wie sie im Duden der 21. Auflage veröffentlicht sind. Direkte Zitate sind allerdings, den Konventionen des wissenschaftlichen Arbeitens folgend, wort- und zeichengetreu wiedergegeben, so dass sich auch in dieser Arbeit noch Textpassagen finden, die sich an die alte Schreibweise halten. Als wörtliche Zitate sind sie in Anführungszeichen eingeschlossen und so eindeutig zu identifizieren. Die Einheitlichkeit des Schriftbildes wird dadurch nur geringfügig beeinträchtigt.

Im Laufe der Jahre, in denen die zunächst vagen Ideen Schritt um Schritt zur fertigen Dissertation gereift sind, habe ich Anregungen und Hinweise, Kritik und Zuspruch in großer Zahl erhalten.

Besonderen Dank schulde ich meinem akademischen Lehrer, Professor Dr. Peter Milling. Er hat mein Interesse an der Modellierung und Simulation dynamischer Systeme geweckt, mich bei der Auswahl der Themenstellung beraten und die Bearbeitungsfortschritte betreut. Wenn Probleme zu diskutieren oder offene Punkte zu klären waren, habe ich bei ihm jederzeit ein offenes Ohr und die Bereitschaft zum Gespräch gefunden. Von den Präsentationen im Forschungsseminar, das unter der Leitung von Herrn Professor Dr. Peter Milling ein Ort fruchtbarer wissenschaftlicher Diskussion war, habe ich sehr profitiert und zahlreiche Verbesserungsvorschläge bezogen. Herrn Professor Dr. Martin Schader danke ich für die freundliche Übernahme des Korreferats und für etliche wertvolle Hinweise auf Unstimmigkeiten im Manuskript.

Sehr zu Dank verpflichtet bin ich auch meinen Kollegen, die mir während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Industrieseminar der Universität Mannheim mit Rat und Tat stets hilfreich zur Seite standen. Insbe-

sondere Dr. Frank Maier hat durch eine Vielzahl konstruktiv-kritischer Anregungen zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

Meinen Eltern, meinem Bruder Marcus und Sylvia Schimmeier danke ich herzlich dafür, dass sie die Mühen des Korrekturlesens auf sich genommen und das Manuskript sorgfältig und zum Teil mehrfach durchgesehen haben. Für die noch verbliebenen Mängel und Irrtümer trage ich selbstverständlich die alleinige Verantwortung.

Nicht versäumen möchte ich, den beiden guten Seelen des Industrieseminars, Frau Rosemarie Ruppert und Frau Gisela Wismann, für ihr allzeit offenes Ohr und ihren menschlichen Rat herzlich zu danken. Auch gilt mein Dank allen wissenschaftlichen Hilfskräften am Industrieseminar der Universität Mannheim, deren Unterstützung bei der Literaturbeschaffung mir manchen Weg in die Bibliotheken und Archive erspart hat.

Ohne die Unterstützung der Familie, ohne den Zuspruch von Freunden, Bekannten und Kollegen wäre diese Arbeit nie zu einem Ende gekommen. Ich möchte ihnen allen herzlich danken, denn sie haben mir geholfen, die immer wieder auftauchenden Zweifel an Sinn und Nutzen der Untersuchung zu überwinden und mit der unvermeidlichen „Einsamkeit eines Langstreckenforschers“ besser fertig zu werden.

Schwetzingen, im Mai 1998

Jürgen Strohhecker

Inhaltsverzeichnis

A. Das Polylemma betriebswirtschaftlicher Entscheidungssituationen.....	19
B. Plädoyer für kritisch-rationales Entscheiden.....	26
I. Entscheidungskompliziertheit als Folge der Komplexität betriebswirtschaftlicher Systeme	26
1. Entscheiden als Problemlösungsprozess.....	26
2. Gegenstandsbereich betriebswirtschaftlicher Entscheidungen	33
3. Einfache versus komplizierte Entscheidungen – eine Systematik	38
II. Rationalität als Richtschnur zur Bewältigung komplizierter Entscheidungssituationen	44
1. Begründungsrationalität versus Kritikrationalität.....	45
2. Zum Problem der Rechtfertigung von Rationalität als Leitmotiv zur Bewältigung von Entscheidungsproblemen.....	51
3. Ein Leitfaden für kritisch-rationales Entscheiden.....	56
III. Kreation von Problemlösungen im kritisch-rationalen Entscheidungsprozess	60
1. Modellbildung: Problembeschreibung, Systemabbildung, Validierung	61
2. Das Auffinden und Erfinden von Handlungsalternativen.....	68
3. Die Bildung von Umfeldervorstellungen.....	72
IV. Die Phase der Elimination im kritisch-rationalen Entscheidungsprozess	79
1. Falsifikation in der Wissenschaft.....	79
2. Die Analyse der Handlungskonsequenzen.....	82
3. Alternativenbewertung und Selektion	88
C. Rationales Management durch objektorientiertes Modellieren und Simulieren.....	93
I. Modelle und Simulationen – Garanten rationaler Entscheidungen?.....	93
1. Modelle als Grundlage jeglichen menschlichen Entscheidens	93

2. Die Effektivität mentaler Modelle als Entscheidungsgrundlage	97
3. Formale Modelle für komplizierte Entscheidungssituationen	102
II. Systemtheoretische Grundlagen objektorientierter Modellentwicklung	105
1. Struktur, Hierarchie und Funktion – die drei Dimensionen des Systembegriffs	105
2. Eine formale, mengentheoretische Systemdefinition	115
3. System Dynamics als Referenz eines nicht-objektorientierten Modellentwicklungs- und Simulationskonzeptes	120
III. Die spezifische Perspektive des objektorientierten Modellentwicklungs- und Simulationsansatzes	128
1. Das Paradigma des objektorientierten Ansatzes	129
2. Systeme, Klassen, Objekte	136
3. OOSMS als Bestandteil kritisch-rationalen Entscheidens	141
D. Objektorientierte Modellierung, Validierung und Simulation	146
I. Softwareunterstützung	146
II. Das objektorientierte Strukturmodell der Systemstatik	149
1. Klassen und Objekte	150
2. Objektattribute	157
3. Assoziationen und Aggregationen	161
4. Exkurs: Vererbungsstrukturen	168
III. Das objektorientierte Modell der Systemdynamik	170
1. Kontinuierliche versus diskrete Modellierung dynamischer Systeme	170
2. Objektoperationen und -interaktionen	177
3. Ereignisfolgeszenarios	182
4. Objektzustände und Zustandsübergänge	187
IV. Die Validierung objektorientierter Modelle	193
1. Aufgabe und Inhalt der Modellvalidierung	193
2. Die Technik des Validierens	198
3. Tests zur Modellvalidierung	204
V. Objektorientierte Simulation	208
1. Computersimulation zur Lösung von Modellen	208
2. Die Besonderheiten objektorientierter Simulationsexperimente	212

3. Durchführung von Simulationsexperimenten zur Entscheidungsunterstützung	213
E. Diffusionsmodelle als Anwendungsbeispiele objektorientierter Modellierung.....	221
I. Aggregierte Modelle des Ausbreitungsprozesses neuer Produkte	221
1. Grundmodelle der Konsumgüterdiffusion	222
2. Das Bass-Modell als system- und objektorientiertes Diffusionsmodell	226
3. Vorteile einer mikroanalytischen Modellierung des Diffusionsprozesses	230
II. Ein objektorientiertes, räumliches Mikromodell der Ausbreitung von neuen Informationen.....	233
1. Das Konzept intelligenter Agenten.....	234
2. Informationsdiffusion durch Kommunikation zwischen intelligenten Agenten	238
3. Räumlicher und zeitlicher Diffusionsverlauf – ein Vergleich von Mikro- und Makromodellen	244
4. Die Erweiterung des Modells	250
III. Ein mikroanalytisches Modell der Konsumgüterdiffusion.....	258
1. Der Markt als Treffpunkt individueller Nachfrager und Anbieter	258
2. Das Produkt als Gegenstand des Diffusionsprozesses	263
3. Der Adoptionsprozess eines Konsumenten	267
4. Simulationsergebnisse	271
F. Anwendungs- und Erfolgspotenzial des OOSMS-Ansatzes.....	284
Anhang.....	287
Literaturverzeichnis.....	291
Sachwortverzeichnis	303

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Konstituierende Elemente eines Entscheidungsproblems	29
Abbildung 2:	Der Entscheidungsprozess als Netzwerk.....	32
Abbildung 3:	Die Unternehmung als Input-Transformation-Output-System	34
Abbildung 4:	Die Unternehmung als differenziertes, geregeltes System	35
Abbildung 5:	Pyramidenmodell betriebswirtschaftlicher Entscheidungen.....	37
Abbildung 6:	Variantenzahl und Vernetzung als Determinanten der Komplexität.....	40
Abbildung 7:	Systematisierung von Entscheidungen	44
Abbildung 8:	Wissenschafts- und Entscheidungsprozess im Vergleich	58
Abbildung 9:	Modell des kritisch-rationalen Entscheidungsprozesses	59
Abbildung 10:	Die Entwicklung von Problemlösungsversuchen	61
Abbildung 11:	Substruktur des Modellbildungsprozesses	62
Abbildung 12:	Betriebsergebnisentwicklung	63
Abbildung 13:	Räuber-Beute-System	77
Abbildung 14:	Entwicklung der Fuchs- und Hasenpopulation	78
Abbildung 15:	Konsequenzenanalyse als äußerst komplexe Aufgabe	82
Abbildung 16:	Systemkomplexität als Problem für die Konsequenzenanalyse.....	85
Abbildung 17:	Ergebnisdatenbank.....	89
Abbildung 18:	Ergebnismatrix für Umweltzustand u_x und Zeitpunkt t_x	90
Abbildung 19:	Ergebnisdarstellung als Netzdiagramm.....	90
Abbildung 20:	Darstellungsvariante Liniengrafik.....	91
Abbildung 21:	Das mentale Modell als Grundlage menschlichen Entscheidens.....	96
Abbildung 22:	Eine Modelltypologie.....	97
Abbildung 23:	Modell der menschlichen Gedächtnishierarchie	101
Abbildung 24:	Der Unterschied zwischen Menge und System	107
Abbildung 25:	Strukturelle Variationen	110
Abbildung 26:	Die hierarchische Perspektive des Systemansatzes	113

Abbildung 27: Input-Output-Modell als Darstellung des funktionalen Systemkonzepts.....	114
Abbildung 28: Inner- und zwischensystemische Relationen.....	120
Abbildung 29: Der System-Dynamics-Prozess	123
Abbildung 30: Strukturhierarchie des System-Dynamics-Ansatzes	124
Abbildung 31: Der Regelkreis als Bestimmungsgröße der Systemgrenze.....	125
Abbildung 32: Variablenbeziehungen in Kausaldiagrammen	126
Abbildung 33: Substruktur von Entscheidungsregeln.....	128
Abbildung 34: Modellierungsentitäten von System Dynamics und OOSMS.....	136
Abbildung 35: Modellentwicklungsprozess	141
Abbildung 36: Aufbau des objektorientierten Modellierungsprozesses.....	142
Abbildung 37: Gegenüberstellung von Checklisten zum Auffinden von Klassen und Objekten.....	152
Abbildung 38: OOM-Symbole für Klassen und Objekte	155
Abbildung 39: Modellierung von Attributen	157
Abbildung 40: Beispiele für Objektattribute der Klassen Flugzeug und Mitarbeiter	158
Abbildung 41: Symboldarstellung von Assoziationen	162
Abbildung 42: Assoziationen zwischen Objekten derselben Klasse	163
Abbildung 43: Modellierung von Objektassoziationen als Klassen.....	164
Abbildung 44: Aggregationsstruktur.....	165
Abbildung 45: Zeitverlauf von Zustandsvariablen bei zeitdiskreten und zeitkontinuierlichen Modellen	173
Abbildung 46: Kontinuierliche versus diskrete Modelle.....	176
Abbildung 47: Zeitverlauf von Zustandsvariablen in kombinierten Modellen	177
Abbildung 48: Symboldarstellung für Objektmethoden.....	178
Abbildung 49: Beispiele für Klassen mit Attributen und Methoden	179
Abbildung 50: Interaktionswege zwischen Objekten	180
Abbildung 51: Beispiel für eine Nachrichtenverbindung zwischen Objekten.....	181
Abbildung 52: Ereignisfolgediagramm für das Getränkeautomat-Beispiel	184
Abbildung 53: Ereignisfolgediagramm für eine Produktionssimulation	186
Abbildung 54: Ereignisfolgediagramm für eine Räuber-Beute-Simulation	187
Abbildung 55: Zustände und Zustandsänderungen	188

Abbildung 56:	Zustandsdiagramm für ein Damespiel	190
Abbildung 57:	Zustandsdiagramm eines Kontos	191
Abbildung 58:	Zustandsdiagramm für eine Maschine.....	192
Abbildung 59:	Eignung statistischer Kennzahlen zur Prüfung von Verhaltensvalidität.....	200
Abbildung 60:	Der Vergleich von Verlaufsmustern zweier Kurven im Rahmen der Verhaltensvalidierung	202
Abbildung 61:	Verlaufsmustervergleich mit nicht-negativem Validitätsurteil.....	203
Abbildung 62:	Prüfgegenstände von Strukturexistenztests	205
Abbildung 63:	Abstrakte Basisklasse Simulation	211
Abbildung 64:	Strukturierung der Faktormenge	218
Abbildung 65:	Ergebnismatrix versus Ergebniskubus	219
Abbildung 66:	Das Bass-Modell als System-Dynamics-Modell	227
Abbildung 67:	Objektorientierte Struktur des Bass-Modells	228
Abbildung 68:	Der Diffusionsprozess im Bass-Modell.....	229
Abbildung 69:	Basisstruktur eines intelligenten Agenten	236
Abbildung 70:	Modellierungsalternativen für die Interaktion zwischen intelligenten Agenten	237
Abbildung 71:	Positionierung und Bewegung von Menschen in der Ebene.....	239
Abbildung 72:	Basisstruktur eines objektorientierten Informationsdiffusions- modells.....	240
Abbildung 73:	Zustandsübergangsdiagramm für die Klasse Mensch	241
Abbildung 74:	Bedienungsoberfläche zur Steuerung der Simulation	242
Abbildung 75:	Registerdialoge für die Modellparametrisierung.....	243
Abbildung 76:	Ausgabe und Animation der räumlichen Diffusion.....	244
Abbildung 77:	Die räumliche Verbreitung der Neuigkeit im Diffusionsgebiet	245
Abbildung 78:	Räumliche Diffusion mit Startpunkt in der linken oberen Ecke des simulierten Gebietes	247
Abbildung 79:	Räumliche Diffusion mit zentralem Startpunkt.....	248
Abbildung 80:	Zeitlicher Verlauf der Informationsausbreitung im mikroanaly- tischen Modell.....	249
Abbildung 81:	Anzahl informierter Personen – das Ergebnis einer Monte-Carlo- Simulation mit 25 Durchläufen	250

Abbildung 82: Stadien erfolgreicher Informationsübernahme	251
Abbildung 83: Strukturmodell der erweiterten Modellversion	253
Abbildung 84: Informationsdiffusion bei fünffacher sozialer Schichtung	256
Abbildung 85: Informationsdiffusion bei eingeschränkter Kontaktfreudigkeit und Glaubwürdigkeit.....	257
Abbildung 86: Assoziationen zwischen Produzenten, Anbietern und Konsumenten	259
Abbildung 87: Objektorientiertes Strukturmodell eines Marktes.....	260
Abbildung 88: Die Klasse Produzent.....	261
Abbildung 89: Die Klasse Anbieter	261
Abbildung 90: Die Klasse Konsument.....	262
Abbildung 91: Die Klasse Produkt	265
Abbildung 92: Objektorientiertes Marktmodell mit Produktklasse.....	267
Abbildung 93: Zustände im Adoptionsprozess eines Konsumenten	269
Abbildung 94: Dialog zur Konsumentenparametrisierung.....	271
Abbildung 95: Dialog zur Produktparametrisierung	272
Abbildung 96: Marktgebiet nach der Initialisierung	273
Abbildung 97: Individuenorientierte Betrachtung des Marktgeschehens.....	274
Abbildung 98: Räumliche Informations- und Produktdiffusion im Marktgebiet	276
Abbildung 99: Zeitlicher Ablauf des Informations- und Produktdiffusionsprozesses ohne Wiederholungskäufe	277
Abbildung 100: Durchschnittliche Adoptorenzahlen bei jeweils unterschiedlicher Innovationsneigung.....	278
Abbildung 101: Durchschnittlicher Diffusionsverlauf bei kleinerem Marktgebiet, jedoch unveränderter Bevölkerungsdichte	279
Abbildung 102: Informations- und Diffusionsverlauf in Abhängigkeit von der Bevölkerungsdichte.....	280
Abbildung 103: Zeitlicher Ablauf des Informations- und Produktdiffusionsprozesses bei unterschiedlicher Produkthaltbarkeit.....	281
Abbildung 104: Einfluss von Wiederholungskäufen auf den Absatzverlauf – Durchschnittswerte aus 10 Simulationsläufen.....	282

A. Das Polylemma betriebswirtschaftlicher Entscheidungssituationen

„Wirtschaften ist Wählen“ schreibt Eugen Schmalenbach und bringt mit dieser Aussage das zentrale Element unternehmerischen Tuns auf den Punkt.¹ Wirtschaftliches Handeln stellt permanent vor die Wahl zwischen zwei oder mehreren Alternativen. Soll der Preis des neu am Markt einzuführenden Produktes DM 1.200, 1.400 oder 1.600 betragen? Bringt eine Skimming- oder eine Penetrationspreisstrategie auf lange Sicht den größeren wirtschaftlichen Erfolg? Ist Herr Müller oder Herr Schmidt der bessere Kandidat für die offene Stelle? Was ist die vernünftigere Investition? Maschine X oder Maschine Y? Die Liste ließe sich leicht bis ins fast Unendliche verlängern, was deutlich macht: Vor einer Wahl zu stehen, ist die tägliche „Qual“ des Unternehmers oder Managers.

Wird die Auswahl bewusst vollzogen, handelt es sich um eine Entscheidung.² Nicht jedwedes Wählen ist demnach Entscheiden, sondern nur dasjenige, welches die Möglichkeit zur Auswahl zwischen unterschiedlichen Alternativen erkennt und auf dem Wege bewusster – oder zumindest überwiegend bewusster – Willensbildung zu einem Entschluss kommt. Entscheiden ist damit der mehr oder weniger verschlungene Weg, der in einem Möglichkeitsraum seinen Ausgang, im Wahlakt seinen Abschluss und im umsetzenden Handeln seine logische Fortsetzung findet.

Im Tagesgeschäft eines jeden Unternehmens sind Entscheidungen allgegenwärtig. Sie sind Ursache angemessener Gewinne und zufriedener Mitarbeiter ebenso wie die Wurzel hoher Verluste und betrieblichen Unfriedens. Den Entscheidungen des Managements kommt eine gewichtige Bedeutung zu. Wenn Wirtschaften Wählen ist, dann ist besseres Wählen, besseres Entscheiden auch besseres Wirtschaften. Und sofern es das Ziel ist, besser zu wirtschaften, ist die Unternehmensleitung angehalten, besseres Entscheiden anzustreben.

Im Gespräch mit Praktikern ist nicht selten die Klage zu vernehmen, dass Management heute ein viel schwierigeres Unterfangen sei als noch vor wenigen

¹ Eugen Schmalenbach: Kostenrechnung und Preispolitik, 1956, S. 126.

² Vgl. Edmund Heinen: Grundfragen betriebswirtschaftlicher Entscheidungen, 1976, S. 18.

Jahrzehnten.³ Zwar, so ist zu hören, wäre es auch früher nicht einfach gewesen, die richtige Entscheidung zum rechten Zeitpunkt in passender Manier zustande zu bringen; heute jedoch trafen viel mehr Faktoren zusammen, die eine Entscheidung kompliziert machen.⁴ Angesichts der inzwischen bereits überaus großen und immer noch weiter anwachsenden Komplexität der Geschäftswelt mit ihrer hohen Veränderungsdynamik, zunehmenden Globalisierung und abnehmenden Strukturiertheit würde das für das Management so wesentliche Entscheiden zum wirklich brennenden Problem. Stacey sieht die Unternehmen gar „am Rande des Chaos“.⁵ Das Argument gestiegener „Weltkomplexität“ ist tatsächlich kaum von der Hand zu weisen, es ist eine Trivialität. Noch nie war die Welt so bunt und vielfältig wie heute, und noch nie war sie so „klein“ und so miteinander vernetzt. Auf liberalisierten Märkten wetteifern deutlich mehr Unternehmen um die Gunst des Kunden als früher. Lieferanten und Abnehmer sitzen rund um den ganzen Globus verteilt. Die internationale wirtschaftliche Verflechtung ist heute so dicht wie noch nie zuvor in der Geschichte.⁶

Vor vielleicht 100 oder 150 Jahren hätten Westeuropa Streitigkeiten zwischen Sunniten und Schiiten, zwischen aufgeklärten und fundamentalistisch gesonnenen Moslems nur wenig berührt. Heute hängt ein großer Teil der Ölversorgung – und damit Wirtschaftswachstum, Arbeitslosigkeit sowie Staatsverschuldung – von Verlauf und Ausgang solcher Auseinandersetzungen ab. Als 1923 in Tokio die Erde bebte und knapp 60.000 Menschen den Tod brachte, war das noch ein im Wesentlichen lokales Ereignis. Außerhalb von Japan brauchten nur wenige sich Gedanken über die Folgen der Erdstöße zu machen. Schüttelte sich heute aber Tokios Erde mit vergleichbarer Heftigkeit, dann liefen ökonomische Schockwellen rund um den ganzen Globus. Japan wäre wahrscheinlich gezwungen, einen beträchtlichen Teil seiner Auslandsguthaben aufzulösen und zum Wiederaufbau seiner Hauptstadt einzusetzen. Die Kapital-

³ Vgl. beispielsweise Helmut Schulte: Sind unsere Manager durch die zunehmende Komplexität überfordert?, 1993, S. 21 ff.

⁴ Schaub/Strohschneider haben eine umfangreiche Liste von Eigenschaften und Anforderungen komplexer Probleme zusammengetragen. Siehe Harald Schaub/Stefan Strohschneider: Die Rolle heuristischen Wissens beim Umgang mit einem komplexen Problem, 1989, S. 3 ff.

⁵ Vgl. Ralph D. Stacey: Unternehmen am Rande des Chaos, 1997.

⁶ Diese Aussage wird unter anderem gestützt durch die Außenhandelsstatistik. Von 1970 bis 1995 hat sich das Volumen sowohl der Einfuhr als auch der Ausfuhr fast verdreifacht. Vgl. Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Statistisches Jahrbuch 1996 für die Bundesrepublik Deutschland, 1996, S. 277. Ein weiteres Indiz ist die starke Zunahme des Luftverkehrs: waren es kurz nach dem 2. Weltkrieg nur einige wenige Hunderttausend Personen, die von deutschen Flughäfen aus in die Welt starteten, erreichten die Passagierzahlen 1980 schon mehr als 13 Millionen und betrugen 1995 über 36 Millionen. Vgl. Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Statistisches Jahrbuch 1996 für die Bundesrepublik Deutschland, 1996, S. 332.

märkte der Welt blieben davon kaum unbeeindruckt. Deutliche Zinssteigerungen und empfindliche Kursverluste wären die Folgen des Abzugs japanischen Kapitals, was auf Investitionen und Konsum in den betroffenen Volkswirtschaften nicht ohne Einfluss bliebe. Zerstörte Chipfabriken könnten angesichts der japanischen Dominanz in manchen Bereichen der Elektronik Produktionsstockungen in völlig anderen Industrien und Ländern nach sich ziehen.

Andererseits würde – auch wenn es zynisch klingen mag – ein Erdbeben in Tokio ökonomisch nicht nur negative Effekte nach sich ziehen. Die Anstrengungen, die auf die Beseitigung der Erdbebenschäden gerichtet wären, führten, einem gigantischen Konjunkturprogramm gleich, zu Aufträgen und Umsätzen. Es scheint unmöglich, vorherzusagen, wie genau sich ein Erdbeben in Tokio auf die global verflochtene Wirtschaft auswirken würde. Sicher ist nur: Die Folgen wären gravierend und in ihren Verästelungen praktisch nicht abzusehen. Beer nennt bereits eine Volkswirtschaft „so komplex und so probabilistisch, dass schon der Glaube sinnlos scheint, sie werde je vollständig beschrieben werden können“⁷. Die Weltwirtschaft als Umsystem der Volkswirtschaften ist dann erst recht dieser Kategorie zuzurechnen.

Aber auch dann, wenn weltweite Verflechtungen nicht gegeben sind und die Situation, flüchtig betrachtet, alltäglich scheint, kann die Entscheidungssituation eines Unternehmers sehr schwierig und ein echtes Polylemma sein. Ein Beispiel soll helfen, dies zu illustrieren.⁸

Bauunternehmer Huber betreibt ein kleines Gewerbe, tief im strukturschwachen Odenwald. Gerade hat ihn Bauer Kilian aufgesucht und angefragt, ob er einen Auftrag zum Neubau einer größeren Maschinenhalle übernehmen wolle und welche Konditionen er biete. Die Halle dürfe nicht mehr als DM 250.000 kosten und müsse spätestens in vier Monaten fertiggestellt sein. Ein Angebot mit fester Terminzusage brauche er binnen Wochenfrist, hatte Herr Kilian zu verstehen gegeben. Andernfalls werde er der Konkurrenz den Zuschlag erteilen.

Was wird der Bauunternehmer Huber in dieser Situation tun? Zunächst wird er machen, was er grundsätzlich immer tut, wenn an ihn ein Auftrag herangetragen wird. Er wird seine Kosten kalkulieren, die Kapazitäten prüfen und abzuschätzen versuchen, ob der Auftrag sich wirtschaftlich lohnt und durchführbar ist. Bedenken müssen wird er dabei z. B. den voraussichtlichen Krankenstand seiner Arbeiter, schon eingereichte Urlaubsanträge, die Auftragslage und Kapazitäten seiner Lieferanten und die bevorstehende, herbstliche Jahreszeit.

⁷ Stafford Beer: *Kybernetik und Management*, 1970, S. 32.

⁸ Siehe auch das der Grundstruktur nach ähnliche Beispiel, das Dörner et alii anführen. Vgl. Dietrich Dörner et alii: *Lohhausen*, 1994, S. 19 ff.

Andere Abhängigkeiten sind weniger nahe liegend und daher gefährdeter, übersehen oder vergessen zu werden. In eine entscheidende und wichtige Phase des Hallenbaus fällt der alljährliche Ausflug des Schützenvereins, als dessen Vizepräsident Herr Huber fungiert. Wenn er zusagt und den Bauauftrag übernimmt, wird es ihm daher unmöglich sein, am Jahresausflug seines Schützenvereins teilzunehmen, was beträchtliche Folgen haben könnte. Nicht auszuschließen, dass ihm der Vereinspräsident sein Fernbleiben sehr übel nimmt. Für sich betrachtet, scheint das verschmerzbar zu sein. Brisanz gewinnt die mögliche Verstimmung des Präsidenten aber dadurch, dass dieser gleichzeitig Inhaber einer Baustoffhandlung ist, bei der Bauunternehmer Huber bisher immer zu Sonderkonditionen einkaufen konnte. Würden die Sonderkonditionen der Verärgerung zum Opfer fallen, wären permanent ungünstigere Einkaufsbedingungen die Folge. Striche er andererseits seinem Polier – dem Einzigen im Unternehmen, der außer ihm die Bauaufsicht führen könnte – den schon genehmigten Urlaub, dann könnte er zwar den Auftrag übernehmen und trotzdem seinen Schützenverein auf der Jahresreise begleiten, würde vermutlich aber seinen wichtigsten Mitarbeiter empfindlich verstimmen. Die Ablehnung des Auftrages andererseits, würde seinem Hauptwettbewerber in die Hände spielen, womöglich dessen Reputation verbessern und die eigene Wettbewerbsposition deutlich verschlechtern.

Die Entscheidung, gleichgültig wie sie ausfällt, zeitigt kurzfristige wie langfristige Wirkungen, die nur schwer in allen ihren Verflechtungen und Verästelungen überschaut werden können. Bauunternehmer Huber befindet sich in einer typisch komplexen Entscheidungssituation: Er muss eine Vielzahl von Faktoren beachten, von denen jeder Einzelne schon für sich eine beachtenswerte Rolle spielt; außerdem jedoch – und das ist es, was die Situation so schwierig macht – besteht zwischen den vielen Faktoren ein dichtes Geflecht einseitiger wie auch wechselseitiger Wirkungsbeziehungen. Es gibt keinen einfachen, monokausalen Zusammenhang zwischen Auftragsübernahme und Gewinn. Andere wichtige Variablen wie die Zufriedenheit der Mitarbeiter, die Einkaufskonditionen und die langfristige Wettbewerbsposition werden von dem Entschluss zwangsläufig tangiert. Eine kurzfristig positive Entwicklung des Betriebsergebnisses könnte mit langfristig reduzierten Gewinnperspektiven „teuer“ erkauft sein.

Dörner et alii zeigen mit dem Simulationsexperiment „Lohhausen“ eindrucksvoll, dass sich die an kausalen Gesetzen orientierte menschliche Vernunft beim Lösen einfacher, isolierter Probleme zwar als sehr leistungsfähig erwiesen hat, für die Bewältigung vernetzter Probleme jedoch nicht so gut geeignet ist.⁹ Das Denken in Wirkungsketten, das im naturwissenschaftlich-technischen Be-

⁹ Vgl. Dietrich Dörner et alii: Lohhausen, 1994.

reich imponierende Erfolge gefeiert hat, versagt, wenn es komplexe, vielfach vernetzte Probleme zu lösen gilt. Während der Ingenieur große Probleme durch die schrittweise Reduktion auf immer kleinere Probleme zu lösen in der Lage ist, muss der Manager mit seinen großen Problemen auf andere Art und Weise fertig werden. Dörner gebraucht, um die Schwierigkeiten des Managers plastisch zu machen, das Bild eines Schachspielers, der allerdings vor einem besonderen Schachspiel sitzt.¹⁰ Das Schachbrett ist größer als gewöhnlich und auf ihm stehen sehr viele Figuren – nicht 32, sondern vielleicht 100 oder 150. Alle diese Figuren sind über Fäden miteinander verbunden, so dass es fast unmöglich ist, eine einzelne Figur allein zu bewegen. Außerdem haben die Figuren einen kleinen, eingebauten Motor, der es ihnen gestattet, ihren Standort ohne Eingriff von außen nach Regeln zu verändern, die der Schachspieler nicht kennt und über die er nur Vermutungen anstellen kann. Nicht dass damit der Schwierigkeiten schon genug wären; über dem Schachbrett schwebt eine künstliche Wolke, welche die Sicht auf einen Teil der Figuren verschlechtert oder ganz verdeckt.

Der Vergleich mit dem besonderen Schachspiel macht das Problem des Entscheidens sehr plastisch: Der Manager befindet sich gewöhnlich in einem Polylemma, und deswegen ist seine Situation so verzwickelt. Er verfolgt nicht nur ein Ziel, sondern ein ganzes Bündel von Zielen, zwischen denen es fast regelmäßig zu Konflikten kommt. Häufig ist er sich dabei über das, was er anstrebt, nicht einmal hundertprozentig im Klaren. Die Welt, in der er agieren muss, ist außerordentlich komplex, d. h. sie ist vielelementig, vielgestaltig und vernetzt. Sie ist zudem eigendynamisch, was bedeutet, dass sie sich aus sich heraus verändert, ohne dass der Manager irgendetwas tut. Des Weiteren ist sie undurchsichtig und häufig – wenigstens zum Teil – unbekannt. Die Regeln, nach denen die eigendynamischen Veränderungen ablaufen, liegen nicht offen und können bestenfalls erraten werden. Die Informationslage ist regelmäßig unvollständig, manchmal auch verzerrt.

Management in der heutigen so diffizilen Wirklichkeit ist alles andere als trivial. Der Anspruch an den Manager aber ist hoch: Er soll die richtigen Entscheidungen zum richtigen Zeitpunkt in der richtigen Weise fällen und entschlossen umsetzen. Trotz aller Bemühungen der Betriebswirtschaftslehre um eine Steigerung von Effektivität und Effizienz der vielfältigen, in allen Bereichen anzutreffenden Entscheidungsprozesse gibt es im praktischen Vollzug bis heute immer noch erhebliche Defizite. An Beispielen für fragwürdige und falsche Entscheidungen oder Entscheidungsregeln herrscht kein Mangel. Sie führen zu dem polemischen, aber nichtsdestoweniger ernst zu nehmenden Vorwurf, die Vor-

¹⁰ Der Vergleich des Managers mit einem Schachspieler ist in Anlehnung an Dörner konzipiert. Vgl. Dietrich Dörner: Die Logik des Mißlingens, 1989, S. 66.

standsetagen namhafter deutscher Unternehmen seien, mehr als guttut, mit „Nieten in Nadelstreifen“ besetzt, mit „Versagern“, die zu schnell, richtigem und vor allem rationalem Entscheiden nicht fähig sind.¹¹ Viel zu oft scheinen nicht nur bei Fragen des täglichen Mengengeschäftes, sondern auch bei wichtigen, langfristig wirkenden, strategischen Grundsatzentscheidungen Intuition und Fingerspitzengefühl am Werke zu sein. Und häufiger als in unserer vermeintlich so modernen und aufgeklärten Gesellschaft zu vermuten stünde, spielen Aberglaube und Mystizismus die letztlich ausschlaggebende Rolle.¹²

Mit dieser Arbeit wird eine Methodik kritisch-rationalen Entscheidens entwickelt, die dem skizzierten Polylemma heutiger Managemententscheidungen insbesondere durch den Einsatz objektorientierter Modellierung und Simulation gerecht zu werden versucht. Dabei orientiert sich die vorliegende Abhandlung an der Wissenschaftslehre des kritischen Rationalismus und den Gedanken der Systemforschung sowie ihren Heuristiken zur Konzeption, Synthese und Analyse von formalen Modellen komplexer betriebswirtschaftlicher Systeme. Sie gründet auf den folgenden Basishypothesen:¹³

- Es ist grundsätzlich möglich, für alle betriebswirtschaftlichen Entscheidungssituationen adäquate formale Modelle zu erarbeiten und zur Entscheidungsunterstützung heranzuziehen.
- In vielen Fällen können betriebswirtschaftliche Entscheidungen nur dann als rational gelten, wenn sie durch solche formalen Modelle, ihre Simulation und Analyse unterstützt wurden.¹⁴ Zwar werden formale Modelle stets unvollkommene Abbilder der Wirklichkeit sein. Verglichen mit den impliziten, mentalen Modellen der Entscheidungsträger, die ansonsten Entscheidungen zugrunde liegen, sind sie jedoch die bessere Wahl.¹⁵ Wenn formale Modelle problembezogen gestaltet und ihren Möglichkeiten entsprechend genutzt

¹¹ Siehe Günter Ogger: Nieten in Nadelstreifen, 1995.

¹² Es gibt Unternehmensleiter, die – so abwegig das auch klingen mag – Investitionsentscheidungen auch größeren Umfanges aufgrund des Kreisens eines Pendels fällen oder sich nach ihren Horoskopen richten.

¹³ Die hier aufgestellten Basishypothesen gleichen im Kern den Hypothesenfeldern, die Milling seiner Monographie zugrunde legt. Siehe Peter Milling: Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik, 1981, S. 13 f.

¹⁴ Nicht in allen Situationen ist es notwendig, zu modellieren und zu simulieren, um eine Entscheidung als rational zu begründen. Um diesbezüglich eine Orientierungshilfe zu bieten, wird in Abschnitt B.I.2. zunächst der Gegenstandsbereich betriebswirtschaftlicher Entscheidungen differenziert und dann in Abschnitt B.I.3 eine Systematik komplizierter Entscheidungen erstellt. Eine kritische Reflexion dieser These findet sich in den Abschnitten B.II. und C.I.

¹⁵ Siehe dazu die Abschnitte C.I.2. und C.I.3.

werden, sind sie in der Lage, Entscheidungseffektivität wie -effizienz zu erhöhen.¹⁶

- Die objektorientierte Modellierungstechnik ist in besonderem Maße geeignet, für alle Arten und Ebenen betriebswirtschaftlichen Entscheidens problemadäquate, formale Simulationsmodelle zu erzeugen.

Gerade die letzte These verlangt nach Begründung und stützenden Argumenten. Weite Teile der Arbeit widmen sich dieser Aufgabe. Die wünschenswerte empirische Überprüfung kann im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht geleistet werden. Sie muss der weiteren Forschung vorbehalten bleiben.

¹⁶ Vgl. Peter Milling: Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik, 1981, S. 13.

B. Plädoyer für kritisch-rationales Entscheiden

I. Entscheidungskompliziertheit als Folge der Komplexität betriebswirtschaftlicher Systeme

1. Entscheiden als Problemlösungsprozess

Die Ursache dafür, dass wir entscheiden wollen oder müssen, ist ein Problem. Wir sind mit dem herrschenden oder absehbaren Zustand unzufrieden und wollen diesen ändern, wissen aber nicht unmittelbar wie überhaupt oder wie am besten.¹⁷ Wir können uns ein beobachtetes Verhalten nicht erklären, stellen eine Dissonanz zwischen unseren Erwartungen und unseren Beobachtungen fest und suchen nach einer Lösung.¹⁸ In diesem ursprünglichen Mangel an Wissen über die Möglichkeiten und Wege, die subjektiv empfundene Lücke zu schließen, liegt die Schwierigkeit der Aufgabe, welche ein Problem gemeinhin auszeichnet.¹⁹ Eine Rechenaufgabe, die wir bearbeiten sollen, ist für uns dann ein Problem, wenn wir nicht auf Anhieb wissen, welche Rechenschritte wir anwenden müssen, um zur Lösung zu kommen. Kein Problem – jedenfalls kein aktuelles – stellt sie dar, wenn der Lösungsweg klar vor uns liegt.²⁰ Entscheiden ist zwar immer Problemlösen, die Umkehrung gilt jedoch nicht. Nicht jeder Problemlösungsprozess erfordert eine Entscheidung: Wie 1.287 mit 34 zu multiplizieren ist, sollte jeder Viertklässler wissen – ohne in die Situation zu geraten, entscheiden zu müssen.²¹

¹⁷ Ähnliche Problemdefinitionen sind in der Literatur weit verbreitet. Siehe beispielsweise Allan Newell und Herbert A. Simon: *Human Problem Solving*, 1972, S. 72 f.; Dietrich Dörner et alii: *Lohhausen*, 1994, S. 302 f.; Wolf-Rüdiger Bretzke: *Der Problembezug von Entscheidungsmodellen*, 1980, S. 34.

¹⁸ Bugdahl definiert beispielsweise ein Problem als „Differenz zwischen Ist- und Sollzustand“. Volker Bugdahl: *Kreatives Problemlösen*, 1991, S. 14.

¹⁹ Wolf-Rüdiger Bretzke: *Der Problembezug von Entscheidungsmodellen*, 1980, S. 34.

²⁰ Die Einschränkung ist notwendig. Mag die Rechenaufgabe auch im Moment kein Problem sein, weil wir gelernt haben, wie sie zu lösen ist, so war sie es vermutlich in der Vergangenheit einmal und könnte es auch in der Zukunft wieder werden; dann nämlich, wenn wir das Gelernte wieder vergessen sollten und von Neuem überlegen müssen, wie wir zum Ergebnis kommen.

²¹ Genau genommen muss es sich um eine Rechenaufgabe handeln, die nur einen Lösungsweg kennt. Sobald mehrere Lösungswege zum selben richtigen Ergebnis führen

Ein Entscheidungsproblem zeichnet sich immer dadurch aus, dass es mehrere Wege gibt, um zum Ziel zu kommen. Unterschiedliche Dinge können getan werden – etwas aber ist zu tun, wenn das Ziel erreicht werden soll.²² Es besteht die Wahl zwischen verschiedenen Handlungsalternativen, verwirklichen aber – das liegt im Wesen des Begriffs „Alternative“ – lässt sich nur eine einzige. Entscheiden heißt, die unterschiedlichen Aktionsmöglichkeiten festzustellen, heißt weiter, die Optionen, zwischen denen gewählt werden kann, zu vergleichen, ihre jeweiligen Vorzüge und Nachteile zu bedenken, zwischen ihnen abzuwägen und schließlich zu einem Entschluss zu kommen. Entscheiden ist damit eine besondere Form des Problemlösens:²³ Es hat seinen Anfangspunkt in einem Problem, sieht sich konfrontiert mit der Wahl zwischen verschiedenen Alternativen und findet seinen Abschluss mit der Auswahl eines der offen stehenden Wege. Problemlösungen ohne Entscheidungscharakter kennen demgegenüber keine Verzweigungen: Nur ein Weg – der allerdings verschlungen und schwierig sein kann – verbindet das Problem mit seiner Lösung.

Zwei weitere für Entscheidungen charakteristische Merkmale werden durch Probleme als Ausgangspunkte des Entscheidens eingebracht: Entscheidungen sind zielorientiert und dabei zukunftsbezogen. Mag die Ursache für die Entscheidungssituation auch in der Vergangenheit und ihr unmittelbarer Anlass in der Gegenwart liegen, so ist die Wirkung von Entscheidungen immer in die Zukunft gerichtet. Entscheidungen sollen zukünftiges Geschehen gestalten, in einer gewünschten Weise beeinflussen. Das muss jedoch nicht notwendigerweise heißen, einen erwünschten Zustand herbeizuführen. Gestalten kann auch bedeuten, einen als befriedigend empfundenen momentanen Zustand vor Veränderungen zu schützen und Verschlechterungen zu verhindern. In jedem Fall erfordert Gestaltung unabdingbar Vorstellungen darüber, wie die Zukunft aussehen soll, d. h. Entscheiden setzt die Existenz von Zielen voraus. Nicht immer sind die Vorstellungen über die verfolgten oder zu verfolgenden Ziele klar und deutlich;²⁴ manchmal sind sie diffus und verworren und dabei auf inkrementelle Verbesserung, nicht Optimierung, gerichtet. Dennoch ist die Existenz von Zielen ein essenzieller Bestandteil einer Entscheidungssituation. Ohne die Absicht, irgendetwas zu ändern oder vor absehbarer Veränderung zu bewahren, ohne jede Verwunderung über ein bestimmtes Phänomen, gibt es kein Problem, und ohne Problem fehlt die Notwendigkeit, zu entscheiden und zu handeln.

und wir um diese Alternativen wissen, haben wir es wieder mit einer Entscheidungssituation zu tun; denn wir müssen dann wählen, welchen Weg wir gehen wollen.

²² Wobei auch das Nichtstun eine der zur Wahl stehenden Alternativen sein darf.

²³ Vgl. Sylvia Brander/Ain Kompa/Ulf Peltzer: Denken und Problemlösen, 1989, S. 112.

²⁴ Vgl. Dietrich Dörner et alii: Lohhausen, 1994, S. 303.

Entscheiden setzt nicht nur ein subjektives Problemempfinden sowie die Existenz von Handlungsalternativen und Zielvorstellungen voraus, sondern erfordert darüber hinaus auch, dass der Entscheidungsträger Meinungen hat und Erwartungen hegt.²⁵ Was zunächst etwas merkwürdig, weil selbstverständlich anmutet, entpuppt sich bei genauerer Analyse als sehr wichtiger Ansatzpunkt für eine vernunftgeleitete Entscheidungsfindung. Meinungen haben als bedeutendsten Fall Ursache-Wirkungs-Hypothesen zum Gegenstand, welche die Handlungsmöglichkeiten mit den aus ihnen resultierenden Konsequenzen verknüpfen. Meistens sind die Meinungen der Entscheider über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge implizit in der Auswahl an Handlungsalternativen und Zielen versteckt und deswegen nicht offensichtlich. Wenn Unternehmer Müller beispielsweise beabsichtigt, seinen Absatz zu steigern und als Mittel dazu eine Preissenkung, eine Werbekampagne und die Einstellung zusätzlicher Außendienstmitarbeiter in Betracht zieht, dann verbergen sich dahinter die folgenden allgemeinen Hypothesen „Wenn der Preis eines Produktes sinkt, dann erhöht sich dadurch der Absatz“, „Eine Werbekampagne führt dazu, dass mehr Erzeugnisse verkauft werden“ und „Mit einer größeren Anzahl von Vertriebsmitarbeitern steigen die Verkaufszahlen“. Wenn es gelingt, die implizit verborgene Meinung der Entscheider explizit und damit der Diskussion zugänglich zu machen, ist bereits ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu rationalen Entscheidungen getan.

Erwartungen sind in die Zukunft gerichtet und beruhen auf Meinungen. Sie richten sich zum einen auf das nicht unmittelbar beeinflussbare Umfeld und antizipieren dessen Zustand und Entwicklung. Ein Beispiel dafür wäre die Erwartung, dass die Kaufkraft der Konsumenten im folgenden Jahr um 3 % zunimmt. Zum anderen können Erwartungen unmittelbar auf die Handlungskonsequenzen gerichtet sein und damit die Zielrealisation zum Inhalt haben. Folgerichtig wird dieser Erwartungstyp von Bretzke als Zielrealisationserwartung bezeichnet.²⁶ Zielrealisationserwartungen gründen sich auf die Hypothesen des Entscheidungsträgers einerseits und auf die Umwelterwartungen andererseits. So könnte Unternehmer Müller aufgrund seiner Annahmen über Preis-Absatz-Zusammenhänge und seiner Erwartung, dass die Kaufkraft der Konsumenten im

²⁵ Im wissenschaftlichen Sprachgebrauch wird im Allgemeinen von Theorien oder theoretischen Hypothesen statt von Meinungen und von Prognosen statt von Erwartungen gesprochen. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass Meinungen und Erwartungen subjektive Überzeugungen, d.h. Verinnerlichungen von Theorien oder Prognosen darstellen. Während demnach Theorien und daraus deduzierte Prognosen objektiv vorliegen und zu Objekten einer kritisch-rationalen Diskussion gemacht werden können, bleiben Meinungen und Erwartungen subjektive, gleichsam private Gedanken. Vgl. dazu auch Karl R. Popper: *Alles Leben ist Problemlösen*, 1994, S. 22 ff.

²⁶ Vgl. Wolf-Rüdiger Bretzke: *Der Problembezug von Entscheidungsmodellen*, 1980, S. 144 ff.

nächsten Jahr um 3 % steigt, zu der Zielrealisationserwartung gelangen, dass eine Preissenkung um DM 50 zu einem Mehrabsatz von 454 Stück führt.

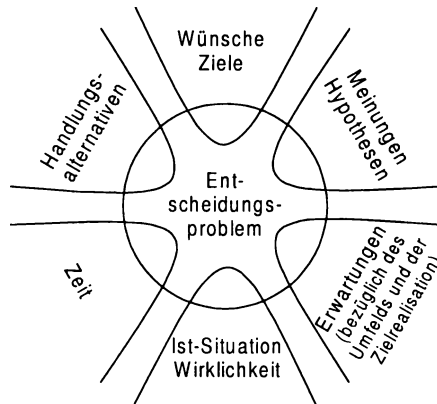


Abbildung 1: Konstituierende Elemente eines Entscheidungsproblems

Abbildung 1 führt zusätzlich zu den fünf bereits erläuterten Elementen Handlungsalternativen, Ziele, Meinungen, Erwartungen und Ist-Situation die Zeit als einen weiteren, für eine Entscheidungssituation sehr bedeutenden Faktor ein. Wenn im alltäglichen Umgang zwischen Menschen über Entscheidungssituationen gesprochen wird, dann entsteht häufig der Eindruck, dass Entscheidung, Entschluss und Handlung zusammenfallen und im Grunde gleichzeitig erfolgen. Danach befragt, was sie sich unter einem Entscheider vorstellen, würden wahrscheinlich sehr viele sagen: ein General, der in einer militärischen Lagebesprechung auf den Tisch schlägt und seinen Armeen den Angriffsbefehl erteilt, oder ein Unternehmer, der, mutig zupackend, sich zur Investition entschließt und eine neue Fabrik in Russland aufbaut, oder ein Fußballtrainer, der nach kurzem Nachdenken den Stürmer vom Platz nimmt und für ihn einen Verteidiger einwechselt.²⁷ Entscheider sind in vieler Augen Menschen, die schnell zu einem Entschluss kommen und dann sofort handeln. Das gängige Bild vom Entscheider lässt zu häufig den ganzen langwierigen, komplexen Prozess des Informierens, Sondierens, Analysierens und Hin-und-Her-Überlegens, der dem finalen Entschluss und den dann folgenden Taten vorausgeht, außer Acht.²⁸ Unser alltäglicher Entscheidungsbegriff ist häufig zu sehr an programmierten Routineentscheidungen orientiert – und daher zu eng gefasst. Die dem Entschluss vor-

²⁷ Vgl. auch die Beispiele, die Simon anführt: Herbert A. Simon: The New Science of Management Decision, 1960, S. 1.

²⁸ Vgl. Herbert A. Simon: The New Science of Management Decision, 1960, S. 1.

gelagerten, teilweise sehr zeitaufwendigen Phasen sind aber essenzielle Bestandteile des Entscheidungsprozesses. Entscheidungen sind nicht punktuelle Wahlakte, sondern zeitverbrauchende Prozesse.

Auffassungen, die Entscheidungen als zeitlich nicht ausgedehnten Auswahlentschluss zwischen verschiedenen Handlungsalternativen sehen, sind nur als eine abstrahierende Betrachtung, eine Idealisierung des Sachverhaltes zulässig. So wie nur der geometrisch-mathematische Punkt ohne Ausdehnung ist, jeder gezeichnete Punkt aber einen Durchmesser hat, so ist auch die Entscheidung nicht ein dimensionsloser Abschnitt auf dem Zeitstrahl, sondern tatsächlich ein Prozess mit häufig beachtlichem Zeitbedarf. Die Hypothese, dass Entscheidungen tatsächlich Prozesse sind, ist – nach kurzem Nachdenken und etwas Selbstbeobachtung – aber nicht nur intuitiv akzeptabel, sondern darüber hinaus auch empirisch getestet. Im Rahmen des Projektes „Columbus“²⁹ wurde die Hypothese „Wenn ein komplexes, innovatives Entscheidungsproblem in mikroökonomischen Einheiten gelöst wird, dann vollzieht sich ein Prozeß, der aus einer Mehrzahl zeitlich aufeinanderfolgender Operationen besteht, die von einer Personenmehrheit getragen werden“³⁰ geprüft und nicht falsifiziert. Greinke kommt im Rahmen einer Experimentaluntersuchung zu dem Ergebnis, dass „Entscheidungsprozesse eine bestimmt Ablaufstruktur besitzen, bei der zeitlich angebar bestimmte Entscheidungsaktivitäten im Prozeß dominieren“³¹. Den Prozesscharakter von Entscheidungen können auch Mintzberg/Raisinghani/Théorêt empirisch erhärten.³²

Entscheidungsprozesse gehen demzufolge notwendig mit der Beschaffung, Auswertung und Bewertung einer Vielzahl von Informationen einher. Es überrascht daher nicht, wenn der Entscheidungsprozess verbreitet als ein Prozess der Verarbeitung von Informationen oder – noch allgemeiner – als ein Prozess von Informationsaktivitäten gedeutet wird.³³ Derer werden dann in der Regel mehrere angeführt. Der Hauptprozess des Entscheidens wird so in verschiedene Teilprozesse zerlegt, die meist chronologisch aufeinander folgen und inhaltlich unterschiedliche Denk- und Tätigkeitsoperationen umfassen. In der Literatur sind eine Vielzahl von Phasenmodellen für Entscheidungs- und Problemlö-

²⁹ Vgl. Eberhard Witte/Jürgen Hauschildt /Oskar Grün (Hrsg.): Innovative Entscheidungsprozesse, 1988, insbesondere die Einführung von Eberhard Witte, welche die mit diesem Buch verfolgten Absichten darlegt.

³⁰ Eberhard Witte: Phasen-Theorem und Organisation komplexer Entscheidungsverläufe, 1988, S. 207.

³¹ Helmut Greinke: Entscheidungsverlauf und Entscheidungseffizienz, 1986, S. 194.

³² Vgl. Henry Mintzberg/Duru Raisinghani/André Théorêt: The Structure of „Unstructured“ Decision Processes, 1976, S. 246.

³³ Vgl. Eberhard Witte: Entscheidungsprozesse, 1993, Sp. 915 f.; vgl. Werner Kirsch: Einführung in die Theorie der Entscheidungsprozesse, Band II, 1977, S. 23 f.

sungsprozesse zu finden. Fast immer werden zumindest drei Hauptphasen genannt, so z. B. bei Simon das Finden von Entscheidungsanlässen, das Finden möglicher Handlungsweisen und das Wählen zwischen den Handlungsweisen.³⁴ Weite Verbreitung in der Betriebswirtschaftslehre hat auch das Phasenschema von Brim et alii erfahren.³⁵ Danach wird der Entscheidungsprozess in die folgenden Teilprozesse untergliedert:³⁶

- Problemidentifikation
- Informationssuche
- Ermittlung der Entscheidungsalternativen
- Bewertung der Alternativen
- Auswahl einer Alternative
- Verwirklichung der getroffenen Entscheidung

Bleibt die Realisierung der Entscheidung als ein dem Entschluss nachgelagerter Vorgang von der Betrachtung ausgenommen, dann postulieren Brim et alii einen fünfstufigen Entscheidungsprozess, den Witte auf empirische Gültigkeit hin geprüft hat.³⁷ Dabei vermochte er zu zeigen, dass in komplexen, innovativen Entscheidungen alle angeführten problemlösenden Aktivitäten tatsächlich auch vorkommen, dass sich also zumindest insofern das Phasenschema bewährt. Die Hypothese allerdings, welche eine zeitliche Reihenfolge der fünf Teilprozesse behauptete, wurde durch die gesammelten Daten falsifiziert.³⁸ Vielmehr ist es so, dass alle Tätigkeiten über den gesamten Prozess verteilt sind, dass es zu Teilentschlüssen kommt, die im weiteren Verlauf des Entscheidens ergänzt und revidiert werden, dass es keine lineare Kette aufeinander fol-

³⁴ Herbert A. Simon: *The New Science of Management Decision*, 1960, S. 2 f.

³⁵ Kirsch bezeichnet das Phasenschema von Brim et alii als die in der Betriebswirtschaftslehre übliche Betrachtungsweise von Entscheidungs- und Problemlösungsprozessen. Vgl. Werner Kirsch: *Einführung in die Theorie der Entscheidungsprozesse*, Band I, 1977, S. 73. Witte nimmt in seinen Schriften regelmäßig darauf Bezug. Vgl. beispielsweise Eberhard Witte: *Entscheidungsprozesse*, 1993, Sp. 915.

³⁶ Vgl. Brim et alii: *Personality and Decision Process*, 1962, S. 9 und detaillierter S. 12 ff.

³⁷ Vgl. Eberhard Witte: *Phasen-Theorem und Organisation komplexer Entscheidungsverläufe*, 1988, S. 208–211 und 225–225.

³⁸ Witte verwendet den folgenden Prüfsatz: „Wenn ein komplexer, innovativer, multipersonaler Entscheidungsprozeß in mikroökonomischen Einheiten abläuft, dann liegt zeitlich

- vor dem Entschluß die Bewertung der Alternativen,
- vor der Bewertung der Alternativen die Erarbeitung der Alternativen,
- vor der Erarbeitung der Alternativen die Gewinnung von Informationen,
- vor der Gewinnung von Informationen das Erkennen des Entscheidungsproblems.“

Eberhard Witte: *Phasen-Theorem und Organisation komplexer Entscheidungsverläufe*, 1988, S. 208.

gender streng abgegrenzter Schritte gibt, sondern eher ein Entscheidungsnetzwerk, wie es Abbildung 2 darzustellen versucht. Im Prinzip kann jede Entscheidungstätigkeit auf jede andere folgen. Die Suche nach Informationen vermag beispielsweise die Auffassung von dem Problem zu ändern, neu gefundene Handlungsalternativen führen zu neuem Informationsbedarf, ein Teilentschluss wird verworfen und hat zur Folge, dass neu bewertet werden muss. Reale Entscheidungsprozesse sind von komplizierter Struktur, vielfach rückgekoppelt und ineinander verwoben. Außerdem laufen die Teilprozesse, zumindest wenn es sich um Gruppenentscheidungen handelt, sukzessiv und simultan zugleich ab.

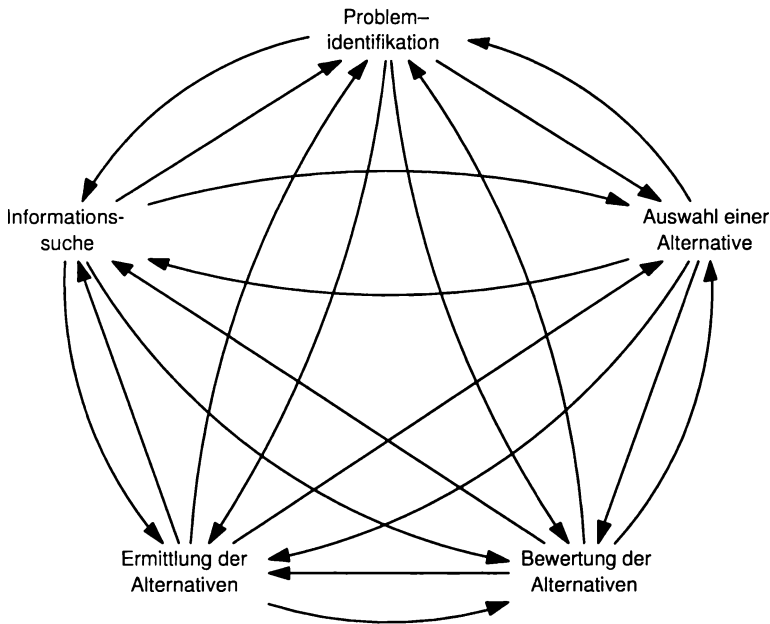


Abbildung 2: Der Entscheidungsprozess als Netzwerk

Entscheiden geht in der betriebswirtschaftlichen Praxis keineswegs so geradlinig vonstatten wie es das Brim'sche Phasenmodell postuliert. Es ist daher ein wenig verwunderlich, wie wenig diese Erkenntnis in der normativ orientierten Entscheidungsforschung und -beratung übernommen wurde.³⁹ Praktisch unbeindruckt von der Witte'schen Falsifikation des Brim'schen Phasenschemas, wird vielerorts nach wie vor empfohlen, strikt sequenziell vorzugehen, einen

³⁹ Das beklagt auch Müller-Merbach. Vgl. Heiner Müller-Merbach: Informationssysteme, 1993, S. 820 f. und S. 825 ff.

Schritt vor den anderen zu setzen, um zu guten, zu effizienten Entscheidungen zu kommen.⁴⁰ Erklären lässt sich das allerdings dadurch, dass die Falsifikation einer empirischen Aussage⁴¹ die normative, auf das Sein-Sollen gerichtete Behauptung nicht automatisch mitwiderlegt: Die Empfehlung, sich bei seinen Entscheidungen an einem Phasenmodell zu orientieren, wird durch die Feststellung nicht aufgehoben, dass Entscheidungsprozesse mit strenger Phasenstruktur in der Realität nicht zu beobachten sind. Es könnte ja sein, dass das Befolgen einer bestimmten Abfolge zu besseren Entscheidungen führt. Zu prüfen ist daher eine auf die Effizienz gerichtete Hypothese, weswegen Witte auch den folgenden Prüfsatz verwendet:

„Wenn sich ein komplexer, innovativer, multipersonaler Entscheidungsprozeß in der Phasenfolge ‚Erkennen des Problems‘, ‚Informationsgewinnung‘, ‚Alternativenverarbeitung‘, ‚Alternativenbewertung‘, ‚Entschluß‘ abläuft, dann führt er zu einer höheren Effizienz als ein Entscheidungsprozeß, der ohne diese Phasenfolge verläuft.“⁴²

Auch diese Hypothese wird von Witte falsifiziert. Allerdings empfiehlt er selbst, Vorsicht bei den daraus zu ziehenden Schlüssen walten zu lassen. Die Effizienzhypothese sei hinsichtlich der Zielmerkmale noch kaum bearbeitet und die Entwicklung von Prüfverfahren zur Messung von Entscheidungseffizienz stehe noch ganz am Anfang. Festzuhalten bleibt jedoch, dass das Phasen-Theorem in seiner apodiktischen Fassung als Verhaltensnorm realwissenschaftlich nicht gesichert ist.⁴³

2. Gegenstandsbereich betriebswirtschaftlicher Entscheidungen

Betriebswirtschaftliche Entscheidungen zeichnen sich gegenüber der Gesamtheit aller Entscheidungen durch einen spezifischen Objektbereich aus: Sie fallen in Unternehmen und haben die Gesamtheit oder einzelne Bereiche der Unternehmung zum Gegenstand. Um dieser Charakterisierung die Trivialität zu nehmen, ist eine inhaltliche Präzisierung des betriebswirtschaftlichen Betätigungsfeldes nötig, wobei sich der Systemansatz als fruchtbares Paradigma er-

⁴⁰ Vgl. beispielsweise Ben Heirs/Peter Farrell: Entscheidungsmanagement, 1989, Thomas Gal/Hermann Gehring: Betriebswirtschaftliche Planungs- und Entscheidungstechniken, 1981, S. 8.

⁴¹ Eine empirische Aussage ist eine Tatsachenbehauptung. Sie stellt einen Sachverhalt fest. Der Satz „Alle Schwäne sind weiß“ ist beispielsweise eine solche empirische Tatsachenbehauptung. Vgl. dazu auch Karl R. Popper: Logik der Forschung, 1994, S. 39 f., 55 f. und 59.

⁴² Eberhard Witte: Phasen-Theorem und Organisation komplexer Entscheidungsverläufe, 1988, S. 220.

⁴³ Siehe Eberhard Witte: Phasen-Theorem und Organisation komplexer Entscheidungsverläufe, 1988, S. 221 f.

weist.⁴⁴ Diesem folgend wird eine Unternehmung in dieser Arbeit als ein System betrachtet, d. h. als eine Menge miteinander verbundener und interagierender Elemente. In der einfachsten Form der Anwendung des Systemansatzes auf die Unternehmung wird das Unternehmensgeschehen als Transformationsprozess aufgefasst, durch welchen Input in Output umgesetzt wird (Abbildung 3).⁴⁵ Um ihre produktive Aufgabenstellung zu erfüllen, nimmt die Unternehmung Ressourcen unterschiedlicher Art aus der Umwelt auf, konvertiert diese in Leistungsoutput und gibt diesen wiederum an die Umwelt ab. Trotz des hohen Abstraktionsniveaus ergeben sich schon aus dieser Vorstellung drei bedeutende Funktionsbereiche: die Beschaffung von Inputfaktoren, deren Transformation in Output in einem Produktionsprozess sowie dessen marktliche Verwertung.

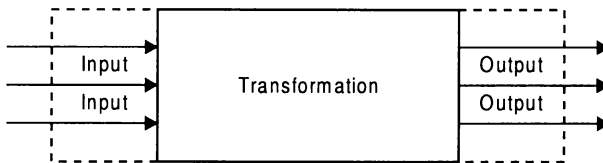


Abbildung 3: Die Unternehmung als Input-Transformation-Output-System

Die Heterogenität der in den produktiven Transformationsprozess eingehenden Inputfaktoren ermöglicht und empfiehlt darüber hinaus eine etwas detailliertere Betrachtung. Systemtheorie und Kybernetik unterscheiden gewöhnlich Materie, Energie und Information als Systeminputs;⁴⁶ bei der Anwendung des Systemansatzes auf die Unternehmung ist diese Unterteilung allerdings nicht befriedigend. Insbesondere die Materie kommt in Unternehmen in so mannigfacher Art vor, dass eine genauere Kategorisierung angebracht scheint.⁴⁷ In der Praxis wird der Inputstrom üblicherweise in Menschen, Anlagen, Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe, Zahlungsmittel sowie Informationen aufgespalten.

Mit der Verfeinerung der funktionalen Gliederung einer Unternehmung wird es zugleich notwendig, dem dispositiven Faktor die ihm gebührende Aufmerk-

⁴⁴ Vgl. dazu Gert von Kortzfleisch: Wissenschaftstheoretische und wissenschaftspolitische Gedanken zum Thema: Betriebswirtschaftslehre als Wissenschaft, 1971 sowie Hans Ulrich: Die Unternehmung als produktives soziales System, 1970.

⁴⁵ Siehe Hans Ulrich: Die Unternehmung als produktives soziales System, 1970, S. 46.

⁴⁶ Vgl. z. B. Hans-Joachim Flechtner: Grundbegriffe der Kybernetik, 1966, S. 17.

⁴⁷ Geld besteht genauso wie beispielsweise Schrauben aus Materie; dennoch erscheint es nicht sinnvoll, beides unter einem einheitlichen Oberbegriff zusammenzufassen. Vgl. dazu auch Hans Ulrich: Die Unternehmung als produktives soziales System, 1970, S. 47.

samkeit zuzuwenden und die Abbildung 3 mit ihrer Darstellung des physischen Prozesses tatsächlicher Leistungserstellung um eine zweite Ebene – die Ebene des Planens, Steuerns und Kontrollierens – zu erweitern (vgl. Abbildung 4). Ohne die Leitungsebene, deren Aufgabe es ist, die elementaren Produktionsfaktoren zielgerichtet zu kombinieren, kann der physische Material- und Transportfluss weder in Gang gesetzt noch aufrechterhalten werden. Das Fehlen oder Versagen des dispositiven Faktors führt zwangsläufig zum Stillstand des Unternehmensgeschehens.⁴⁸ Damit wird deutlich, welche große Bedeutung der Unternehmensführung im weitesten Sinne zuzumessen ist.

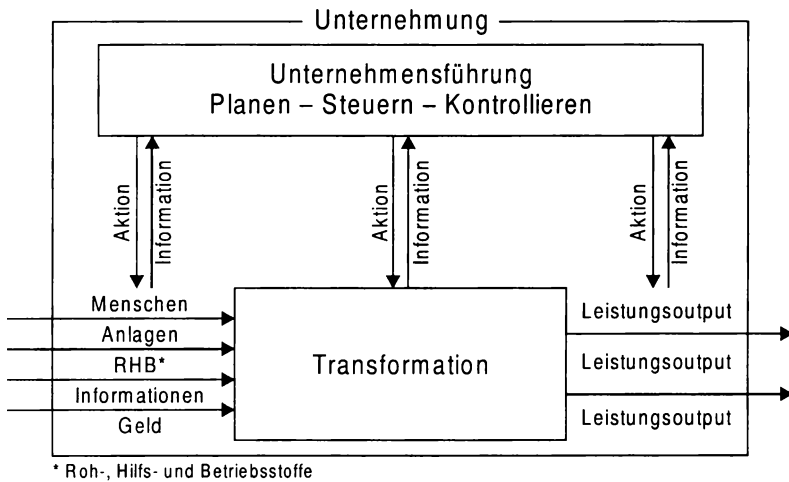


Abbildung 4: Die Unternehmung als differenziertes, geregeltes System⁴⁹

Aus der differenzierten, funktionalen Perspektive lässt sich der Gegenstandsbereich betriebswirtschaftlicher Entscheidungen wie folgt systematisieren:⁵⁰

- Das Beschaffungswesen befasst sich mit den Inputfaktoren und kann weiter untergliedert werden in das Personalwesen, die Anlagenwirtschaft, die Materialwirtschaft und die Finanzierung.

⁴⁸ Vgl. Erich Gutenberg: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, 1958, S. 27.

⁴⁹ Vgl. Peter Milling: Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik, 1981, S. 17.

⁵⁰ Vgl. Erich Gutenberg: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, 1958, S. 22 f. oder Hans Ulrich: Die Unternehmung als produktives soziales System, 1970, S. 45 ff. und detailliert S. 153 ff. Interessante Hinweise für eine Systematisierung des betriebswirtschaftlichen Gegenstandsbereichs geben auch die Inhaltsverzeichnisse von Lehrbüchern. Siehe beispielsweise Edmund Heinen: Industriebetriebslehre, 1991, S. IX f.

- Die Produktionswirtschaft umfasst den betrieblichen Transformationsprozess, der Inputfaktoren in vermarktbar Leistungen umsetzt.
- Die Absatzwirtschaft sorgt sich um die Verwertung des Leistungsoutputs am Markt.
- Weil neue Produkte und Prozesse nicht wie Manna vom Himmel fallen, muss es eine Innovationswirtschaft geben, die sich mit den Problemen ihrer Erforschung und Entwicklung beschäftigt.
- Die Informationswirtschaft sucht, sammelt und verarbeitet Informationen, die außerhalb und innerhalb der Unternehmung anfallen; zur Informationswirtschaft gehören internes und externes Rechnungswesen, die Betriebsdatenerfassung und die Betriebsstatistik.
- Die dispositive Ebene des Planens, Steuerns und Kontrollierens ragt als übergreifende Funktion einerseits in alle funktionalen Teilbereiche hinein, wird andererseits aber auch zur eigenständigen Funktion, wenn sie sich mit der Unternehmung als Ganzes befasst.

Gerade die als äußerst wichtig identifizierte Führungsfunktion stellt mit ihrer viergliedrigen Aufgabenstruktur eine weitere Möglichkeit zur Differenzierung betriebswirtschaftlicher Entscheidungen bereit; denn zu den Inhalten der Unternehmensführung ist zu zählen:⁵¹

- die Bestimmung der Ziele bzw. des Zielsystems für das Gesamtunternehmen,
- die Entscheidung über die Unternehmensorganisation, die zu bearbeitenden Produkt-Markt-Kombinationen und grundlegenden unternehmenspolitischen Verhaltensrichtlinien,
- die aktive und reaktive Anpassung des Systemverhaltens an die festgelegten Zielgrößen durch im Rahmen der unternehmenspolitischen Leitlinien getroffene Einzelentscheidungen,
- das Schließen jeglicher Freiheitsgrade und der Vollzug der getroffenen Entscheidungen auf der operativen Ebene.

Im Zielbildungsprozess werden von außen an das Unternehmen herangetragene und in der Unternehmung entwickelte Wertvorstellungen in Unternehmensziele transformiert. Aus Zielen für das Unternehmen werden so Ziele des Unternehmens. Entscheidungen über Ziele setzen die Eckpfeiler und sind in der Hierarchie der Führungsfunktionen auf der höchsten – der normativen – Ebene angesiedelt. Zielentscheidungen sind weit reichende Entscheidungen über Normen und daher moralische Entscheidungen im Sinne Poppers.⁵²

⁵¹ Siehe Peter Milling: Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik, 1981, S. 19.

⁵² Vgl. Karl R. Popper: Die offene Gesellschaft und ihre Feinde, Band I, 1994, S. 69 ff., insbesondere S. 74–78.

Auf der strukturierenden Ebene werden Entscheidungen über die grundsätzliche Regelung der Unternehmensprozesse getroffen. Hier werden unternehmenspolitische Entscheidungsgrundsätze formuliert, die für spezifische Entscheidungsprobleme präskriptive Anweisungen darstellen.⁵³ Der Grundsatzbeschluss beispielsweise, bei der Markteinführung neuer Produkte eine kostenorientierte Preispolitik zu verfolgen, setzt der konkreten Entscheidung über den Einführungspreis von Produkt X in Periode t Grenzen: Der Markteinführungspreis darf nicht unter den Selbstkosten zuzüglich eines angemessenen Gewinnzuschlags liegen. Unternehmenspolitische Grundsatzentscheidungen reduzieren auf diese Weise das Aktionsfeld nachgelagerter, spezifischer Einzelfallentscheidungen und verringern über die damit verbundene Komplexitätsreduktion den Schwierigkeitsgrad der Entscheidungsfindung im Einzelfall.⁵⁴

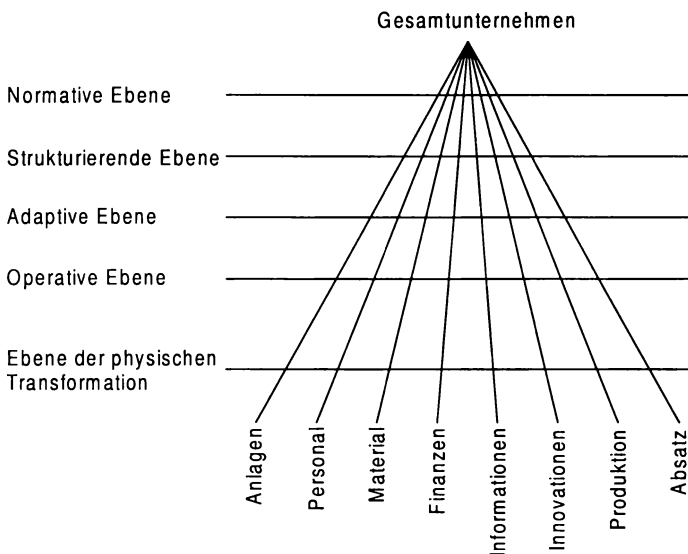


Abbildung 5: Pyramidenmodell betriebswirtschaftlicher Entscheidungen

Auf der adaptiven Ebene werden die unternehmenspolitischen Entscheidungsregeln auf den konkreten Fall angewendet; unter Berücksichtigung aktueller Informationen werden Einzelfallentscheidungen getroffen – beispielsweise

⁵³ Vgl. Peter Milling: Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik, 1981, S. 20.

⁵⁴ Vgl. Peter Milling: Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik, 1981, S. 20.

über das Investitionsvolumen in diesem Jahr, über den Markteinführungszeitpunkt des neu entwickelten Produktes oder über die Erweiterung des Werkes Mannheim. In der Regel verbleiben jedoch auch nach solchen Einzelentscheidungen noch eine Vielzahl von Freiheitsgraden, die im Rahmen von Durchführungs- und Steuerungsentscheidungen auf der operativen Ebene geschlossen werden. Unter Anwendung der vorgegebenen Richtlinien und Bewertungsfunktionen werden die Umsetzungsaktionen zeitlich und intensitätsmäßig so festgelegt, dass sich ein möglichst optimaler Ablauf der Prozesse ergibt.⁵⁵

Betriebswirtschaftliche Entscheidungen lassen sich aus der oben geschilderten doppelt funktionalen Perspektive in ein zweidimensionales Raster einordnen. Aus horizontaler Sicht kann jede dispositive Entscheidung einer der vier Führungsfunktionen zugerechnet werden. Vertikal betrachtet lässt sie sich einem der Hauptfunktionsbereiche zuordnen. Dabei treten die Einzelbereiche zugunsten der Gesamtunternehmenssicht mit zunehmend höherer Hierarchiestufe immer weiter in den Hintergrund, so dass sich in der grafischen Darstellung das Pyramidenmodell der Abbildung 5 ergibt.

Das hierarchische Element der Abbildung 5 könnte dazu verleiten, den Entscheidungen der verschiedenen Führungsebenen auch unterschiedliche Schwierigkeitsgrade zuzuordnen. Insbesondere die Aussage, dass sich die Entscheidungen auf nachgeordneten Ebenen innerhalb des von den übergeordneten Stufen vorgegebenen Rahmens vollziehen und deswegen von geringerer Komplexität sind, stützt diese Schlussfolgerung.⁵⁶ Dennoch sollte die Abbildung 5 nur als Tendenzangabe einer Schwierigkeitshierarchie interpretiert werden. Es gibt eine ganze Reihe weiterer Faktoren, welche die Kompliziertheit einer Entscheidung beeinflussen. Diese sollen im folgenden Abschnitt untersucht werden.

3. Einfache versus komplizierte Entscheidungen – eine Systematik

Versucht man, auf empirische Weise Kriterien für die Kompliziertheit einer Entscheidung zu identifizieren und stellt Managern die Frage, wann sie eine Entscheidung für schwierig befinden, so erhält man beispielsweise Antworten wie „Das hängt davon ab, ob die Entscheidung erstmals oder wiederholt getroffen werden muss“ oder „Maßgeblich für den Schwierigkeitsgrad einer Entscheidung sind Fristigkeit und wirtschaftliche Bedeutung“ oder „Je besser wir die

⁵⁵ Vgl. Peter Milling: Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik, 1981, S. 20.

⁵⁶ Die Auffassung, dass die Hierarchie, wie sie in Abbildung 5 wiedergegeben ist, „die von oben nach unten abnehmende Komplexität der Entscheidungssituation repräsentiert“ vertritt auch Milling: Peter Milling: Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik, 1981, S. 21.

Folgen absehen können, desto leichter fällt uns der Entschluss“. Und immer wieder wird die Komplexität einer Entscheidungssituation als bedeutendes Kriterium für deren Einstufung auf der Schwierigkeitsskala genannt – so häufig, dass es angebracht scheint, dieses Kriterium als erstes zu untersuchen.

Der Komplexitätsbegriff gehört – nicht anders als der Entscheidungsbegriff – in die Kategorie von Begriffen, die so lange klar sind, wie niemand nach der genauen Bedeutung fragt: „The notion of system complexity is much like St. Augustine’s description of time: ‚What then is time [complexity]? If no one asks me, I know; if I wish to explain it to one that asks, I know not.‘“⁵⁷ Umgangssprachlich wird „komplex“ häufig als Synonym zu „schwierig“ verwendet und damit nicht adäquat gefasst. Aber auch in der Literatur findet sich mehr Vielfalt als Einheitlichkeit, so dass Casti zuzustimmen ist, wenn er beklagt: „There seems to be fairly well-developed intuitive ideas about what constitutes a complex system, but attempts to axiomatize and formalize this sense of the complex all leave a vague, uneasy feeling of basic incompleteness, and a sense of failure to grasp important aspects of the essential nature of the problem.“⁵⁸

In der Tendenz finden sich zwei Hauptströmungen. Einerseits findet sich eine „objektive“ Sichtweise, die Entscheidungskomplexität als originäre Eigenschaft einer Entscheidungssituation ansieht und an der Anzahl der Elemente und der Vielzahl ihrer wechselseitigen Einflussnahmen festmacht (Abbildung 6); andererseits wird eine eher subjektive Perspektive vertreten, nach der Komplexität ein individuelles, personenbezogenes Attribut für eine undurchsichtige und schwer zu beherrschende Entscheidungssituation darstellt. Weil beide Sichtweisen gleichermaßen einen Teil zum Verständnis von Komplexität beitragen, scheint es zweckmäßig, beide Auffassungen miteinander zu verbinden und den Komplexitätsbegriff dreidimensional zu sehen: Komplex ist danach, was viele Elemente aufweist, die gleichzeitig durch viele Relationen miteinander verbunden sind, wobei berücksichtigt werden muss, dass formal identische Entscheidungssituationen von unterschiedlichen Subjekten als verschieden komplex empfunden werden können.⁵⁹ Was der eine als schon komplex und un-

⁵⁷ John L. Casti: On System Complexity: Identification, Measurement, and Management, 1986, S. 146.

⁵⁸ John L. Casti: On System Complexity: Identification, Measurement, and Management, 1986, S. 146.

⁵⁹ Milling erklärt zwar, dass die Charakterisierung eines Systems als komplex weitgehend qualitativer Natur ist, dennoch orientiert er sich bei seiner Komplexitätsdefinition primär an der Anzahl der tatsächlich anfallenden, in der Struktur eines Systems ausgedrückten funktionalen Beziehungen zwischen den Elementen. Sein Komplexitätsbegriff ist damit zweidimensional. Die hier in den Komplexitätsbegriff einbezogene Varietät, d. h. die Anzahl voneinander verschiedener und unterscheidbarer Systemelemente, betrachtet Milling separat. Siehe dazu Peter Milling: Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik, 1980, S. 92 f.

durchsichtig ansieht, ist für den anderen noch gut zu fassen und zu beherrschen. Während beispielsweise dem Fahranfänger das Steuern eines Autos durch den dichten Verkehr einer Großstadt als äußerst komplexes Unterfangen vorkommt – er muss schalten, kuppeln, Gas geben, auf die Straße schauen, auf Fußgänger achten, bremsen, halten, anfahren usw. –, ist das für den 40-jährigen Außendienstvertreter keine Aufgabe, über die er besonders nachdenken muss. Die subjektive Komponente der Komplexität ist in Abbildung 6 zwar nicht explizit dargestellt, aber sie ist dafür verantwortlich, wie steil sich die Ebene in Abbildung 6 nach oben wölbt.

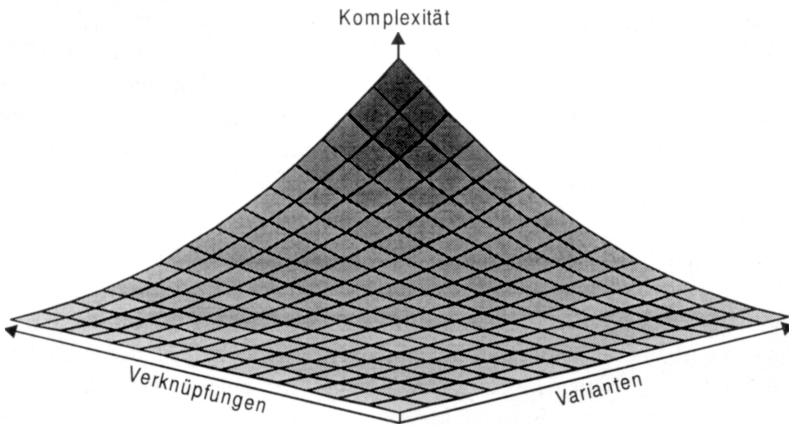


Abbildung 6: Variantenzahl und Vernetzung als Determinanten der Komplexität

Komplexe Entscheidungssituationen gibt es in allen Objektbereichen betriebswirtschaftlichen Entscheidens. Je höher die Ebene, auf der entschieden werden muss (vgl. Abbildung 5), desto öfter werden sie anzutreffen sein; aber auf die unternehmenspolitische Ebene begrenzt, sind komplexe Entscheidungsprobleme nicht. Die Maschinenbelegung in der Werkstattfertigung ist ein typisches Beispiel dafür. Aufgabe ist, die zur Fertigung anstehenden Aufträge so auf den Maschinenpark zu verteilen, dass die Produktionskosten minimal sind. Schon bei verhältnismäßig wenigen Maschinen und Aufträgen wird das Verteilungsproblem derart komplex, dass eine optimale Lösung unmöglich wird.⁶⁰ Für den Schwierigkeitsgrad solcher Entscheidungen ist es dabei nur von nachrangiger Bedeutung, dass operative Problemstellungen im Unterschied zu den meisten unternehmenspolitischen Problemen in der Regel zumindest im Prinzip

⁶⁰ Vgl. dazu beispielsweise Ralf Reichwald/Bernhard Dietel: Produktionswirtschaft, 1991, S. 561 ff.

vollständig beschreibbar und durchschaubar sind. Es sind – um das Bild vom Schachspieler nochmals aufzugreifen – so viele Figuren auf dem Schachbrett, die so stark miteinander vernetzt sind, dass es dem Spieler nur wenig hilft, einen klaren Blick auf die Situation zu haben. Zwar wäre eine optimale Problemlösung prinzipiell möglich, aber weder die mentalen Kapazitäten noch die verfügbaren Hilfsmittel reichen aus, um diese zu ermitteln.⁶¹

Neben der Komplexität von großer Bedeutung für die Art und Weise, wie eine Entscheidung abläuft, wie ein Entschluss zustande kommt und wie schwer er fällt, ist die Wiederholungshäufigkeit der gleichen oder einer ähnlichen Entscheidungssituation und – eng damit verbunden – ihres Neuigkeitsgrades sowie des Grades ihrer Programmierung.⁶² Viele Entscheidungen gleichen Inhalts sind regelmäßig aufs Neue zu treffen. Morgens nach dem Aufstehen stellt sich immer die gleiche Frage: „Welche Socken ziehe ich heute an?“, und abends, wenn der Tag mit einer Fernsehstunde ausklingen soll, ist zu wählen zwischen vielleicht 26 Programmen. Unternehmen kommen immer wieder in die Situation, Büromaterial kaufen zu müssen, und immer wieder aufs Neue stellt sich die Frage nach Händler und Hersteller. Solche repetitiven Entscheidungen werden mehr und mehr zur Routine: Es gibt ein festgelegtes Verfahren, wie sie zu bewältigen sind. Unternehmen schließen beispielsweise Rahmenverträge mit Schreibwarenhändlern und vermeiden so, jedes Mal, wenn ein Ordner oder ein Päckchen Bleistifte fehlt, den Entscheidungsprozess über die Marke und den Händler in Gänze und im Detail durchlaufen zu müssen. Es wird einmal entschieden, wo für einen bestimmten Zeitraum Büromaterial gekauft werden soll; das Ergebnis wird gespeichert und dann einfach reproduziert. Ein Bedarf an Büromaterial stößt damit nicht jedes Mal eine explizite Entscheidung über die Bezugsquelle an. In gleicher Weise wird entschieden, dass Ordner von Leitz, Hängeregistaturen von elba und Klebstoff der Marke UHU zu kaufen sind, und an diesem Entschluss wird dann für einen längeren Zeitraum festgehalten. Simon nennt Entscheidungen, für die ein festgelegtes Verfahren mit meist schon konkretem Ergebnis ausgearbeitet wurde, so dass nicht jedes Mal von neuem der ganze Prozess des Suchens, Überlegens und Abwägens durchlaufen werden muss, programmierte Entscheidungen und stellt diesen die nicht-programmierten Entscheidungen gegenüber.⁶³

⁶¹ Bei Stafford Beer findet sich eine sehr anschauliche Erläuterung der aus der Komplexität resultierenden Probleme. Vgl. Stafford Beer: Kybernetische Führungslehre, 1973, S. 34 ff.

⁶² Programmierte Entscheidungen sind nicht solche, die EDV-automatisiert sind, sondern schlicht solche, die nach einem bestimmten Regelwerk routinemäßig ablaufen. Zum Begriff der programmierten Entscheidung siehe Herbert A. Simon: *The New Science of Management Decision*, 1960, S. 5 ff. Wiederholungshäufigkeit, Programmierung und Neuigkeitsgrad sind keine unabhängigen Systematisierungskriterien.

⁶³ Vgl. Herbert A. Simon: *The New Science of Management Decision*, 1960, S. 5 ff.

Für nicht-programmierte Entscheidungen gibt es kein Rezept, keinen vorbestimmten Entschluss; eine Vorgehensbeschreibung, wie dieses spezielle Problem gelöst werden kann, fehlt. Die Entscheidungssituation ist neu, in dieser Form noch nicht dagewesen, d. h. innovativ. Ein Beispiel für eine solche innovative, nicht-programmierte Entscheidung ist der Beschluss einer Währungsunion zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der Deutschen Demokratischen Republik im Jahre 1990, ein anderes ist die Entscheidung von Mannesmann, in ein völlig neues Marktsegment zu diversifizieren und nicht nur Röhren, sondern auch mobiles Telefonieren zu verkaufen.

Innovative Entscheidungssituationen, für die es kein Lösungsprogramm gibt, und wiederholt auftretende Entscheidungssituationen, die zur Routine geworden sind, stellen die beiden Pole dar, zwischen denen es ein Kontinuum an Schattierungen gibt.⁶⁴ Kaum eine Entscheidung wird gänzlich ohne Programme ablaufen, aber der Anteil innovativer Teilprozesse ist bei der nicht-programmierten Entscheidung viel größer als bei der programmierten, und die Art der Programme ist eine andere. Erstmals zu treffende Entscheidungen müssen mit den allgemeinen und abstrakten Methoden des Problemlösens⁶⁵ angegangen werden, weil eine konkrete, am Entscheidungsinhalt orientierte Vorgehensweise noch fehlt. Dementsprechend stellen sie hohe Anforderungen an die Entscheidungsträger.

Neben der Komplexität und Neuartigkeit kann auch der zeitliche Bezug eine Entscheidung kompliziert machen. Entscheidungen, die auf lange Frist binden, sind wichtig und notwendig, um Rahmenbedingungen zu setzen und andere, nachgelagerte Entscheidungen zu vereinfachen. Sie selbst stellen wegen der mit ihnen meist verbundenen wirtschaftlichen Bedeutung jedoch eine große Herausforderung für das Management dar. Der Abschluss eines Rahmenvertrages mit einem Lieferanten beispielsweise schließt alternative Handlungsmöglichkeiten für einen bestimmten, normalerweise längeren Zeitraum aus. Damit werden zukünftige Beschaffungsentscheidungen vereinfacht, weil weniger Handlungsmöglichkeiten zur Verfügung stehen. Die Entscheidung für eine langfristige Lieferantenbindung bedeutet jedoch auch Abhängigkeiten, deren Folgen bedacht und abgewogen werden wollen.

Langfristig können Entscheidungen jedoch nicht nur im Hinblick auf ihre Bindungsdauer genannt werden.⁶⁶ Auch Bezugszeit oder Planungshorizont kön-

⁶⁴ Das deutlich zu machen, versucht Abbildung 7 auf der folgenden S. 44.

⁶⁵ Eine sehr informative Beschreibung der grundlegenden Möglichkeiten zur Lösung von Problemen findet sich in Allen Newell/Herbert A. Simon: Human Problem Solving, 1972.

⁶⁶ Die Bindungsdauer einer Entscheidung ist dabei als der Zeitraum zu verstehen, für den die jetzt zu treffende Entscheidung die Prämissen für nachgelagerte Entscheidungen setzt. Vgl. Edmund Heinen: Entscheidungen im Industriebetrieb, 1991, S. 24.

nen Kriterien für eine Einteilung in kurz-, mittel- und langfristige Entscheidungen abgeben.⁶⁷ Wenn einer Entscheidung Ziele zugrunde liegen, deren Realisierung erst in ferner Zukunft angestrebt wird, ist es nicht weniger legitim, diese Entscheidung als langfristig im Hinblick auf die Bezugszeit zu bezeichnen. In diesem Sinne wäre der Anstoß eines Entwicklungsprojektes, das ein in etwa acht Jahren marktreifes Produkt hervorbringen soll, ebenfalls eine langfristige Entscheidung, obwohl die Bindungsdauer deutlich kürzer sein kann. Schließlich können auch Entscheidungen, die mit einem weit in die Zukunft reichenden Erwartungshorizont verknüpft sind, langfristig genannt werden. Der Kauf eines Konkurrenzunternehmens mag von relativ kurzer Bindungsdauer und Bezugszeit⁶⁸ sein, die damit verbundenen Auswirkungen auf den betrieblichen Leistungsprozess werden häufig jedoch weit in die Zukunft reichen, so dass auch in diesem Fall eine langfristige Entscheidung gegeben sein kann.

Als letztes Kriterium für eine Systematisierung von Entscheidungen soll hier die Prognostizierbarkeit von Handlungskonsequenzen herangezogen werden. Daraus dessen relative Unbedeutendheit abzuleiten, wäre jedoch völlig unangemessen. Der Einfluss der Prognostizierbarkeit der Handlungskonsequenzen ist ganz im Gegenteil ein wichtiger Faktor bei der Beurteilung der Kompliziertheit einer Entscheidung. Ist bei einer Entscheidung gut abzusehen, welche Folgen die einzelnen Handlungsoptionen mit sich bringen werden, so erscheint die Herausforderung meist gering, und der Schwierigkeitsgrad ist niedrig. Wer sich demgegenüber schwer tut, eine auch nur annähernd zuverlässige Prognose der Folgen dieses oder jenen Tuns abzugeben, der wird sich nicht leicht zwischen seinen Möglichkeiten entscheiden können. Je weniger demnach die Konsequenzen der zur Wahl stehenden Entscheidungsalternativen absehbar sind, als desto komplizierter ist eine Entscheidung zu beurteilen.

Werden die verschiedenen angeführten Kriterien zur Unterscheidung von Entscheidungen wie in Abbildung 7 untereinander gestellt, so lassen sich zwei hinsichtlich ihrer Kriterienausprägung extreme Typen von Entscheidungen ausmachen: in der Abbildung 7 rechts angesiedelte, nicht-programmierte, innovative, strategische und bedeutsame Entscheidungen, deren Folgen sich nur schwer absehen lassen und die auf der linken Seite zu findenden, programmierten, routinemäßigen, operativen und verhältnismäßig unbedeutenden Entscheidungen, die hinsichtlich ihrer Konsequenzen gut abzuschätzen sind.

⁶⁷ Vgl. Edmund Heinen: Entscheidungen im Industriebetrieb, 1991, S. 24.

⁶⁸ Die Bezugszeit wäre dann kurz, wenn mit dem Unternehmenskauf beispielsweise in erster Linie eigene Kapazitätsengpässe behoben werden sollten. Erfolgte der Kauf aber beispielsweise im Rahmen einer Diversifikationsstrategie, so müsste die Bezugszeit als lang bezeichnet werden.

Entscheidungs- styp	→ einfach		→ kompliziert	
Kriterien				
Komplexität	Gering			Hoch
Wiederholungs- häufigkeit	Hoch			Niedrig
Programmierung	Hoch			Niedrig
Neuigkeitsgrad	Gering			Hoch
Wirtschaftliche Bedeutung	Gering			Hoch
Fristigkeit	Kurz			Lang
Prognostizierbarkeit der Konsequenzen	Hoch			Gering

Abbildung 7: Systematisierung von Entscheidungen

Die beiden extremen Entscheidungstypen differieren deutlich hinsichtlich ihres Schwierigkeitsgrades. Je schwärzer der Balken, je weiter rechts die zu fällende Entscheidung in Abbildung 7 anzusiedeln ist, desto schwerer tun sich die Entscheidungsträger im Allgemeinen mit der Bewältigung des Problems. Je stärker die Entscheidungssituation der linken Seite zuzurechnen ist, als desto einfacher wird sie gewöhnlich empfunden.

II. Rationalität als Richtschnur zur Bewältigung komplizierter Entscheidungssituationen

Was ist zu tun? Wie soll sich der Manager verhalten, wenn er sich einem Entscheidungsproblem gegenüber sieht, welches nach Abbildung 7 in die Kategorie kompliziert einzuordnen ist? Wie soll er entscheiden? Wie handeln? Wie managen? Wer sich in der wissenschaftlichen und praxisorientierten Literatur umsieht, wer Unternehmer und Berater befragt, wird – zumindest in der westlichen Hemisphäre – häufig auf die gleiche Forderung stoßen: Rational soll entschieden und gehandelt werden; die Vernunft soll die Intuition dominieren; der Manager soll dem Verstand folgen, sich von seiner Ratio leiten lassen, die Fakten nüchtern und sachlich betrachten und Emotionen bei seinen Entscheidungen außen vor lassen.

1. Begründungsrationalt  t versus Kritikrationalität

„Rationalität“ gehört heutzutage nicht nur in der Wissenschaft, sondern auch in der öffentlichen Diskussion zu den sehr häufig verwendeten Begriffen. An der Wünschbarkeit von Rationalität, an ihrer Sinnhaftigkeit als Richtschnur menschlichen Tuns hegt der „gesunde“ Menschenverstand kaum Zweifel.⁶⁹ Trotzdem, vielleicht auch gerade deswegen, besteht wenig Klarheit darüber, was „Rationalität“ eigentlich ist, so dass es uns mit der Rationalität anscheinend genauso ergeht wie mit dem Komplexitätsbegriff und vielen anderen häufig gebrauchten und auch wichtigen Begriffen: „Wir meinen von dem, was der Begriff bedeutet eine hinreichend klare Vorstellung zu haben, geraten aber in Schwierigkeiten, wenn wir uns darum bemühen, das, was uns da vorschwebt, festzuhalten.“⁷⁰

Wenn wir etwas als rational charakterisieren, dann denken wir in der Regel an Menschen, ihre Meinungen, Handlungen, Emotionen, Wünsche, Ziele, ... und eben auch an ihre Entscheidungen und Entschlüsse.⁷¹ Rationalität muss jedoch nicht unbedingt auf Menschen bezogen sein. Zwar ist nach heutigem Kenntnisstand der Mensch das einzige potenziell rationale Geschöpf; das heißt aber nicht, dass es nicht irgendwo im Universum noch andere Arten vernunftf  higer Lebewesen geben kann. Notwendig dafür, dass von Rationalität gesprochen werden darf, ist jedoch in jedem Fall der Bezug auf Lebewesen.⁷² Ein Sachverhalt als solcher kann nicht rational sein. Es macht keinen Sinn, zu sagen, der Satz „Alle Kugeln sind rund“ ist rational. Ein Tatbestand kann wahr oder falsch sein, nicht aber rational oder irrational.⁷³ Der Satz „Alle Kugeln sind rund“ ist tautologisch und deswegen notwendig wahr – nicht aber per se rational. Rational könnte nur die Meinung eines Lebewesens sein, dass dieser Satz wahr ist. Rationalität kommt als Prädikat nicht Sachverhalten als solchen zu, sondern dient der Auszeichnung von Lebewesen sowie ihres Meinens, Tuns und eben auch Entscheidens.

⁶⁹ Was allerdings daran liegen könnte, dass der „gesunde“ Menschenverstand selbst schon rational ist, weil er kritisch pr  uft. Irrationale Menschen werden die Wünschbarkeit von Rationalität bezweifeln und stattdessen Intuition und Gefühle als Leitidee propagieren.

⁷⁰ Günter Patzig: Aspekte der Rationalität, 1994, S. 1.

⁷¹ Im vorhergehenden Abschnitt wurde bereits darauf hingewiesen, dass Entscheiden und Handeln sehr eng miteinander verbunden ist: Das Handeln folgt auf die Entscheidung, praktisch jeder Handlung geht eine Entscheidung voraus. Insofern erscheint es zweckmäßig, die Entscheidungsrationalt  t mit der in der Literatur weit häufiger diskutierten Handlungsrationalt  t auf eine Stufe zu stellen.

⁷² Vgl. Nicholas Rescher: Rationalität, 1993, S. 1 ff.

⁷³ Vgl. Stefan Gosepath: Aufgeklärtes Eigeninteresse, 1992, S. 23.

Wann nun darf man sagen, dass ein Mensch rational ist, dass er rational meint, handelt, wünscht und entscheidet? Welche Bedingungen müssen erfüllt sein, damit Rationalität gegeben ist? Das klassische Rationalitätskonzept kennt im Wesentlichen zwei Voraussetzungen: das Vorliegen logischer Konsistenz oder, was dasselbe ist, die Bedingung der Widerspruchsfreiheit zum einen und die Forderung nach Wohlbegründetheit zum anderen.⁷⁴

Unbestritten ist Konsistenz ein notwendiges Rationalitätskriterium.⁷⁵ Wer die Auskunft anruft, um eine Telefonnummer von jemandem zu erfragen, von dem er doch genau weiß, dass er keinen Telefonanschluss besitzt, handelt „manifest irrational“⁷⁶; denn er behauptet zugleich: „X hat kein Telefon“ und „X verfügt über eine gültige Telefonnummer“. Es ist aber mit Rationalität unvereinbar, dass sich zum selben Zeitpunkt sowohl der Satz p als auch der Satz nicht-p im Überzeugungssystem einer Person findet. Patzig ist allerdings zuzustimmen, wenn er diesen Fall selten und fast schon pathologisch nennt.⁷⁷ Weitaus häufiger dürfte es der Fall sein, dass jemand die Sätze p, q, x, y und z zu seinen Überzeugungen zählt, wobei aus q zusammen mit den ebenfalls für wahr gehaltenen Sätzen x, y und z nicht-p folgt, so dass sich ein – impliziter – Widerspruch ergibt. Ist deswegen Irrationalität zu attestieren? Höchste Maßstäbe anlegend, wäre das zu tun;⁷⁸ kaum ein Mensch wird allerdings alle Folgerungen, die sich aus seinen Meinungen ableiten lassen, überblicken können. Das unbedingte Verlangen nach logischer Konsistenz aller Überzeugungen würde Rationalität menschenunmöglich machen. Es scheint daher unumgänglich, einen etwas gemäßigeren Maßstab anzulegen und nur diejenigen irrational zu nennen, der es versäumt, sein Überzeugungssystem ernsthaft und permanent auf Widersprüchlichkeit zu prüfen und der, auf implizite Widersprüche aufmerksam gemacht, dennoch an all seinen Überzeugungen festhält.⁷⁹

Der klassischen Rationalitätsauffassung zufolge ist logische Konsistenz aber nur notwendig, nicht jedoch hinreichend für das Vorliegen von Rationalität. Hinzutreten muss Wohlbegründetheit. Gosepath als einer der aktuellen Vertreter des klassischen Konzeptes versucht das anhand von Beispielen nachzuweisen. Irrational sei, so seine Auffassung, „zu glauben, unter einer Leiter hindurchzugehen, bringe Unglück“ oder „zu glauben, die SPD werde die nächsten

⁷⁴ Vgl. Gottfried Wilhelm Leibniz: *Monadologie*, § 31 und § 32, S.453, 1994; Stefan Gosepath: *Aufgeklärtes Eigeninteresse*, 1992, S. 24 f.; Günter Patzig: *Aspekte der Rationalität*, 1994, S. 7 f.

⁷⁵ Auch der kritische Rationalismus, der Wohlbegründetheit als Rationalitätskriterium strikt ablehnt, wendet sich nicht gegen das Konsistenzprinzip.

⁷⁶ Günter Patzig: *Aspekte der Rationalität*, 1994, S. 8.

⁷⁷ Günter Patzig: *Aspekte der Rationalität*, 1994, S. 8.

⁷⁸ So Stefan Gosepath: *Aufgeklärtes Eigeninteresse*, 1992, S. 24 f.

⁷⁹ Günter Patzig: *Aspekte der Rationalität*, 1994, S. 8.

Wahlen gewinnen, nur weil Willy Brandt es gesagt hat“.⁸⁰ Das erste Beispiel ist ein Fall von Irrationalität deswegen, weil nach weit verbreiteter Auffassung kein guter Grund dafür aufzutreiben ist, dass es dem eigenen Glück abträglich ist, unter einer Leiter hindurchzugehen.⁸¹ Allerdings reicht für das Vorliegen von Rationalität auch nicht aus, dass irgendwelche Gründe vorhanden sind, wie das zweite Beispiel zeigt – sondern es müssen sehr gute Gründe, evidente Gründe sein. „Nur weil irgendeine Person, und sei es auch der Ehrenvorsitzende der SPD, Willy Brandt, eine Prognose gewagt hat, darf man der Vorhersage noch keinen Glauben schenken“ argumentiert Gosepath.⁸²

In beiden Beispielen wird der Fehler gemacht, gegen das klassische Postulat der Begründung zu verstoßen. Das führt dazu, dass Irrationalität attestiert werden muss, weil Rationalität, der klassischen Auffassung zufolge, nicht nur Widerspruchsfreiheit verlangt, sondern das Meinen, Handeln, Wünschen, Entscheiden nach Maßgabe der besten verfügbaren Gründe fordert.⁸³ Etwas, das nicht durch gute und stichhaltige Gründe zu rechtfertigen ist, kann folglich nicht rational genannt werden. Rational entscheidet ein Manager also dann, wenn es Gründe gibt, die gut genug sind, den von ihm herbeigeführten Entschluss gegenüber alternativen Möglichkeiten eindeutig als den besseren auszuzeichnen.

Dieses Verständnis von Rationalität ist weit verbreitet und intuitiv auch einichtig. Aber es scheitert an einem in der Philosophie zentralen Problem – dem Problem der Begründung.⁸⁴ Die Schwierigkeit nämlich ist, anzugeben, welche Gründe gut und stichhaltig sind. Denn die Gründe, die Rationalität belegen sollen, müssen ihrerseits selbst als rational gerechtfertigt werden, was bedeutet, dass für die Begründung eine weitere Begründung beizubringen ist. Diese Notwendigkeit zur Begründung der Begründung führt zwangsläufig in eine schließlich ausweglose Situation, die Albert treffend das Münchhausen-Trilemma⁸⁵

⁸⁰ Stefan Gosepath: Aufgeklärtes Eigeninteresse, 1992, S. 24 f.

⁸¹ Vgl. Stefan Gosepath: Aufgeklärtes Eigeninteresse, 1992, S. 26 f.

⁸² Stefan Gosepath: Aufgeklärtes Eigeninteresse, 1992, S. 28 f.

⁸³ Der Satz vom zureichenden Grunde bildet bei Leibniz zusammen mit dem Prinzip des Widerspruchs die feste Basis, auf die sich der Vernunftgebrauch stützt. Vgl. Gottfried Wilhelm Leibniz: Monadologie, § 31 und § 32, S. 453. Albert sieht im Satz vom zureichenden Grund, formuliert als methodisches Prinzip, einen Grundsatz, „den wir mit einigem Recht als allgemeines Postulat der klassischen Methodologie des rationalen Denkens auffassen können ... : Suche stets nach einer zureichenden Begründung aller deiner Überzeugungen.“ Hans Albert: Traktat über kritische Vernunft, 1991, S. 11 f.

⁸⁴ Eine übersichtliche Darstellung des Begründungsstreits in der deutschen Philosophie sowie eine systematische Auseinandersetzung mit dem Problem der Letztbegründung findet sich bei Edmunds Apalons: Das Problem der Letztbegründung und die Rationalität der Philosophie, 1995.

⁸⁵ Vgl. Hans Albert: Traktat über kritische Vernunft, 1991, S. 15.

nennt. Vor sich die Falle des *infiniten Regresses*⁸⁶ bleibt demjenigen, der Rationalität und Wohlbegründetheit gleichsetzt, zur Auszeichnung eines „Etwas“ als rational nur die Wahl zwischen *logischem Zirkel* und *willkürlich-dogmatischem Abbruch* des Begründungsverfahrens – beides in den Augen Alberts inakzeptable Möglichkeiten.⁸⁷

Der logische Zirkel ist dadurch gekennzeichnet und gleichzeitig diskreditiert, dass zur Begründung auf zuvor selbst als begründungsbedürftig identifizierte Aussagen zurückgegriffen wird, womit das als Grund angeführt wird, was eigentlich begründet werden sollte. Obwohl über die Unannehmbarkeit zirkulärer Begründungen in der Wissenschaft breiter Konsens besteht, findet sich der logische Zirkel dennoch immer wieder, da er in komplexen Begründungsstrukturen nur schwer zu entdecken ist. Weil sowohl der infinite Regress als auch der logische Zirkel offensichtlich gänzlich inakzeptable Auswege aus dem Münchhausen-Trilemma darstellen, wird zumeist der letzte noch verbleibende Weg beschritten und das Begründungsverfahren dadurch abgebrochen, dass bestimmte Gründe als zureichend einfach deklariert werden. Gewöhnlich werden diese damit „letzten“ Gründe als unmittelbar einsehbar, selbstevident und selbstbegründend ausgezeichnet. Descartes beispielsweise findet sie auf dem Wege „klarer und evidenten Intuition“⁸⁸, worunter er „ein so müheloses und deutlich bestimmtes Begreifen des reinen und aufmerksamen Geistes [versteht], dass über das, was wir erkennen, gar kein Zweifel zurückbleibt“⁸⁹. Gosepath beruft sich – etwas modernder und ein wenig bescheidener – auf „gewisse kulturelle Standards“⁹⁰, die uns vorgeben, welche Gründe gut genug sind, um als letzte Gründe zu gelten. Der Abbruch des Begründungsprozesses, gleich an welchem Punkt, muss sich jedoch den Vorwurf des Dogmatismus gefallen lassen; denn eine Begründung, die ihrerseits vom Begründungspostulat suspendiert ist, die also nicht weiter der Begründung für bedürftig angesehen wird, ist eine Behauptung, deren Wahrheit für gewiss gilt, und damit nichts anderes als ein Dogma. Der letzte, noch am ehesten akzeptabel erscheinende Ausweg aus dem Begründungstrilemma erweist sich damit als das, „was man bei einer Lösung des Begründungsproblems am wenigsten erwarten sollte: als Begründung durch *Rekurs auf ein Dogma*“.⁹¹

⁸⁶ Der infinite Regress entsteht eben dadurch, dass die Gründe, die eine Meinung, Handlung, Entscheidung usw. als rational begründen, ihrerseits selbst wieder einer eigenen Begründung bedürfen, so dass die Begründungen bis ins Unendliche fortgeführt werden müssten, ohne dass dadurch jemals eine sichere Grundlage entstünde.

⁸⁷ Vgl. Hans Albert: *Traktat über kritische Vernunft*, 1991, S. 15.

⁸⁸ René Descartes: *Regulae ad directionem ingenii*, 1973, S. 15.

⁸⁹ René Descartes: *Regulae ad directionem ingenii*, 1973, S. 17.

⁹⁰ Stefan Gosepath: *Aufgeklärtes Eigeninteresse*, 1992, S. 28 f.

⁹¹ Vgl. Hans Albert: *Traktat über kritische Vernunft*, 1991, S. 16. Den wahren Kern verschleiern, werden die Dogmen, bei denen die Begründungsspirale ausgesetzt wird,

Der klassische Rationalismus in all seinen Varianten führt sich durch die methodologische Idee, dass jede Auffassung, jede Überzeugung, jede Entscheidung nur durch Rückführung auf sichere Gründe, auf ein unerschütterliches Fundament, als rational auszeichnen lässt, selbst in die Sackgasse des Münchhausen-Trilemmas. Dies allerdings ohne Not, wie der kritische Rationalismus⁹² nachzuweisen vermag. Denn es ist möglich, in die Sackgasse gar nicht erst hineinzufahren. Der Verzicht auf das Gleichsetzen von rational und wohlbegründet, die Suspendierung des Prinzips der zureichenden Begründung als Rationalitätskriterium lässt die ausweglose Situation des Münchhausen-Trilemmas gar nicht erst entstehen. Dem klassischen Begründungspostulat setzen Popper und Albert das Kritikpostulat entgegen. Nicht das ist rational, was sicher begründet ist – wozu unausweichlich irgendwelche Dogmen als archimedischer Punkt benötigt werden –, sondern das, was hartnäckig und kritisch geprüft wurde.

Der kritische Rationalismus lehnt die Begründungsrationale als gleichermaßen unmöglich wie unnötig ab und setzt die Kritikrationalität an ihre Stelle. Weil es prinzipiell keine sichere letzte Begründung *für* etwas geben kann, sondern nur gute Gründe *dagegen*, darf Rationalität nicht an das Beibringen guter und überzeugender Gründe für eine Meinung, Handlung oder Entscheidung geknüpft werden, sondern ist – ganz im Gegenteil – am hartnäckigen und konsequenten Suchen nach widerlegenden Argumenten festzumachen. Rational ist nach der Auffassung Poppers und Alberts die Entscheidung für diejenige Alternative, welche möglichst vielen, auf Widerlegung gerichteten Prüfungen am besten standgehalten hat. Rational ist es, die Option zu präferieren, die trotz intensiven Bemühens, nicht verworfen werden konnte, die – um die Terminologie des kritischen Rationalismus zu verwenden – sich besser als alle anderen bewährt hat.⁹³

häufig als Regeln bezeichnet. Gosepath bezeichnet seine Regeln beispielsweise als Regeln der praktischen Rationalität. Aber auch mit der Konzeption eines Regelwerkes der praktischen Rationalität ist dem Münchhausen-Trilemma natürlich nicht zu entkommen. Denn auch Regeln praktischer Rationalität bedürfen wieder der Rechtfertigung, was die Begründungsspirale von Neuem in Gang setzt. Vgl. Stefan Gosepath: Aufgeklärtes Eigeninteresse, 1992, S. 198 ff.

⁹² Der kritische Rationalismus wurde von Karl R. Popper mit der Schrift „Logik der Forschung“ Mitte der 30er Jahre begründet und im Laufe der Zeit in zahlreichen Aufsätzen und weiteren Monographien ausgebaut. In Deutschland hat sich nach dem 2. Weltkrieg Hans Albert als einer der stärksten Promotoren des kritischen Rationalismus hervorgetan. Zwar bestehen sehr wohl Unterschiede in der Interpretation des kritischen Rationalismus zwischen Popper und Albert; es ist jedoch nicht Aufgabe der vorliegenden Arbeit diese in Detail zu analysieren. Eine einführende Skizze findet sich bei Eric Hilgendorf: Hans Albers zur Einführung, 1997, S. 9 ff.

⁹³ Vgl. zum Konzept der Bewährung im kritischen Rationalismus Karl R. Popper: Logik der Forschung, 1994, S. 198 ff.

Das Konzept der Kritikrationalität lässt das Münchhausen-Trilemma deswegen gar nicht erst entstehen, weil es darauf verzichtet, nach dem archimedischen Punkt der Erkenntnis zu suchen, weil es die Forderung nach absoluter Begründung aufgibt. „Die Methodologie der kritischen Prüfung, die an die Stelle der Methodologie der zureichenden Begründung tritt, kann sich ... damit abfinden, daß es keinen solchen archimedischen Punkt gibt“.⁹⁴ Das klassische Erkenntnisideal, die angestrebte Verbindung von Wahrheit und Gewissheit, wird im kritischen Rationalismus in einem Kritizismus aufgehoben, der die prinzipielle Fehlbarkeit der menschlichen Vernunft anerkennt,⁹⁵ ohne jedoch das Streben nach Erkenntnis und Wahrheit aufzugeben. Zwar kann nie eine vom Menschen gewonnene Erkenntnis als absolut wahr gelten, mag sie auch unumstößlich erscheinen, aber durch Versuch und Irrtum, durch das Aufstellen kühner Hypothesen und ihre Widerlegung können wir der Wahrheit näher kommen, sie möglicherweise auch treffen – allerdings ohne dies jemals beweisen zu können.⁹⁶ Übertragen auf den Rationalitätsbegriff bedeutet dies die Unmöglichkeit objektiver Rationalität, nicht aber die Unmöglichkeit jeglicher Rationalität: Wir können unsere Meinungen, Erwartungen, Entscheidungen nicht in unbezweifelbar gewissen Erkenntnissen gründen, d. h. wir können nicht objektiv rational sein. Wir können nur so hart wie möglich testen und in der kritischen Prüfung unsere Rationalität erweisen.

Der Wettstreit zwischen Begründungs- und Kritikrationalität lässt sich mit logischen Argumenten zugunsten der Kritikrationalität entscheiden.⁹⁷ Entscheidungsrationalität darf daher nicht als Begründungsrationalität, sondern muss als Kritikrationalität konzipiert werden. Der unkritische oder umfassende Rationalismus, womit Popper eben denjenigen Rationalismus bezeichnet, der nur Wohlbegründetes gelten lässt, ist logisch unhaltbar; „und da dies auf rein logische Weise gezeigt wurde, so folgt, dass der unkritische Rationalismus mit den von ihm selbst gewählten Waffen geschlagen werden kann, nämlich durch Argumente.“⁹⁸ Der „Sieg“ der Kritikrationalität über die Begründungsrationalität hat jedoch den Wettstreit zwischen den Antipoden Rationalismus und Irrationalismus noch keineswegs entschieden. Die Frage, warum wir denn überhaupt dem Leitmotiv der Vernunft folgen sollen, warum wir rational meinen, entscheiden

⁹⁴ Hans Albert: Traktat über kritische Vernunft, 1991, S. 43.

⁹⁵ Dieses Anerkennen der prinzipiellen Fehlbarkeit des Menschen und seiner Vernunft wird üblicherweise als Fallibilismus bezeichnet.

⁹⁶ Vgl. Karl R. Popper: Logik der Forschung, 1994, S. 198 ff.; Karl R. Popper: Ausgangspunkte, 1994, S. 20 ff. und Karl R. Popper: Objektive Erkenntnis, 1994, S. 82 f.

⁹⁷ Das soll jedoch nicht heißen, dass es keine Kritik am Münchhausen-Trilemma und den daraus gezogenen Folgerungen gibt. Fraglich ist aber, ob die dort geltend gemachten Einwände wirklich stichhaltig sind. Vgl. dazu auch Edmunds Apsalons: Das Problem der Letztbegründung und die Rationalität der Philosophie, 1995.

⁹⁸ Karl R. Popper: Die offene Gesellschaft und ihre Feinde, Band 2, 1992, S. 269.

und handeln sollen, ist noch nicht beantwortet und darum Gegenstand des folgenden Abschnitts.

2. Zum Problem der Rechtfertigung von Rationalität als Leitmotiv zur Bewältigung von Entscheidungsproblemen

Rationalität ist anstrengend und mühsam. Der rationale Mensch muss sich – will er dem rationalen Maßstab genügen – bei all seinen Entscheidungen, bei allem, was er glaubt, tut und beurteilt nach den Regeln der Rationalität richten.⁹⁹ Er muss so kritisch wie nur möglich prüfen. Er muss Alternativen ausfindig machen und, statt nach Bestätigungen fahnden, konsequent auf Widerlegung testen. Er darf nicht einfach aus dem Bauch heraus entscheiden, darf seinen Stimmungen nicht ohne weiteres nachgeben. Er muss analysieren, überlegen und seinen Verstand einsetzen. Was aber ist der Lohn all dieses Strebens nach Rationalität? Könnte der Irrationalismus nicht ebenso gut oder vielleicht gar besser als Leitfaden für die Lösung unserer Entscheidungsprobleme dienen?¹⁰⁰

„Der Irrationalist könnte zugeben, dass die Vernunft und das wissenschaftliche Argument Werkzeuge sind, die uns ein oberflächliches Verständnis der Dinge verschaffen; er könnte auch zugeben, dass sie als Mittel zur Erreichung eines irrationalen Zieles dienen können;“¹⁰¹ aber er wird darauf verweisen, dass es als Unternehmer mehr darauf ankommt, schöpferisch tätig zu sein. Neue Produkte zu erschaffen, zweckmäßige Organisationsformen zu kreieren und einzuführen, neue Führungsmethoden zu entwickeln sind die Aufgaben, die einem Unternehmer Erfolg verschaffen. Die wirklich großen Manager sind niemals reine Verstandesmenschen, wird der Irrationalist argumentieren. Ihre Wurzeln liegen tiefer, in ihren Gefühlen und Leidenschaften. Das erst macht sie erfolgreich. Mit dem Kopf der Kunden zu denken, reicht nicht aus.¹⁰² Unerlässlich ist, mit dem Herzen des Kunden zu fühlen, um die richtigen Entscheidungen zu

⁹⁹ Das unabhängig davon, ob er Anhänger des Konzeptes der Begründungs- oder der Kritikrationalität ist. Vgl. dazu auch Nicholas Rescher: Rationalität, 1993, S. 12.

¹⁰⁰ Die im Folgenden präsentierte Auseinandersetzung mit dem Irrationalismus orientiert sich stark an Karl R. Popper. Siehe deshalb auch Karl R. Popper: Die offene Gesellschaft und ihre Feinde, Band 2, S. 262 ff. Die Konfrontation von Rationalismus und Irrationalismus ist keine rein akademische Übung ohne praktische Relevanz, denn die rationale Unternehmensführung ist weder gängige Praxis noch als methodische Leitlinie allgemein akzeptiert. An Einzelbeispielen für irrationale Managemententscheidungen herrscht kein Mangel, und selbst manches der modernen Managementkonzepte steht mit seiner Betonung von Intuition und Gefühl bei wichtigen Entscheidungen mehr auf dem Fundament der Irrationalität denn der Rationalität.

¹⁰¹ Karl R. Popper: Die offene Gesellschaft und ihre Feinde, Band 2, 1992, S. 266.

¹⁰² Mit dem Kopf der Kunden denken, ist eine sehr eingängige Forderung des Marketingansatzes.

treffen. Nicht die Vernunft ist der angemessene Leitfaden für unser Entscheiden, sondern Intuition und Gefühl sind die maßgeblichen Instanzen. Nur mit dem richtigen Spürsinn ist es möglich, die Strömungen in den Märkten zu entdecken und auszunutzen. Deswegen braucht der erfolgreiche Manager in erster Linie Gespür. Verstand und Vernunft folgen auf den hinteren Plätzen.

Der Irrationalist wird des Weiteren anführen, dass alles, was im Leben eines Menschen wirklich wichtig ist, über die Vernunft hinausgeht.¹⁰³ Selbst die vereinzelt zu findenden Wissenschaftler, die sich an das Gebot der Rationalität halten, tun das ausschließlich deswegen, weil sie die rationalistische Auffassung lieben. So ist sogar dort, wo der Rationalismus gelegentlich praktiziert wird, die Gefühlswelt das eigentlich Dominierende, weil sie und nicht die Vernunft es ist, in der sich der Rationalismus gründet. Nicht zuletzt, wird der Irrationalist argumentieren, ist es die Intuition, die mystische Einsicht in die Natur und das Wesen der Dinge, die einen guten Wissenschaftler ausmachen, nicht sein rationales Denken.

In Anbetracht der angeführten Einwände, wäre eine stichhaltige, unumstößliche Begründung dafür notwendig, warum wir uns rational verhalten sollen, warum es besser ist, rational zu sein als irrational. Der Rationalismus ist mitnichten evident. Das kategorische Verlangen „Sei rational!“ steht unter dem unausräumbaren Verdacht des Dogmatismus. Das Verlangen nach einer Letztbegründung für das Postulat nach Rationalität führt jedoch unweigerlich wieder in die Falle des Münchhausen-Trilemmas: Der Rationalismus lässt sich nicht begründen, ohne wiederum auf ein Dogma zurückzugreifen. Es gibt daher weder ein logisches Argument noch die Erfahrung, noch irgendeinen anderen Grund, die einen überzeugten Irrationalisten zwingend von seiner Einstellung abbringen könnten. Ein umfassender Irrationalismus ist logisch nicht widerlegbar.¹⁰⁴ Demzufolge kann es auch keine aus sich heraus überzeugenden Argumente geben, welche die Wahl zwischen Rationalismus und Irrationalismus entscheiden.¹⁰⁵

Aber selbst dann, wenn es zwingende Argumente gegen den Irrationalismus gäbe, ließe sich ein konsequenter Irrationalist nicht von seiner Haltung abbringen. Das liegt daran, dass Argumente den Irrationalisten nicht im Geringsten beeindrucken. Die irrationalistische Einstellung zeichnet sich ja gerade dadurch aus, dass sie sich an Argumente nicht gebunden fühlt. Wenn Menschen bereit sind, die Argumente anderer in Betracht zu ziehen, dann haben sie die rationa-

¹⁰³ Siehe dazu und zu den folgenden Ausführungen Karl R. Popper: Die offene Gesellschaft und ihre Feinde, Band 2, S. 267 ff.

¹⁰⁴ Vgl. Karl R. Popper: Die offene Gesellschaft und ihre Feinde, Band 2, 1992, S. 271.

¹⁰⁵ Daraus folgt jedoch nicht, dass es überhaupt keine Argumente gibt, die dem vor der Wahl stehenden Manager bei seiner Entscheidung behilflich sein könnten. Sie sind allerdings nicht notwendig überzeugend.

listische Grundhaltung schon angenommen und dem Irrationalismus bereits eine Absage erteilt. Das Dilemma ist daher unlösbar: Um durch Argumente von der Vorteilhaftigkeit des Rationalismus überzeugt werden zu können, muss zuvor schon eine rationalistische Grundeinstellung vorhanden sein. Ein Mensch, der für sich persönlich den Rationalismus akzeptiert hat, hat dies daher ohne rationale Überlegung, aus einem „irrationalen Glauben an die Vernunft“¹⁰⁶ heraus getan.

Die Wahl zwischen kritischem Rationalismus und Irrationalismus ist logisch indeterminiert. Beide Positionen sind – im Gegensatz zum klassischen Rationalismus – logisch haltbar, so dass es jedem Menschen selbst zukommt, sich für die rationale oder die irrationale Lebensweise zu entscheiden.¹⁰⁷ Es gibt keinen letzten, nicht dogmatisch zu nennenden Grund, der den Entscheidungsrationalismus gegenüber einem Entscheidungsirrationalismus als einzig korrekte Lebenshaltung auszuzeichnen in der Lage ist. So schwer es dem überzeugten Anhänger des Vernunftgebrauchs auch fallen mag, es bleibt ihm nichts anderes übrig, als die stichhaltige Antwort auf die eingangs gestellte Frage „Warum der Vernunft folgen?“ schuldig zu bleiben. Versuche etwa, wie Nicholas Rescher sie unternimmt, der rationalen Entscheidung verglichen mit der irrationalen eine höhere Erfolgswahrscheinlichkeit zuzusprechen, sind – wie er unumwunden selbst zugesteht – nur vordergründig erfolgreich.¹⁰⁸ Das Argument, dass die Wahrscheinlichkeit, die verfolgten Ziele optimal zu erreichen, bei rationalem Entscheiden auf $p+r$ steigt, gegenüber p bei irrationalem Entscheiden, verliert alle Durchschlagskraft, wenn die Subjektivität dieser Wahrscheinlichkeiten eingeräumt werden muss. Und so kommt auch er als Anhänger einer pragmatischen Begründungsrationalität zu dem Schluss, dass wir überhaupt nicht in der Lage sind, „beweisen zu können, daß Rationalität sich auszahlt – weder mit Notwendigkeit noch auch nur mit Wahrscheinlichkeit und auf lange Sicht. ... Wir haben keine Garantie – uns stehen keine Mittel zur Verfügung, um im voraus zu entscheiden, daß es sich tatsächlich auszahlt, den Ratschlägen der Vernunft zu folgen.“¹⁰⁹

All dem zum Trotz handelt es sich bei der Wahl zwischen Rationalität und Irrationalität nicht um irgendeine x -beliebige intellektuelle Angelegenheit oder bloße Geschmacksfrage. Weil sie unsere ganze Einstellung zu anderen Menschen und zu den Problemen des sozialen und wirtschaftlichen Lebens zutiefst

¹⁰⁶ Karl R. Popper: Die offene Gesellschaft und ihre Feinde, Band 2, 1992, S. 270.

¹⁰⁷ Vgl. Karl R. Popper: Die offene Gesellschaft und ihre Feinde, Band 2, 1992, S. 271.

¹⁰⁸ Siehe dazu Nicholas Rescher: Rationalität, 1993, Kapitel 3, S. 38 ff.

¹⁰⁹ Nicholas Rescher: Rationalität, 1993, S. 44.

beeinflusst, ist sie eine moralische Entscheidung.¹¹⁰ Ob wir eine mehr oder minder radikale Form des Irrationalismus annehmen oder ob wir jenes minimale Zugeständnis an den Irrationalismus akzeptieren, das der kritische Rationalismus darstellt, diese Entscheidung ist grundlegend, von schwerwiegender Konsequenz und deshalb moralisch.¹¹¹ Zwar müssen wir auf Argumente verzichten, die den Ausgang dieser und anderer derart fundamentaler moralischer Entscheidungen notwendig bestimmen, nicht aber auf Argumente, die jemandem, der bereit ist, sich auf Argumente einzulassen, bei seiner Wahl behilflich sein können. Nichts hindert uns, die Methode rationalen Entscheidens, die im folgenden Abschnitt zu skizzieren sein wird, auch auf moralische Entscheidungen anzuwenden. Im Kern heißt das, die Konsequenzen sowohl des Irrationalismus als auch des Rationalismus abzuleiten und diese mit unserem Gewissen zu konfrontieren.

Wenn Popper – bei seiner politischen Analyse von Rationalismus und Irrationalismus – etwas als Folge des Irrationalismus ausmacht, das man nur als Verbrechen bezeichnen könne, dann mag dies zunächst sehr hart, unangemessen und vielleicht übertrieben scheinen.¹¹² Nicht jeder Irrationalist ist ein Verbrecher, könnten wir versucht sein, einzuwenden. Einige der größten Verbrecher dieses Jahrhunderts – Hitler, Stalin oder Mussolini – waren jedoch ganz typische Irrationalisten. So mag es zwar richtig sein, dass der Irrationalismus nicht in jeder seiner Formen eine verbrecherische Einstellung hervorbringt, durch seine Ablehnung der Vernunft und seine Betonung von Gefühl und Leidenschaft als Entscheidungsmaximen scheint er jedoch ein besonders „verbrechensfreundliches“ Klima zu schaffen. Im Übrigen scheint es angebracht, die möglichen Folgen solcher grundlegenden moralischen Entscheidungen nicht durch eine rosarote Brille zu betrachten, sondern das Augenmerk besonders auf die schlechtesten aller denkbaren Entwicklungen zu richten. Insofern ist es gerechtfertigt, auf die verbrecherischen Folgen des Irrationalismus abzuheben.

Der Irrationalismus birgt den strukturellen Nachteil in sich, dass ihm der Rekurs auf die Vernunft für das Herbeiführen von Entscheidungen versperrt ist. Wenn Argumente nicht herangezogen werden können, um Probleme zu lösen, dann bleibt nur der Appell an Gefühle – an positive, wie die Liebe, die Vereh-

¹¹⁰ Die moralische Entscheidung ist nach dem Verständnis des kritischen Rationalismus deswegen keine reine Geschmacksfrage, weil sie nicht privaten Charakters bleibt, sondern nach außen, auf andere Menschen und ihr Leben wirkt. Vgl. dazu Karl R. Popper: Die offene Gesellschaft und ihre Feinde, Band 2, 1992, S. 271 und dort Anmerkung 10; Karl R. Popper: Die offene Gesellschaft und ihre Feinde, Band 1, 1992, S. 197 und dort insbesondere Anmerkung 11.

¹¹¹ Siehe Karl R. Popper: Die offene Gesellschaft und ihre Feinde, Band 2, 1992, S. 271.

¹¹² Vgl. Karl R. Popper: Die offene Gesellschaft und ihre Feinde, Band 2, 1992, S. 274.

rung, die Ergebnisheit an die gemeinsame Sache, sofern das nicht fruchtet, aber auch an negative, wie Furcht, Hass, Neid oder Gewalt. Dass gerade die positiven Gefühle wie die Liebe nicht in der Lage sind, Entscheidungskonflikte aufzuheben, zeigt Popper an einem harmlosen, aber symptomatischen Beispiel: „Tom liebt das Theater, und Dick liebt den Tanz. Tom besteht voll Sympathie darauf, zu einem Tanz zu gehen, während Dick um Toms willen das Theater besuchen will.“¹¹³ Der Konflikt wird um so größer, je größer die Liebe zwischen den beiden Beteiligten ist. Es gibt keinen Weg, ihn durch Liebe zu lösen, so dass vermutlich ein Machtwort des „Stärkeren“ die Entscheidung bringen muss. Damit ist jedoch der erste Schritt in die Gewaltherrschaft bereits vollzogen.

In Kombination mit einer weiteren wichtigen Grundüberzeugung des Irrationalismus, dass nämlich die Menschen prinzipiell ungleich sind, rückt die Verbrechenherrschaft eines Hitler oder Stalin in greifbare Nähe – nicht aus Zufälligkeiten, sondern aus den irrationalistischen Grundannahmen heraus. Wer sich an Leidenschaften und Gefühlen orientiert, wird fast unvermeidlich zu der Idee der Ungleichheit der Menschen geführt. Weil der gefühlsbetonte Irrationalist nicht allen Menschen die gleiche Wertschätzung entgegenbringen kann, wird er diese zwangsläufig und zunächst unverfänglich einteilen in solche, die ihm nahe stehen, und solche, die ihm fern stehen. Niedere Gefühle bewirken jedoch zunehmend krassere Kategorisierungen: Freund – Feind, Führer – Geführte, Freie – Sklaven, Herrenmenschen – Untermenschen. Die Ablehnung der „Idee der Gleichberechtigung im politischen Leben, das heißt im Gebiet jener Probleme, die die Gewalt von Menschen über andere Menschen betreffen“¹¹⁴, nennt Popper zu Recht verbrecherisch. Denn damit gibt es eine Rechtfertigung dafür, wenn der Weiße den Schwarzen versklavt und in Ketten legt, wenn der Übermensch den Untermenschen in die Gaskammer treibt.

Solche furchtbaren Konsequenzen des Irrationalismus sind auf betriebswirtschaftlichem Feld normalerweise nicht zu beobachten. Parallelen gibt es dennoch, wenn auch gewöhnlich mit weniger krassen Auswirkungen. Auch Unternehmer haben Gewalt über andere Menschen, so dass sich manches von dem, was im politischen Bereich gilt, übertragen lässt. Wenn unternehmerische Entscheidungen durch Machtkämpfe und Intrigen statt durch Argumente herbeigeführt werden, wenn die Vernunft durch die Emotion ersetzt wird, dann drohen hohe, bestandsgefährdende Verluste, ein großer Teil der Arbeitsplätze ist in Gefahr, stehen Existenzen auf dem Spiel. Was auf dem politischen Feld offen als Verbrechen anzuklagen ist, wird betriebswirtschaftlich nicht selten als Managementversagen verharmlost und könnte doch ebenso gut als „Verbrechen“ gegen

¹¹³ Karl R. Popper: Die offene Gesellschaft und ihre Feinde, Band 2, 1992, S. 277.

¹¹⁴ Karl R. Popper: Die offene Gesellschaft und ihre Feinde, Band 2, 1992, S. 276.

die Arbeiter, Angestellten oder Kunden bezeichnet werden. Insofern vermag der Blick auf das Feld der Politik zu einer Revision eigener Maßstäbe Anlass geben. Die rein betriebswirtschaftliche Konsequenzenanalyse des Irrationalismus verleitet zur Verharmlosung; das allein rechtfertigt den Exkurs in die Analyse der politischen Folgen des Irrationalismus.

Schlussendlich ist es das „Elend der Vernunft“, dass sie sich einerseits als die bessere und humanere Handlungsmaxime empfiehlt, dass sie andererseits jedoch den Beweis schuldig bleiben muss, dass es tatsächlich das Beste ist, was wir tun können, wenn wir ihren Vorgaben folgen.¹¹⁵ So ist es von tiefer Ironie, dass wir die Vorteilhaftigkeit der kritisch rationalen Einstellung nicht beweisen, sondern nur an sie glauben können.

3. Ein Leitfaden für kritisch-rationales Entscheiden

Wessen moralische Entscheidung zugunsten kritischer Rationalität ausgefallen ist, wer sich dazu entschlossen hat, der kritischen Vernunft zu folgen, der wird nach greifbaren Regeln suchen, die ihn im Umgang mit den alltäglichen Entscheidungsproblemen leiten. Eine Entscheidungstheorie, die der Entscheidungspraxis zur Seite stehen will, kann daher keine Entscheidungslogik, sondern muss Methodenlehre sein, muss im Sinne Poppers eine Logik des Entscheidens darstellen.¹¹⁶ Sie muss ein Geländer zum Festhalten sein und Leitlinien enthalten, wie in Entscheidungssituationen zu verfahren ist, wenn kritisch-rationales Entscheiden das Ziel ist.¹¹⁷

Kritisch-rationales Entscheiden und kritisch-rationales Forschen sind zwei einander sehr ähnliche Vorgänge mit vergleichbarer Zielsetzung: Während der Entscheider nach der besten Handlungsmöglichkeit sucht, fahndet der Forscher nach der wahren Theorie. Aufgrund dieser Ähnlichkeit und weil das Konzept kritischer Rationalität der wissenschaftlichen Methode einen sehr hohen Stellenwert im Bewältigen von Problemen zumisst, ist es empfehlenswert und frucht-

¹¹⁵ Nicholas Rescher: Rationalität, 1993, S. 270.

¹¹⁶ Vgl. dazu die Differenzierung Poppers zwischen Forschungslogik und Logik der Forschung. Karl R. Popper: Logik der Forschung, 1994, S. 22 ff.

¹¹⁷ Der Hinweis sei gestattet, dass methodologische Regeln keine unumstößlichen Wahrheiten, keine auf höherer Eingebung beruhenden Gesetze, sondern schlicht Festsetzungen sind, deren Bestand sich allein durch ihre Zweckmäßigkeit und Widerspruchsfreiheit erweisen kann. Der mit dieser Arbeit präsentierte Leitfaden für kritisch-rationales Entscheiden kann und will nicht mehr sein als ein Vorschlag, der ganz im Sinne der kritizistischen Grundeinstellung zum eigenen kritischen Prüfen und Verbessern herausfordert und sich ausschließlich durch seine Zweckmäßigkeit zur Anwendung empfehlen kann.

bar, zunächst die Spielregeln kritischer Wissenschaft zu studieren, um daraus für die Konzeption der Spielregeln des Entscheidens zu profitieren.¹¹⁸

Zu den Maximen des kritisch-rationalen Wissenschaftlers gehört die kritizistische Grundeinstellung: Er wird idealerweise alles zu vermeiden suchen, was eine Falsifikation seiner wissenschaftlichen Hypothesen verhindern könnte. Falls ein Satzsystem von Widerlegung bedroht ist, wird er nicht nach Kräften versuchen, es zu retten und in Übereinstimmung mit der Wirklichkeit zu bringen, sondern er wird an seiner Widerlegung arbeiten. Er wird sich Experimente ausdenken, die primär die Falschheit, nicht die Richtigkeit des Systems nachzuweisen geeignet sind. Und wenn sich die Unhaltbarkeit seiner Hypothesen gezeigt hat, wird er nicht verzagen, sondern neue phantasievollere und kühnere Vermutungen aufstellen und diese den gleichen und neuen, noch strengeren Prüfungen aussetzen. Der kritisch-rationale Wissenschaftler wird nie dem Ehrgeiz nachgeben, Recht zu behalten; er wird vielmehr unablässig und rücksichtslos kritisch – auch gegen sich selbst – nach der Wahrheit streben. „Niemals setzt sich die Wissenschaft das Phantom zum Ziel, endgültige Antworten zu geben oder auch nur wahrscheinlich zu machen; sondern ihr Weg wird bestimmt durch ihre unendliche, aber keineswegs unlösbare Aufgabe, immer wieder neue, vertiefte und verallgemeinerte Fragen aufzufinden und die immer nur vorläufigen Antworten immer von neuem und immer strenger zu prüfen.“¹¹⁹

Der Prozess kritisch-rationaler Wissenschaft zeichnet sich nach Popper durch drei Meilensteine aus: (1) Problem, (2) Lösungsversuche und (3) Elimination.¹²⁰ Ausgangspunkt ist immer ein Problem oder eine Problemsituation: eine Beobachtung, die nicht im Einklang mit den Erwartungen steht, ein Phänomen, das nach Erklärung verlangt. Der Wissenschaftler wird auf solche Probleme mit Lösungsversuchen antworten, d. h. er wird Theorien aufstellen, seine Phantasie bemühen, um zu Modellen und Hypothesen zu gelangen, die das bis dato Unverstandene verstehbar und erklärbar machen. Weil Theorien aber immer nur Vermutungen und nie endgültiges Wissen darstellen können, werden sie fast regelmäßig in die Irre gehen. Der im Wissenschaftsprozess entscheidende Schritt ist daher die kritische Prüfung der aufgestellten Hypothesen und die Eliminierung falsifizierter Theorien, so dass nur diejenigen übrig bleiben, die

¹¹⁸ Die folgenden Ausführungen orientieren sich an dem Wissenschaftsverständnis des kritischen Rationalismus. Karl R. Popper hat in vielen Büchern, Aufsätzen und Vorträgen seine Vorstellung von Wissenschaft kundgetan. Die erste, aber schon sehr umfassende Skizze der kritischen Wissenschaftsmethodologie enthält Karl R. Popper: *Logik der Forschung*, 1994, erstmals erschienen 1935; weitere Ausführungen findet der interessierte Leser in Karl R. Popper: *Objektive Erkenntnis*, 1994, in Karl R. Popper: *Ausgangspunkte*, 1994 und in Karl R. Popper: *Alles Leben ist Problemlösen*, 1994.

¹¹⁹ Karl R. Popper: *Logik der Forschung*, 1994, S. 225.

¹²⁰ Siehe dazu und zu den folgenden Ausführungen Karl R. Popper: *Alles Leben ist Problemlösen*, 1994, S. 15 ff.

der kritischen Prüfung zumindest vorläufig standgehalten haben. Popper nennt sie bewährte Theorien.¹²¹

Das dreistufige poppersche Phasenschema wissenschaftlichen Vorgehens ist den in Abschnitt B.I.1. diskutierten Phasenschemata des Entscheidungsprozesses ähnlich (Abbildung 8). Am Anfang steht in beiden Fällen ein Problem, und am Ende steht ein Entschluss bzw. eine vorläufig akzeptierte Theorie. Unterschiede bestehen in der Granularität der Gliederung der Prozesse, in der Terminologie – die Entscheidungsforschung spricht positiver von Bewertung und Auswahl statt von Prüfung und Elimination – und im Objekt der Bemühungen: Der Wissenschaftler generiert Theorien, der Entscheider Handlungen. Die Parallelen allerdings sind unübersehbar, und die Ähnlichkeit in Prozessablauf und -inhalt setzt sich außerdem fort in der Zielsetzung. Wissenschaftler wie Entscheider verfolgen als regulative Idee ein positives, idealisiertes Ziel: Der erste strebt nach wahrer Erkenntnis, der zweite nach der optimalen Handlung.

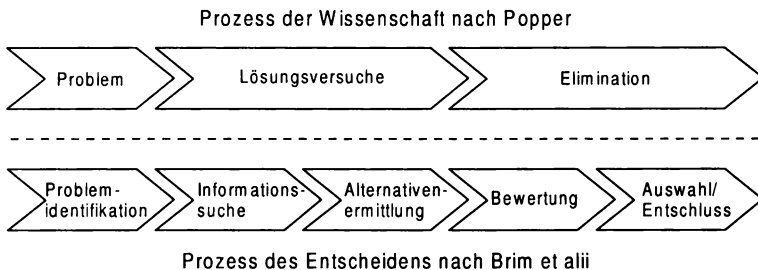


Abbildung 8: Wissenschafts- und Entscheidungsprozess im Vergleich

Der poppersche Wissenschaftler versucht, dem Wahrheitsziel Schritt um Schritt näherzukommen, indem er seine Problemlösungsversuche sowohl einzeln kritisch prüft als auch miteinander vergleicht und die widerlegten verwirft. Das Ziel seines Bemühens ist jedoch kein negatives: Nicht das Falsifizieren um des Falsifizierens willen wird er anstreben, sondern positiv nach der Vermehrung der Menge bewährter Theorien trachten.¹²² Ebenso wenig kann dem Entscheider daran gelegen sein, am Ende seines Weges mit leeren Händen dazustehen und nicht zu wissen, was nun zu tun ist. Er will handeln, oder es besteht ein Zwang zum Handeln; der Entscheidungsvorgang muss daher ein Ergebnis liefern, das umgesetzt werden kann. Das Ziel des Entscheidungsträgers ist nicht

¹²¹ Vgl. zum Konzept der Bewährung im kritischen Rationalismus Karl R. Popper: Logik der Forschung, 1994, S. 198 ff.

¹²² Vgl. Karl R. Popper: Logik der Forschung, 1994, S. 32.

das Kritisieren um der Kritik willen, sondern die Auswahl einer Handlungsalternative aus mehreren Optionen.

Kritisch-rationales Entscheiden ist ein dem kritisch-rationalen Wissenschaften so verwandtes Konzept, dass eine Methodologie kritisch-rationalen Entscheidens von der kritisch-rationalen Wissenschaftslehre profitieren kann und profitieren sollte. Es ist ein Gebot der Forschungsökonomie, das Rad nicht immer neu zu erfinden, sondern Bewährtes zu übertragen und – wo nötig – entsprechend anzupassen. Das im Rahmen dieser Arbeit dargestellte kritisch-rationale Entscheiden soll aus diesem Grund als kritisch-wissenschaftliches Entscheiden konzipiert werden; es soll ein Entscheiden sein, welches sich die kritisch-rationale Grundeinstellung zu Eigen macht und auf einer Methodenlehre ruht, die ihr Vorbild in der „Logik der Forschung“ findet.

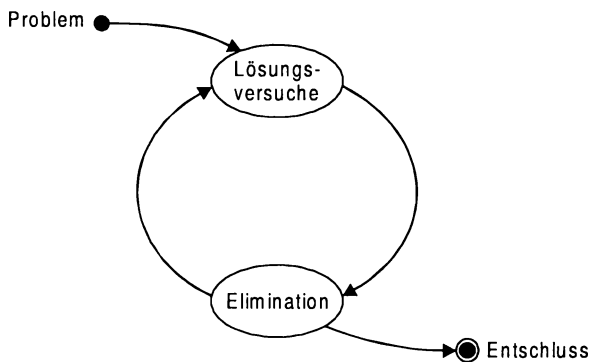


Abbildung 9: Modell des kritisch-rationalen Entscheidungsprozesses

Abbildung 9 zeigt die Phasen Lösungsversuche und Elimination als die beiden bedeutsamen und unter Umständen sehr zeitaufwendigen Prozesse, durch die sich eine kritisch-rationale Entscheidung, ausgehend vom Problem bis hin zum Entschluss, vollziehen wird. Anders als in Abbildung 8 wird deutlich, dass der Entscheidungspfad in der Regel nicht linear vom Problem zum Entschluss führt, sondern dass es sich bei Entscheidungen um iterative Prozesse handelt, die sich im positiven Sinn im Kreis drehen dürfen.

Wenn im Folgenden einzelne Schritte herausgegriffen und nacheinander en Detail untersucht werden, dann darf die zwangsläufige Sequenz der Abhandlung nicht ihrerseits als Regel missinterpretiert werden.¹²³ Die einzelnen Stadien des

¹²³ Die in Abschnitt B.I.1. geschilderte Falsifikation des Brim'schen Phasenschemas als Effizienzhypothese soll ernst genommen werden und Berücksichtigung finden.

Entscheidungsprozesses können und dürfen vielmehr in beliebiger Reihenfolge durchlaufen werden. Die einzigen Fixpunkte eines singulären Entscheidungsvorgangs sind das Problem, mit dem alles beginnt, und der Entschluss, der das Ende des Prozesses markiert, dabei jedoch sehr wohl Ausgangspunkt eines neuen Entscheidungsprozesses sein kann.¹²⁴ Freigestellt ist die Abfolge der einzelnen Phasen zwischen Problem und Entschluss; mehr als eine Tendenzaussage oder -empfehlung lässt sich – will man die Witte'schen Studien¹²⁵ nicht ignorieren – nicht rechtfertigen. Vermutlich ist es aber zumindest nicht schädlich, als Hauptrichtung dem Gefälle der Abbildung 9 zu folgen. Die Methode kritisch-rationales Entscheiden kann in Anlehnung an das wissenschaftliche Forschen in ihren Grundzügen als eine Vorgehensweise charakterisiert werden, die, ausgehend vom Problem, intelligente Problemlösungsmöglichkeiten kreiert, diese einer kritischen Prüfung unterzieht und die unzureichenden konsequent eliminiert. Wobei unbedingt hervorzuheben ist: So wenig sich die Wissenschaft darauf beschränken darf, ausschließlich zu widerlegen, zu eliminieren und auszusondern, so wenig darf im Entscheiden das Schlechtmachen dominieren. Die konstruktive und kreative Suche nach Problemlösungen ist ein notwendiges und unverzichtbares Element beider Prozesse.

III. Kreation von Problemlösungen im kritisch-rationalem Entscheidungsprozess

Problemlösungsversuche setzen voraus, dass es ein Problem gibt. Das ist trivial, aber wichtig. Denn ohne Problem gibt es auch keine Entscheidung. Entscheidungen lassen sich nur so verstehen – das ist die in Abschnitt B.I.1. vertretene These –, dass ihr logischer Ausgangspunkt ein Problem ist. Die wichtige Phase der Entwicklung möglichst intelligenter Problemlösungen findet demnach ihren logischen Ursprung in einem Problem, in einer Abweichung des Ist vom Soll. Prozessual zerfällt sie in zahlreiche Einzelaktivitäten.

Während im Wissenschaftsprozess Problemlösungsversuche normalerweise darin bestehen, neue theoretische Modelle aufzustellen, die auf bislang offene Fragen Antworten geben, spielen im Entscheidungsprozess über die auch hier vorzufindenden Modellbildungsaktivitäten hinaus zwei weitere Tätigkeiten eine

¹²⁴ Dieser neue Entscheidungsprozess könnte beispielsweise ein nachgelagerter in dem Sinne sein, dass er durch die getroffene Entscheidung erst angestoßen wird. Wer etwa eine Spülmaschine kauft, wird dadurch in eine neue Entscheidungssituation gebracht, weil er nun einen Spülmaschinenreiniger benötigt, eine neue Form der Arbeitsorganisation empfehlenswert scheint usw.

¹²⁵ Vgl. Eberhard Witte: Phasen-Theorem und Organisation komplexer Entscheidungsverläufe, 1988, S. 208 und Abschnitt B.I.1. dieser Arbeit.

erhebliche Rolle: die Alternativenkreation und die Erwartungsbildung. Mit Alternativenkreation ist gemeint, dass Handlungsoptionen aktiv ge- und/oder erfunden werden müssen; sie sind nicht einfach gegeben, sondern Gegenstand menschlicher Konstruktion und als solche gleichermaßen Voraussetzung wie Bestandteil des Modellbildungsprozesses. Die Erwartungsbildung betrifft sowohl die Folgen, die aus der Umsetzung von Handlungsmöglichkeiten resultieren, als auch die Fortentwicklung der Umwelt bei unverändertem Status quo. Dabei setzt sie einerseits auf Ergebnisse der Alternativenkreation auf und liefert andererseits wichtige Voraussetzungen für die Elimination. Abbildung 10 zeigt das wechselseitige Zusammenspiel der angeführten Teilprozesse im Rahmen der Generierung von Problemlösungsversuchen. Die folgenden Abschnitte befassen sich ausführlich mit allen drei Aktivitäten.

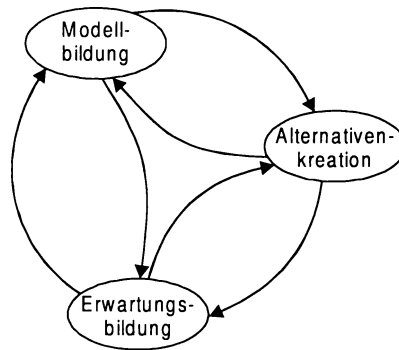


Abbildung 10: Die Entwicklung von Problemlösungsversuchen

1. Modellbildung: Problembeschreibung, Systemabbildung, Validierung

Der Vorgang der Modellbildung ist jedem Entscheidungsprozess inhärent. Selbst dann, wenn es Entscheidungsträgern nicht bewusst ist, agieren sie auf der Grundlage von Modellen – mentalen Modellen. Die Art der Modelle, die einer Entscheidung zugrunde gelegt werden, ist ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung der Rationalität einer Entscheidung. Im kritisch-rationalen Entscheidungsprozess wird das explizite Modellieren schwieriger Problemsituationen methodisches Prinzip und Bestandteil des Rationalitätspostulats.

Modellbildung ist kein homogener Vorgang, sondern eine hierarchische Komposition von Teilprozessen, die in ihrer Struktur den übergeordneten Prozess der Generation von Problemlösungsversuchen widerspiegelt. Das in Abbil-

dung 10 noch bestehende Aggregat Modellbildung löst Abbildung 11 in die wesentlichen Elemente Problembeschreibung, Systemabbildung und Validierung auf.

Die Problembeschreibung dokumentiert die Ist-Situation, das Zielsystem und die Abweichungen zwischen Ist und Ziel. Die Systemabbildung beschäftigt sich mit dem der Problemsituation zugrunde liegenden System. Sie identifiziert dessen Struktur und dessen Dynamik und generiert – zumeist in mehreren Schritten – ein Modell, welches seinerseits Gegenstand von Validierungsbemühungen ist.

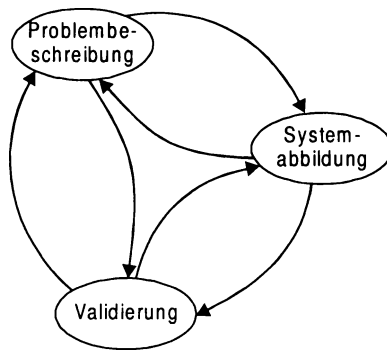


Abbildung 11: Substruktur des Modellbildungsprozesses

Ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur Problemlösung ist die möglichst klare Problemformulierung. Sofern es sich nicht um typische Routineprobleme handelt, empfiehlt sich, das Problem schriftlich festzuhalten. Die schriftliche Formulierung hat den nicht hoch genug zu schätzenden Vorteil, dass etwas, was zuvor Teil eines Subjekts, einer individuellen Persönlichkeit war, öffentlich wird und damit der kritischen Diskussion zugänglich ist.¹²⁶ Selbst wenn niemand sonst in den Entscheidungsprozess einbezogen ist, hat die Schriftform den Vorzug, zu objektivieren. Der niedergeschriebene Satz „löst“ sich vom Schreiber und kann nicht nur von anderen, sondern auch von ihm selbst kritisch geprüft werden.

Wie sollte eine gute Problemformulierung aussehen? Im betriebswirtschaftlichen Bereich wird sie typischerweise wenigstens zwei Elemente umfassen: eine Beschreibung des momentanen Zustandes, wobei sich fast immer eine dynamische Perspektive empfiehlt und eine Fixierung der angestrebten, künftigen

¹²⁶ Vgl. Karl R. Popper: Alles Leben ist Problemlösen, 1994, S. 23.

Situation, d. h. der Ziele, die verfolgt werden sollen.¹²⁷ Zu beiden Bereichen gibt es fast schon unüberschaubar viele Quellen, so dass sich die folgenden Ausführungen auf einige wichtige Hinweise beschränken können.¹²⁸

Problemsituationen entstehen selten über Nacht; die meisten haben eine Vorgeschichte, ein dynamisches Moment, so dass ihrem Charakter eine statische Problembeschreibung nicht in vollem Umfang gerecht werden kann. Wenn wir etwa feststellen, dass das Betriebsergebnis negativ ist, dass das nicht unseren Wünschen entspricht und wir deswegen etwas tun müssen, dann ist zwar eine Problembeschreibung erstellt, allerdings eine spärliche und wenig informative – eben eine statische. Anschaulicher und nachvollziehbarer wird die Problemformulierung, wenn wir sie mit einer Grafik (Abbildung 12) bereichern, die den zeitlichen Verlauf des Betriebsergebnisses wiedergibt. Es passt besser zu einer so rasch sich ändernden Welt, Probleme nicht statisch zu betrachten, sondern den Fokus auf die dynamische Entstehungsgeschichte zu richten.

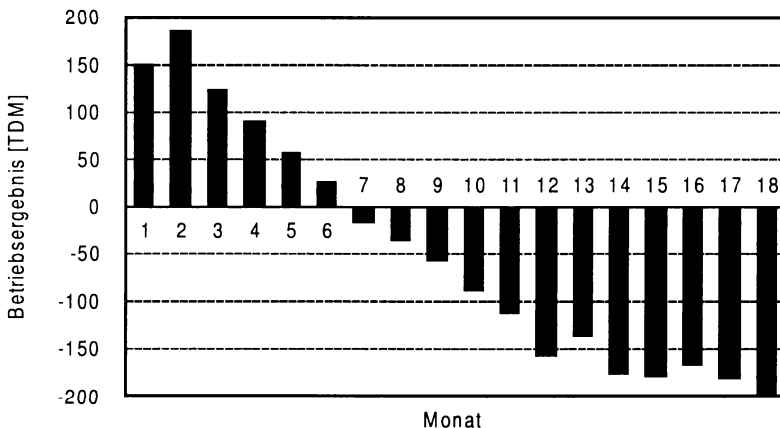


Abbildung 12: Betriebsergebnisentwicklung

¹²⁷ Wissenschaftliche Problemformulierungen fokussieren demgegenüber meistens auf Unverstandenes, Unerklärtes – auf Phänomene. Nicht ein Ist wird einem Soll gegenübergestellt, sondern etwas, das Verwunderung hervorruft, das eine Warum-Frage auslöst, wird in aller Regel zum Objekt wissenschaftlicher Probleme erkoren. Während zur Lösung praxisnaher betriebswirtschaftlicher Probleme meist eine geeignete Aktion zu suchen ist, strebt die Wissenschaft zur Lösung ihrer Probleme nach Theorien, d. h. ihr Ziel ist ganz allgemein Erkenntnis.

¹²⁸ Hilfsmittel zur Analyse und Dokumentation der Ist-Situation sind beispielsweise die Portfolio-Technik, Punktbewertungsverfahren oder Stärken-Schwächen-Profile. Vgl. dazu z. B. Hans H. Hinterhuber: Strategische Unternehmensführung – Strategisches Denken, 1996, S. 113 ff. sowie die dort angegebene Literatur.

Empfehlenswert ist außerdem, nicht bei der Variablen stehenzubleiben, die das Problembewusstsein unmittelbar hervorgerufen hat, sondern sich darüber hinaus zu fragen, ob es noch andere Faktoren gibt, die eventuell auch Bestandteil des Problems sein könnten. Möglicherweise stellt sich dabei heraus, dass auch der Marktanteil leicht, aber im letzten Jahr kontinuierlich gefallen ist, während die Lohnkosten Anfang des 2. Quartals einen deutlichen Sprung nach oben gemacht haben. Die Grafik, die den Ausgangspunkt der dynamischen Problemformulierung gebildet hat, leitet im besten Fall zu einer ganzen Reihe weiterer Kurvenzüge, welche die Problemsituation immer griffiger werden lassen.

Grafiken helfen bei der klaren und präzisen Formulierung des Problems. „Graphing variables over time forces us, rather obviously, to identify those variables in a system that are the symptoms of the problems we wish to study.“¹²⁹ Es ist nicht unbedingt notwendig, dass die genauen Zeitreihendaten der identifizierten Variablen bekannt oder verfügbar sind. Auf die absolute, hundertprozentige Genauigkeit jedes einzelnen Wertes kommt es selten an; die Tendenz, das zeitliche Verlaufsmuster ist entscheidend. Sofern das Entscheidungssubjekt davon eine Vorstellung hat – und diese sollte es haben – reicht auch eine ungefähre Skizze aus. Bei manchen Variablen, die nicht quantitativ gemessen werden können, ist das ohnehin der einzig denkbare Weg. Richardson und Pugh sehen es sogar als wahrscheinlicher an, dass „the modeler or the client knows the dynamic behavior of interest without referring to [external] data“¹³⁰. Auch Forrester glaubt, dass die Bedeutung der „mental data base“ gar nicht hoch genug eingeschätzt werden kann und in der Wissenschaft nicht genügend Beachtung findet.¹³¹

Zu der (dynamischen) Beschreibung des Ist-Zustands sollte die Fixierung des Zielzustands hinzutreten. Zwar ist erwiesen, dass Probleme nicht selten angegangen werden, ohne dass sich die Betroffenen über ihre Ziele vollständig im Klaren sind.¹³² Ganz ohne Zielvorstellungen kann es jedoch nicht gehen. Ein

¹²⁹ George P. Richardson/Alexander L. Pugh: Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO, 1981, S. 19.

¹³⁰ George P. Richardson/Alexander L. Pugh: Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO, 1981, S. 19.

¹³¹ Vgl. Jay W. Forrester: Policies, Decisions, and Information Sources for Modeling, 1994, S. 73.

¹³² Die Existenz von Zielunklarheit konnte nicht nur Dörner bei der Durchführung von Simulationsexperimenten beobachten (vgl. Dietrich Dörner: Die Logik des Mißlingens, 1995, S. 87 ff.); sie war auch empirisch nachzuweisen. Pritzl ermittelte im Rahmen einer empirischen Analyse eine beachtliche Häufigkeit subjektiver Zielunklarheit bei Führungskräften. Auf die Frage, wie klar die Zielsetzung des Gesamtunternehmens formuliert seien, antworteten immerhin 14,1 % der Befragten mit völlig unklar oder sehr unklar. Nur für 16,2 % waren die Zielsetzungen absolut klar. Zu diesen und weiteren interessanten Ergebnissen siehe Magdalena Pritzl: Die Bedeutung der Zielklarheit für die Führungskräfte des Unternehmens, 1987, S. 70 ff.

Problem konstituiert sich erst mit dem Vorliegen von Spezifikationen hinsichtlich der erwünschten Ausgestaltung der Zukunft. Ohne die Existenz von Zielvorstellungen, seien sie auch vage hinsichtlich Inhalt, Ausmaß oder Zeitrahmen, gibt es kein Problem.¹³³ Je klarer außerdem formuliert ist, was angestrebt werden soll, desto leichter fällt schließlich auch die Phase der kritischen Prüfung und Eliminierung unzureichender Alternativen. Auf eine möglichst präzise Formulierung der Ziele, die mit der Entscheidung verfolgt werden, sollte nicht verzichtet werden.

Ziele sind wertende Aussagen eines Individuums oder einer Gruppe darüber, wie die Zukunft aussehen soll. Eine gute Zielformulierung enthält eine Aussage zum Zielinhalt, dem angestrebten Ausmaß und dem zeitlichen Bezug.¹³⁴ Inhaltlich sollte festgeschrieben sein, ob ein Ziel z. B. auf Umsatz, Gewinn, ROI oder Marktanteile ausgerichtet ist; im Zielausmaß wird festgelegt, ob beispielsweise der Umsatz maximiert werden soll oder ob ein bestimmter, als befriedigend empfundener Wert anzustreben ist.¹³⁵ Der zeitliche Bezug legt schließlich fest, in welchem Zeitrahmen die Zielverwirklichung gewünscht ist.

Organisationen wie auch Individuen verfolgen bei ihren Entscheidungen häufig nicht ein einzelnes, sondern ein ganzes Bündel von Zielen. Sofern tatsächlich gegeben, sollte eine solche Zielppluralität in der Problemformulierung auch zum Ausdruck kommen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass zwischen den verfolgten Zielen in aller Regel Beziehungen bestehen, d. h. dass das Zielbündel ein Zielsystem ist. Die Elemente eines Zielsystems können dabei zueinander in konfliktärer, komplementärer oder indifferenter Beziehung stehen.¹³⁶

Die Zielformulierung – und damit die Zielbildung – ist ein für den Entscheidungsverlauf und die Entscheidungsqualität bedeutsamer, leider aber kein einfacher Prozess. Der Umfang der Literatur aus dem Bereich der betriebswirtschaftlichen Zielforschung zeugt von den Schwierigkeiten, die ein Entscheider bewältigen muss. In der Regel liegt für eine bestimmte Entscheidungssituation kein fix und fertig gebildetes und ausformuliertes Zielsystem vor, auf das ohne weitere Reflexion zurückgegriffen werden kann. Und selbst wenn es das gäbe,

¹³³ Diese Auffassung teilt auch Bretzke. Siehe Wolf-Rüdiger Bretzke: Der Problembezug von Entscheidungsmodellen, 1980, S. 72 f.

¹³⁴ Vgl. Edmund Heinen: Industriebetriebslehre als entscheidungsorientierte Unternehmensführung, 1991, S. 14.

¹³⁵ Bei der Festlegung des Zielausmaßes ist zu beachten, dass der anzustrebende Zielwert – z. B. ein Umsatz von DM 5 Mio. – auch tatsächlich erreichbar ist. Utopische Zielvorgaben sind nicht nur demotivierend, sondern – wie Popper ausführt – auch gefährlich. Vgl. dazu Karl R. Popper: Die offene Gesellschaft und ihre Feinde, Bd. I, S. 187 ff.

¹³⁶ Eine Erläuterung dieser Begriffe findet sich beispielsweise bei Edmund Heinen: Grundlagen betriebswirtschaftlicher Entscheidungen, 1976, S. 94 ff.

wären Anpassungsmaßnahmen auf die spezielle Situation unvermeidlich. Das Auffinden und Setzen von Zielen muss daher als schöpferischer Prozess betrachtet werden, der seinerseits durch besondere, hier nicht weiter behandelte Methoden Unterstützung erfahren kann.¹³⁷

Festzuhalten ist, dass die Formulierung der verfolgten Ziele möglichst aussagekräftig und möglichst umfassend erfolgen soll.¹³⁸ Die Zielformulierung „Wir wollen den Gewinn steigern“ ist viel weniger informativ als „Wir wollen bis zum Ende des Jahres den Gewinn um 20 % erhöhen“. Außerdem sollte die Zielbeschreibung möglichst detailliert Auskunft darüber geben, was erreicht und was vermieden werden soll. Noch besser wäre beispielsweise die folgende Formulierung: „Wir wollen bis zum Jahresende den Gewinn um 20 % steigern, ohne dabei

- die eigenen Mitarbeiter zu überlasten,
- Kunden zu verlieren,
- den eigenen Markt der Konkurrenz zu öffnen und
- die Zukunft des Unternehmens für ein einziges gutes Jahresergebnis zu verspielen“.

Die zusätzlichen Informationen präzisieren das Zielsystem des Entscheidungsträgers, nennen klar und deutlich, was es während des Entscheidungsprozesses zu beachten gilt, bzw. woran die Handlungsalternativen schließlich gemessen werden. Manche Sackgasse und mancher Irrweg bei der Suche nach Informationen, bei der Kreation von Handlungsalternativen und bei der Prognose der Konsequenzen kann auf diese Weise vermieden werden. Die Formulierung des Entscheidungsproblems, das es zu lösen gilt, wird vermutlich nicht auf Anhieb prägnant und erschöpfend gelingen. Häufig werden dem Entscheidungsträger zu Beginn des Entscheidungsprozesses gar nicht alle Ziele bewusst sein, so dass die eine oder andere Restriktion erst später ergänzt werden kann. Das ist andererseits auch kein Problem, denn der ganze Prozess der Entscheidungsfindung wird ja vielfach rückgekoppelt ablaufen. Wenn sich irgendwann im Entscheidungsprozess die Auffassung verfestigt, dass die Formulierung des Problems nicht präzise genug oder unvollständig ist, dann lässt sich das ändern.

Die Aufgabe der Modellbildung oder Modellkonstruktion besteht darin, ein Abbild des Wirklichkeitsausschnitts zu erstellen, der das Problem und seine Symptome umfasst und für die Lösung von Relevanz ist.¹³⁹ Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass Modellbildung in Entscheidungsprozessen immer und

¹³⁷ Hinweise dazu finden sich z.B. bei Edmund Heinen: Grundlagen betriebswirtschaftlicher Entscheidungen, 1976, S. 94 ff.

¹³⁸ Vgl. Ben Heirs und Peter Farrell: Entscheidungsmanagement, 1989, S. 52 ff.

¹³⁹ Vgl. Bernd Schmidt: Systemanalyse und Modellaufbau, 1985, S. 17 ff.

völlig unabhängig vom Einsatz von formalen Konzepten und Computern vorkommt. Es ist nicht vorstellbar, dass Entscheidungen ohne den Gebrauch zumindest mentaler Modelle zustande kommen. Die Kreation mentaler Modelle mit all den damit verbundenen psychologischen Problemen ist jedoch nicht der Gegenstand des hier betrachteten Modellbildungsprozesses. Es ist eine der Basishypothesen dieser Arbeit, dass komplizierte Entscheidungsprobleme ohne den Einsatz expliziter, formaler Modelle nicht mehr rational zu lösen sind. Der Gegenstand der Modellbildung ist daher enger abzugrenzen: Modellbildung wird als mehrstufiger Formalisierungsprozess betrachtet, der vom mentalen Modell ausgeht und über verbale sowie grafische Modelle hin zum formalen mathematischen Modell voranschreitet.

Insbesondere in der frühen amerikanischen Literatur wird die Konstruktion von Modellen verbreitet als eine Kunst bezeichnet;¹⁴⁰ darin kommt die Auffassung zum Ausdruck, dass sich der Modellbauer bei seiner Arbeit nur in geringem Maß an Regeln orientieren kann und überwiegend auf sein Geschick und seinen Einfallsreichtum angewiesen ist. Nun ist zwar unbestreitbar, dass es bei der Entwicklung von Modellen sehr viele Freiheitsgrade gibt, die durch ein streng regelgeleitetes Vorgehen nicht alle geschlossen werden können. Allgemein gültige, für jedes Planungsproblem zutreffende Anweisungen, d. h. Algorithmen, wie Modelle zu entwickeln sind, sind nicht verfügbar.¹⁴¹ Auch wenn das Ziel dasselbe ist, gibt es immer der Wege mehrere, um zu ihm zu gelangen. Intuition, Geschick und natürlich Erfahrung werden daher bei einem guten Modellkonstrukteur sicherlich vonnöten sein; aber das impliziert nicht notwendigerweise, die Modellentwicklung als rein künstlerische Tätigkeit zu verstehen und von vornherein gegen jegliche methodische Anleitung zu immunisieren. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Modellkonstruktion als ein lehr- und lernbarer Entscheidungsprozess betrachtet, in dessen Verlauf es in einer Vielzahl von Fällen eine begründete Wahl zwischen Modellierungsalternativen zu treffen gilt.¹⁴² Regelbasierte Hilfestellung bei diesen Wahlakten ist – wie Kapitel D. am Beispiel der objektorientierten Systemmodellierung zeigt – sehr wohl möglich.

Bevor ein Modell als Hilfsmittel in einer Entscheidungssituation herangezogen werden kann, muss es daraufhin überprüft werden, ob es als adäquate Abbildung des realen Systems gelten kann. Es wäre nicht sinnvoll, Modellexperimente als Entscheidungsgrundlage heranzuziehen, die auf der Basis eines unge-

¹⁴⁰ Siehe u. a. T. H. Naylor/J. L. Balintfy/ D. S. Burdick/K. Chu: *Computer Simulation Techniques*, 1966, S. 22; William. T. Morris: *On the Art of Modeling*, B-707, S. 1967; R. W. Conway: *Some Tactical Problems in Digital Simulation*, 1963, S. 61.

¹⁴¹ Vgl. Peter Milling: *Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik*, 1980, S. 111.

¹⁴² Die gleiche Auffassung vertritt Steffen Harbordt: *Computersimulation in den Sozialwissenschaften*, 1974, S. 66.

testeten Modells durchgeführt wurden. Nur dann, wenn das Modell ein valides Abbild der Realität darstellt, können Aktionen, die sich im Modellexperiment als vorteilhaft erwiesen haben, guten Gewissens auf die Wirklichkeit übertragen werden. Insofern ist die Modellvalidierung eine sehr wichtige Aufgabe. In Abschnitt D.IV. werden grundlegende erkenntnistheoretische und methodische Probleme der Validierung erörtert und Tests für die Überprüfung objektorientierter Simulationsmodelle vorgeschlagen.

2. Das Auffinden und Erfinden von Handlungsalternativen

Die klassische Entscheidungstheorie sieht die Bestimmung des Alternativenfelds nicht als Problem. Die Menge von Handlungsalternativen ist dem Entscheidungsträger einfach und vollständig vorgegeben.¹⁴³ Sie ist schlicht da; die Frage, woher sie kommt und wie sie entsteht, wird nicht gestellt. Dass es sich die klassische Theorie damit zu einfach macht, dürfte kaum bestritten werden. Problemlösungsalternativen müssen zumeist mühsam erarbeitet werden, und die Vollständigkeitsbehauptung realer Entscheidungsfelder erscheint schon dem „gesunden Menschenverstand“ unplausibel und bestenfalls als Idealisierung akzeptabel. Dass die Annahme vollständiger Handlungsfelder bei tatsächlichen Entscheidungen nicht haltbar ist, wurde denn auch in zahlreichen empirischen Untersuchungen nachgewiesen.¹⁴⁴ Die normative Formulierung als Vollständigkeitspostulat ist durch die Widerlegung der auf das Ist zielenden Behauptung jedoch nicht getroffen. Aus der These, dass die Entscheidungsqualität umso besser sein muss, je näher man einer Vollständigkeit kommt, d. h. je mehr Alternativen berücksichtigt werden, ließe sich auch weiterhin die Empfehlung ableiten, so viele Alternativen wie irgend möglich zu entwickeln und in die Entscheidungsfindung einzubeziehen.

Aber auch gegen das normativ vorgetragene Vollständigkeitspostulat lassen sich gewichtige Argumente – methodische wie empirische – ins Feld führen.

¹⁴³ Vgl. z. B. Edmund Heinen: Entscheidungstheorie, 1997, S. 1133. „Die Entscheidungstheorie geht davon aus, dass sich das Individuum vor eine Anzahl von Alternativen gestellt sieht, von denen eine auszuwählen ist.“ Vgl. z. B. Günter Bamberg/Adolf G. Coenenberg: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre, 1996, S. 15. „... das Entscheidungsmodell [muss] den gesamten Möglichkeitenraum des Entscheidungsträgers, so wie er sich aufgrund der gegebenen Informationen darstellt, voll ausschöpfen“.

Der Frage, warum diese Voraussetzungen, die im Lichte der dann einsetzenden Kritik so offensichtlich als abwegig erscheinen, so lange nicht problematisiert wurden, soll hier nicht weiter nachgegangen werden. Der interessierte Leser sei dazu auf die Ausführungen Wolf-Rüdiger Bretzkes: Der Problembezug von Entscheidungsmodellen, 1980, S. 104 f. verwiesen.

¹⁴⁴ Vgl. zu diesem Themenkomplex Jürgen Hauschildt: Alternativenzahl und Effizienz von Entscheidungen, 1983, S. 97 ff. und die dort angegebene Literatur.

Der Versuch, durch eine möglichst vollständige Erfassung aller Handlungsalternativen zu einer schließlich optimalen Entscheidung zu gelangen, führt nicht zum beabsichtigten Ziel der Optimalität, sondern in einen Zustand maximaler Verwirrung und letztlich völliger Entscheidungsunfähigkeit, wie das folgende Beispiel illustriert.¹⁴⁵ Wenn Herr Müller sich morgens überlegt, ob er mit dem Auto oder dem Zug zur Arbeit fahren soll, dann erscheint sein Problem klar abgegrenzt und relativ einfach zu lösen. Vollständig ist der in Betracht gezogene Alternativenraum jedoch in keiner Weise, was dann leicht einsichtig ist, wenn man sich als eine denkbare weitere Option den Wohnungswechsel vergegenwärtigt. Zöge Herr Müller in die Nähe seiner Arbeitsstätte, dann könnte er seinen täglichen Weg zu Fuß zurücklegen und wäre auf Auto oder Bahn nicht mehr angewiesen. Es ist offensichtlich, dass die Ergänzung des Alternativenraums um die Option des Umzugs das Problem einerseits zwar „vollständiger“ formuliert, andererseits aber die Komplexität der Entscheidung erheblich in die Höhe schnellte. Denn der Wohnort wäre ja nicht nur unter dem Aspekt geringer Entfernung zum Arbeitsplatz zu wählen, sondern darüber hinaus im Hinblick auf eine große Zahl weiterer Aspekte zu bestimmen, die dann ihrerseits eine zusätzliche Ausdehnung der Problemsicht ratsam erscheinen ließen.

Das Streben nach einer vollständigen Sammlung von Handlungsoptionen, um mit Bestimmtheit auch die bestmögliche dabei zu haben, verhindert in letzter Konsequenz überhaupt jede Entscheidung. Der Denk- und Suchprozess verlöre sich in der Weite grenzenloser Alternativenräume, so dass Entscheidbarkeit Unvollständigkeit als Notwendigkeit geradezu voraussetzt. Vor diesem Hintergrund drängt sich die Frage auf, warum in der entscheidungstheoretischen Literatur die Forderung nach vollständigen oder doch möglichst ausgedehnten Alternativenräumen immer und immer wieder erhoben wird.¹⁴⁶ An der Unerreichbarkeit des Vollständigkeitspostulats besteht zwar nirgendwo ein ernsthafter Zweifel.¹⁴⁷ Aber als ideale Zielvorstellung wird nicht an ihm gerüttelt. Die negativen Folgen unvollständiger Alternativenräume scheinen so evident, dass

¹⁴⁵ Vgl. Wolf-Rüdiger Bretzke: Der Problembezug von Entscheidungsmodellen, 1980, S. 106 ff.

¹⁴⁶ Vgl. z.B. Günter Bamberg/Adolf G. Coenenberg: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre, 1996, S. 15; Thomas Schildbach: Entscheidung, 1990, S. 64; Ben Heirs/Peter Farrell: Entscheidungsmanagement, 1989, S. 72 ff.

¹⁴⁷ In der Regel werden die Kosten der Informationsbeschaffung als Hindernis für die Erarbeitung eines vollständigen Alternativenfeldes angesehen. Vgl. Günter Bamberg/Gerhard Coenenberg: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre, 1996, S. 15 und S. 120 ff. und Jürgen Hauschildt: Alternativenzahl und Effizienz von Entscheidungen, 1983, S. 99 ff. Bretzke weist demgegenüber darauf hin, dass diese Sichtweise den irrigen Eindruck hervorruft, man könne in einer Welt, in der die Beschaffung von Informationen nichts kostet, Entscheidungsmodelle mit vollständigen Alternativenräumen konstruieren. Vgl. Wolf-Rüdiger Bretzke: Der Problembezug von Entscheidungsmodellen, 1980, S. 107, insbesondere Fußnote 4.

ein Zweifel an Sinn und Wünschbarkeit von Vollständigkeit gar nicht in Betracht gezogen wird. Oder um mit Hanssmann zu argumentieren: „Es leuchtet unmittelbar ein, dass keine noch so anspruchsvolle Analyse eine bessere Entscheidungsalternative auswählen kann, als in die Analyse einbezogen wurde. ... Es kommt also sehr darauf an, ein möglichst breites Alternativenspektrum in die Studie einzubeziehen.“¹⁴⁸ Aber nicht nur die Literatur scheint von der Sinnhaftigkeit einer „erschöpfende[n] Liste aller Alternativen“¹⁴⁹ überzeugt, auch die Praxis teilt offenbar diese Meinung: Wie sonst ließe sich die fast explosionsartige Ausbreitung von Kreativitätstechniken aller Art, die ja insbesondere dazu da sind, möglichst viele Handlungsideen zu erzeugen, erklären? Hauschildt kommt zu dem Schluss: „Die Tatsache, daß ... Kreativitätstechniken in der Praxis enthusiastisch aufgegriffen wurden, ist schon fast ein Effizienz-Urteil. Effizient ist, wer möglichst viele Ideen kreiert.“¹⁵⁰

Hinter dem Vollständigkeits-Argument steckt das unbedingte Optimierungsziel: Die Beschränkung auf einige wenige Alternativen muss zu Zweifeln an der Optimalität der Entscheidung führen, denn die beste Alternative könnte gar nicht zur Wahl gestanden haben. Wer die optimale Entscheidung als Ziel vor Augen hat, muss das zu verhindern suchen. Die unbedingte Optimalitätsforderung geht jedoch auf nichts anderes als das klassische Rationalitätskonzept zurück, das als logisch unhaltbar abgelehnt wurde. Der kritisch-rationale Entscheider wird demgegenüber die prinzipielle Fehlbarkeit des menschlichen Verstandes anerkennen und in seiner Entscheidungsmethodik berücksichtigen. Er wird nicht seine ganze Kraft darauf verwenden, die absolut optimale Entscheidung zu finden, sondern das Optimalitätsziel als regulative Idee empfinden.¹⁵¹ Das Ziel sollte zwar das Optimum sein; klar muss jedoch sein, dass niemals mit Sicherheit gesagt werden kann, ob eine konkrete Entscheidung wirklich optimal ist. Wohl lässt sie sich kritisieren; ihre Falschheit oder Unpassendheit kann nachgewiesen werden; ihre objektive Optimalität ist jedoch unter keinen Umständen beweisbar.

Für die Aufgabe, das Alternativenfeld zusammenzustellen, ergeben sich daraus wichtige Konsequenzen. Der kritisch-rationale Entscheider wird nicht ver-

¹⁴⁸ Friedrich Hanssmann: Einführung in die Systemforschung, 1987, S. 68.

¹⁴⁹ Gérard Gräfen: Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung, 1963, S. 105.

¹⁵⁰ Jürgen Hauschildt: Alternativenzahl und Effizienz von Entscheidungen, 1983, S. 99.

¹⁵¹ Damit wird bewusst eine Analogie zwischen Optimalentscheidung und Wahrheit hergestellt. So wie die Wahrheitsidee als regulative Idee im Wissenschaftsprozess dient, so ist auch die Optimalentscheidung das Leitziel im Entscheidungsprozess. Weder die Wahrheit einer Theorie noch die Optimalität einer Entscheidung lässt sich endgültig sichern, keine von beiden ist beweisbar. Vgl. zur Wahrheitsidee als regulativer Idee im Wissenschaftsprozess Karl R. Popper: Objektive Erkenntnis, 1994, S. 276 f.

suchen, seine Menge an Handlungsoptionen zu vervollständigen. Er wird sich damit zufrieden geben, eine überschaubare und zu bewältigende Zahl von Alternativen zusammenzutragen und diese dann so kritisch wie möglich zu prüfen. Er wird viel Intelligenz und Phantasie in die Alternativenentwicklung stecken und auch nach unterschiedlichen Lösungswegen Ausschau halten. Und er wird iterativ vorgehen: Auf die Elimination seiner Problemlösungsversuche wird er mit der erneuten Suche nach Auswegen reagieren.

Wie kommt der kritisch-rationale Entscheider zu seinen Alternativen? Ohne Anspruch auf Vollständigkeit seien hier drei wichtige Quellen angeführt: Phantasie/Kreativität zum Ersten, Technologien als Transformationen von Theorien zum Zweiten sowie Modellierung und Simulation zum Dritten. Zu Möglichkeiten und Grenzen insbesondere der beiden ersten Techniken gibt es viele Quellen, so dass es zulässig erscheint, sich auf den im Rahmen der vorliegenden Arbeit besonders interessierenden dritten Punkt zu konzentrieren.¹⁵²

Formale Modelle, gleich ob objektorientierte, systemdynamische oder mathematische, offerieren dem Nutzer eine mehr oder weniger umfangreiche Menge von Stellgrößen, auf die er Einfluss nehmen kann. Einige Diffusionsmodelle beispielsweise erlauben dem Entscheider, alternative Preis- und Werbestrategien zu simulieren und die aus ihnen resultierenden Auswirkungen auf den Produktlebenszyklus zu analysieren.¹⁵³ Aus der absoluten Anzahl an Stellgrößen einerseits und deren Kombinationsmöglichkeiten andererseits kann der Entscheidungsträger eine häufig extrem umfangreiche Zahl potenzieller Entscheidungsalternativen ableiten. Nicht selten erleichtern solche Modelle nicht nur die Zusammenstellung strukturerhaltender Aktionsmöglichkeiten, sondern unterstützen überdies auch wirksam beim Entdecken strukturverändernder Optionen. Ideen für Reorganisationen entstehen häufig beim Arbeiten mit Modellen. Wichtig ist an dieser Stelle auch der Hinweis, dass nicht nur die Arbeit mit dem fertigen Modell bei der Entdeckung von Handlungsalternativen helfen kann, sondern dass in vielleicht noch größerem Umfang der Modellentwicklungspro-

¹⁵² Zu den Möglichkeiten der Generierung von Handlungsoptionen durch Phantasie und Kreativität siehe die umfangreiche Literatur zu Kreativitätstechniken. Als Einstieg eignen sich beispielsweise Heinz Hoffmann: Kreativitätstechniken für Manager, 1987 oder James M. Higgins/Gerold G. Wiese: Innovationsmanagement – Kreativitätstechniken für den unternehmerischen Erfolg, 1996 oder Volker Bugdahl: Kreatives Problemlösen, 1991. Zur Transformation von Theorien in Technologien siehe Rudolf Köhler: Theoretische Systeme der Betriebswirtschaftslehre im Lichte der neueren Wissenschaftslogik, 1966, S. 61 ff.; Günter Schanz: Einführung in die Methodologie der Betriebswirtschaftslehre, 1975, S. 97 ff.; Wolf-Rüdiger Bretzke: Der Problembezug von Entscheidungsmodellen, 1980, S. 106 ff.

¹⁵³ Vgl. dazu Frank Maier: Die Integration wissens- und modellbasierter Konzepte zur Entscheidungsunterstützung im Innovationsmanagement, 1995, S. 82 ff.

zess und das damit notwendig verbundene intensive gedankliche Durchdringen des Problemfeldes zur Generierung von Aktionsalternativen beiträgt.¹⁵⁴

3. Die Bildung von Umfeldervwartungen

Fasst der Alternativenraum diejenigen Wege zusammen, die aus der Problemsituation hinaus zu einer Lösung führen können und der aktiven Gestaltung des Entscheiders zugänglich sind, so sind zum Umfeld alle solchen Faktoren zu zählen, die als weitgehend unbeeinflussbare Randbedingungen die Problemlösung erschweren, aber auch fördern können. Genauso wie beim als gegeben angenommenen Alternativenraum sieht die klassische Entscheidungstheorie auch bei der Menge zukünftiger Umfeldzustände keinen Grund zur Problematisierung: Sie setzt wiederum einfach voraus, dass der Entscheidungsträger sie alle kennt. Bretzke weist darauf hin, dass die klassische Entscheidungstheorie damit extrem hohe Anforderungen an die von ihr zu beratende Praxis stellt: Von „den Entscheidungssubjekten wird erwartet, dass sie ihr ‚Wissen‘ um die Beschaffenheit der Welt in Wahrscheinlichkeitsurteile über die möglichen Bedingungskonstellationen einbringen, unter denen die zu treffenden Entscheidungen ihre Wirkungen entfalten werden.“¹⁵⁵ Dass die Wirklichkeit anders aussieht, dass Entscheider nicht alle möglichen zukünftigen Umfeldzustände und ihre Eintrittswahrscheinlichkeiten kennen, ist im Grunde eine Trivialität und spätestens mit den Publikationen Simons problematisiert.¹⁵⁶

Der Ausweg, der bei der praktischen Anwendung entscheidungstheoretischer Modelle dann häufig beschritten wird, besteht darin, den Entscheider die umfeldbedingten und von ihm selbst nicht steuerbaren Einflussfaktoren, die auf die Resultate seiner Aktionsmöglichkeiten wirken, so gut und so vollständig wie eben möglich antizipieren zu lassen. Die Literatur über die Methoden, die dabei Anwendung finden können, bietet jedoch ein ziemlich uneinheitliches Bild.¹⁵⁷ Die Entscheidungstheorie selbst sieht die Erwartungsbildung überwiegend als rein wahrscheinlichkeitstheoretisches Problem. Die zukünftigen Umfeldzustände als solche werden als bekannt angenommen, so dass es allein darum geht, auf

¹⁵⁴ In der Literatur ist die Auffassung verbreitet, dass nicht nur das fertige Modell, sondern auch die Modellentwicklung selbst mit all den daraus resultierenden Erkenntnissen und Einsichten einen nicht zu unterschätzenden Wert an sich darstellt. Siehe beispielsweise Arie P. de Geus: *Modeling to Predict or to Learn?*, 1994, S. xiii–xvi; David C. Lane: *Modeling as Learning*, 1994, S. 85–117.

¹⁵⁵ Wolf-Rüdiger Bretzke: *Der Problembezug von Entscheidungsmodellen*, 1980, S. 143.

¹⁵⁶ Siehe insbesondere Herbert A. Simon: *Administrative Behavior*, 1957, S. 38 ff.

¹⁵⁷ Siehe dazu Wolf-Rüdiger Bretzke: *Der Problembezug von Entscheidungsmodellen*, 1980, S. 144.

der Basis der verfügbaren, regelmäßig unvollständigen Informationen möglichst gut die Wahrscheinlichkeit ihres Eintritts zu schätzen. Es ist demzufolge beispielsweise bekannt, dass der Dollarkurs in genau zwei Monaten entweder DM 1,70 oder 1,75 oder 1,80 beträgt. Andere Zustände sind ausgeschlossen. Einem Unternehmer, dessen Entscheidungserfolg wesentlich vom zukünftigen Dollarkurs beeinflusst wird, kommt nun die Aufgabe zu, die Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten des jeweiligen Kurses zu bestimmen, d. h. er muss z. B. zu der Aussage kommen, dass der Kurs mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,5 1,70 DM/\$, mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,3 1,75 DM/\$ und einer Wahrscheinlichkeit von 0,2 1,80 DM/\$ sein wird.¹⁵⁸

Abhandlungen über Prognosen und Prognoseverfahren finden sich in der entscheidungstheoretischen Literatur demgegenüber auffallend selten. Das ist überraschend, wenn man bedenkt, dass menschliches Handeln als Resultat menschlichen Entscheidens stets in die Zukunft gerichtet ist und zur Sicherstellung der Zielerreichung allein schon deswegen auf Prognosen zurückgegriffen werden muss. Gebräuchliche Prognoseverfahren verwenden entweder mathematisch-statistische Verfahren, um Vergangenheitsentwicklungen in die Zukunft fortzuschreiben, oder rekurren auf nomologische Hypothesen, um die Zukunft vorherzusagen. In den meisten Fällen wird die mit jeder Prognose unvermeidlich verbundene Unsicherheit dabei ausgeblendet: bedingte, mit Eintrittswahrscheinlichkeiten versehene Prognosen sind vergleichsweise selten. Erklären lässt sich dies etwas uneinheitliche Bild damit, dass sich die Entscheidungstheorie vornehmlich statisch auf die zu einem bestimmten zukünftigen Zeitpunkt denkbaren Zustände konzentriert, während Prognosen für sich in Anspruch nehmen, auch den dynamischen Aspekt der Entwicklung zu berücksichtigen. Bei der Bildung von Erwartungen gilt es aus diesem Grund, Zustands- und Entwicklungserwartungen voneinander zu unterscheiden.

Zustandserwartungen würden wir vermutlich – unseren alltäglichen Vorstellungen folgend – als gedanklichen Vorgriff auf in der Zukunft liegende Sachverhalte beschreiben. Der Vorstand eines Flugzeugbauers beispielsweise hat Erwartungen über das Niveau der Aluminiumpreise in einem halben Jahr. Der Unternehmer erwartet, dass sein schärfster Konkurrent in zwei Monaten seine Preise um 10 % gesenkt haben wird. Und jeder Mensch hat Erwartungen darüber, wie seine persönliche private und berufliche Situation in einem Jahr aussieht. Nicht immer sind Zustandserwartungen jedoch zwangsläufig zukunftsbe-

¹⁵⁸ Die Bestimmung von Wahrscheinlichkeiten erfolgt durch subjektive Schätzungen. Objektive Wahrscheinlichkeiten kann es – zumindest den modernen Vertretern einer präskriptiven Entscheidungstheorie zufolge – nicht geben. Allerdings wird darauf hingewiesen, dass Subjektivität nicht gleich Willkür bedeutet; denn auch subjektive Wahrscheinlichkeiten müssten bestimmten Anforderungen genügen. Vgl. dazu Franz Eisenführ/Martin Weber: *Rationales Entscheiden*, 1994, insbesondere S. 150 ff.

zogen. Manchmal ist das zustandsbedingende Ereignis bereits eingetreten, und es ist lediglich das Resultat noch unbekannt. Wenn wir etwa eine Schachtel Eier vor uns haben, deren Mindesthaltbarkeitsdatum abgelaufen ist, dann müssen wir damit rechnen, dass einige der Eier schlecht sind. Wir bilden uns also eine Erwartung über einen Zustand, der schon besteht, uns jedoch in diesem Moment noch nicht bekannt ist. Es zeigt sich, dass der Begriff der Zustandserwartungen selbst noch einmal in zwei Dimensionen zerfällt: in Erwartungen über zukünftig eintretende Zustände und in solche über gegenwärtig schon bestehende, aber unbekannte Zustände.

Entwicklungserwartungen beziehen sich demgegenüber auf den Verlauf und den Ausgang von Prozessen. Gegenstand der Erwartungsbildung sind zukünftige Veränderungen von Variablen im Zeitverlauf. Bretzke weist allerdings darauf hin, dass die „Unterscheidung von Zustands- und Entwicklungserwartungen insofern nicht hundertprozentig trennscharf ist, als auch Entwicklungen stets als Zustandsfolgen gedacht werden können und ein Entscheidungssubjekt häufig nicht an der Entwicklung von einer Variablen selbst, sondern an ihrer Ausprägung zu einem bestimmten Zeitpunkt interessiert ist“¹⁵⁹. Dennoch ist es oftmals von entscheidender Bedeutung, sich Erwartungen über den Verlauf bestimmter Faktoren zu bilden. Wenn der Dollarkurs in einem Jahr zwar bei unverändert 1,75 DM/\$ erwartet wird, jedoch zu befürchten steht, dass er dazwischen eine Schwächephase durchläuft, in deren Verlauf er bis auf 1,20 DM/\$ fällt, dann wäre eine Erwartungsbildung, die sich auf den Zustand in genau einem Jahr beschränkt, gefährlich. Richtig ist allerdings, dass sich Erwartungen über zukünftige Zustände und Entwicklungserwartungen ähnlich sind und dabei grundlegend von der Bildung von Erwartungen über gegenwärtig schon existente Zustände unterscheiden. Während bei letzteren der Rückgriff auf ein umfangreiches statistisches Instrumentarium möglich ist, kann der zukünftige Zustand eines dynamischen Systems in den meisten Fällen nur über dessen Entwicklung dorthin prognostiziert werden. Subjektive Urteile über die Wahrscheinlichkeit zukünftiger Zustände, wie sie die Entscheidungstheorie fordert, unterschlagen den Weg, der zu ihnen führt. Wenn daher die Entscheidungstheorie die Erwartungsbildung als überwiegend wahrscheinlichkeitstheoretisches Problem abhandelt, dann abstrahiert sie vom dynamischen Charakter der Welt, in der die Entscheidungen wirken.

Auch der Versuch der Bildung von Entwicklungserwartungen über Prognosen ist jedoch mit Schwierigkeiten behaftet. Notwendige Voraussetzung dafür sind Wenn-Dann-Hypothesen, aus denen sich die Erwartungen über die zeitli-

¹⁵⁹ Wolf-Rüdiger Bretzke: Der Problembezug von Entscheidungsmodellen, 1980, S. 145.

chen Verlaufsmuster ableiten lassen.¹⁶⁰ Hätten solche Wenn-Dann-Hypothesen den Charakter von universell gültigen und gesicherten Naturgesetzen, dann wäre es – so die weit verbreitete Meinung – zumindest prinzipiell möglich, einen in der nahen Zukunft eintretenden Umweltzustand mit Sicherheit vorausszusagen. Gäbe es beispielsweise das Gesetz „Wenn sich dunkelgraue Kumulus-Wolken am Himmel auftürmen, dann beginnt es in 30 Minuten zu regnen“ erlaubte es, bei Vorliegen der Randbedingungen, eine sichere Erwartung über den Wetterzustand in einer halben Stunde zu deduzieren.

Wild hat jedoch überzeugend nachgewiesen, dass dem Versuch sicherer Prognosen autonomer Umfeldentwicklungen über Kausalgesetze eine unüberwindbare logische Grenze gesetzt ist¹⁶¹. Wenn es darum geht, einen längeren Zeitraum zu überbrücken, dann müsste es entweder möglich sein, die Ursachen, die den zukünftigen Umfeldzustand herbeiführen, schon heute zu identifizieren, oder die Ursachen, der in der Zukunft wirkenden Ursachen, müssten aus Kausalgesetzen abgeleitet werden können. Beides scheint in hohem Maße problematisch. Wenn heute schon alle Ursachen für das Eintreten einer bestimmten Wirkung realisiert sind, dann bleibt unverständlich, warum diese Wirkung nicht schon eingetreten ist. Das Gesetz macht sich der Unvollständigkeit verdächtig. Der mit der zweiten Alternative angedeutete Ausweg, nicht die Wirkungen, sondern die Ursachen der Wirkungen vorherzusagen, erweist sich nicht als Ausweg, sondern als Falle eines infiniten Regresses; denn für die Prognose der Ursachen benötigt man nun ihrerseits wieder ein Kausalgesetz, das der oben skizzierten Problematik in gleicher Weise ausgesetzt ist.¹⁶² „Der Versuch, die Entwicklung von autonomen Umfeldvariablen über Kausalgesetze zu prognostizieren, führt damit in einen unendlichen Regress auf immer neue Kausalgesetze, d. h. die Anwendung kausalen Wissens produziert einen nicht einlösbaren Be-

¹⁶⁰ Siehe dazu etwa Günter Bamberg/Gerhard Coenberg: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre, 1996, S. 120 ff.

¹⁶¹ Vgl. Jürgen Wild: Probleme der theoretischen Deduktion von Prognosen, 1970, S. 553–576.

¹⁶² Formallogisch wird eine deduktive Prognose aus einem Gesetz und einer Menge von Randbedingungen abgeleitet:

Wenn Bedingung 1 und Bedingung 2 und ... und Bedingung n, dann P.

Nun Bedingung 1 und Bedingung 2 und ... und Bedingung n.

Also P.

Unter der Voraussetzung, dass (1) gilt, müsste zur unbedingten Vorhersage von P ebenfalls vorhergesagt werden, dass die unter (2) aufgeführten Bedingungen eintreten. Somit wäre für jede Bedingung 1, 2, ... n wiederum eine eigene Prognose zu erstellen, die aber die gleiche logische Struktur aufweist. Beim Versuch, Gesetzmäßigkeiten für die unbedingte Vorhersage heranzuziehen, stößt man daher zwangsläufig auf einen unendlichen Regress. Siehe dazu Jürgen Wild: Probleme der theoretischen Deduktion von Prognosen, 1970, S. 553–576, insbesondere S. 565 ff.

darf an zusätzlichem kausalem Wissen.“¹⁶³ Die theoriegestützte Deduktion sicherer Prognosen wäre daher selbst dann unmöglich, wenn es hervorragend bewährte Gesetzmäßigkeiten gäbe.

Einen Fehlschluss beginge jedoch, wer deswegen Prognosen generell als unwissenschaftlich ablehnte. Nur dem Gewissheitspostulat muss eine Absage erteilt werden. So wie Theorien nur gut geprüfte und bewährte Vermutungen sind, so sind auch Prognosen nichts anderes als bestmögliche Hypothesen über zukünftige Entwicklungen. Wir können und müssen uns damit bescheiden, konditionale Prognosen aufzustellen und Ad-hoc-Annahmen über die Antezedenzbedingungen zu machen.¹⁶⁴ Allerdings sind wir angesichts der komplexen Realität, in der wir unsere Prognosen erstellen müssen, häufig gezwungen, mehrere, sehr oft sogar sehr viele Wenn-Dann-Hypothesen miteinander zu koppeln, um zu realitätsadäquaten Vorhersagen zu kommen. Darin liegt ein weiteres, nicht zu unterschätzendes Problem.

Mag es in der künstlich vereinfachten Realität des naturwissenschaftlichen Laborexperiments in gewissen Grenzen noch möglich sein, die wechselseitig verflochtene Geltung von Wenn-Dann-Hypothesen aufzuheben, so erscheint dies für die soziale und ökonomische Entscheidungswirklichkeit illusorisch.¹⁶⁵ Einzelne sozialwissenschaftliche „Wenn-Dann-Gesetze“ haben meist ein nur begrenztes Geltungsintervall und werden von anderen Wenn-Dann-Beziehungen limitiert.¹⁶⁶ Schon dann, wenn verhältnismäßig wenige dieser Beziehungen miteinander verknüpft sind, ist es dem menschlichen Verstand kaum mehr möglich, eine Analyse vorzunehmen und eine Verhaltens- oder Zustandsprognose zu erstellen.¹⁶⁷ Und dies gilt auch für den rein theoretischen Fall, dass die Gesetzmäßigkeiten aller Beziehungen bekannt, d. h. die zur Verfügung stehenden Informationen vollständig und objektiv wären. Ein Beispiel soll dies illustrieren.

¹⁶³ Wolf-Rüdiger Bretzke: Der Problembezug von Entscheidungsmodellen, 1980, S. 155.

¹⁶⁴ Vgl. Jürgen Wild: Probleme der theoretischen Deduktion von Prognosen, 1970, S. 567 ff.

¹⁶⁵ Bei vielen physikalischen Experimenten werden die Reaktionsgefäße beispielsweise gegen magnetische oder elektromagnetische Strahlung abgeschirmt. Auf diese Weise versucht man Störungen, d. h. das Einwirken anderer Gesetze auf das Experiment zu verhindern.

¹⁶⁶ Das begrenzte Geltungsintervall kann sich dabei sowohl auf die Zeit oder den Raum als auch auf andere Variablen erstrecken. Würde man beispielsweise die Erfahrungskurve als eine sozialwissenschaftliche Gesetzmäßigkeit akzeptieren, so müsste man dennoch zugestehen, dass ihr keine raum-zeitlich universelle Geltung zukommt. Sie gilt in jedem Fall nur für eine bestimmte Technologie.

¹⁶⁷ Vgl. Dietrich Dörner et alii: Lohhausen, 1994 und Dietrich Dörner: Die Logik des Mißlingens, 1995.

Das Diagramm zeigt die Kaskadierung von Effekten in einem Ökosystem mit zwei Hauptkomponenten: Füchse und Hasen.

Fuchsebene:

- neugeborene Füchse** (oben links) führen zu einer **+** (positiven) Veränderung der **Fuchspopulation** (Mitte links).
- Die **Fuchspopulation** führt zu einer **+** (positiven) Veränderung der **Todesfälle Füchse** (unten links).
- Die **Todesfälle Füchse** führen zu einer **+** (positiven) Veränderung der **Nahrungsversorgung Füchse** (unten links).
- Die **Nahrungsversorgung Füchse** führt zu einer **+** (positiven) Veränderung der **Fuchspopulation**.
- Die **Fuchspopulation** führt zu einer **+** (positiven) Veränderung der **von Füchsen gefressene Hasen** (Mitte).
- Die **von Füchsen gefressene Hasen** führen zu einer **+** (positiven) Veränderung der **Todesfälle bei Hasen** (Mitte rechts).
- Die **von Füchsen gefressene Hasen** führen zu einer **+** (positiven) Veränderung der **Jagderfolgsquote Füchse** (unten).
- Die **Jagderfolgsquote Füchse** führen zu einer **+** (positiven) Veränderung der **Nahrungsversorgung Füchse**.

Hasenebene:

- neugeborene Hasen** (oben rechts) führen zu einer **+** (positiven) Veränderung der **Hasenpopulation** (Mitte rechts).
- Die **Hasenpopulation** führt zu einer **+** (positiven) Veränderung der **Todesfälle bei Hasen**.
- Die **Hasenpopulation** führt zu einer **+** (positiven) Veränderung der **natürliche Todesfälle bei Hasen ohne Füchse** (unten rechts).
- Die **Hasenpopulation** führt zu einer **+** (positiven) Veränderung der **Populationsdichte bei Hasen** (unten rechts).
- Die **Todesfälle bei Hasen** führen zu einer **+** (positiven) Veränderung der **natürliche Todesfälle bei Hasen**.
- Die **natürliche Todesfälle bei Hasen ohne Füchse** führen zu einer **+** (positiven) Veränderung der **natürliche Todesfälle bei Hasen**.
- Die **natürliche Todesfälle bei Hasen** führen zu einer **+** (positiven) Veränderung der **Populationsdichte bei Hasen**.
- Die **Populationsdichte bei Hasen** führt zu einer **+** (positiven) Veränderung der **Jagderfolgsquote Füchse**.
- Die **Populationsdichte bei Hasen** führt zu einer **-** (negativen) Veränderung der **von Füchsen gefressene Hasen**.

Zusammenfassung der Kaskaden:

- Die **Fuchsebene** (links) zeigt eine Kaskade von positiven Effekten, die von der **Fuchspopulation** über **Todesfälle Füchse** und **Nahrungsversorgung Füchse** bis hin zu **von Füchsen gefressene Hasen** und **Todesfälle bei Hasen** führen.
- Die **Hasenebene** (rechts) zeigt eine Kaskade von positiven Effekten, die von der **Hasenpopulation** über **Todesfälle bei Hasen** und **natürliche Todesfälle bei Hasen** bis hin zu **Populationsdichte bei Hasen** führen.
- Die **Populationsdichte bei Hasen** hat einen negativen Effekt auf die **von Füchsen gefressene Hasen**, was wiederum einen negativen Effekt auf die **Fuchspopulation** hat.

Mit der Verfügbarkeit von Computern hört dieses Defizit allerdings auf, ein wirkliches Defizit zu sein. Denn genau dort, wo der Mensch seine Schwächen hat, liegt die Stärke des elektronischen Rechenautomaten: Ohne zu ermüden, führt er eine Rechenoperation nach der anderen mit immer gleicher Präzision

DOI <https://doi.org/10.3790/978-3-428-49475-0>
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-12-20 19:30:04
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

und Geschwindigkeit aus. Wenn es demnach gelingt, die verhaltensrelevanten Wenn-Dann-Hypothesen zu identifizieren und mathematisch zu formulieren, dann ist es für einen Computer ein Leichtes, die Dynamik eines Systems präzise in die Zukunft berechnen (vgl. Abbildung 14).

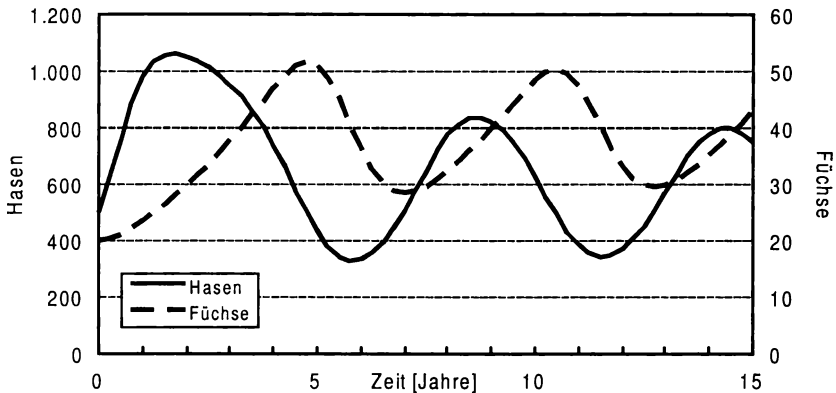


Abbildung 14: Entwicklung der Fuchs- und Hasenpopulation

Präzision bei der Auswertung eines komplexen Beziehungsgeflechts darf jedoch keinesfalls mit Prognosesicherheit verwechselt werden. Sicherheit bei der Erwartungsbildung über zukünftige Entwicklungen ist auch durch den Computereinsatz nicht erreichbar; denn unverändert hängt die Gültigkeit der Vorhersage am Vorliegen einer Vielzahl von Voraussetzungen. Simulationsläufe sind nicht mehr als konditionale Prognosen: richtig nur dann, wenn alle Randbedingungen sich in der Wirklichkeit genauso einstellen wie sie dem Computer vorgegeben sind und alle Zusammenhänge exakt so modelliert sind wie sie in der Realität bestehen. Der Vorzug computerbasierter Simulation besteht allerdings darin, zumindest eine Fehlerquelle an wichtiger Stelle auszuschalten: Wo der Mensch seiner Disposition nach nicht mehr in der Lage ist, die aus einer nur mäßig miteinander verknüpften Menge von Wenn-Dann-Bedingungen resultierenden dynamischen Implikationen abzuleiten, kann der Computer die Entwicklungspfade auch hochgradig vernetzter Systemmodelle in kürzester Zeit und mit höchstmöglicher Genauigkeit berechnen.

Es mag hart klingen, aber im Grunde ist es nicht mehr als eine Binsenweisheit: Objektiv sichere Erwartungen über Umfeldentwicklungen sind unerreichbar. Als Entscheider müssen wir uns damit abfinden, dass wir nicht in die Zukunft sehen können, und es uns demnach auch nicht möglich ist, die Entwicklung des relevanten Umfeldes mit Sicherheit zu prognostizieren. Der Einsatz von mathematischen Modellen und Computersimulationen vermag nichtsdesto-

trotz komplizierte Entscheidungssituationen merklich zu vereinfachen und die Erwartungsbildung zu verbessern. Weil in einer Computersimulation alle Annahmen eines Entscheiders über die Entwicklung des Umfeldes verarbeitet werden können und somit der Zwang zur Vereinfachung aus Gründen kognitiver Beherrschbarkeit weitgehend entfällt, lässt sich durch den Einsatz von Simulationsmodellen ein realistischeres Bild der Randbedingungen gewinnen, die auf das Entscheidungsproblem Einfluss nehmen.

IV. Die Phase der Elimination im kritisch-rationalen Entscheidungsprozess

Die kritische Prüfung der identifizierten und zur Wahl stehenden Entscheidungsalternativen und die konsequente Elimination von unbrauchbaren Ideen sind zentrale Charakteristika kritisch-rationalen Entscheidens. Als methodische Regeln sind sie der Wissenschaftslehre des kritischen Rationalismus entlehnt, so dass es sinnvoll erscheint, zunächst noch einmal einen Blick auf das Vorgehen des idealtypischen popperschen Wissenschaftlers zu werfen.¹⁶⁹

1. Falsifikation in der Wissenschaft

Hat der Wissenschaftler als Antwort auf ein ihn bewegendes Problem eine neue, kühne Hypothese aufgestellt, wird er sie auf ihre Gültigkeit hin überprüfen. Er testet intensiv und hartnäckig, ob sie mit der Wirklichkeit konform geht oder zu ihr in Widerspruch steht. Als popperscher Naturwissenschaftler wird er sich bei dieser kritischen Prüfung des Experiments als Mittel bedienen und dieses so konzipieren, dass es in erster Linie auf die Widerlegung, nicht die Bestätigung der neuen Theorie zielt. Mit dem Ziel der Falsifikation an die kritische Prüfung von neuen Hypothesen zu gehen, ist deshalb so wichtig, weil „Beobachtungen und erst recht Sätze über Beobachtungen und über Versuchsergebnisse immer *Interpretationen* der beobachteten Tatsachen sind“ – „*Interpretationen im Lichte von Theorien*“ fügt Popper noch hinzu.¹⁷⁰ Genau aus diesem Grund sei es so trügerisch leicht, Verifikationen für eine Theorie zu finden, und deshalb unerlässlich, eine sehr kritische Haltung gegenüber den eigenen Theorien einzunehmen.¹⁷¹ Der idealtypische Wissenschaftler stellt seine Theo-

¹⁶⁹ Siehe dazu unter anderem Karl R. Popper: *Alles Leben ist Problemlösen*, 1994, S. 15 ff.

¹⁷⁰ Karl R. Popper: *Logik der Forschung*, 1994, S. 72 Fußnote *2.

¹⁷¹ Siehe Karl R. Popper: *Logik der Forschung*, 1994, S. 72 Fußnote *2.

rien deswegen auf eine harte Probe, indem er im Experiment die Umwelt so gestaltet, dass sie für seinen Lösungsversuch möglichst ungünstig wird.¹⁷² Er wird nicht gleich nach dem ersten erfolglosen Widerlegungsversuch davon ausgehen, dass seine Theorie Bestand hat, sondern weitere und schärfere Falsifikationsversuche unternehmen. Erst wenn seine Theorie eine Vielzahl solcher Prüfungen überstanden hat, wird er sie als vorläufig bewährt betrachten.

In der kritischen Prüfung von Theorien spielen Experimente eine wichtige Rolle. Sie dienen dazu, bestimmte, exponierte Aussagen einer Theorie auf ihre Konsistenz mit der Wirklichkeit zu testen. Ein Chemiker beispielsweise, der das Phänomen der Verbrennung erklären möchte, könnte die Vermutung haben, dass alle brennbaren Stoffe eine Substanz enthalten, die ab einer bestimmten Temperatur mit einem Feuerschein entweicht. Diese Theorie verlangt unbedingt, dass *alle* Stoffe beim Verbrennen an Gewicht verlieren. Der Chemiker wird nun zum Testen seiner Hypothese Verbrennungsexperimente durchführen und beispielsweise finden, dass Holz leichter wird, wenn es verbrennt, ebenso eine Kerze oder eine Schale mit Benzin. Er wird sich immer raffiniertere Experimente ausdenken, um seine Theorie zu prüfen. Irgendwann wird er auf diese Weise auch einmal dazu kommen, Eisenspäne bis zur Verbrennung zu erhitzen, und feststellen, dass diese schwerer geworden sind. Oder er wird eine Kerze in einem hermetisch abgeschlossenen, mit Luft gefüllten Glaskolben abbrennen und registrieren, dass keine Gewichtsverminderung eintritt. In diesem Fall wird er seine Theorie als widerlegt betrachten und sich eine neue ausdenken.¹⁷³ Und auch diese wird er wieder kritisch prüfen und dazu zahlreiche Experimente durchführen.

Inwiefern kann der kritisch-rationale Entscheider vom popperschen Idealwissenschaftler lernen? Handlungsalternativen wie Theorien sind Problemlösungsversuche, und insofern sind die Alternativen des Entscheiders vergleichbar mit den Theorien des Forschers. Können aber allein deswegen Theorieentwürfe und Entscheidungsalternativen einem ähnlichen Selektionsprozess unterworfen werden? Denn hinsichtlich ihrer sprachlichen Struktur und ihres Aussagegehaltes gibt es beträchtliche Unterschiede: Theorien haben die logische Form von Allsätzen und behaupten beispielsweise „Alle Raben sind schwarz“ oder „Alle elektrischen Ladungen bestehen aus einem ganzzahligen Vielfachen des elektrischen Elementarquantums“. Handlungsalternativen lassen sich demgegenüber in eine Form bringen, die eine Aufforderung zur Aktion ausdrückt: „Senke den Preis von Produkt XY um 5 %“ oder „Investiere in Maschine A“. Handlungsalternativen behaupten nicht eine Tatsache, sondern benennen eine Tätigkeitsop-

¹⁷² Vgl. Karl R. Popper: Alles Leben ist Problemlösen, 1994, S. 25.

¹⁷³ Die Falsifikation einer Theorie darf nicht als unumstößliche Tatsache missverstanden werden. Sie ist ein Beschluss, der sich bei einer weiteren Überprüfung selbst als falsch herausstellen kann. Auch beim Falsifizieren einer Theorie sind Menschen fehlbar.

tion. Das hat gravierende Konsequenzen für die Elimination: Während falsche empirische Theorien mehr oder weniger eindeutig an der Realität scheitern, ist das bei falschen oder schlechten Handlungsalternativen nicht der Fall.

Wie ist das zu verstehen? Die Theorie, dass alle Schwäne weiß sind, erweist sich in dem Augenblick als falsch, da irgendwo auf der Welt ein schwarzer Schwan gesichtet wird. Ab diesem Moment passt die Theorie nicht mehr auf die Wirklichkeit, und man könnte sagen, sie scheitert an der Beobachtung eines schwarzen Schwans.¹⁷⁴ Die Falsifikation von Theorien basiert demnach auf wertfreien Tatsachenaussagen. Lediglich die Annahme oder Ablehnung einer solchen Tatsachenaussage erfordert einen – wertdurchtränkten – Beschluss. Die Elimination von Entscheidungsalternativen demgegenüber ist vor allem Anderen „Wertungsarbeit“; denn die Handlungsalternativen eines Entscheiders vermögen, anders als die kühnen, phantasievollen Hypothesen des Wissenschaftlers, nicht an der Realität, sondern nur an ihm selbst, d. h. an den von ihm verfolgten Zielen, zu scheitern. Deshalb hat es der Entscheider schwerer als der Wissenschaftler. Ihm fehlt die Wirklichkeit als schwerer zu bestechendes Prüfkriterium. Wenn die Experimente der zu prüfenden Theorie widersprechen, wenn die Theorie X behauptet und das Experiment Y zeigt, dann wird der Wissenschaftler durch die Beobachtung dieses Sachverhaltes genötigt, die Theorie als falsch zu verwerfen. Der Entscheider kann demgegenüber allein sich selbst als Maßstab nehmen. Ihm bleibt nur das eigene Zielsystem als Messlatte.

Aber nicht genug damit, dass dem Entscheidenden ein weitgehend objektives Selektionskriterium fehlt, der Prozess der Selektion ist überdies von komplizierterer logischer Struktur; denn die Entscheidungsalternativen lassen sich nicht unmittelbar an den Zielen messen. Vielmehr ist es zunächst notwendig, die Auswirkungen einer Alternative auf den Zielerreichungsgrad zu bestimmen; erst dann kann die Elimination all jener Entscheidungsalternativen erfolgen, deren Zielerreichung nicht den Anforderungen genügt. Konsequenzanalyse und Selektion müssen Hand in Hand arbeiten. Ohne die Folgen einer bestimmten Handlungsoption zu kennen, kann ihr Zielerreichungsgrad nicht bestimmt und nicht bewertet werden; und ohne Bewertung der Zielerreichung einer Alternative ist ihre Elimination unmöglich. Aus diesem Grund verdient die Konsequenzanalyse besondere Aufmerksamkeit.

¹⁷⁴ Streng wissenschaftstheoretisch können allerdings nur Sätze an Sätzen scheitern, so dass es logisch einwandfrei heißen muss: Der Allsatz „Alle Schwäne sind weiß“ ist dann falsifiziert, wenn ein singulärer Basissatz beispielsweise der Form „In Heidelberg im Zoo ist am 12.05.1997 ein schwarzer Schwan aus dem Ei geschlüpft“ als Tatsache akzeptiert ist. Vgl. Karl R. Popper: Logik der Forschung, 1994, S. 73.

2. Die Analyse der Handlungskonsequenzen

Die Analyse der Handlungskonsequenzen zählt zu den besonders schwierigen Aufgaben im Entscheidungsprozess. Der Entscheider ist aufgefordert, sich weit reichende Vorstellungen von den Folgen seiner Handlungen zu bilden. Er muss vorhersagen, wie die Realisierung einer Alternative auf die von ihm verfolgten Ziele wirken würde, wobei er – wie in Abschnitt B.III.3. ausgeführt – berücksichtigen muss, dass das Umfeld keine mit Sicherheit zu prognostizierende Konstante darstellt, sondern verschiedene Entwicklungen nehmen kann. Zudem wäre es in den meisten Fällen eine unzulässige Vereinfachung, den dynamischen Charakter des zu lösenden Problems zu vernachlässigen. Das allerdings hat zur Folge, dass die Konsequenzen der Handlungsoptionen auch hinsichtlich ihres zeitlichen Verlaufs analysiert werden müssen.

Was das in der Praxis bedeutet, macht Abbildung 15 plastisch: Der Entscheidungsträger muss den von der Alternativenmenge, der Menge möglicher Umfeldentwicklungen und der Zeit aufgespannten Entscheidungskubus mit Ergebnisvektoren füllen. Dass dies ohne Hilfsmittel einer Herkulesaufgabe gleich kommt, zeigt schlichte Kombinatorik. Selbst bei nur zwei möglichen Handlungsalternativen, fünf relevanten Randbedingungskonstellationen und drei Zielgrößen sind bei einer dynamischen Betrachtung über 20 Jahre schon 600 Ergebniswerte zu ermitteln.

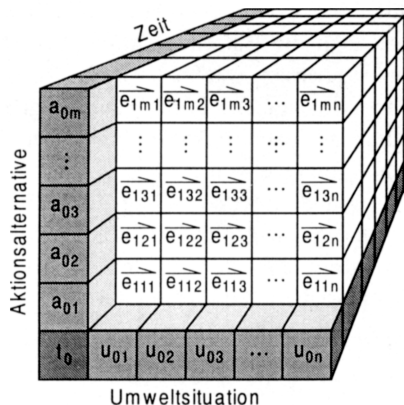


Abbildung 15: Konsequenzenanalyse als äußerst komplexe Aufgabe

Die Konsequenzenanalyse hat jedoch nicht nur mit dem Problem der sehr schnell sehr großen Zahl zu kämpfen. Mindestens ebenso schwer wiegt, dass es in den meisten Fällen absolut kein triviales Unterfangen ist, vorneweg die Fol-

gen einer zur Wahl stehenden Handlung überhaupt zu ermitteln. In realen Entscheidungssituationen sind unmittelbar zu durchschauende Wirkungsbeziehungen sehr selten, so dass es dem Entscheider – ganz im Gegensatz zur Unterstellung der klassischen Entscheidungstheorie – schwer fallen dürfte, jeder zur Wahl stehenden Handlungsalternative ein eindeutiges Ergebnis zuzuordnen. Ist jedoch unbekannt, welche Resultate die Umsetzung einer Handlungsoption mit sich bringt, lässt sich nicht ermitteln, wie gut diese Option geeignet ist, die verfolgten Ziele zu erreichen. Selektion und Elimination stehen und fallen mit den Ergebnissen der Konsequenzenanalyse. Wie also lassen sich die potenziellen Handlungsfolgen wenigstens einigermaßen zuverlässig ermitteln?

Die Konsultation entscheidungstheoretischer Literatur ergibt – wenn sich überhaupt eine Aussage findet – meist nicht mehr als den Hinweis, bei der Prognose der Folgen der zur Auswahl stehenden Aktionsalternativen auf Theorien und Ursache-Wirkungs-Hypothesen zurückzugreifen bzw. entsprechende Wirkungsmodelle aufzustellen.¹⁷⁵ Die Probleme, die bei der theoretischen Deduktion von Prognosen aus Kausalgesetzen auftreten, werden in der Regel jedoch ebenso wenig thematisiert wie die Vorgehensweise erläutert. Dass sich dem Versuch, Prognosen auf kausales Wissen zu gründen, hohe Hindernisse in den Weg stellen, wurde bereits in Abschnitt B.III.3. thematisiert. Bei der Konsequenzenanalyse von Handlungsoptionen ist die Situation allerdings etwas besser als bei der Vorhersage der Umfeldentwicklung: Nicht nur, dass es sich von Natur aus um die beherrschbare Form der konditionalen Prognose handelt, die für die Konsequenzenanalyse benötigt wird; von Vorteil ist überdies, dass die Konditionen Gestaltungsvariablen des Entscheidungsträgers darstellen. Wild nennt diese Sonderform der konditionalen Prognose aktionsabhängig oder aktionsbedingt.¹⁷⁶ Wie bei der prognosebasierten Erwartungsbildung sind Wenn-Dann-Hypothesen erforderlich, die hier allerdings dazu verwendet werden, die Folgen eigener Aktionsmöglichkeiten vorherzusagen. Damit zeichnet sich die aktionsabhängige Prognose – zumindest in ihrer idealisierten Form – dadurch aus, dass die Bedingungen der zur Prognose herangezogenen Wenn-Dann-Hypothesen der Gestaltung des Entscheiders zugänglich sind und mit den zur Wahl stehenden Handlungsoptionen zusammenfallen. Der Entscheider braucht sich keine Gedanken darüber zu machen, welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, damit die Bedingungen, von deren Sosein die Richtigkeit oder Falschheit der Prognose ja abhängt, zutreffen; als Akteur hat er es in der Hand, die Voraus-

¹⁷⁵ Vgl. beispielsweise Gérard Gräfen: *Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung*, 1963, S. 106; Günter Bamberg/Adolf G. Coenenberg: *Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre*, 1996, S. 21; Franz Eisenführ/Martin Weber: *Rationales Entscheiden*, 1993, S. 29.

¹⁷⁶ Vgl. Jürgen Wild: *Probleme der theoretischen Deduktion von Prognosen*, 1970, S. 567.

setzungen in entsprechender Weise zu schaffen. Die Verwirklichung einer aktionsabhängigen konditionalen Prognose hängt damit ausschließlich von der vorherigen Durchführung geeigneter Maßnahmen ab.¹⁷⁷

Wenn alle Bedingungen im Wenn-Teil einer Wenn-Dann-Hypothese durch entsprechende Handlungen erfüllt werden können, lässt sich aus ihrem Dann-Teil die Handlungskonsequenz deduktiv nach folgendem Schema ableiten:

Handlungsoption:	Produktpreis um 5 % erhöhen.
Wenn-Dann-Hypothese:	Wenn der Produktpreis um 5 % steigt, dann sinkt die Nachfrage um 3 %.
Handlungskonsequenz:	Nachfrage sinkt um 3 %.

Die ausschließlich aktionsabhängige Prognose kommt damit der Idealvorstellung von einer gesetzmäßig determinierten, sicheren Vorhersage am nächsten. Die Voraussetzungen allerdings, die auch bei dieser Prognoseform erfüllt sein müssen, damit wirklich hundertprozentige Prognosesicherheit gegeben ist, sind immer noch sehr realitätsfern. Denn um von einer *ausschließlich* aktionsabhängigen Prognose sprechen zu können, müssten sämtliche Antezedenzbedingungen der benutzten Gesetze durch eigene Aktionen realisierbar sein, und es dürften keine Störfaktoren oder Außeneinflüsse auftreten, die den Erfolg der Aktion beeinträchtigen oder die Gültigkeit der Gesetze aufheben.¹⁷⁸ Das System, in dem die beabsichtigten Handlungen ihre Wirkung entfalten, müsste geschlossen und durch die herangezogenen Ursache-Wirkungs-Beziehungen vollständig beschrieben sein – eine Forderung, die in realen Entscheidungssituationen schwerlich zu erfüllen sein wird.

Aber selbst wenn alle genannten Bedingungen erfüllt wären, dem Entscheider wäre dadurch nur vordergründig geholfen. Betriebswirtschaftliche Systeme mit der ihnen eigenen Verbindung von sozialen und ökonomischen Elementen zeichnen sich insbesondere durch ein vielfältig vermaschtes Geflecht von Ursache-Wirkungs-Beziehungen aus. Eine einzelne Wenn-Dann-Aussage wie in obigem Beispiel kann daher kaum als zutreffende Beschreibung eines sozioökonomischen Beziehungsgeflechtes gelten. Schon bei einer verhältnismäßig geringen Zahl miteinander verknüpfter Wenn-Dann-Aussagen, wird es jedoch außerordentlich schwer, aus diesen die Wirkungen bestimmter Maßnahmen noch zu deduzieren.¹⁷⁹

¹⁷⁷ Siehe Jürgen Wild: Probleme der theoretischen Deduktion von Prognosen, 1970, S. 570.

¹⁷⁸ Siehe Jürgen Wild: Probleme der theoretischen Deduktion von Prognosen, 1970, S. 570.

¹⁷⁹ Vgl. zu diesem Themenfeld George A. Miller: The Magical Number Seven, Plus or Minus Two – Some Limits on Our Capacity for Processing Information, 1956, S. 81 ff.; Richard M. Shiffrin/Robert M. Nosofsky: Seven Plus or Minus Two – A Com-

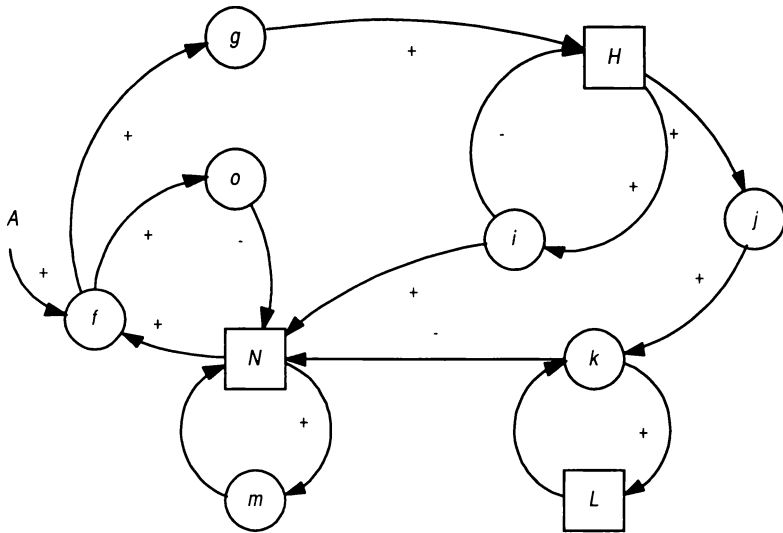


Abbildung 16: Systemkomplexität als Problem für die Konsequenzenanalyse

Abbildung 16 stellt zur Verdeutlichung des Problems ein mäßig komplexes Beziehungsgeflecht zwischen Variablen dar. Ein Pfeil zwischen zwei Variablen mit einem Pluszeichen ist so zu interpretieren, dass zwischen diesen eine gleichgerichtete Beziehung besteht: Je größer beispielsweise Variable *A* desto größer ist auch Variable *f*. Ein Pfeil mit einem Minuszeichen signalisiert eine gegengerichtete Beziehung: Wenn z. B. Variable *k* im Wert steigt, dann sinkt der Wert von Variable *N*. Ein Entscheider, der vor der Wahl steht, *A* zu erhöhen oder zu verringern, wird sich schon in diesem relativ einfachen Beispiel schwer tun, die Konsequenzen seines Tuns intuitiv abzuschätzen, selbst dann, wenn für jede einzelne Beziehung eine exakte mathematische Wenn-Dann-Beziehung formuliert ist. Der Grund dafür ist, dass es zwischen den Variablen sowohl positive als auch negative Kopplungen gibt und dass darüber hinaus auch Rückkopplungen vorkommen, was dem menschlichen Verstand eine Analyse sehr schwer macht.¹⁸⁰

Wenn die theoriegestützte Deduktion der Folgen von Handlungsalternativen an der Komplexität der dafür benötigten Kausalsysteme scheitert, dann bedarf es eines anderen, praktikableren Ansatzes. Eine weitere Möglichkeit, die Kon-

mentary on Capacity Limitations, 1994, S.357 ff. Siehe auch Jay W. Forrester: Counterintuitive Behavior of Social Systems, 1975, S.211 ff.

¹⁸⁰ Siehe auch Jay W. Forrester: Counterintuitive Behavior of Social Systems, 1975, S.211 ff.

sequenzen von Aktionen zu ermitteln, besteht im „einfachen“ Ausprobieren. In der Wissenschaft und im Ingenieurwesen sind Experimente wichtige Instrumente, um Theorien und Technologien zu prüfen und die falschen oder unbrauchbaren zu eliminieren. Der Ingenieur, der ein Stahlseil für eine Gondelbahn auswählen muss, wird die zur Wahl stehenden Seile mit dem auszuhaltenen Gewicht belasten und feststellen, ob sie reißen oder der Zugkraft widerstehen. Der Autoentwickler wird Crash-Tests durchführen, um herauszufinden, ob Konstruktion A oder B den Insassen mehr Sicherheit bietet. Der Entscheider – so ließe sich im Analogieschluss folgern – könnte es ihnen ja gleich tun. Warum sollte nicht auch er experimentieren, um sich über die möglichen Folgen des beabsichtigten Tuns klar zu werden? Je nachdem, ob er dazu reale Objekte oder Modelle heranzieht, sind Real- von Modellexperimenten zu unterscheiden.

Das Realexperiment ist im sozioökonomischen Umfeld nur in sehr seltenen Fällen realisierbar. Meistens ist es nicht möglich, eine Aktion durchzuführen, die Auswirkungen zu betrachten und dann die Ausgangssituation wiederherzustellen, um die nächste Alternative auszuprobieren. Die durch die Handlung bewirkten Veränderungen sind bei einem realen System praktisch nie in vollem Umfang reversibel, so dass zwischen den Versuchen unvermeidbar Interdependenzen bestehen. Dem Experiment fehlt daher das typische Kriterium der Wiederholbarkeit. Weiterhin spricht gegen Realexperimente zur Unterstützung von Managemententscheidungen, dass die negativen Folgen schlechter Handlungsalternativen tatsächlich realisiert werden: Wenn eine Aktion Verlust in Höhe der Hälfte des Eigenkapitals zur Folge hat, dann ist beim Realexperiment eben die Hälfte des Eigenkapitals verloren und die Erkenntnis, dass es sich um eine schlechte Alternative handelt, ist hernach reichlich wertlos. Auch ethische Gründe können gegen das Realexperiment sprechen. Einem Mitarbeiter mitzuteilen, er sei jetzt versuchsweise entlassen, damit festgestellt werden könne, wie die Unternehmung ohne ihn reüssiert, wäre zynisch und moralisch nicht akzeptabel. Bis auf wenige Ausnahmen sind Realexperimente daher nicht geeignet, die Konsequenzenanalyse wirksam zu unterstützen.

Wesentlich geeigneter und leistungsfähiger sind Modellexperimente. Auf sie trifft nicht zu, dass sie unmöglich, aus technischen oder ethischen Gründen nicht durchführbar oder viel zu teuer sind.¹⁸¹ Bei sozialwissenschaftlichen Laborexperimenten, die wie Experimente in den Naturwissenschaften in einem künstlichen und genau kontrollierten Umfeld durchgeführt werden, ist allerdings der Vorwurf, dass in solch einer Umgebung Versuchspersonen anders agieren als in der Realität, nicht leicht zu entkräften.¹⁸² Zudem sind solche Laborexperimente

¹⁸¹ Vgl. Peter Milling: Simulationen in der Produktion, 1996, Sp. 1841.

¹⁸² Vorkehrungen für die Sicherstellung einer möglichst großen Nähe von Realität und Experiment werden von Stein diskutiert. Siehe dazu Friedrich A. Stein: Betriebliche Entscheidungs-Situationen im Laborexperiment, 1990, S. 40 ff.

auch nur auf einen begrenzten Kreis von Entscheidungsproblemen anwendbar. Zwar mag es noch möglich sein, die Anmutung unterschiedlicher Produktgestaltungen auf diese Weise festzustellen. Kaum als Laborexperiment realisierbar erscheint jedoch beispielsweise der Test unterschiedlicher Organisationsstrukturen.¹⁸³

Unter anderem aus diesen Gründen sind die Vorbehalte gegen das Experimentieren zur Entscheidungsunterstützung in der Unternehmenspraxis groß und verbreitet.¹⁸⁴ Experimente als Mittel der Konsequenzenanalyse kommen daher bei betriebswirtschaftlichen Entscheidungen vergleichsweise selten zum Einsatz. Weil es leichter fällt, schneller geht, weniger Kosten verursacht und breit akzeptierter Standard ist, begnügen sich Manager meist mit dem Einsatz ihrer Intuition und Erfahrung zum Abschätzen der wahrscheinlichen Folgen der zur Wahl stehenden Alternativen. Der Verzicht auf das Experimentieren ist jedoch kein Muss. Mit der Computersimulation steht eine leistungsfähige Methode zur Verfügung, mit der sich Experimente beliebiger Zahl sehr schnell und kostengünstig durchführen lassen, ohne die mit Realexperimenten verbundenen Nachteile in Kauf nehmen zu müssen. Das computerbasierte Experimentieren an und mit Modellen ist daher ein zentrales Element rationaler Entscheidungsprozesse bei komplizierten Problemen. In Kapitel D. ist ihm ein ganzer Abschnitt gewidmet.¹⁸⁵

Selbst das Problem, dass für eine umfassende Analyse der Handlungsfolgen sehr viele Experimente notwendig sind, ist durch den Einsatz des Computers abgemildert. Nicht nur, dass der Zeitbedarf für die Durchführung eines Experiments in der Regel geringer ist, es ist auch nicht erforderlich, jedes einzelne Experiment manuell anzustoßen. Versuchsreihen können programmiert und automatisch gesteuert abgewickelt werden, so dass die Analyse selbst umfangreicher Alternativenfelder kein unüberwindliches Hindernis mehr darstellt.¹⁸⁶

¹⁸³ Positiver sieht Stein die Anwendungsmöglichkeiten des Laborexperiments. Siehe Friedrich A. Stein: Betriebliche Entscheidungs-Situationen im Laborexperiment, 1990, S. 22 ff.

¹⁸⁴ Eine Übersicht über die gängigen Kritikpunkte an der experimentellen Methode findet sich beispielsweise bei Martin Irle: Lehrbuch der Sozialpsychologie, 1975, S. 47 ff.

¹⁸⁵ Siehe Abschnitt D.V.

¹⁸⁶ Die System-Dynamics-Simulationsumgebung Vensim® bietet beispielsweise die Möglichkeit, Versuchsreihen mit automatisch veränderten Parameterwerten durchzuführen. Siehe dazu Ventana Systems, Inc. (Hrsg.): Tutorial, 1997, S. 115 ff. SIMPLEX II verfügt über eine Experimentbeschreibungssprache EDL, welche die Programmierung von Versuchsreihen zulässt. Vgl. Bernd Schmidt: Die Modellerstellungsumgebung und die Experimentbeschreibungssprache EDL, 1984, S. 6 ff.

3. Alternativenbewertung und Selektion

Die Elimination von Aktionsalternativen ist ein Bewertungsvorgang, der zweierlei voraussetzt: Zum einen muss der Entscheider eine Vorstellung von den mit den einzelnen Handlungsoptionen verbundenen Auswirkungen entwickelt haben; zum anderen muss er über zielbezogene Kriterien verfügen, die ihm eine kritische Prüfung der Alternativen und die Elimination der unzureichenden erlauben. Der eigentliche Selektionsvorgang besteht im Vergleichen von vorausgesagten Handlungsergebnissen mit den Handlungszielen. An dieser Stelle wird deutlich, warum nicht nur die Konsequenzenanalyse, sondern auch Zielbildung und -formulierung im Entscheidungsprozess eine so gewichtige Rolle spielen: Ohne Ziele wäre das kritische Prüfen der Zielerreichung unmöglich. Es fehlte der Maßstab, an dem die voraussichtlichen Ergebnisse der zur Wahl stehenden Handlungen gemessen werden können.

Die Entwicklung einer methodischen Anleitung, wie Ziele und Selektionskriterien zu bilden sind, ist nicht Gegenstand dieser Arbeit. Obwohl viel dafür spricht, dass Ziele nicht einfach da sind, sondern in einem gedanklichen Prozess der Komplexitätsreduktion erarbeitet werden müssen, werden Prozess und Methodik der Zielbildung hier nicht behandelt.¹⁸⁷ Die Ziele des Entscheiders werden als Datum betrachtet, und es wird damit vorausgesetzt, dass dieser sich darüber im Klaren ist, welche Handlungsergebnisse er wünscht, welche ihm gleichgültig sind und welche er zu vermeiden trachtet. Anders als bei vielen mikroökonomischen und entscheidungstheoretischen Konzepten wird jedoch nicht verlangt, dass eine mathematisch präzise Nutzen- oder Zielfunktion existiert, die für die Bewertung der Aktionsalternativen herangezogen werden kann. Der Grund dafür ist nicht eine völlig neue, innovative Bewertungsmethode; es ist mit dem Ansatz objektorientierter Systemmodellierung und -simulation einfach nicht beabsichtigt, den Entscheider auf seine Zielfunktion zu reduzieren und im Übrigen aus dem Selektionsprozess zu eliminieren. Der Mensch als Entscheidungsträger soll durch die Methode nicht ersetzt werden, sondern Unterstützung und Hilfestellung bei seinem Auswahlproblem erfahren. Die Elimination von Entscheidungsalternativen erfolgt deshalb nicht auf der Grundlage einer Zielfunktion, sondern durch das Urteil des Entscheiders selbst. Die verhältnismäßig schwierige und mühsame Explikation der Präferenzen und Präferenzrelationen sowie die Ableitung einer Ziel- bzw. Nutzenfunktion kann daher entfallen. Für den Selektionsprozess ist es vollkommen ausreichend, die zur Wahl stehenden Aktionsalternativen mit ihren zielkriterienbezogenen Ergebnissen so aufzubereiten, dass der Entscheider sein Urteil fällen kann.

¹⁸⁷ Der interessierte Leser findet bei Bretzke eine methodologische Untersuchung über die Zielbestimmung in Entscheidungsmodellen. Siehe Wolf-Rüdiger Bretzke: Der Problembezug von Entscheidungsmodellen, 1980, S. 72 ff.

Ausgangspunkt der Aufbereitung ist der in Abbildung 15 dargestellte und im Rahmen der Konsequenzenanalyse mit Handlungsergebnissen gefüllte Entscheidungskubus. Mit ihm ist jeder Kombination aus Aktionsalternative und Umweltsituation eine Ergebnismatrix zugeordnet, welche die Ergebniswerte aller analysierten Merkmale im Zeitablauf enthält. Wenn viele Alternativen für mehrere Umweltzustände über einen längeren Zeitraum zu betrachten sind, empfiehlt es sich, eine Datenbanktabelle mit einer Struktur anzulegen, wie sie Abbildung 17 vorschlägt. Mit Unterstützung moderner Datenbanksoftware sind dann Abfragen, Kreuztabellen und grafische Auswertungen sehr einfach zu realisieren.

Aktions- alternative	Umwelt- situation	Zeitpunkt	Ergebnis E ₁	Ergebnis E ₂	...	Ergebnis E _n
a ₁	u ₁	1	10	100	...	27
a ₁	u ₁	2	10,5	90	...	28
a ₁	u ₁	3	9	105	...	28
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
a ₂	u ₁	1	10,5	100	...	28
a ₂	u ₁	2	9	95	...	20
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Abbildung 17: Ergebnisdatenbank

Drei ausgewählte, gängige Möglichkeiten der Aufbereitung und Darstellung von Daten, die im Rahmen der Konsequenzenanalyse anfallen, werden im Folgenden kurz vorgestellt.

In der Literatur sehr häufig zu finden sind Ergebnismatrizen.¹⁸⁸ Diese zeigen zeitpunktbezogen und für jeweils eine Umweltkonstellation, wie gut die Alternativen in Bezug auf die für relevant erachteten Kriterien abschneiden. Weil sie einfach aufgebaut und dennoch übersichtlich sind, werden sie gerne benutzt. Abbildung 18 gibt die allgemeine Struktur solch einer Ergebnismatrix wieder. Die Alternativen stehen in den Zeilen der Tabelle, die Ergebnisarten in den Spalten, und in den Zellen finden sich die Ergebniswerte. Natürlich können ebenso gut auch die Ergebnisse einer ausgewählten Handlungsalternative in Bezug auf verschiedene Umweltsituationen in Matrixform dargestellt werden. Die Aktionsalternativen a_1 – a_k wären dann durch die betrachteten Umweltsituationen u_1 – u_m zu ersetzen.

¹⁸⁸ Vgl. beispielsweise Edmund Heinen: Industriebetriebslehre als entscheidungsorientierte Unternehmensführung, 1991, S. 27.

Aktions- alternative	Ergebnisart				
	E_1	E_2	...	E_{n-1}	E_n
a_1	e_{11}	e_{12}	...	$e_{1(n-1)}$	e_{1n}
a_2	e_{21}	e_{22}	...	$e_{2(n-1)}$	e_{2n}
\vdots	\vdots	\vdots		\vdots	\vdots
a_{k-1}	$e_{(m-1)1}$	$e_{(m-1)2}$...	$e_{(m-1)(n-1)}$	$e_{(m-1)n}$
a_k	e_{m1}	e_{m2}	...	$e_{m(n-1)}$	e_{mn}

Abbildung 18: Ergebnismatrix für Umweltzustand u_x und Zeitpunkt t_x

Für eine geringe Zahl von Aktionsalternativen ermöglicht das in Abbildung 19 gezeigte Netzdiagramm eine sehr plastische, grafische Darstellung einer Ergebnismatrix. Jede Ergebnisart wird dabei auf einer Polarachse abgetragen, wobei die Entfernung vom gemeinsamen Schnittpunkt aller Polarachsen mit dem jeweiligen Ergebniswert korrespondiert. Eine Alternative wird bei n Ergebnisarten von n Punkten repräsentiert, von denen jeder auf einer der n Koordinatenachsen liegt.

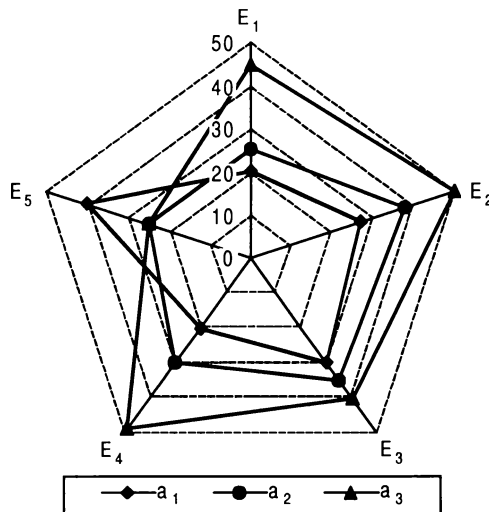


Abbildung 19: Ergebnisdarstellung als Netzdiagramm

Die Darstellung des Zeitverlaufs von Ergebnissen erfolgt am besten als einfache Liniengrafik wie in Abbildung 20 gezeigt. Wichtig für die unzweifelhafte

Zuordnung ist die Angabe der jeweiligen Handlungsalternative und Umweltsituation.

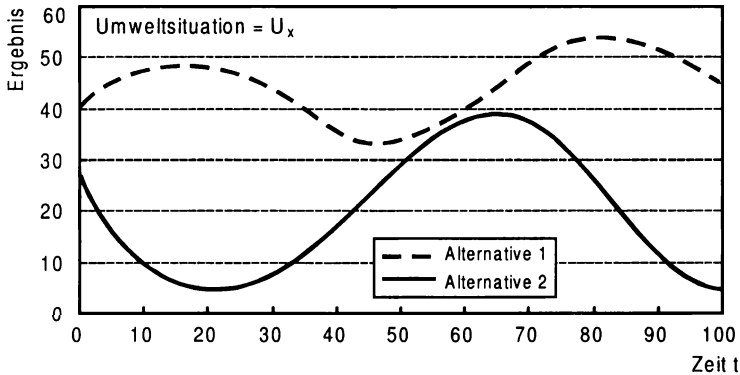


Abbildung 20: Darstellungsvariante Liniengrafik

Für die Elimination empfiehlt sich eine vierstufige Vorgehensweise aus (1) Ergebnisartenprüfung, (2) Dominanzanalyse, (3) Mindestanforderungstest und (4) Konfliktauflösung.

Mit dem ersten Schritt der Ergebnisartenprüfung wird die Ergebnisdatenbank um alle Ergebnisarten bereinigt, die für den Entscheider ohne Wert sind. Auch wenn die Folgen der in die Auswahl einbezogenen Handlungsoptionen ohnehin immer nur durch eine Auswahl von Ergebnissen beschrieben werden können, ist es aus Gründen der Komplexitätsreduktion ratsam, eine weitere Eingrenzung auf diejenigen Ergebnisarten vorzunehmen, denen überhaupt ein Wert beigegeben wird. Handlungsergebnisse, denen der Entscheider gleichgültig gegenübersteht, kommen als Selektionskriterium nicht in Frage; es ist daher zweckmäßig, sie aus dem Entscheidungskubus zu eliminieren.¹⁸⁹

Während für die Ergebnisartenprüfung nur bekannt sein muss, welchen Ergebnisarten ein Wert zukommt und welchen nicht, setzt die Dominanzanalyse

¹⁸⁹ Weil es vordergründig vermeidbaren Aufwand darstellt, die Konsequenzen von Handlungsalternativen in Bezug auf Kriterien zu ermitteln, die für den Entscheidungsträger keinen Wert darstellen, wird verbreitet eine schon auf diese Kriterien eingeeengte Konsequenzanalyse vorgeschlagen. So beispielsweise Gérard Gräfen: Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung, 1963, S. 110 ff. oder Thomas Schildbach: Entscheidung, 1990, S. 64 und S. 66 f. Bei einer breiteren Konsequenzenanalyse besteht allerdings die Möglichkeit, dass ein Entscheidungsträger auf bestimmte, ursprünglich gar nicht einkalkulierte Ergebnisse aufmerksam wird und seine Selektionskriterien ändert. Vor diesem Hintergrund kann es vernünftig sein, für die Konsequenzenanalyse eine umfangreichere Menge von Merkmalen zu betrachten als bei der Selektion dann zum Tragen kommen.

außerdem voraus, dass Angaben über die ergebnisbezogene Höhenpräferenz gemacht werden können. Vom Entscheidungsträger wird damit aber nur eine Beurteilung der Art „Je größer der Wert eines Ergebnisses der Art E_x , desto besser“ verlangt. Er muss lediglich in der Lage sein, die Werte einer Ergebnisart aufgrund ihrer Höhe in eine Besser-Schlechter-Rangfolge zu bringen. Ist diese Voraussetzung erfüllt, kann jede Einzelne der zur Wahl stehenden Aktionsalternativen im Rahmen der Dominanzanalyse daraufhin untersucht werden, ob sie von anderen Alternativen dominiert wird und deswegen zu eliminieren ist.

Die Handlungsalternative a_x dominiert a_y , wenn sie in mindestens einer Ergebnisart besser und bei allen anderen Ergebnismerkmalen nicht schlechter abschneidet. Besonders anschaulich vermag dies die Netzdiagrammdarstellung zu visualisieren. Vorausgesetzt, dass in Abbildung 19 für die Ergebnisarten E_1 bis E_5 die Höhenpräferenz „Je höher, desto besser“ gilt, ist die Handlungsalternative a_2 auszusondern, weil sie von Handlungsalternative a_3 dominiert wird. a_2 ist a_3 nur in Bezug auf E_5 ebenbürtig; bei allen anderen Ergebnisarten ist sie eindeutig schlechter. Dominanz lässt sich bei dieser Darstellungsform auch grafisch erkennen. Die geometrische Figur der dominierten Alternative, die durch die Verbindung ihrer Ergebnispunkte gebildet wird – im Beispiel der Abbildung 19 sind es Fünfecke –, liegt vollständig innerhalb der Figur der dominierenden Alternative. Die Begrenzungslinien schneiden sich nicht; sie können allerdings punkt- oder abschnittsweise aufeinander zu liegen kommen.

Nach Durchführung der Dominanzanalyse enthält der Entscheidungskubus nur noch solche Alternativen, bei denen Vorzüge in Bezug auf eine Ergebnisart mit Nachteilen in Bezug auf mindestens eine andere Ergebnisart erkauft werden müssen. Bevor es zum Kompromissentscheid kommt, sollte jedoch noch eine Bereinigung um all jene Alternativen erfolgen, deren Ergebnisse unter den für die Ergebnisarten festgelegten Mindestanforderungen liegen. Wenn es auch nicht für jede Ergebnisart eine Mindesthöhe geben wird, die eine Alternative unbedingt erfüllen muss, so sind kritische Schranken in der Praxis ziemlich häufig. Im Rahmen des Mindestanforderungstests werden die Alternativen auf die Erfüllung der kritischen Werte geprüft.

Wenn mehr als eine Alternative den dreistufigen Selektionsprozess überstanden hat, muss im letzten Schritt die Auflösung des Bewertungskonflikts erfolgen. Bei den meisten entscheidungstheoretischen Ansätzen wird spätestens an dieser Stelle auf Verfahren zurückgegriffen, welche die Amalgamation der verschiedenen Ergebnisarten zu einem einzigem Bewertungsmaß möglich machen soll.¹⁹⁰ In dieser Arbeit wird bewusst darauf verzichtet, dem Entscheidungsträger diese letzte Alternativenbewertung abzunehmen.

¹⁹⁰ Eine ausführlich Darstellung findet sich etwa bei Gérard Gräfen: Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung, 1963, S. 105.

C. Rationales Management durch objektorientiertes Modellieren und Simulieren

I. Modelle und Simulationen – Garanten rationaler Entscheidungen?

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die Leitlinien kritisch-rationalen Entscheidens aufgestellt und das Unterstützungspotenzial der Technik des Modellierens und Simulierens erörtert. Modellerstellung und -simulation sind jedoch für die rationale Entscheidungsfindung keineswegs so fakultativ, wie sie jetzt vielleicht scheinen mögen. Modelle sind vielmehr Grundlage einer jeden Entscheidung, und es erweist sich von daher als nicht ausreichend, rationale Entscheidungen „einfach“ modell- und simulationsbasiert zu treffen; denn dann wäre ausnahmslos jede Entscheidung mit dem Prädikat rational zu belegen.

1. Modelle als Grundlage jeglichen menschlichen Entscheidens

Vielleicht ist es überraschend und befremdlich, Entscheidungen ohne Ausnahme auf Modelle zurückzuführen. Es widerstrebt uns möglicherweise, unsere Entscheidung für ein Auto oder den Wohnsitz modellbasiert zu nennen; Informationen über Preis, Motorleistung und Kofferraumgröße würden wir als Entscheidungsgrundlage wahrscheinlich leichter akzeptieren. Was aber sind die Informationen und Annahmen, die wir einer Entscheidung zugrunde legen, anderes als ein Modell dieser Entscheidungssituation? Nicht allein jede „Entscheidung, die den Anspruch auf – wenn auch nur subjektive und eingeschränkte – Rationalität erhebt, basiert auf Modellen“¹⁹¹ wie Milling feststellt, sondern ausnahmslos jede Entscheidung muss als modellbasiert angesehen werden.

Was sind Modelle? Wie lassen sie sich charakterisieren? Wird der Modellbegriff mit Stachowiak weit gefasst, dann ist die einfache Wahrnehmung ebenso Modell wie das komplexeste Denkgebäude, die empirisch bewährte, naturwissenschaftliche Theorie nicht anders als metaphysische Religionen. Newtons und Einsteins physikalische Theorien sind Modelle und unterscheiden sich letztlich

¹⁹¹ Peter Milling: Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik, 1981, S. 77.

nur graduell – z. B. in ihrer Prüfbarkeit – von der Marxistisch-Leninistischen Heilslehre und anderen Ideologien. Stachowiak zufolge sind Modelle durch die folgenden drei Wesensmerkmale gekennzeichnet: Sie bilden etwas ab, vereinfachen dabei meistens und sind subjektiv, zeitgebunden sowie selektiv.¹⁹²

„Modelle sind stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen, Repräsentationen natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wieder Modelle sein können.“¹⁹³

„Modelle erfassen im allgemeinen nicht alle Attribute des durch sie repräsentierten Originals, sondern nur solche, die den jeweiligen Modellerschaffern und/oder Modellbenutzern relevant erscheinen.“¹⁹⁴

„Modelle sind ihren Originalen nicht per se eindeutig zugeordnet. Sie erfüllen ihre Ersetzungsfunktion a) für bestimmte – erkennende und/oder handelnde, modellbenutzende – Subjekte, b) innerhalb bestimmter Zeitintervalle und c) unter Einschränkung auf bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen.“¹⁹⁵

Die Frage ist nicht „to use or ignore models. The question is only a choice among alternative models.“¹⁹⁶ Denn auch wenn Menschen intuitiv entscheiden, tun sie das auf der Basis solcher vereinfachten, subjektiven und zeitabhängigen Abbilder der Welt, in der sie agieren.¹⁹⁷ „Each of us models constantly. Every person in his private life and in his business life instinctively uses models for decision making. ... All our decisions are taken on the basis of models.“¹⁹⁸ Das „mental model“ oder „mental image“ des Entscheiders spielt aus diesem Grund eine wichtige Rolle bei dem Versuch, reale Entscheidungsabläufe zu verstehen und zu verbessern.

Spontan und naiv an die Frage herangehend, was denn ein mentales Modell überhaupt ist, könnte man mit ihm die Gesamtheit all dessen assoziieren, was ein Mensch an Ideen und Vorstellungen in sich trägt. Der Versuch einer Inventarisierung dieser mentalen Gedankenwelt vermag vielleicht zu der folgenden Liste führen:

- Sinneseindrücke, Sinneswahrnehmungen
- Hypothesen und Theorien über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge
- Wertvorstellungen, Werte
- Gefühle, Emotionen

¹⁹² Anderer Auffassung ist Hans Albert: Kritik der reinen Erkenntnislehre, 1987, S. 108 ff.

¹⁹³ Herbert Stachowiak: Allgemeine Modelltheorie, 1973, S. 131.

¹⁹⁴ Herbert Stachowiak: Allgemeine Modelltheorie, 1973, S. 132.

¹⁹⁵ Herbert Stachowiak: Allgemeine Modelltheorie, 1973, S. 132 f.

¹⁹⁶ Jay W. Forrester: Counterintuitive Behavior of Social Systems, 1975, S. 213 f.

¹⁹⁷ Vgl. Kenneth E. Boulding: The Image, 1956; vgl. Werner Kirsch: Einführung in die Theorie der Entscheidungsprozesse, Band I, 1977, S. 76 ff.

¹⁹⁸ Jay W. Forrester: Counterintuitive Behavior of Social Systems, 1975, S. 213 f.

- Tatsachenwissen, Erfahrungswissen
- Ziele, Motive
- Verhaltensregeln
- Phantasiegebilde, Traumbilder
- Glaubenswahrheiten
- Prognosen, Erwartungen

Boulding, auf den die Vorstellung vom „mental image“ als Entscheidungsgrundlage zurückgeht, kommt zu einer sehr ähnlichen Charakterisierung:

„We have first the spatial image, the picture of the individual's location in the space around him. We have next the temporal image, his picture of the stream of time and his place in it. Third, we have the relational image, the picture of the universe around him as a system of regularities. Perhaps as a part of this we have, fourth, the personal image, the picture of the individual in the midst of the universe of persons, roles, and organizations around him. Fifth, we have the value image which consists of the ordering on the scale of better or worse of the various parts of the whole image. Sixth, we have the affectional image, or emotional image, by which various items in the rest of the image are imbued with felling or affect. Seventh, we have the division of the image into conscious, unconscious, and subconscious areas. Eighth, we have a dimension of certainty or uncertainty, clarity or vagueness. Ninth, we have a public, private scale according to whether the image is shared by others or is peculiar to the individual.“¹⁹⁹

Besonders hervorzuheben ist, dass es sich beim menschlichen Mentalmodell um ein implizites Modell handelt. Es liegt per se nicht offen, kann zwar in begrenztem Ausmaß mit anderen Personen geteilt werden, ist seiner Art nach jedoch immer subjektbezogen und subjektimmanent. Es birgt des Menschen Vorstellung von der Realität, welche in der Tat anders sein kann als er sie sieht. Dass die Wirklichkeit so wahrgenommen wird wie sie tatsächlich ist, d. h. dass das menschliche Mentalmodell die Wirklichkeit isomorph abbildet, diese Auffassung des naiven Realismus wurde schon durch die antike Sophistik und den pyrrhonischen Skeptizismus schwer erschüttert.²⁰⁰ In der Absicht, alle bisher einfach akzeptierten Grundsätze so lange anzuzweifeln, bis der archimedische Punkt der Wirklichkeitserkenntnis zutage tritt, macht schließlich Descartes den skeptischen Zweifel so stark, dass ein Entkommen aus ihm unmöglich wird. Das

¹⁹⁹ Kenneth E. Boulding: *The Image*, 1956, S. 47 f. Auf den nachfolgenden Seiten erläutert Boulding detailliert jeden einzelnen Punkt. Der interessierte Leser sei an dieser Stelle auf die Lektüre des Originals verwiesen.

²⁰⁰ Klassische Argumente der Skeptiker sind etwa die Sinnestäuschungen, denen Menschen erliegen, so z. B. die Wahrnehmung eines ins Wasser getauchten Stabes als abgeknickt oder eines entfernten rechteckigen Turmes als rund. Eine Einführung in die Philosophie der Skepsis bieten Grundmann, Thomas/Stüber, Karsten (Hrsg.): *Philosophie der Skepsis*, 1996; Friedo Ricken befasst sich mit den antiken Skeptikern: *Friedo Ricken: Antike Skeptiker*, 1994.

„Ego sum, ego existo“²⁰¹, in dem er die erste, Wahrheit verbürgende Gewissheit zu erblicken meint, erweist sich bei genauerer Analyse als solipsistische²⁰² Falle; als Fundament für den sicheren, verbürgten Aufbau der Welt taugt es nicht.²⁰³ In der modernen Philosophie ist denn auch kaum bestritten, dass der Mensch nicht die Disposition dazu hat, die Wirklichkeit an sich zu schauen. Die gottgleiche Wirklichkeits- und Wahrheitserkenntnis ist ihm verwehrt. Er ist und bleibt auf sein mentales Modell als Entscheidungsgrundlage angewiesen.

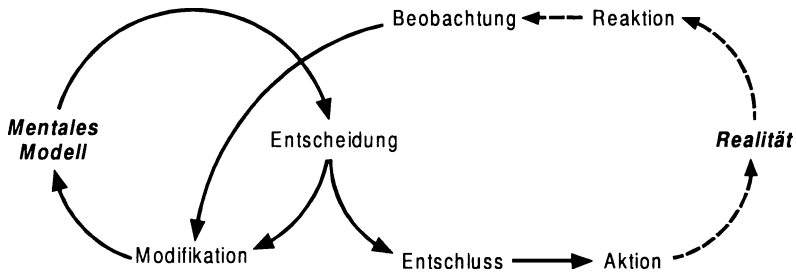


Abbildung 21: Das mentale Modell als Grundlage menschlichen Entscheidens

Abbildung 21 zeigt die zentrale Funktion des Mentalmodells im menschlichen Entscheidungsprozess. Die Analyse des Ist-Zustandes, die Definition der Ziele, die Kreation von Alternativen, die Bildung von Erwartungen, das kritische Prüfen und Analysieren der Konsequenzen, alle diese Aktivitäten erfolgen auf der Basis der im mentalen Modell gespeicherten Informationen. Vielleicht ist es die Allgegenwart des mentalen Modells, die es uns häufig so leicht übersehen lässt.

Neben den impliziten, mentalen Modellen gibt es – wie Abbildung 22 zeigt – die expliziten, bei denen das „Modellsein“ unmittelbar einsichtig ist. Physische Modelle sind körperliche Imitate oder symbolische Repräsentationen realer Objekte wie beispielsweise das maßstabsgetreue Modellflugzeug oder ein Klötzchen für eine Kiste mit Waren. Begriffliche und mathematische Modelle sind demgegenüber immateriell; sie verwenden Symbole unterschiedlichen, aber im Grundsatz höheren Abstraktionsniveaus, sind daher weniger anschau-

²⁰¹ René Descartes: *Meditationes de Prima Philosophia*, 1986, S. 82.

²⁰² Der Solipsismus billigt ausschließlich dem eigenen Ich mit seinen Bewusstseinsinhalten Wirklichkeitscharakter zu. Die Außenwelt und alle anderen Ichs existieren nach dieser erkenntnistheoretischen Position nur in der Vorstellung. Vgl. dazu beispielsweise Ernst von Glasersfeld: Einführung in den radikalen Konstruktivismus, 1985, S. 16–38.

²⁰³ Vgl. Lothar Kreimendahl: *Hauptwerke der Philosophie – Rationalismus und Empirismus*, 1994, S. 44.

lich als körperliche Modelle, jedoch von größerer Flexibilität. Die Teilmenge der begrifflichen Modelle bildet reale Sachverhalte schematisch oder verbal ab. Zu den schematischen Modellen gehören insbesondere grafische Darstellungen wie Konstruktionszeichnungen oder Kausalitäts- oder Flussdiagramme. Verbale Modelle sind natürlichsprachliche Darstellungen, wie sie in Texten jeglicher Art vorzufinden sind. Mathematische Modelle schließlich verwenden mathematische Symbole und Operatoren, um Teilbereiche der Wirklichkeit zu beschreiben. Sie sind auf sehr hoher Abstraktionsebene angesiedelt, deswegen allerdings auch von universeller Anwendbarkeit.

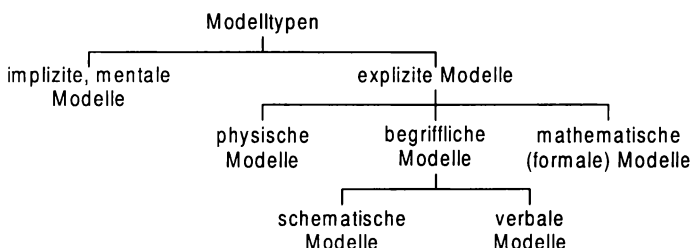


Abbildung 22: Eine Modelltypologie²⁰⁴

Die überwiegende Mehrzahl aller Entscheidungsprozesse gründet auf impliziten, mentalen Modellen; nur verhältnismäßig wenige Entscheidungen fallen auf der Grundlage expliziter Modelle; modellbasiert sind jedoch ausnahmslos alle Entscheidungen. Die Modellbasiertheit einer Entscheidung allein kann daher als Kriterium zu ihrer Beurteilung als rational oder nichtrational nicht taugen; denn dann wäre ausnahmslos jede Entscheidung als rational einzustufen, was das Rationalitätskriterium sinnentleeren würde. Die Rationalität einer Entscheidung muss von dem Modelltyp, auf dessen Grundlage sie herbeigeführt wird, abhängig gemacht werden.

2. Die Effektivität mentaler Modelle als Entscheidungsgrundlage

Mentalen Modellen wird in der Literatur eine für komplizierte Entscheidungssituationen nicht ausreichende Lösungsmächtigkeit attestiert. Zwar wird ihnen zugute gehalten, dass sie durch die von Heuristiken geleiteten Fähigkeiten des Menschen, aus einer großen Zahl zum Teil redundanter Informationen die

²⁰⁴ Siehe auch Peter Milling: Simulationen in der Produktion, 1996, Sp. 1842 oder Frank Maier: Die Integration wissens- und modellbasierter Konzepte zur Entscheidungsunterstützung im Innovationsmanagement, 1995, S. 163.

wesentlichen Zusammenhänge herauszukristallisieren, auf das jeweilige Entscheidungsproblem in besonderem Maße zugeschnitten sind. Sie sind in diesem Sinne problemzentriert und unterliegen überdies ständigen intuitiven Plausibilitätskontrollen.²⁰⁵ Aber sie haben gewichtige Nachteile, die ihre Eignung auf die Lösung vergleichsweise einfacher Probleme beschränken.²⁰⁶

- Mentale Modelle sind unpräzise und schwammig. Sie beschreiben den Zusammenhang zwischen Einflussgrößen meist nicht exakt, sondern nur ungefähr.
- Das mentale Modell eines Individuums ist instabil. Es wird sich im Zeitverlauf an neue Erfahrungen anpassen. Häufig ist es nicht einmal innerhalb eines Gesprächs ohne Veränderung.
- Mentale Modelle sind intersubjektiv weder eindeutig transferierbar noch überprüfbar. Ein Mensch kann anderen Menschen sein mentales Modell nicht unmittelbar zugänglich machen. Er muss sich Modelle anderen Typs bedienen, um sein mentales Modell zu kommunizieren. Weil dazu meist begriffliche Modelle verwendet werden, kann es leicht zu Abbildungs- und Interpretationsfehlern kommen, die dazu führen, dass die Rekonstruktion eines mentalen Modells mit dem Original nicht identisch ist.
- Schließlich wird den mentalen Modellen vorgeworfen, dass sie einer umfassenden Analyse gar nicht oder nur sehr eingeschränkt zugänglich sind. Es ist zwar sehr wohl möglich, ein mentales Modell im Kopf zu simulieren, d. h. Prämissen zu ändern und sich die daraus resultierenden Folgen vorzustellen. Aber schon bei nur geringfügig komplexen Modellen stoßen Menschen sehr schnell an die Grenzen ihrer Informationsverarbeitungskapazitäten.

Die Argumente, die gegen die Tauglichkeit von mentalen Modellen zur Entscheidungsunterstützung angeführt werden, lassen diese als sehr schlicht, inhaltsarm und winzigen Umfangs erscheinen. Andere Beispiele bestärken diese Vermutung. An der im Grunde einfachen Aufgabe, eine Billardkugel so anzustoßen, dass sie fünf andere Kugeln in die Löcher am Rande eines Tisches versenkt, scheitern wir, wenn wir nicht gerade ein Profispieler sind; und zwar nicht in erster Linie daran, dass wir die Technik, den Queue korrekt zu führen, nicht beherrschen, sondern daran, dass wir nicht weit genug voraussehen, wie die einzelnen Kugeln sich bewegen. Selbst wenn wir mit einem perfekten Stoß genau den Punkt der weißen Kugel träfen, den wir treffen wollten, würden die dadurch angestoßenen Billardkugeln wahrscheinlich nicht den ihnen von uns zugewiese-

²⁰⁵ Vgl. Peter Milling: *Leitmotive des System-Dynamics-Ansatzes*, 1984, S. 508.

²⁰⁶ Siehe Jay W. Forrester: *Counterintuitive Behavior of Social Systems*, 1975, S. 213 f.; vgl. auch Jac A. M. Vennix: *Mental Models and Computer Models*, 1990, S. 16.

nen Weg in ihre Löcher finden. Vermutlich wird es anders kommen, als von uns beabsichtigt – „Querschläger“ werden unseren Erfolg verhindern. Es ist ein empirisch nachgewiesenes Phänomen, dass wir dann an unsere Grenzen stoßen, wenn wir mit deutlich mehr als etwa einer Handvoll Faktoren gleichzeitig umgehen müssen.²⁰⁷

Andererseits wiederum muss unser mentales Modell sehr groß, vielgestaltig und detailliert sein: Wenn all das, was wir wissen, glauben, fühlen, vermuten, träumen usw., zu unserem Mentalmodell zu rechnen ist, dann kann es gar nicht so klein und unzureichend sein, wie oft argumentiert wird. Und zudem gibt es Profibillardspieler, denen erstaunliche Stöße gelingen, die also zu einer sehr umfassenden Analyse ihres mentalen Modells in der Lage sein müssen.

Wie lässt sich dieser Widerspruch auflösen? Der Informationsverarbeitungsansatz hat eine plausible Erklärung für diese Beobachtung parat. Der Mensch wird nach dieser Konzeption als ein Informationen aufnehmendes, Informationen verarbeitendes und Informationen abgebendes Wesen betrachtet, das zu diesen Zwecken mit unterschiedlichen Speichern ausgestattet ist. Für die hier verfolgten Zwecke ist es ausreichend, zwei Speicher- oder Gedächnistypen zu unterscheiden: das Langzeitgedächtnis und das Kurzzeitgedächtnis.²⁰⁸

Das Langzeitgedächtnis hat nach herrschender Meinung eine praktisch unbegrenzte Speicherkapazität. „There is no evidence that the human LTM [long-term memory] is fillable in a lifetime, or that there is a limit on the number of symbols it can store. Hence, we assume that the IPS [information processing system] has a potentially infinite vocabulary of symbols, and an essentially infinite capacity for symbol structures.“²⁰⁹ Das Langzeitgedächtnis kann nicht nur Symbole oder Symbolstrukturen, sondern auch ganze Verhaltensprogramme speichern, die den Menschen in die Lage versetzen, bestimmte Handlungen zu vollziehen. Sein Inhalt ist letztlich genauso vielfältig wie menschliches Wissen, und die Art und Weise, wie dieses abgespeichert ist, immer noch weitgehend unbekannt.

Das Kurzzeitgedächtnis dagegen ist von sehr geringem Umfang. Es kann nur einige wenige Symbole speichern.²¹⁰ Experimentell wurde in Anlehnung und

²⁰⁷ Vgl. George A. Miller: *The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information*, 1956, S. 81 ff.

²⁰⁸ Es sei jedoch nicht verschwiegen, dass in der Literatur Ansätze zu finden sind, die eine größere Anzahl von menschlichen Gedächnistypen unterscheiden. In den meisten Fällen hat sich die Unterscheidung eines Kurz- und eines Langzeitgedächtnisses jedoch als ausreichend erwiesen.

²⁰⁹ Allen Newell/Herbert A. Simon: *Human Problem Solving*, 1972, S. 792.

²¹⁰ Häufig wird die Speicherkapazität auch in „chunks“ gemessen. Eine allgemein gültige Definition für den Begriff „chunk“ hat sich noch nicht herausgebildet. Newell und Simon beschreiben ein „chunk“ als „any configuration that is familiar to the subject

Adaption der Miller'schen Experimente eine Speicherkapazität von ungefähr 7 ± 2 Symbolen ermittelt.²¹¹ Allerdings kann jedes dieser Symbole eine vollständige Symbolstruktur fast beliebiger Größe und Komplexität aus dem Langzeitgedächtnis repräsentieren. Wie das funktioniert? Man muss sich die Fähigkeit des Menschen, Informationen recodieren zu können, wie folgt vorstellen. Wenn ein Schüler eine Fremdsprache lernt, dann wird zunächst jedes einzelne Wort symbolisch in seinem Gedächtnis repräsentiert und mit der deutschen Bedeutung verbunden. Mit zunehmender Erfahrung und Übung wird er sich idiomatische Wendungen einprägen, d. h. er erkennt Gruppen aus zwei oder mehreren Wörtern als zusammengehörig und ist in der Lage, diese in einem Symbol abzuliegen. Der Könnler schließlich wird mit ganzen Sätzen hantieren, sie als Einheit betrachten und zu ihrer Speicherung lediglich ein einziges Symbol benötigen.

Wenn allerdings die im Kurzzeitgedächtnis gespeicherten Symbole Verarbeitungsoperationen unterzogen werden – auch wenn diese sehr einfach sind –, dann scheint die Speicherkapazität auf gerade einmal zwei Symbole zurückzugehen. Newell und Simon begründen diesen Verlust an Kapazität damit, dass die übrigen Speicherplätze durch Input- und Outputvorgänge des Verarbeitungsprozesses und möglicherweise durch einen Stack für Subroutinen belegt werden.²¹² Die Zeit, die benötigt wird, um Informationen in das Kurzzeitgedächtnis zu schreiben oder gespeicherte wieder abzurufen, liegt im Bereich weniger Zehntelsekunden. Dieser Wert wurde auch für Lesezugriffe auf das Langzeitgedächtnis ermittelt. Speichervorgänge dauern dort allerdings ungleich länger. In der Literatur werden Zeitspannen zwischen 5 und 15 Sekunden genannt, bis eine Assoziation zwischen zwei schon im Langzeitgedächtnis gespeicherten Variablen zuverlässig hergestellt ist.²¹³

Vor dem Hintergrund unterschiedlicher Kapazitäten von Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis wird verständlich, warum wir so unterschiedliche Eindrücke von unseren mentalen Fähigkeiten bekommen. Strukturen, die auf sehr niedrigem Niveau codiert sind, passen auch bei relativ geringer Komplexität nicht mehr in unser Kurzzeitgedächtnis. Wir sind in diesem Fall entweder zu aufwendiger und zeitbeanspruchender Recodierung genötigt oder müssen uns, wenn wir die Zeit dazu nicht haben, mit Vereinfachungen behelfen. Der Profibillardspieler kann

and can be recognized by him“. Allen Newell/Herbert A. Simon: Human Problem Solving, 1972, S. 780 f. In diesem Sinne nennt Kirsch das „chunk“ die „elementare Einheit der Informationsverarbeitung“. Werner Kirsch: Einführung in die Theorie der Entscheidungsprozesse, Band II, 1977, S. 91.

²¹¹ Vgl. Allen Newell/Herbert A. Simon: Human Problem Solving, 1972, S. 793 f. und George A. Miller: The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information, 1956, S. 81 ff.

²¹² Vgl. Allen Newell/Herbert A. Simon: Human Problem Solving, 1972, S. 795.

²¹³ Vgl. Allen Newell/Herbert A. Simon: Human Problem Solving, 1972, S. 793 f.

ganze Kugelverlaufswege – um damit das eingangs angeführte Beispiel noch einmal aufzugreifen – in einem einzelnen Symbol abspeichern, während der gelegentliche Freizeitspieler hoffnungslos überfordert ist und sein mentales Modell radikal simplifizieren muss – zu radikal, um damit noch gute Ergebnisse erzielen zu können.

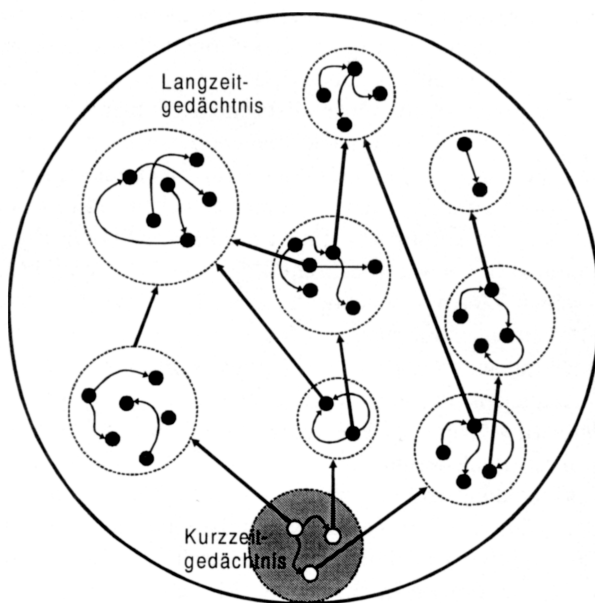


Abbildung 23: Modell der menschlichen Gedächtnishierarchie

Das Modell einer Problemsituation darf auf der höchsten Recodierungsstufe nicht größer sein als die Kapazität des menschlichen Kurzzeitgedächtnisses, wenn es einer Totalanalyse unterzogen werden soll. Bei zu großen Modellen wird entweder so lange vereinfacht und neu verschlüsselt, bis diese in das Kurzzeitgedächtnis passen, oder es werden lediglich partielle Analysen vorgenommen. Dafür, dass nicht nur sehr einfache Modelle gebildet und verarbeitet werden können, sorgt der sehr mächtige Aggregations- und Recodierungsmechanismus. Ganze Submodelle können so durch ein einziges Symbol repräsentiert werden, das einem Zeiger gleich auf den Ort des Langzeitgedächtnisses verweist, an dem diese abgespeichert sind (vgl. Abbildung 23). Zugleich mit dem Symbol im Kurzzeitgedächtnis ist dann auch die vollständige, dahinter liegende Struktur präsent und kann verarbeitet werden. So ist es zu erklären, dass manche Modelle eher klein scheinen und dennoch zu groß sind und andere sehr komplex sind und trotzdem in den Kopf eines Menschen passen.

Wenn es darum geht, schwierige Entscheidungssituationen zu bewältigen, dann ist die Situation, in der wir uns befinden, eher der des Laienbillardspielers denn der des Profis vergleichbar. Trotz jahrelangen Lernens und viel Erfahrung sind problemadäquate Entscheidungsmodelle viel zu komplex, um sie in toto als Modell im Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnis parat zu haben. Zwar steht eine in der Regel umfangreiche Sammlung an Modellfragmenten im Langzeitgedächtnis abrufbereit; die Modellfragmente sind jedoch nicht so weit recodiert, dass wir sie im Kurzzeitgedächtnis zu einem Gesamtmodell zusammensetzen könnten. Der alleinige Rekurs auf mentale Modelle zwingt daher bei schwierigen Entscheidungsproblemen zu inkrementalistischem Problemlösungsverhalten.²¹⁴ Angesichts der Vielzahl von Einflussfaktoren und Ursache-Wirkungs-Beziehungen, von denen nur ein sehr geringer Anteil im Mentalmodell abgebildet ist, wird der Entscheider vorsichtig agieren und versuchen, Schritt um Schritt zu einer Problemlösung zu kommen.²¹⁵ Er wird durch marginale Eingriffe in das Systemverhalten und die bewusst kritische Prüfung der dadurch hervorgerufenen Resultate seinen Zielen, vorsichtig tastend und immer wieder aus Fehlern lernend, näherkommen. Zwar mag das inkrementalistische Modell gegenüber dem von Popper mit gutem Grund bekämpften utopischen Vorgehen Vorteile aufweisen;²¹⁶ verglichen mit den Möglichkeiten, Entscheidungen auf explizite, formale Modelle zu stützen und Handlungsalternativen auf dem Wege der Simulation vor ihrer Realisierung auf ihre Folgen hin zu prüfen, trägt diese „Stückwerk-Entscheidungstechnik“ ihren negativen Beiklang jedoch zu Recht. Mentale Modelle sind als Entscheidungsgrundlage nur bei sehr einfachen Entscheidungen zu rechtfertigen; komplizierte Entscheidungsprobleme verlangen nach explizit formulierten, mathematischen Modellen, die eine Analyse von Handlungskonsequenzen ex ante erlauben und das Herumkurieren an Symptomen wirkungsvoll zu verhindern helfen.

3. Formale Modelle für komplizierte Entscheidungssituationen

Nicht anders als mentale Modelle sind auch formale Modelle selektiv; sie bilden ebenfalls nur einen Ausschnitt der Wirklichkeit ab und modellieren auch

²¹⁴ Vgl. dazu Peter Milling: Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik, 1981, S. 64 ff.

²¹⁵ Popper propagiert ein solches Problemlösungsverhalten für den Bereich der Politik als „Sozialtechnik der kleinen Schritte“. Siehe dazu Karl R. Popper: Die offene Gesellschaft und ihre Feinde, Band I, 1994, S. 189 f. und derselbe: Das Elend des Historizismus, 1974, S. 53 ff.

²¹⁶ Vgl. dazu Karl R. Popper: Die offene Gesellschaft und ihre Feinde, Band I, 1994, S. 190 f.

diesen noch mehr oder weniger holzschnittartig vergrößert.²¹⁷ Die Betonung des Wesentlichen ist jedoch eher als Vorteil, denn als Nachteil zu sehen, verhindert sie doch, in der Fülle von Nebensächlichkeiten die Orientierung zu verlieren. Ein Modell beispielsweise, das dem Zweck dient, das plötzliche Zustandekommen von Staus auf den Autobahnen zu erklären, muss nicht Autos unterschiedlicher Farbe oder Hersteller abbilden. Es reicht, wenn die Autos einen bestimmten Platzbedarf haben, bremsen, beschleunigen und mit konstanter Geschwindigkeit fahren können. Es ist nicht sinnvoll, mit einem Supermodell alle Fragen auf einmal beantworten zu wollen; einfachere, zweckbezogene Modelle erfüllen ihre Aufgabe besser und billiger. Ist es allerdings notwendig und aufgrund der gegebenen Problemstellung angebracht, lässt sich der Detaillierungsgrad der Abbildung – anders als bei mentalen Modellen – praktisch beliebig verfeinern, so dass ein formales Modell je nach Problemsituation sowohl grob gearbeitet als auch sehr fein geschnitzt sein kann.

Bei einem formalen Modell stehen Umfang und Detaillierungsgrad nicht in dem bei mentalen Modellen beobachtbaren konfliktären Zusammenhang. Ein Modellentwickler muss ein formales Modell nicht jederzeit in vollem Umfang im Kopf haben. Er kann sich auf noch bewältigbare Ausschnitte beschränken und sukzessiv Modul für Modul abarbeiten. Weil es beim Modellieren möglich ist, nach Belieben und Notwendigkeit den Fokus zu setzen und zu „zoomen“, kann es gelingen, formale Modelle in einer Größe und Komplexität zu konzipieren, die die mentalen Kapazitäten bei weitem sprengen. Ein formales Modell kann – wenn erforderlich – auch einen großen Realweltausschnitt mit hohem Detaillierungsgrad abbilden.

Kombiniert mit der Rechenkapazität und Präzision von Computern, geraten formale Modelle viel später an ihre Leistungsgrenze als mentale Modelle. Komplizierten Entscheidungsproblemen kann daher mit adäquat komplexen Modellen begegnet werden. Die übermäßige Vereinfachung, notwendig vor dem Hintergrund einer begrenzten mentalen Kapazität, lässt sich durch den Einsatz formaler Modelle vermeiden; Gedankenexperimente auf der Basis bis zur Verzerrung vereinfachter Mentalmodelle werden so von computergestützten Simulationsexperimenten an sorgfältig konzipierten Formalmodellen abgelöst. Prognose und Analyse der beabsichtigten und ungewollten Folgen von zur Wahl stehenden Handlungsalternativen erreichen eine ganz neue Qualität. Die Vorteile formaler Modelle liegen damit genau dort, wo die mentalen Modelle Schwachstellen aufweisen:²¹⁸

²¹⁷ Vgl. Peter Milling: Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik, 1981, S. 79.

²¹⁸ Vgl. Peter Milling: Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik, 1981, S. 79; Jac A. M. Vennix: Mental Models and Computer Models, 1990, S. 16.

- Formale Modelle sind dadurch, dass sie in der mathematischen Formel- und Symbolsprache abgefasst sind, präzise in der Darstellung und in dem Sinn objektiviert, dass sie sich von einem Subjekt gelöst haben.²¹⁹ Prämissen und Beziehungen liegen offen und sind der kritischen Prüfung sowohl durch den Ersteller des Modells als auch durch andere zugänglich.
- Formale Modelle zeigen kein eigendynamisches Verhalten. Sie ändern sich nicht von allein, sondern nur dann, wenn sie bewusst angepasst werden.
- Formale Modelle können eine Vielzahl mentaler Modellfragmente zu einem Gesamtmodell integrieren und dadurch ein vollständigeres, adäquateres Abbild des Entscheidungsproblems bereitstellen. Eine ganzheitliche, systemische Sichtweise wird gefördert. Nicht zuletzt ergibt sich die Möglichkeit zu modulübergreifenden Konsistenz-Checks hinsichtlich grundlegender Annahmen und Hypothesen.
- Formale Modelle sind mit Hilfe des Computers vollständig analysierbar. Keine Beziehung, keine Variable, die Modellbestandteil ist, wird bei der Konsequenzenanalyse aus Gründen beschränkter Verarbeitungskapazität ausgeblendet und vernachlässigt. Auch äußerst komplexe formale Modelle sind für den Computer auf dem Wege der Simulation lösbar.

Formale Modelle vermögen damit den kritisch-rationalen Entscheidungsprozess, wie er in Abschnitt B.II.3. dargestellt wurde, nicht nur zu unterstützen, sondern machen ihn in vielen Fällen überhaupt erst möglich. Weil rationales Entscheiden sich insbesondere in der kritischen Prüfung der Lösungsalternativen zeigt, gehört eine Technik, die dieses kritische Prüfen in komplizierten Fällen überhaupt erst durchführbar macht, nicht fakultativ, sondern notwendig zum rationalen Entscheidungsprozess. Zwei Voraussetzungen müssen allerdings gegeben sein: Das Entscheidungsproblem muss zum Ersten von einer Kompliziertheit sein, die es der unmittelbaren mentalen Reflexion entzieht und somit den Aufwand der Modellentwicklung, -simulation und -analyse rechtfertigt; zum Zweiten darf die Entscheidung nicht derart dringlich sein, dass keine oder fast keine Zeit für die modellbasierte Konsequenzenanalyse mehr bleibt. Denn unter hohem Zeitdruck „quick and dirty“ erstellte formale Modelle sind in der Regel so schlecht, dass der bewusste, ihre Schwächen und Nachteile respektierende Einsatz mentaler Modelle vorzuziehen ist. Von Vorteil ist die mathematische Präzision des formalen Modells nur dort, wo Sorgfalt und Akkuratess bei der Modellerstellung zu validen und problemadäquaten Resultaten führt.²²⁰

²¹⁹ Vgl. Karl R. Popper: Alles Leben ist Problemlösen, 1994, S. 23.

²²⁰ Vgl. Peter Milling: Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik, 1981, S. 80.

II. Systemtheoretische Grundlagen objektorientierter Modellentwicklung

Eine Methodenlehre rationalen Entscheidens, die Gültigkeit auch und insbesondere für schwierige Probleme beansprucht, kommt nicht umhin, ein Konzept zu Erstellung und Gebrauch formaler Modelle zu integrieren. Nur ein regelgeleitetes Vorgehen verspricht, Fehler beim Modellieren und Simulieren von Entscheidungsproblemen so weit wie möglich zu vermeiden und die Rationalität der Entscheidung sicherzustellen. Ein solches Regelwerk formalen Modellierens und Simulierens muss präzise und doch möglichst allgemein gültige Vorgaben enthalten, wie bei der Transformation realer Entscheidungsprobleme in formale Modelle vorzugehen ist. Die Systemtheorie ist als abstraktes Formalkonzept gut geeignet, als Fundament einer objektorientierten Methodenlehre für die Entwicklung und Simulation von Modellen zu dienen.

1. Struktur, Hierarchie und Funktion – die drei Dimensionen des Systembegriffs

Was ist ein System? Wer zur Klärung dieser Frage die umfangreiche systemtheoretische Literatur konsultiert, wird, ganz entgegen dem systemtheoretischen Streben nach einer einheitlichen Terminologie, mit fast unüberschaubar vielen, zwar meist ähnlichen, aber eben nicht identischen Definitionen konfrontiert. Die der Klarheit nicht unbedingt förderliche Vielfalt resultiert zum einen aus dem unterschiedlichen Abstraktions- und Formalisierungsgrad, zum anderen – eng damit verbunden – aus der jeweiligen speziellen Perspektive und Zielrichtung der Autoren. Ohne die in der Literatur zu findenden Systembegriffe umfassend aufzulisten und zu diskutieren,²²¹ sollen an einigen Beispielen Spannweite und Schnittmenge gebräuchlicher Definitionen gezeigt werden.

Ludwig von Bertalanffy, einer der Mitbegründer der Allgemeinen Systemtheorie, definiert ein allgemeines System als „eine Menge (im mathematischen Sinn) von Elementen, zwischen denen Wechselbeziehungen bestehen“²²². Ulrich postuliert eine Ordnung des Beziehungsgeflechtes, wenn er definiert: „Unter einem System verstehen wir eine geordnete Gesamtheit von Elementen, zwischen denen irgendwelche Beziehungen bestehen oder hergestellt werden

²²¹ Bei Klir findet sich im Anhang D seiner Monographie eine Zusammenstellung von zwei Dutzend Systemdefinitionen, die dem interessierten Leser einen weiter reichenden Überblick erlaubt. Vgl. George J. Klir: *An Approach to General Systems Theory*, 1969, S. 283 f.

²²² Ludwig von Bertalanffy: *Vorläufer und Begründer der Systemtheorie*, 1972, S. 18.

können.“²²³ Auch für Flechtner sind Systeme irgendwie geordnete Zusammenstellungen.“²²⁴ Forrester, der an der Verbreitung des Systemansatzes in den Sozialwissenschaften und besonders in der Betriebswirtschaftslehre maßgeblichen Anteil hat, sieht ein System als „a grouping of parts that operate together for a common purpose“.²²⁵ In gleicher Weise betont Churchman die Zielbezogenheit eines Systems, wenn er schreibt: „Systeme setzen sich zusammen aus Gruppen von Einzelkomponenten, die zusammenarbeiten, um dem eigentlichen Ziel näherzukommen.“²²⁶ Drenick legt besonderes Gewicht auf die Beziehung zwischen Inputs und Outputs: „A system, in recent parlance, is a device which accepts one or more inputs and generates one or more outputs.“²²⁷ Schließlich bereichert Gaines die Diskussion um eine gleichermaßen merkwürdige wie interessante Definition, die sich im Hinblick auf die hierarchische Abgrenzung von Systemen jedoch als sehr zutreffend erweisen wird: „A system is what is distinguished as a system.“²²⁸

Ropohl führt die skizzierte Vielfalt des Systembegriffs darauf zurück, dass sich je nach Autor entweder der strukturelle, hierarchische oder funktionale Systemaspekt in den Vordergrund schiebt, wohingegen der Systembegriff im Grunde dreidimensional ist und alle der angeführten Aspekte in sich vereint.²²⁹

Das vielleicht geläufigste Systemkonzept ist das *strukturelle*, das ein System als eine Ganzheit miteinander verknüpfter Elemente betrachtet und in folgender mathematischer Definitionsgleichung zum Ausdruck kommt.²³⁰

$$(1) \quad S = \{E, R\}$$

Verbal umschrieben ist ein System danach eine Menge E von Elementen, die über eine Menge R von Relationen²³¹ miteinander verbunden sind. Von Bertalanffy zufolge macht aber schon diese rein formale Systemdefinition auf zwei

²²³ Hans Ulrich: Die Unternehmung als produktives soziales System, 1968, S. 105.

²²⁴ Vgl. Hans-Joachim Flechtner: Grundbegriffe der Kybernetik, 1966, S. 228.

²²⁵ Vgl. Jay W. Forrester: Principles of System, 1971, S. 1-1.

²²⁶ C. West Churchman: Einführung in die Systemanalyse, 1971, S. 19.

²²⁷ R. F. Drenick: An Appraisal of the Status and Future of System Theory, 1965, S. 6.

²²⁸ Brian R. Gaines: General Systems Research: Quo Vadis?, 1979, S. 1.

²²⁹ Siehe Günter Ropohl: Eine Systemtheorie der Technik, 1979, S. 54.

²³⁰ Vgl. z. B. George J. Klir: Facets of Systems Science, 1991, S. 9 f. oder Peter Milling: Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik, 1980, S. 85.

²³¹ Eine n-stellige Relation zwischen den Mengen E_1, \dots, E_n ist eine Teilmenge des Cartesischen Produktes $E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n$. Zur Beschreibung einer Relation wird eine Aussageform oder Relationsvorschrift der Art „x ist Teiler von y“ und eine Grundmenge benötigt, auf die die Relation bezogen ist. Die Relation ist identisch mit der Erfüllungsmenge der Aussageform bezüglich der Grundmenge.

grundlegende Aspekte systemischer Ansätze aufmerksam. „Erstens müssen wir zur Erkenntnis eines sogenannten Systems nicht nur dessen Elemente kennen, sondern auch die zwischen ihnen bestehenden Beziehungen ... Eben deshalb ist zweitens ein System ... eine Ganzheit mit eigenartigen Eigenschaften.“²³² Die Formulierung „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“, die gelegentlich auf Aristoteles zurückgeführt wird, ist die Essenz der strukturellen Systemperspektive. Der Mensch selbst gibt ein besonders anschauliches Beispiel zur Illustration dieses systemischen Leitgedankens ab. Nicht anders als unbelebte Materie ist er aus Atomen chemischer Elemente aufgebaut. Gäbe aber ein Forscher eine der menschlichen Zusammensetzung entsprechende Mischung aus Wasserstoffatomen, Kohlenstoffatomen, Sauerstoffatomen usw. in einen Glaskolben, so würde niemand behaupten wollen, dass ein Mensch in dem Gefäß sei. Eine bloße Ansammlung von Atomen ist nicht lebendig; das Lebewesen Mensch lässt sich nicht auf die materiellen Bausteine allein reduzieren, ohne ihm seine wesentlichen Eigenschaften zu nehmen. Der Mensch ist nur Mensch als Summe der ihn aufbauenden Teile *und* als Summe der zwischen diesen Teilen herrschenden Wechselwirkungen.

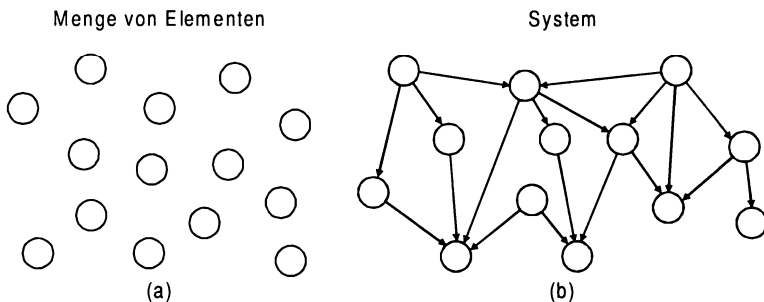


Abbildung 24: Der Unterschied zwischen Menge und System

Das die Systemelemente miteinander vernetzende und verknüpfende Beziehungsgefüge ist notwendiger Bestandteil des Systembegriffs. Ansammlungen unverbundener Partikel stellen kein System dar, sondern sind lediglich ein Agglomerat – mathematisch beschreibbar durch eine Menge, grafisch darstellbar z. B. durch eine Ansammlung von Kreisen (vgl. Abbildung 24 (a)). Von einem System kann erst dann gesprochen werden, wenn Beziehungen die Elemente miteinander vernetzen, d. h. wenn die Elemente eine Struktur aufweisen. In der grafischen Darstellung werden üblicherweise Linien oder Pfeile als Sinnbilder für die Verbindungen zwischen den Elementen verwendet. Abbildung 24

²³² Ludwig von Bertalanffy: Vorläufer und Begründer der Systemtheorie, 1972, S. 18.

visualisiert unter Verwendung dieser Notation den Unterschied zwischen einer Menge von Elementen und einem System.

Die Struktur eines Systems – so viel lässt sich mit Milling festhalten – wird von dem Beziehungsgefüge gebildet, welches die Systemelemente miteinander vernetzt.²³³ Forrester kleidet das in die Worte, dass „the structure of a system tells how the parts are related to one another“.²³⁴ In lexikalischen Nachschlagewerken ist die Gleichsetzung von Struktur mit (innerem) Aufbau, Ordnung oder Gebilde und außerdem der Hinweis auf den lateinischen Ursprung *structura* zu finden, was ins Deutsche übersetzt Bau, Bauart, Mauerwerk, Aufbau oder Satzbau heißt. Daraus ist zu entnehmen, dass die Struktur eines Systems zunächst etwas Statisches, ein Zustand ist. Stoppte man gedanklich die Zeit, dann kämen Systemaktionen und -verhalten zum Stillstand und übrig bliebe allein die Statik des Systems, das Geflecht von Elementverbindungen, das die Struktur ausmacht. Nahe liegend, aber zu eng ist es, in der Systemstruktur eine Vorschrift zum hierarchischen Aufbau²³⁵ von Systemen aus ihren Elementen zu erblicken. Diese Sichtweise ist auch Abbildung 24 (b) inhärent. Die Deutung der Pfeile als Symbol für die Aussage „besteht aus“ erlaubte, die Grafik als Stückliste aufzufassen, die die Zusammensetzung von Produkten aus Baugruppen und Teilen angibt. Neben dieser hierarchischen Struktur von Systemen gibt es auch nicht-hierarchische Zuordnungsstrukturen und Strukturen, die die Systemelemente eines Systems in eine von deren Attributen abhängigen Ordnung bringen. Zuordnungsstrukturen beispielsweise legen fest, dass zur Bedienung einer Maschine genau vier Arbeiter benötigt werden oder dass zu jeder Rechnung mindestens eine Buchung gehört. In die letztgenannte Kategorie fallen Aussageformen, die beispielsweise die Kinder einer Schulklasse in eine Ordnung bringen oder Freundschaftsbeziehungen festlegen.

Trotz dieser dreifachen Differenzierung ist diese als statisch bezeichnete strukturelle Perspektive zu einseitig; denn auch die Aktivitäten in einem System folgen bestimmten Regeln, so dass es gerechtfertigt erscheint, der statischen (Aufbau-)Struktur eine dynamische (Ablauf-)Struktur an die Seite zu stellen. Informationen beispielsweise fließen häufig in einer bestimmten, geordneten Art und Weise in einem System. Maschinen in einer Fabrikhalle sind so angeordnet, dass daraus eine bestimmte Struktur des Materialflusses folgt. Wenn auch die Aktionen eines Systems beim gedanklichen Stop der Zeit zum Stehen kommen, so bleiben dennoch die Regeln bestehen, die den Strom von Aktivitäten und die Folge von Ereignissen strukturieren.

²³³ Vgl. Peter Milling: Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik, 1980, S. 84.

²³⁴ Jay W. Forrester: Industrial Dynamics, 1961, S. 15.

²³⁵ Vgl. zu der Hierarchie von System auch die Ausführungen S. 111 ff.

Die Beziehungen zwischen den Elementen werden durch die Menge der Relationen, d. h. durch das zweite Element der Definitionsgleichung (1), geknüpft. Eine Relation ist ihrerseits selbst eine Menge. Eine Relation, die die Elementmengen E_1 , E_2 und E_3 miteinander verknüpft, ist eine Teilmenge des kartesischen Produktes $E_1 \times E_2 \times E_3$ und wird als 3-stellige Relation bezeichnet. Für den allgemeinen Fall gilt: Eine n-stelligen Relation zwischen den Mengen E_1 , E_2 , ..., E_n ist eine Teilmenge des kartesischen Produktes $E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n$. Relationen lassen sich auf mehrere Weisen angeben. Grundsätzlich eignet sich jedes Verfahren, das angeben kann, welche geordneten n-Tupel zu R gehören und welche nicht. Enthält R endlich viele Elemente, dann lässt sich R einfach durch Aufzählen der geordneten n-Tupel beschreiben:

$$R_{Bsp} = \{(2, 4), (2, 6), (3, 6)\}.$$

Außerdem ließe sich diese Relation mit Hilfe eines Pfeildiagramms, einer Tabelle, eines Gitternetzes oder eines kartesischen Koordinatensystems angeben.²³⁶ Die allgemeinste Möglichkeit ist die, eine Aussageform in n Variablen und eine Grundmenge vorzugeben. Zur oben angeführten, zweistelligen Relation R_{Bsp} könnte folgende Relationsvorschrift führen:

$$R_{Bsp} = \{(x, y) \mid x \text{ ist echter Teiler von } y\}_{A \times B},$$

$$\text{wobei } A = \{2, 3\}, B = \{2, 4, 6\}.$$

Genauso gut passt die Relation R_{Bsp} aber auch zu der Aussageform

$$R_{Bsp} = \{(x, y) \mid \frac{y}{x} = 2 \text{ oder } \frac{y}{x} = 3\}_{A \times B}, \text{ A und B wie oben.}$$

Es ist daher nicht möglich, von einer gegebenen Relation eindeutig auf die sie erzeugende Relationsvorschrift zu schließen. Relation und Relationsvorschrift sind unbedingt voneinander zu unterscheiden. Die im rechten Teil der Abbildung 24 durch Pfeile wiedergegebene, paarweise Relation in der Menge E der Elemente könnte daher aus unterschiedlichen Relationsvorschriften resultieren. Vorstellbar wäre beispielsweise die Aussageform „x besteht aus y“; genauso gut könnte Abbildung 24 (b) aber auch die Relationsvorschrift „x ist weisungsbefugt gegenüber y“ darstellen. Gleiche Systemstrukturen müssen daher

²³⁶ Beispiele finden sich z. B. bei Hans-Dieter Gerster: Aussagenlogik – Mengen – Relationen, 1972, S. 124–127.

nicht inhaltlich das Gleiche bedeuten, obwohl sie in der grafischen Darstellung das gleiche Netzwerk ergeben.

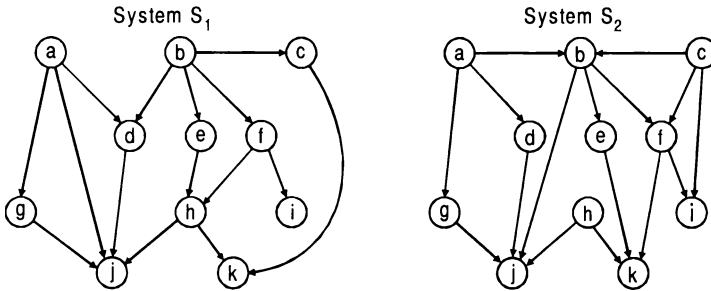


Abbildung 25: Strukturelle Variationen

Das ist jedoch nur die Steigerung eines Problems, das in der immensen strukturellen Varietät schon relativ einfacher Systeme seinen Ursprung hat. Wie viele voneinander unterscheidbare Systemstrukturen schon bei relativ wenigen miteinander verknüpften Elementen beobachtet werden können, soll das folgende Beispiel zeigen. Die Aussagenform „x besteht aus y“ kann bei der gegebenen Grundmenge E, die aus nur 11 Elementen besteht, z.B. die Struktur, die in Abbildung 25 (a) dargestellt ist, oder die völlig andere der Abbildung 25 (b) zur Folge haben. Die Relation R_1 , die zu Abbildung 25 (a) führt, lautet:

$$R_1 = \{(x, y) | x \text{ besteht aus } y\}_{E \times E}$$

$$R_1 = \left\{ (a, g), (a, j), (a, d), (b, d), (b, e), (b, f), (b, c), (d, j), (e, h), (f, h), (f, i), (g, j), (h, j), (h, k) \right\}$$

wobei $E = \{a, b, \dots, k\}$.

Relation R_2 , die System S_2 begründet, sieht demgegenüber wie folgt aus:

$$R_2 = \{(x, y) | x \text{ besteht aus } y\}_{E \times E}$$

$$R_2 = \left\{ (a, g), (a, d), (a, b), (b, j), (b, e), (b, f), (c, b), (c, f), (c, i), (d, j), (e, k), (f, k), (f, i), (g, j), (h, j), (h, k) \right\}$$

Das sind jedoch nur zwei von insgesamt mehr als $1,298 \cdot 10^{33}$ voneinander unterscheidbaren Relationen und damit Systemstrukturen, die bei der kleinen

Menge von 11 Elementen und einer abstrakten Relationsvorschrift möglich sind. Die maximale Anzahl paarweiser Beziehungen beträgt bei n Elementen $n(n-1)$. $n(n-1)$ deshalb, weil die Beziehung zwischen a und b nicht unbedingt mit der zwischen b und a identisch ist: a kann b Geld schulden, b braucht aber deswegen noch lange nicht bei a im Soll zu stehen. Wenn jede dieser paarweisen Beziehungen entweder vorhanden sein kann oder nicht, dann ergeben sich $2^{n(n-1)}$ voneinander verschiedene Systemstrukturen.

Wenn ein System darüber hinaus durch mehr als eine Relation gekennzeichnet ist – etwa weil es mehr als eine abstrakte Relationsvorschrift gibt –, explodiert die Strukturvarietät ins Unvorstellbare.

Weil die Struktur eines Systems Mengen erst zu Systemen macht, und weil die Struktur eines Systems maßgeblichen Einfluss auf das Systemverhalten hat, sind Untersuchungen, die die Struktur betreffen, wichtig und interessant. Aus der strukturellen Systemperspektive interessieren daher Vielfalt möglicher Beziehungsgeflechte, die sich in einer Menge von Elementen herausbilden können, die daraus resultierenden Eigenschaften eines Systems und außerdem die Frage, wie die Elemente beschaffen sein müssen, um sich für die Einbindung in ein System zu qualifizieren. „Struktureales Systemdenken beruht auf dem Grundsatz, dass Elemente nicht isoliert, nicht losgelöst von ihrem Konnex betrachtet werden dürfen, sondern in ihrer Interdependenz mit anderen Elementen innerhalb eines umfassenden Systems zu sehen sind.“²³⁷

Das *hierarchische Systemkonzept* betont, dass Elemente selbst wieder als Systeme und dass Systeme als Elemente übergeordneter Systeme betrachtet werden können. Ausgehend von einem Basissystem, wird Teilbarkeit in die eine und Zusammenfassbarkeit in die andere Richtung postuliert. Was Element und was System ist, wird zur Konvention. Die Festlegung eines Elements als nicht weiter teilbar ist zweckbestimmt. Eine Unternehmung wird nicht versuchen, das Kaufverhalten ihrer Kunden aus der Existenz und dem Zusammenwirken atomarer Partikel abzuleiten. Insofern gibt es eine an Nützlichkeits- und Praktikabilitätsüberlegungen orientierte Grenze der Disaggregation – und natürlich auch der Aggregation – bei der empirischen Interpretation allgemeiner Systeme. Aus der hierarchischen Systemperspektive erfährt die auf S. 106 zitierte, zunächst merkwürdig anmutende Systemdefinition von Gaines nachhaltige Unterstützung: Wenn sich nur durch Übereinkunft feststellen lässt, was als System und was als Element zu gelten hat, dann ist eine System tatsächlich das, was wir als solches auszeichnen.²³⁸

²³⁷ Günter Ropohl: Eine Systemtheorie der Technik, 1979, S. 54.

²³⁸ Vgl. Brian R. Gaines: General Systems Research: Quo Vadis?, 1979, S. 1 ff.

Am Beispiel Erde als Basissystem lässt sich das hierarchische Konzept gut veranschaulichen. Der Planet Erde lässt sich in die eine Richtung in immer umfassendere Systeme einordnen und in die andere Richtung in immer kleinere Systeme gliedern. Als Planet ist die Erde ein Teil des Sonnensystems, dem weitere acht Planeten – Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun, Pluto – deren Satelliten, ungefähr 100.000 Asteroiden und eine in die Milliarden gehende Zahl von Kometen angehören. Das Sonnensystem lässt sich zusammen mit vielen anderen Planetensystemen der Milchstraße zuordnen. Auf der nächsthöheren Hierarchieebene lassen sich Galaxien wie die Milchstraße und der Andromeda-Nebel als Elemente von Galaxienhaufen auffassen, die wiederum Bestandteile des Universums oder Weltalls sind.

Auch in die andere Richtung ist eine vielstufige Gliederung möglich. Viele Zwischenschichten auslassend, könnte man z. B. ein Blatt eines Baumes oder Strauches als System betrachten. Dieses ist aus vielen Zellen aufgebaut, von denen jede Einzelne weiter in Zellwand, Zellkern und Zellflüssigkeit unterteilt werden kann. Die Zellwand beispielsweise wird aus langen, kettenförmigen Makromolekülen gebildet, die wiederum aus der Verbindung zahlreicher kleiner Zuckermoleküle entstanden sind. Aber auch diese Monomere bestehen aus kleineren Teilchen, den Atomen. Bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts galten Atome als unteilbar. Heute fasst man das Atom ebenfalls als System auf, das aus Elektronen, Protonen und Neutronen besteht. Die Quantenphysik hat darüber hinaus weitere, noch kleinere Teilchen als Bausteine der Materie entdeckt.

Das Beispiel verdeutlicht, dass es viele Stufen von Ganzheiten und Teilen gibt. Was auf der aktuellen Stufe als Ganzheit angesehen wird, ist Teil der nächsthöheren Stufe; und Teile auf der aktuellen Ebene sind die Ganzheiten der nächstniedereren Stufe. Elemente sind daher grundsätzlich Systeme und können noch weiter unterteilt werden. Sie haben als Elemente nur für eine bestimmte Betrachtungsebene und eine bestimmte Zielsetzung Bestand. „Zoomt“ man das Element, wie es beispielsweise Abbildung 26 darzustellen versucht, wird es zum System und eröffnet seine innere Struktur.

Obwohl der Systemansatz immer versucht, das Teil in Verbindung zum Ganzen zu sehen und den Zusammenhang zwischen Teil und Ganzheit nie zu verlieren, lassen sich folgende Tendenzaussagen treffen: Je stärker die Vergrößerung, je tiefer das Hinuntersteigen in der Systemhierarchie, desto genauer, desto detaillierter lässt sich das System erklären. Umgekehrt vertieft sich das Verständnis der Bedeutung des Systems und der es prägenden Zusammenhänge mit jeder Stufe, die man sich nach oben bewegt. Auch wenn es damit keine Elemente im ursprünglichen, engen Wortsinn mehr gibt, ist es trotzdem nach wie vor sinnvoll, von Elementen zu sprechen. Denn es gibt – wie schon erwähnt – Grenzen der Nützlichkeit immer tieferer Detaillierung. Irgendwann ist die tiefste für ein

spezielles, empirisches Problem sinnvolle Stufe erreicht. Eine weitere Zerlegung ist dann nicht mehr zielgerecht, so dass von Elementen immer dann die Rede sein soll, wenn sie die – vorläufig – kleinsten interessierenden Einheiten des Problembereichs darstellen.²³⁹

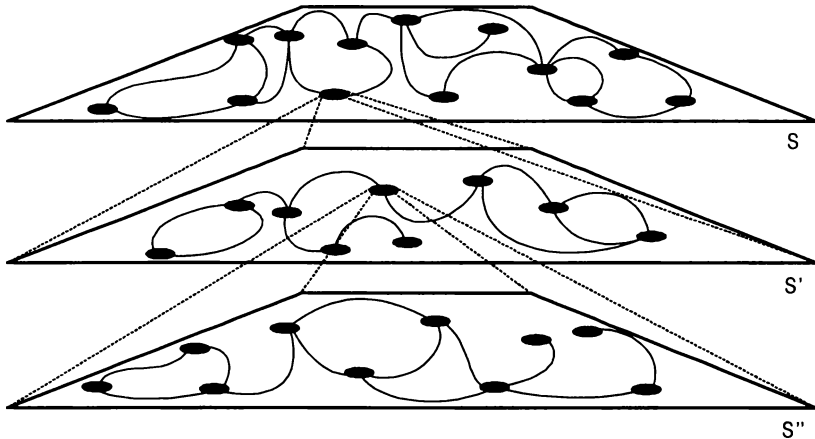


Abbildung 26: Die hierarchische Perspektive des Systemansatzes

Die dritte, als *funktional* bezeichnete Betrachtungsweise eines Systems konzentriert sich auf dessen äußere, dynamische Eigenschaften, insbesondere den Input, der in das System hineinfließt, und den Output, den das System an seine Umgebung, an sein Umsystem abgibt. Der Transformationsprozess, der Input in Output umsetzt, bleibt dabei häufig im Dunkeln, meist deswegen, weil es für völlig aussichtslos angesehen wird, die Mechanismen im Einzelnen zu identifizieren und die Strukturen herauszuarbeiten, aus denen sich der Transformationsvorgang erklären ließe. Ohne sich daher für das „Innenleben“ en Detail zu interessieren, wird ein System aus funktionaler Perspektive als Schwarzer Kasten betrachtet, der über mindestens einen Eingang und mindestens einen Ausgang verfügt. Damit wird ein System auf seinen Rand und sein Randverhalten reduziert. Die innere Funktionalität wird als nicht interessant oder nicht erfahrbare aus der Untersuchung ausgeklammert. Mehr als Hypothesen darüber, wie der Transformationsprozess aussehen könnte, werden nicht angestrebt. Es geht darum, zu untersuchen, welche Zusammenhänge zwischen Input- und Output-

²³⁹ Diese Ansicht vertritt auch Ulrich: „Als ‚Element‘ wird sodann jener einzelne Teil des Systems verstanden, den man nicht weiter aufteilen kann bzw. will, die kleinste uns interessierende Einheit im System, die wir nicht weiter analysieren können oder wollen.“ Hans Ulrich: Die Unternehmung als produktives soziales System, 1970, S. 107.

Werten bestehen und welche Regelmäßigkeiten zwischen Änderungen des Input und Variationen des Output bestehen.

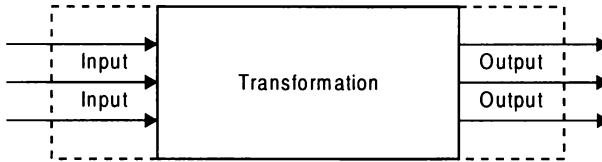


Abbildung 27: Input-Output-Modell als Darstellung des funktionalen Systemkonzepts

Obwohl das in Abbildung 27 dargestellte funktionale Modell auf einen ersten Blick geradezu primitiv erscheint, ist es in der Wissenschaft weit verbreitet. Input-Output-Modelle sind in der Volkswirtschaftslehre sowohl in der Makro- als auch in der Mikroökonomie anzutreffen. In der Psychologie finden sich Stimulus-Response-Modelle zur Beschreibung menschlichen Verhaltens. Im Marketing wird nicht selten der Markt als große Unbekannte betrachtet, der auf im Grunde unerklärliche Weise als Output die Nachfrage nach dem beworbenen Produkt generiert. Nicht zuletzt ist das funktionale Systemkonzept in der Philosophie zu finden: Dort wurden Erkenntnistheorien entwickelt, welche die Welt als Black-Box beschreiben, von deren innerem Aufbau der Mensch letztlich überhaupt nichts Sicheres wissen kann.

Beer betont, dass die Bedeutung der Technik des Schwarzen Kastens nicht unterschätzt werden darf.²⁴⁰ Von ihrer Varietät her ist schon eine eigentlich sehr einfache Black-Box mit 8 Eingängen und nur einem Ausgang in der Lage 2^{256} voneinander unterscheidbare Systeme abzubilden, wenn jeder Eingang und jeder Ausgang einen von zwei möglichen Werten annehmen kann. Auch wenn es unter dem Gesichtspunkt der rationalen Analyse von Handlungskonsequenzen unbefriedigend ist, sich Schwarzen Kästen gegenüberzusehen und mit solchen zu arbeiten, so ist dies doch meist das tägliche Brot des Unternehmers. Während es primäres Ziel des Wissenschaftlers ist, Licht in das Dunkel zu bringen, die Funktionsweise des Systems offenzulegen und das Zusammenarbeiten der einzelnen Teile zu erklären, kann der Manager in den seltensten Fällen auf die Erklärungen der Wissenschaft warten, warum nun im Einzelnen z. B. Preissenkungen zu einer steigenden Nachfrage führen. Er muss dann die Nachfrage nach seinen Produkten als Output des Schwarzen Kastens Markt hinnehmen, dessen innere Mechanismen ihm jedoch verborgen bleiben, und, den eigenen Vermu-

²⁴⁰ Vgl. Stafford Beer: *Kybernetik und Management*, 1970, S. 67 ff.

tungen über den Zusammenhang zwischen Input und Output folgend, seine Entscheidungen treffen.

Die Bedeutung des Schwarzen Kastens ist auch daran zu sehen, dass es ihn schon zwangsläufig deswegen gibt, weil eine Detaillierung irgendwann an die Grenzen der Nützlichkeit stoßen muss. Dort, wo der Prozess der Hierarchisierung von Systemen abgebrochen werden muss, wo das weitere Zoomen von Elementen seinen Sinn verliert, bleiben notwendigerweise Schwarze Kästen erhalten.

Zusammenfassend lässt sich sagen: Das funktionale Systemkonzept betrachtet Systeme unter dem dynamischen Gesichtspunkt. Es richtet den Fokus auf die Aktivitäten eines Systems, auf sein Verhalten, das sich im Austausch mit seinem Umsystem äußert. Es untersucht die Flüsse an materiellen und nichtmateriellen Größen und beschreibt diese über Relationen oder Funktionen.

2. Eine formale, mengentheoretische Systemdefinition

Keines der drei dargestellten Systemkonzepte ist allein in der Lage, alle drei in Abschnitt C.II.1. erläuterten Aspekte eines Systems angemessen zu repräsentieren. Ropohl beklagt zu Recht, dass der systemtheoretische Ansatz an der einseitigen Betonung jeweils nur eines Systemaspektes leidet.²⁴¹ Ein adäquater Systembegriff sollte in der Lage sein, alle drei Aspekte zu integrieren.

Die Definition (1) des Systembegriffes, die ein System als eine Menge von zueinander in Beziehung stehenden Objekten charakterisiert, bringt die skizzierte Dreischichtigkeit des Systembegriffs nicht zum Ausdruck. Sie ist zu abstrakt gehalten, um das strukturele, funktionale und hierarchische Konzept umfassen zu können. Es bedarf einer partiellen Interpretation der Ausdrücke Element/Objekt und Beziehung, um zu einer Systemdefinition zu gelangen, die alle drei Aspekte von vornherein enthält. Günter Ropohl²⁴² erweitert in seiner Systemdefinition das Paar der Definitionsgleichung (1) zum Quadrupel und schafft so einen Systembegriff, der den beiden Anforderungen an eine Systemdefinition – Allgemeingültigkeit und Berücksichtigung aller drei als wichtig identifizierten Perspektiven – genügen kann. Nach seiner Definition wird ein System aus einer Menge A von Attributen, einer Menge F von Funktionen, einer Menge S' von Subsystemen und einer Menge R von Relationen gebildet.

²⁴¹ Vgl. Günter Ropohl: Eine Systemtheorie der Technik, 1979, S. 54.

²⁴² Eine ausführliche, auch mengentheoretisch formulierte Darstellung des dreidimensionalen Systembegriffs ist bei Ropohl zu finden: Günter Ropohl: Eine Systemtheorie der Technik, 1979, S. 57–67. und Günter Ropohl: Einführung in die allgemeine Systemtheorie, 1978, S. 19–31. Die Ausführungen auf den folgenden Seiten lehnen sich an die Definitionen Ropohls an.

$$(2) \quad S = \{A, F, S', R\}$$

Da mit dieser Definition bei den Begriffen *Funktion* und *Relation* Unvereinbarkeiten mit der mathematischen Terminologie nicht zu vermeiden sind²⁴³, soll ein System im Rahmen der vorliegenden Arbeit als Gebilde aus einer Menge A von Attributen, einer Menge IR innersystemischer Relationen, einer Menge S' von (Sub-)Systemen und einer Menge ZR zwischensystemischer Relationen definiert werden. Für allgemeine Systeme wird daher die folgende Definitionsgleichung vorgeschlagen, die auch den Konflikt mit der mathematischen Terminologie vermeidet.

$$(3) \quad S = \{A, IR, S', ZR\}$$

Die Attribute sind die äußeren Merkmale oder Eigenschaften eines Systems.²⁴⁴ Ein Fahrzeug hat z.B. die Attribute Leistungsabgabe, Energieverbrauch, Anzahl der Räder usw. Jedes der Systemattribute muss mindestens einen Wert einnehmen können. Wäre die Menge der möglichen Werte leer, gäbe es keine Ausprägungen der Eigenschaft und diese wäre sinnlos, weil nicht vorhanden. Eine Systemeigenschaft – per definitionem selbst wieder eine Menge – muss daher mindestens eine Ausprägung einnehmen können, d.h. a muss mindestens ein Element α enthalten.

$$(4) \quad A = \{a_j, \dots, a_j\} \quad \text{mit } A \in S; j \in N$$

$$(5) \quad a_i \neq \{ \} \quad \text{mit } a_i \in A$$

Die Leistungswerte heutiger, für den Straßenverkehr zugelassener Autos reichen beispielsweise von einigen wenigen Kilowatt bis hin zu vielen hundert, so dass die Menge der Ausprägungen eine Teilmenge der reellen Zahlen darstellt, beispielsweise

$$(6) \quad \text{Leistungsabgabe} = \{\alpha | 0 \leq \alpha \leq 1000 \wedge \alpha \in \mathcal{Q}\}.$$

²⁴³ „Während in der ‚reinen‘ Mathematik der Funktionsbegriff für eindeutige Abbildungen reserviert ist, sollen hier ... mehrdeutige Abbildungen ebenfalls zugelassen sein, so dass unser Funktionsbegriff dem entspricht, was in der ‚reinen‘ Mathematik ‚Relation‘ heißt.“ Günter Ropohl: Eine Systemtheorie der Technik, 1979, S.61. Auf Seite 64 heißt es weiter: „Ausdrücklich müssen wir auch darauf hinweisen, dass wir den Relationsbegriff konkreter fassen als das im mathematischen Konzept des Relationengebildes üblich ist.“

²⁴⁴ Vgl. Günter Ropohl: Einführung in die allgemeine Systemtheorie, 1978, S. 19.

Die Menge der Ausprägungen einer Systemeigenschaft kann endlich oder auch unendlich sein, wobei unendliche Mengen in solche mit abzählbar vielen und solche mit nicht mehr abzählbar vielen Elementen weiter unterteilt werden können. Unendliche Mengen können nur noch verbal oder durch mathematische und logische Symbole beschrieben werden. Dazu wird die Grundmenge – beispielsweise die Menge der natürlichen Zahlen N – und ein Prädikat genannt, das die zu beschreibende Menge zutreffend charakterisiert:

$$M = \{x | x \text{ ist eine Primzahl}\}_N \quad \text{oder} \quad M = \{x | x \geq 5\}_Q.$$

Endliche Mengen lassen sich außerdem – zumindest prinzipiell – durch Aufzählen ihrer Elemente charakterisieren.

$$M = \{rot, gelb, grün\}$$

Über die Anzahl der Attributausprägungen einzelner Systemeigenschaften hinaus, lassen sich Systemattribute auch nach Art der Skala unterscheiden, anhand derer ihre Werte gemessen werden. Rot, gelb und grün beispielsweise sind qualitative, diskrete Ausprägungen des Systemattributes Farbe, die auf einer Nominal- oder Ordinalskala abgetragen werden können. Die Wellenlängen des sichtbaren Lichtes – $400 \text{ nm} \leq \lambda \leq 800 \text{ nm}$ – sind dagegen quantitative, kontinuierliche Werte, die sich einer metrischen Skala zuordnen lassen.

Bei einer ganzen Reihe von Systemen ist es zweckmäßig, die Attribute in die drei Klassen der Inputs, der Outputs und der Zustände einzuteilen.²⁴⁵ Dabei sind die Schnittmengen zwischen je zwei Teilmengen leer, d. h. kein Attribut kann zugleich Input und Output oder Input und Zustand oder Output und Zustand sein. Inputs werden dem System von außen, von dem es umgebenden Umsystem zugeführt, Outputs dorthin abgegeben. Inputs und Outputs sind Flussgrößen, d. h. zeitabhängige Variablen. Systeme mit Input- und/oder Outputattributen sind dynamische Systeme, deren Zustände durch Inputs und Outputs verändert werden können. Werden beispielsweise einem Produktionssystem Arbeitskräfte zugeführt, dann erhöht sich der Systemzustand Mitarbeiteranzahl; umgekehrt wird der Personalbestand durch Entlassungen, Abgabe von Arbeitern an das Umsystem, verringert.

Die Attribute ein und desselben Systems sind über die Menge der inner-systemischen Relationen zueinander in Beziehung gesetzt. Mengentheoretisch ist eine Relation eine echte Teilmenge des kartesischen Produkts²⁴⁶ zwischen min-

²⁴⁵ Vgl. Günter Ropohl: Einführung in die allgemeine Systemtheorie, 1978, S. 20.

²⁴⁶ Vgl. zum Begriff des kartesischen Produktes z. B. Hans-Dieter Gerster: Aussagenlogik, Mengen, Relationen, 1972, S. 114–119.

destens zwei Attributen a_i .²⁴⁷ Für den einfachen Fall, dass nur zwei Attribute a_1 und a_2 miteinander zu verknüpfen sind, ordnet eine Relation $IR \subset a_1 \times a_2$ den Ausprägungen α_{1i} des Attributes a_1 die Ausprägungen α_{2i} des Attributes a_2 zu. Ist es so, dass jeder Ausprägung α_{1i} des Attributes a_1 genau eine Ausprägung α_{2i} des Attributes a_2 zugewiesen ist, dann ist die Zuordnung eindeutig und die Relation heißt Funktion. Die Beziehung zwischen der Geschwindigkeit und dem Energieverbrauch ist beispielsweise funktional: Jede Geschwindigkeit geht mit einem bestimmten Energieverbrauch einher. Bei Relationen zwischen mehr als zwei Attributen sind nicht mehr Paare wie $(\alpha_{1l}, \alpha_{2s})$, sondern geordnete n-Tupel das Ergebnis. Hängt der Benzinverbrauch nicht allein von der Geschwindigkeit, sondern auch vom Gewicht und vom Luftwiderstandsbeiwert des Autos ab, ergeben sich z. B. 4-Tupel.

$$(7) \quad IR = \{ir_l, \dots, ir_l\} \quad \text{mit } IR \in S; l \in N$$

$$(8) \quad ir_l \subseteq a_1 \times \dots \times a_j$$

Nachdem die funktionale Systemdimension damit ausreichend beschrieben ist, soll jetzt die hierarchische Perspektive näher erläutert werden. Aus hierarchischer Systemsicht bestehen die inneren Bestandteile eines Systems aus einer Menge von Elementen, die selbst wieder Systeme, aus der Sicht des übergeordneten Systems also Subsysteme sind.

$$(9) \quad S' = \{S'_l, \dots, S'_m\} \quad \text{oder } S' = \{ \} \quad \text{mit } S' \in S; m \in N$$

Für ein Subsystem S'_r gilt die Systemdefinition (3) analog.

$$(10) \quad S'_r = \{A'_r, IR'_r, S''_r, ZR'_r\} \quad \text{mit } r \in \{1, \dots, m\}$$

Auf diese Weise wird realisiert, dass jedes System seinerseits in Subsysteme zerlegt werden kann, und es wird möglich, von einer Systemhierarchie²⁴⁸ zu sprechen. Gleichzeitig endete jedoch die Definition, die zu ihrer Definition immer wieder sich selbst aufriefe, in einem unendlichen Regress, würde an dieser Stelle nicht explizit zugelassen, dass die Subsysteme auch unechte Systeme sein dürfen, d. h. solche, die lediglich durch Attribute und innersystemische Relationen beschrieben sind.²⁴⁹ Deswegen ist zugelassen, dass die Menge

²⁴⁷ Vgl. Hans-Dieter Gerster: Aussagenlogik, Mengen, Relationen, 1972, S. 124.

²⁴⁸ Eine Systemhierarchie ist eine Folge von ineinander verschachtelten Systemen.

²⁴⁹ Vgl. Günter Ropohl: Eine Systemtheorie der Technik, 1979, S. 63.

der Subsysteme S' leer sein darf. Die Definition gibt damit dem Anwender die Freiheit, so tief zu schürfen, wie sein Problem es erforderlich macht, und auf der Ebene abzubrechen, auf der er den größten Nutzen erzielt.

Der letzte noch zu erläuternde Bestandteil der viergliedrigen Systemdefinition (3) ist die Menge der zwischensystemischen Relationen ZR . Zwischensystemische Relationen setzen Systeme zueinander in Beziehung. Sie können dabei sowohl Systeme auf derselben Hierarchieebene (Subsystem und Subsystem) als auch Systeme unterschiedlicher Ebenen (System und Subsystem) miteinander verknüpfen. Damit beschreiben Relationen das System aus strukturaler Perspektive. Um mathematischen Schwierigkeiten auszuweichen, wird in einer Relation ein System durch eines seiner Attribute repräsentiert, das System S_v , beispielsweise durch das p -te Attribut a_{vp} .²⁵⁰

$$(11) \quad ZR = \{zr_1, \dots, zr_n\} \quad \text{mit} \quad ZR \in S, n \in N$$

Eine zwischensystemische Relation ist eine echte Teilmenge zwischen q Attributen von q Systemen, die durch q -Tupel beschrieben werden kann.

$$(12) \quad zr_i \subset a_{1p_1} \times \dots \times a_{qp_q} \quad zr_i \in ZR$$

Zwischensystemische Relationen können Subsysteme in sehr unterschiedlicher Art und Weise in Beziehung zueinander setzen. Sie koppeln zwei Subsysteme, wenn der Input des zweiten der Output des ersten ist. Beispielsweise sind eine Fräsmaschine und eine Bohrmaschine dann miteinander gekoppelt, wenn das Werkstück zunächst gefräst und dann mit Löchern versehen werden muss. Zwischensystemische Relationen treffen aber auch einfache Zuordnungen, indem durch sie jedem Auto vier Räder oder jeder Fräsmaschine zwei Arbeiter als Bedienpersonal zugewiesen werden. Der Unterschied zwischen der zwischen- und der innersystemischen Relation ist in Abbildung 28 noch einmal grafisch verdeutlicht: Die innersystemische Relation verknüpft die Attribute ein und desselben Systems, die zwischensystemische die Attribute unterschiedlicher (Sub-) Systeme.

Zusammenfassend und abschließend kann ein System als „eine Ganzheit, die (a) Beziehungen zwischen bestimmten Attributen aufweist, die (b) aus miteinander verknüpften Teilen bzw. Subsystemen besteht und die (c) auf einem bestimmten Rang von ihrer Umgebung abgegrenzt bzw. aus einem Supersystem ausgegrenzt wird“²⁵¹, charakterisiert werden.

²⁵⁰ Vgl. Oskar Lange: Wholes and Parts, 1965, S. 17 ff.; Günter Ropohl: Einführung in die allgemeine Systemtheorie, 1978, S. 26.

²⁵¹ Vgl. Günter Ropohl: Einführung in die allgemeine Systemtheorie, 1978, S. 31.

Das hiermit fertiggestellte definitorische Gerüst vermag eine präzise Vorstellung davon zu vermitteln, was ein System darstellt, wie das Denkmodell *allgemeines System* mathematisch-mengentheoretisch beschrieben werden kann. Wie auf dieser Basis eine Methodenlehre zur Abbildung realer Systeme in formale Modelle konzipiert werden kann, soll im folgenden Abschnitt am Beispiel des System-Dynamics-Ansatzes gezeigt werden.

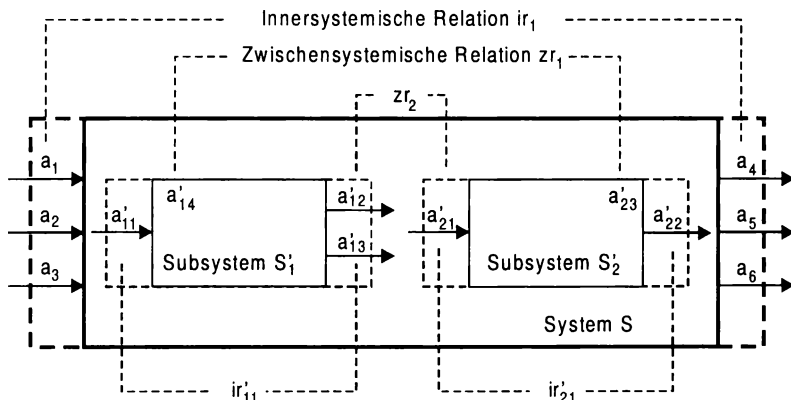


Abbildung 28: Inner- und zwischensystemische Relationen²⁵²

3. System Dynamics als Referenz eines nicht-objektorientierten Modellentwicklungs- und Simulationskonzeptes

Der System-Dynamics-Ansatz ist in seinen Grundzügen von Jay W. Forrester in den späten 50er und frühen 60er Jahren noch unter dem Namen Industrial Dynamics entwickelt worden. Der erste wegweisende Artikel „Industrial Dynamics: A Major Breakthrough for Decision Makers“ erschien 1958 in der Harvard Business Review; 1961 fand die erste Entwicklungsperiode mit der Veröffentlichung des Buches „Industrial Dynamics“ seinen Abschluss. Als sich später herausstellte, dass das dort entwickelte Konzept nicht nur auf industrielle Unternehmen anwendbar war, sondern – viel genereller – zur Analyse, Modellierung und Simulation dynamischer Systeme allgemein geeignet ist, erfolgte die Namensänderung in System Dynamics.

²⁵² In Anlehnung an Günter Ropohl: Einführung in die allgemeine Systemtheorie, 1978, S. 27.

System Dynamics ist der Intention nach die Antwort auf die immense Komplexität der Probleme, die in einer vielfach interdisziplinär und interareal miteinander verwobenen Welt entstehen. Selbst tiefgreifende Veränderungen vollziehen sich mit außerordentlich hoher Geschwindigkeit, wobei Ursachen und Folgen der daraus resultierenden Verwerfungen kaum noch auseinander zu halten sind. Die Problemerkfassungs- und Problemlösungskapazität nicht-systemischer Methoden wird in so offensichtlichem Maße gesprengt, dass von diesen allenfalls ein partieller Beitrag zur Bewältigung der Schwierigkeiten in der heutigen Zeit erwartet werden kann. System Dynamics versteht sich vor diesem Hintergrund als Werkzeug, mit dem Entscheidungen vorbereitet und überprüft werden können, das geeignet ist, Komplexität beherrschbar zu machen, und die Voraussetzung bietet, die Ursachen für beobachtete und nicht verstandene Verhaltensformen zu erforschen.²⁵³ System Dynamics stellt geeignete Verfahren bereit, um auf dem Wege von Modellentwicklung und Simulation das rationale Entscheiden zu fördern.

System Dynamics ist Methode und Methodologie: Methode, weil eine Folge von relativ scharf umrissenen Handlungen oder Behandlungstechniken vorgeschlagen wird, deren Anwendung und Ausführung es ermöglicht, bestimmte Probleme zu lösen, und Methodologie, weil auf einer Meta-Ebene die Methode des SD-Ansatzes betrachtet und diese unter bestimmten Voraussetzungen und bei Verfolgung bestimmter Ziele zur Anwendung empfohlen wird. Über die methodische und methodologische Ebene hinaus erhebt der System-Dynamics-Ansatz in den Augen vieler seiner Repräsentanten allerdings auch den Anspruch auf den Status einer Theorie: Milling bezeichnet System Dynamics als eine Theorie über Aufbau und Verhalten sozialer Systeme²⁵⁴. Forrester selbst sieht System Dynamics sogar als eine Allgemeine Systemtheorie, geeignet, bei Forschungsaktivitäten so verschiedener Bereiche wie dem Ingenieurwesen, der Medizin, der Betriebswirtschaftslehre, der Psychologie oder der Volkswirtschaftslehre als einheitliches Denkmuster zu dienen²⁵⁵.

Das theoretische Fundament des System-Dynamics-Ansatzes ist jedoch immer wieder Gegenstand kritischer Betrachtungen und Diskussionen. In der Literatur wird dem System-Dynamics-Ansatz nicht selten jegliche theoretische Substanz abgesprochen und das Konzept als Behandlungstechnik dargestellt und damit auf seine methodischen Aspekte reduziert. Lenk schreibt beispielsweise über Forresters Principles of Systems:

„Hier werden nicht inhaltliche Modellhypothesen oder Gesetzesaussagen über Systeme entwickelt, sondern Behandlungstechniken, Darstellungstechniken, die die Sys-

²⁵³ Vgl. Peter Milling: Leitmotive des System-Dynamics-Ansatzes, 1984, S. 507.

²⁵⁴ Vgl. Peter Milling: Leitmotive des System-Dynamics-Ansatzes, 1984, S. 507.

²⁵⁵ Jay W. Forrester: Industrial Dynamics – After the first Decade, 1975, S. 135.

temanalyse im inhaltlichen Einzelfall erst ermöglichen. Es handelt sich also nicht um Theorien und Gesetze, sondern um Darstellungs- und Berechnungsprinzipien, also um formale Hilfsmittel, die die notwendigen Voraussetzungen zu einer computergerechten Verarbeitung bieten. Forresters systemtheoretisches Modell ist keine Theorie, sondern ein operatives Modell mit Instrumentalcharakter zur Behandlung von Problemen – ein Modell, das die inhaltliche Theorie eines entsprechenden Gegenstandsbereiches nicht ersetzen kann, wenn es um eine vollständige wissenschaftliche Erklärung geht, sondern diese Theorie zur Anwendung – implizit – erfordert. Forrester gibt keine substantive Theorie ausdrücklich an – diese versteckt sich in der Auswahl seiner Variablen und in der Struktur seiner Blockschaltbilder.“²⁵⁶

So zutreffend diese Argumente vordergründig auch sein mögen, implizieren sie doch ein bestimmtes Verständnis des Theoriebegriffs und verlieren dann signifikant an Durchschlagskraft, wenn der Theoriebegriff terminologisch präzisiert und etwas weiter gefasst wird. Theorie ist nicht immer gleichzusetzen mit empirisch-wissenschaftlicher Theorie; es gibt auch metaphysische und operativ-formale Theorien, auf die Lenks Kritik ebenfalls zutreffen würde. Der System-Dynamics-Ansatz macht zwar tatsächlich keine Aussagen über Systeme, die sich empirisch prüfen ließen. Solche sind aber im Übrigen keiner Systemtheorie möglich, da Systeme formale, perspektivisch „verzerrte“ Modelle zunächst ohne konkreten Inhalt sind. Und außerdem stellt er Hypothesen auf, die heuristischen, methodischen, instrumentalten Charakter haben. Der eine – nicht geringe – Teil der Kontroverse entpuppt sich als terminologisch bedingt, der andere resultiert aus mangelnder Präzision, unklarer Abgrenzung und fehlender axiomatischer Grundlegung des System-Dynamics-Ansatzes.

Die Positionierung von System Dynamics ist dennoch nicht ganz klar. Zwar deutet der Name an, dass nur dynamische Systeme als Objekte von Interesse in Frage kommen; ob System Dynamics jedoch eine Allgemeine Systemtheorie dynamischer Systeme oder eine speziellere Theorie sozialer Systeme sein will, bleibt offen und auch zwischen den Vertretern des Ansatzes umstritten. Dafür gibt es eine Reihe von Gründen, die zum Teil auch in der Entstehungsgeschichte des Ansatzes zu suchen sind. Forrester hat Industrial Dynamics zunächst als „science of feedback behavior in social systems“²⁵⁷, insbesondere in industriellen Unternehmen konzipiert. Die Untersuchungsobjekte waren eine spezielle Art von Systemen – sozioökonomische Systeme –, und Industrial Dynamics hatte eine eher spezielle Ausrichtung. Im Gegensatz dazu war der von Forrester lediglich verbal gefasste Systembegriff – „a ‚system‘ means a grouping of parts that operate together for a common purpose“ – sehr allgemein gehalten. Eine präzise, axiomatische Grundlage für seinen Ansatz hat er nicht geschaffen, die Brücke von einer mathematisch-formalen Allgemeinen Systemtheorie zu Industrial Dynamics nicht gebaut. Das daraus resultierende Problem

²⁵⁶ Hans Lenk: Wissenschaftstheorie und Systemtheorie, 1978, S. 247.

²⁵⁷ Jay W. Forrester: Industrial Dynamics – After the first Decade, 1975, S. 136.

mangelnder Präzision hat sich im Zuge der Verallgemeinerung und Ausweitung auf eine größere Zahl von Systemarten weiter verschärft.

Heute präsentiert sich der System-Dynamics-Ansatz im Spannungsfeld unterschiedlicher und widersprüchlicher Interpretationen seines Allgemeinheitsgrades, seines theoretischen Anspruchs und Gehaltes als primär in der praktischen Anwendung erfolgreiches Werkzeug, als Methode und Methodologie, nicht aber als geschlossenes theoretisches Konzept. Aussagen über allgemeine und spezielle, insbesondere sozioökonomische Systeme sind schwer unterscheidbar miteinander vermengt. Die konträre Charakterisierung des System-Dynamics-Ansatzes einmal als Strukturtheorie sozialer Systeme vor allem bei Milling²⁵⁸ und ein anderes Mal als Theorie allgemeiner dynamischer Systeme bei Forrester selbst vermag vor diesem Hintergrund nicht zu überraschen. Was dem Ansatz fehlt, ist eine scharfe Trennung der unterschiedlichen Betrachtungsebenen, eine präzisierende Klarstellung des Systembegriffs und dessen Verknüpfung mit dem methodischen Instrumentarium.

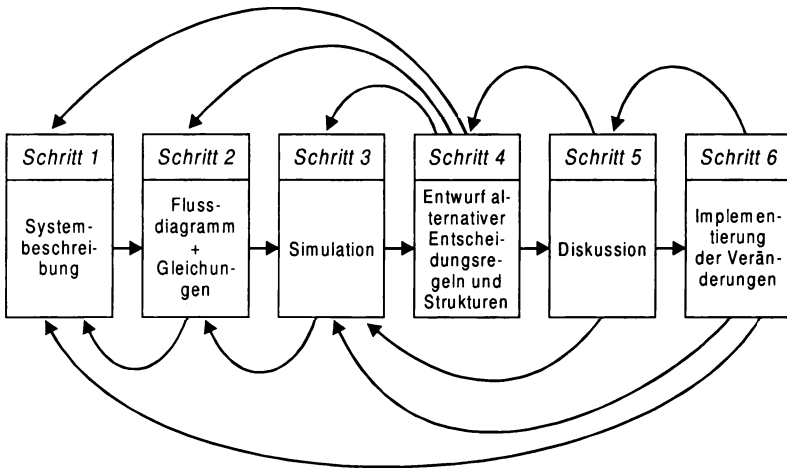


Abbildung 29: Der System-Dynamics-Prozess²⁵⁹

Abbildung 29 illustriert das Vorgehen nach dem System-Dynamics-Ansatz.²⁶⁰ Am Anfang steht das Problem: Ein System zeigt ein unerwünschtes

²⁵⁸ Vgl. Peter Milling: Leitmotive des System-Dynamics-Ansatzes, 1984, S. 507–513.

²⁵⁹ Siehe Jay W. Forrester: System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR, 1994, S. 245.

²⁶⁰ Siehe dazu auch die umfangreiche System-Dynamics-Literatur. Jay W. Forrester: System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR, 1994, S. 245; George P. Richard-

Verhalten, welches es zu verstehen und zu verbessern gilt. Im ersten Schritt werden dann Hypothesen darüber entwickelt, warum sich das System so verhält wie beobachtet. Im zweiten Schritt werden die gesammelten Hypothesen expliziert und formalisiert. Auf dieser Ebene werden Bestands- und Flussvariablen identifiziert und Zusammenhänge mit mathematischen Gleichungen beschrieben. Auf der dritten Stufe erfolgt die Simulation des Modells und das Explorieren der Systemsensitivität. Mit dem vierten Schritt beginnt die Phase der Systemumgestaltung. Alternative Regeln und Strukturen werden entwickelt, getestet und im fünften Schritt zur Diskussion gestellt. Die Umsetzung im Realsystem erfolgt mit Schritt sechs.

Im Rahmen der Untersuchung des Modellentwicklungsprozesses in System Dynamics ist den ersten beiden Stufen in Abbildung 29 besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Diese weisen ihrerseits eine Substruktur auf und bergen den Schlüssel zu der besonderen Modellierungsperspektive und den spezifischen Richtlinien und Heuristiken des System-Dynamics-Ansatzes. Zentraler Stellenwert kommt in System Dynamics dem Postulat zu, dass alle Systeme gemäß der in Abbildung 30 dargestellten vierstufigen Strukturhierarchie aufgebaut sind.²⁶¹

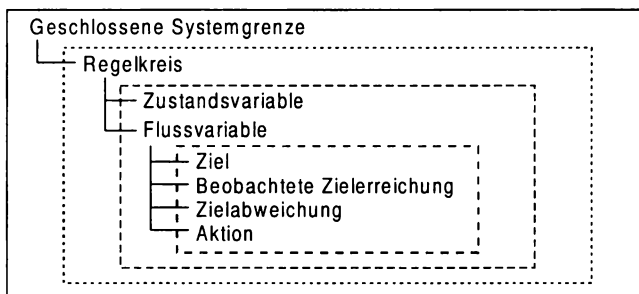


Abbildung 30: Strukturhierarchie des System-Dynamics-Ansatzes²⁶²

Gegenstand der Modellbildung ist auf der obersten Ebene das abgeschlossene System²⁶³. Damit ist jedoch nicht das im Sinne der Allgemeinen System-

son/Alexander L. Pugh: Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO, 1981; Peter Milling: Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik, 1980, S. 110 ff. und 156 ff.

²⁶¹ Vgl. Jay W. Forrester: Principles of System, 1971, S. 4-1; Peter Milling: Leitmotive des System-Dynamics-Ansatzes, 1984, S. 509–511.

²⁶² Zu dieser Art der Darstellung siehe Frank Maier: Die Integration wissens- und modellbasierter Konzepte zur Entscheidungsunterstützung im Innovationsmanagement, 1995, S. 177.

theorie geschlossene System gemeint, das über keinerlei Austauschbeziehungen mit der Umwelt verfügt. Abgeschlossenheit im Sinne von System Dynamics ist schwächer und bedeutet, dass das Systemverhalten endogen, d. h. von den Elementen innerhalb der Systemgrenze, generiert wird. Zu- und Abflüsse über die Systemgrenze hinweg sind zugelassen, wenn ihre Quellen bzw. Senken von den Systemaktivitäten entkoppelt sind oder zumindest als entkoppelt angesehen werden können.²⁶⁴

Die Nichtexistenz einer Rückkopplungsbeziehung zwischen einem Systemelement und einer exogenen Quelle oder Senke ist das entscheidende Kriterium bei der Bestimmung der Systemgrenze. Die beiden obersten Strukturebenen in Abbildung 30 – geschlossene Systemgrenze und Regelkreis – sind demnach voneinander nicht unabhängig: Die Rückkopplungsstrukturen eines Systems bestimmen die Lage der Systemgrenze. Das System ist nur dann aus sich heraus unabhängig und abgeschlossen, wenn die Systemgrenze keine der für das Systemverhalten essenziellen Regelkreise durchtrennt.

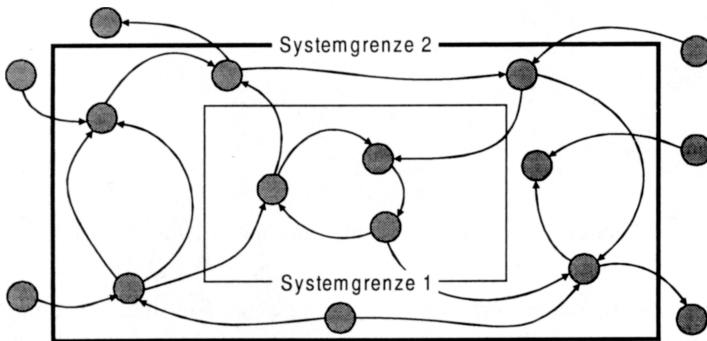


Abbildung 31: Der Regelkreis als Bestimmungsgröße der Systemgrenze²⁶⁵

²⁶³ Forrester spricht auch – weniger missverständlich – vom „feedback system“. Vgl. Jay W. Forrester: Principles of System, 1971, S. 1-5.

²⁶⁴ Der Arbeitsmarkt als Reservoir von Arbeitskräften ist ein gutes Beispiel für eine Quelle oder Senke in einem Unternehmensmodell. In Ballungszentren ist der Einfluss selbst größerer Unternehmen auf das Arbeitskräftepotenzial so gering, dass Rückkopplungen auf die Einstellungspolitik vernachlässigt werden können. Der Arbeitsmarkt wird dann gewöhnlich aus dem zu untersuchenden System ausgeklammert und als Quelle oder Senke modelliert. Anders wäre die Situation, wenn ein Unternehmen in einer Region den Arbeitsmarkt dominiert. Das Potenzial an Arbeitskräften dürfte dann nicht als Quelle/Senke abgebildet werden, sondern müsste als Zustandsgröße modelliert sein.

²⁶⁵ In Anlehnung an Peter Milling: Leitmotive des System-Dynamics-Ansatzes, 1984, S. 510.

Die Systemgrenze 2 in Abbildung 31 genügt beispielsweise dieser Forderung. Sie ist so gezogen, dass die von ihr eingeschlossenen Elemente zusammen mit den Kausalitätsbeziehungen ein im Sinn des System-Dynamics-Ansatzes geschlossenes System bilden. Die Elemente, die außerhalb der Systemgrenzen liegen, stellen die Quellen von Inputs oder die Senken der Outputs dar. Die dynamische Unabhängigkeit des Systems ist von ihnen nicht berührt. Das durch die dünn gezeichnete Systemgrenze 1 abgegrenzte System wäre demgegenüber nicht als geschlossen anzusehen: Für das Systemverhalten wesentliche Zusammenhänge würden von der Systemgrenze 1 durchschnitten. Von einer problemadäquaten Abgrenzung des Systems kann keine Rede sein.

Für die Modellierung von Regelkreisen, wie sie in Abbildung 31 schematisch bereits dargestellt sind, werden in System Dynamics Kausalitätsdiagramme verwendet. Diese geben nicht nur an, dass zwischen Variablen ein Zusammenhang besteht, sondern auch, wie dieser gerichtet ist. Die Beziehung in Abbildung 32 (a) bringt etwa zum Ausdruck, dass auch B zunimmt, wenn A steigt. Mit Abbildung 32 (b) ist demgegenüber die Hypothese verbunden: „Je größer der Wert von A, desto geringer der Wert von B.“



Abbildung 32: Variablenbeziehungen in Kausalitätsdiagrammen

Kausalitätsdiagramme bringen grafisch Ursache-Wirkungs-Hypothesen zum Ausdruck und stellen sie in einen größeren Zusammenhang. Durch Kombination vieler einzelner solcher Wirkungsbeziehungen, wie Abbildung 32 sie zeigt, können sehr komplexe, vielfach vermaschte Regelkreisstrukturen entstehen. Aus der Analyse der Polaritäten²⁶⁶ ganzer Loops lässt sich bei einfachen bis mittelmäßig komplexen Modellen das Systemverhalten manchmal der Tendenz nach noch abschätzen.²⁶⁷ Bei stark vermaschten Strukturen vermag jedoch nur noch die Simulation Aufschluss über die Dynamik des Systems zu geben.

²⁶⁶ Um die Polarität eines Regelkreises zu ermitteln, multipliziert man die Vorzeichen der einzelnen Variablenbeziehungen miteinander. Nähere Erläuterungen finden sich beispielsweise bei George P. Richardson/Alexander L. Pugh: *Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO*, 1981, S. 27 f. Eine sehr eingängige Erläuterung bietet auch Peter Senge: *Fifth Discipline*, 1990, S. 73 ff.

²⁶⁷ Beispiele für diese Art mentaler Simulation finden sich bei Peter Senge: *Fifth Discipline*, 1990, S. 93 ff. Senge diskutiert ausführlich die beiden Archetypen „Limits to Growth“ und „Shifting the Burdon“ sowie die aus ihnen ableitbaren dynamischen Implikationen. Im Anhang werden darüber hinaus noch fünf weitere archetypische Kausal-

Auf der dritten Ebene der Strukturhierarchie in Abbildung 30 lässt sich der System-Dynamicist von der Regel leiten, dass zur Darstellung der Rückkopplungskreise, und somit zur Modellierung selbst hochkomplexer Systeme, lediglich zwei Typen von Variablen notwendig sind: Zustandsgrößen und Flussvariablen.²⁶⁸ Zustandsvariablen speichern den Systemzustand eines bestimmten Zeitpunkts; Flussvariablen repräsentieren demgegenüber die Veränderungen des Systems im Zeitablauf.²⁶⁹

Mathematisch sind Zustandsvariablen – Forrester spricht von „levels“ – Integrationen der Flussgrößen über die Zeit. Der Lagerbestand einer Unternehmung beispielsweise ist sowohl mengen- als auch wertmäßig eine Kumulation aller vergangenen Zu- und Abflüsse. Zustandsvariablen zeichnen sich deswegen dadurch aus, dass sie auch dann noch existierten, wenn die Zeit stehen bliebe. Flüsse wären bei angehaltener Zeit demgegenüber nicht mehr zu beobachten. Milling verwendet das Bild eines Baumes, um diesen Sachverhalt zu veranschaulichen.²⁷⁰ Eine Eiche beispielsweise hörte auf zu wachsen, wenn die Zeit angehalten würde, ihre Höhe und der Umfang ihres Stammes als Resultat aller vergangener Wachstumsprozesse blieben jedoch erhalten.

Während es Forrester nicht für sinnvoll hält, „to create a subdivision within the concept of a level“²⁷¹, identifiziert er auf der vierten und untersten Ebene der Strukturhierarchie für die Flussvariablen eine wichtige und nützliche „sub-substructure“. Flüsse in Systemen und über Systemgrenzen hinweg werden im System-Dynamics-Konzept als Folge von Entscheidungen betrachtet, die bestimmten Regeln folgen. Eine solche Regel besteht aus vier Komponenten:

- einem Zielwert, den es zu erreichen gilt,
- dem beobachteten Zustand des Systems,
- der Abweichung des beobachteten Systemzustands von der Zielgröße
- und der daraus folgenden Aktion oder Entscheidung.

Die mathematische Gleichung für eine Flussgröße „is a policy statement. That is, the rate equation tells how a ‚decision stream‘ (or ‚action stream‘) is generated.“²⁷² Auf der untersten Ebene systemdynamischer Strukturhierarchie wird demnach die Art und Weise modelliert, wie die verfügbaren Informationen benutzt werden, um Aktionen – genauer Folgen von Aktionen – auszulösen. Die

strukturen besprochen. Dabei fällt auf, dass nie mehr als maximal drei Regelkreise miteinander gekoppelt sind. Das ist ein starkes Indiz dafür, dass sich Senge der Grenzen mentaler Simulation sehr wohl bewusst ist.

²⁶⁸ Vgl. Peter Milling: Leitmotive des System-Dynamics-Ansatzes, 1984, S. 511.

²⁶⁹ Vgl. Jay W. Forrester: Industrial Dynamics, 1961, S. 68 f.

²⁷⁰ Vgl. Peter Milling: Leitmotive des System-Dynamics-Ansatzes, 1984, S. 511.

²⁷¹ Jay W. Forrester: Principles of System, 1971, S. 4-13.

²⁷² Jay W. Forrester: Principles of System, 1971, S. 4-13.

Ratengleichungen repräsentieren empirische Hypothesen, d.h. zeitinvariante Behauptungen darüber, wie Zustände sich im Zeitablauf verändern.²⁷³ Abbildung 33 visualisiert die Struktur, die einen bestimmten Zufluss in eine Bestandsgröße oder einen Abfluss aus einer Bestandsgröße zur Folge hat.

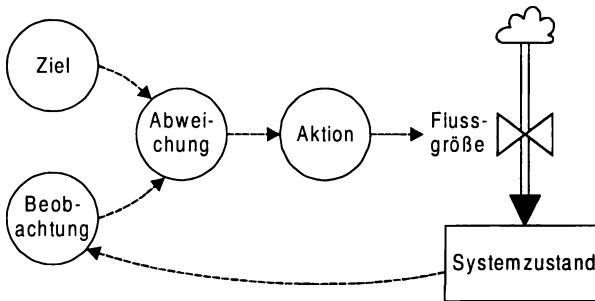


Abbildung 33: Substruktur von Entscheidungsregeln

System Dynamics, so ließe sich die knappe Darstellung dieses Abschnitts zusammenfassen, ist ein Modellierungs- und Simulationsansatz, der durch drei Leitmotive gekennzeichnet ist:

„System Dynamics begreift soziale Systeme als Informations-Rückkopplungs-Systeme und stellt den Regelkreis (sowie das Level-Rate-Schema, J. S.) als zentrale Strukturkomponente in den Mittelpunkt von Analyse und Synthese.

System Dynamics verwendet formale Modelle und die Verfahren der Computersimulation zum Erforschen des Systemverhaltens und zur Erarbeitung verbesserter Strukturen und Entscheidungsregeln.

System Dynamics erhebt den Anspruch einer Allgemeinen Strukturtheorie, die generelle Aussagen über den Aufbau sozialer Systeme und über die Möglichkeiten des Erkenntnistransfers zwischen verschiedenen Systemen liefert.“²⁷⁴

III. Die spezifische Perspektive des objektorientierten Modellentwicklungs- und Simulationsansatzes

Die Distanz zwischen mentalem und formalem, auf einem Computer rechenbaren Modell ist schon bei Problemen geringer Komplexität zu groß, als dass

²⁷³ Vgl. Eckart Zwicker: Simulation und Analyse dynamischer Systeme, 1981, S. 402 f.

²⁷⁴ Peter Milling: Leitmotive des System-Dynamics-Ansatzes, 1984, S. 507.

sie in nur einem einzigen Schritt überwunden werden könnte. Die Entwicklung von Modellen und ihre Simulation sind daher gewöhnlich inkrementelle Prozesse, die in einer problemabhängigen Anzahl von Iterationen durchlaufen werden. Jede Modellierungsmethodik setzt ihren eigenen Fokus. Durch die Vorgabe von Regeln und Heuristiken, wie das Wichtige vom Unwichtigen zu trennen ist, wird eine spezifische Perspektive geschaffen, welche die Modellentwicklung erleichtert und beschleunigt.

1. Das Paradigma des objektorientierten Ansatzes

Der objektorientierte Ansatz propagiert eine andere Sichtweise auf die Welt als System Dynamics, das in Abschnitt C.II.3. dargestellt wurde. Wiewohl er seine Wurzeln ebenso wie System Dynamics in der Allgemeinen Systemtheorie hat und beide Konzepte damit auf dem gleichen Fundament ruhen, unterscheiden sie sich in ihrer Perspektive. Was für System Dynamics die Regelkreisidee sowie das Level-Rate-Schema, ist für den in dieser Arbeit entwickelten Ansatz objektorientierter Systemmodellierung und -simulation (OOSMS) die Idee der Objektorientierung – ein grundlegendes Paradigma zur Strukturierung des zu modellierenden Problemfeldes.

Seit Anfang der 90er Jahre ist die Objektorientierung zum Schlagwort geworden, das die Informatik – und dort insbesondere die Softwareentwicklung und Programmierung – beherrscht. Aktuelle Programmiersprachen und Compiler sind rein objektorientiert oder wenigstens um objektorientierte Elemente erweitert.²⁷⁵ Datenbanken „schmücken“ sich damit, Objekte speichern zu können.²⁷⁶ Fast jede Software, die als „modern“ gelten will, wirbt damit, objektorientiert programmiert zu sein. Softwareentwicklung, Systemanalyse und -design sind nur dann auf der Höhe der Zeit, wenn sie objektorientiert ablaufen. Der Begriff der Objektorientierung ist allgegenwärtig präsent.

Einerseits ist der Boom objektorientierter Verfahren in den späten 80er und den 90er Jahren überraschend; denn mit SIMULA-67 gibt es eine objektorientierte Programmiersprache bereits Ende der 60er Jahre; und seit 1980 ist die neue objektorientierte Technologie der Datenverarbeitung als komfortable, inte-

²⁷⁵ Hybridsprachen sind imperative Programmiersprachen, die um objektorientierte Konzepte erweitert wurden. Beispiele sind C++, Object Pascal (Turbo Pascal/Delphi) oder COBOL. Smalltalk, Actor oder Eiffel sind Beispiele für rein objektorientierte Programmiersprachen, die ausschließlich mit Objekten arbeiten.

²⁷⁶ Eine einführende, kritische Auseinandersetzung mit objektorientierten Datenbanksystemen findet sich bei Mary E. S. Loomis: OODMS – Dichtung und Wahrheit, 1994, S. 18 ff. Dem interessierten Leser sei darüber hinaus die Lektüre von Martin Schader: Objektorientierte Datenbanken, 1997, empfohlen.

grierte Smalltalk-Entwicklungsumgebung verfügbar – hervorgegangen aus dem Menlo-PARC-Projekt der Xerox Corporation. Andererseits stellt objektorientiert programmierte Software deutlich höhere Anforderung an die Hardware, die erst mit der Verfügbarkeit leistungsfähiger PCs und Workstations ab etwa Mitte der 80er Jahre im benötigten Umfang bereit stand. Und nicht zuletzt haben gerade auch die Hybridsprachen wie C++ oder Object Pascal dem neuen Programmierstil zum Durchbruch verholfen.²⁷⁷ Mit der Verbreitung der objektorientierten Programmierung haben Wissenschaft und Praxis auch das Feld der Systemanalyse und des Designs für objektorientierte Techniken entdeckt und eine Vielzahl von Methoden entwickelt, so dass der objektorientierte Ansatz im Software Engineering inzwischen als etabliert gelten kann.²⁷⁸

Im Bereich von Modellierung und Simulation ist die Objektorientierung bis heute dagegen vergleichsweise selten zu finden, was etwas verwundert; denn es war die Simulation, deren Erfordernisse den Anstoß zur Entwicklung der ersten objektorientierten Programmiersprache gegeben hatte; die Simula-Entwickler verfolgten das Ziel, das Simulieren von Prozessen zu vereinfachen. In Simulationsprogrammen – so die Erfahrung – spielten immer wieder Dinge ähnlichen Typs eine Rolle: Kunden in einer Warteschlange vor dem Bankschalter, Halbfertigprodukte in einer Schlange vor der Maschine, Menschen, die es mit Aufzügen in das gewünschte Stockwerk zu befördern gilt. Kurzum, es waren Objekte, die in Simulationsprogrammen wieder und wieder benötigt wurden – Objekte mit bestimmten Eigenschaften und spezifischem Verhalten. Die Datentypen, die in herkömmlichen Programmiersprachen eingebaut waren, erwiesen sich als zu einfach und zu starr, um mit ihnen leicht realitätsnahe Simulationsmodelle zu erstellen. „Existing languages engendered very messy code when a simulation was created because their types were so limited. It looked like the only way to make simulation easy was to change the language so the programmer could add new types of data.“²⁷⁹ Aus den Anforderungen der Simulationsprogrammierung heraus wurde SIMULA mit vielen der heute gängigen Fähigkeiten objektorientierter Programmiersprachen ausgestattet.²⁸⁰ Trotzdem blieb die objektorientierte Simulation ein weitgehend unbekanntes und unbedeutendes Feld.

²⁷⁷ Pagé führt einige weitere Gründe an, warum dem objektorientierten Ansatz der Durchbruch erst so vergleichsweise spät gelang. Vgl. Peter Pagé: *Objektorientierte Software in der kommerziellen Anwendung*, 1996, S. 52 ff.

²⁷⁸ Einen knappen, informativen Überblick über objektorientierte Analyse- und Designtechniken bieten Wolfgang Stein: *Objektorientierte Analysenmethoden – ein Vergleich*, 1993, S. 319–332, Heide Balzert und Wolfgang Stein: *Wodurch unterscheiden sich die objektorientierten Methoden?*, 1994, S. 23–28 und Peter Hruschka: *Objektorientierte Analyse- und Designprinzipien*, 1994, S. 16–28.

²⁷⁹ Gary Entsminger: *The Tao of Objects*, 1991, S. 4.

²⁸⁰ Objekte in Simula vereinen Daten und Operationen, welche als Methoden bezeichnet werden und dazu dienen, die Daten zu manipulieren. Simula führt auch den Be-

Erst zu Beginn und Mitte der 90er Jahre wird der objektorientierte Ansatz auch für die Modellentwicklung und Simulation wieder entdeckt. Stehen zunächst noch Fragestellungen wie die Eignung objektorientierter Programmiersprachen für die Simulation insbesondere diskreter Systeme im Mittelpunkt der Veröffentlichungen,²⁸¹ befassen sich ab Mitte der 90er Jahre zunehmend mehr Autoren mit der Spezifikation und Simulation objektorientierter Modelle. Neben praxisbezogenen Anwendungen wie bei Gothein oder Meyer²⁸² finden sich mehr und mehr auch Arbeiten, die sich den grundlegenden, methodischen Fragestellungen widmen. Insbesondere Schmidt befasst sich intensiv mit den Besonderheiten der objektorientierten Spezifikation von Modellen und ihrer Simulation.²⁸³

Was aber genau ist Objektorientierung? Was ist darunter zu verstehen? Was kennzeichnet diesen Begriff, der zum Schlagwort einer ganzen Disziplin geworden ist? Bezüglich objektorientierten Programmierens wagte Rensch schon 1982 die folgende – ernüchternde – Vorhersage: „My guess is that object-orientation will be in the 1980s what structured programming was in the 1970s. Everyone will be in favor of it. Every manufacturer will promote his products as supporting it. Every manager will pay lip service to it. Every programmer will practice it (differently). And no one will know just what it is.“²⁸⁴ Aus der Retrospektive hat Rensch so unrecht nicht. Der Blick in die gängige Literatur ist immer noch reichlich verwirrend. Coad/Nicola feiern OOP – objektorientierte Programmierung – als „a revolutionary change in programming“ und begründen das damit, dass „OOP enables programmers to write software that is organized like the problem domain under consideration“²⁸⁵. Wegener definiert Objektorientiertheit softwaretechnisch knapp und für den Laien wenig verständlich als

griff der Klasse ein. Als abstrakter Datentyp beschreibt eine Klasse Struktur und Verhalten einer Menge von Objekten. Sogar die Vererbung zwischen Klassen wird bereits unterstützt. Simula implementiert Klassen als abstrakte Datentypen und Objekte als deren Instanzen. Vgl. Günther Lamprecht: Einführung in die Programmiersprache SIMULA, 1988, S. 103 ff.

²⁸¹ Zu diesem Typ gehört beispielsweise das Buch von Uwe Pape/Olaf Wagner: Objektorientierte Sprachkonzepte und diskrete Simulation, 1990 oder das Werk von Timm Grams: Simulation, 1992.

²⁸² Gothein evaluiert Anlagestrategien mit Hilfe eines objektorientierten Simulators; Werner Gothein: Evaluation von Anlagestrategien, 1995. Meyer setzt ein objektorientiertes Modell ein, um die Steuerbelastung in Deutschland, Frankreich und Großbritannien zu simulieren. Ralf Meyer: Computergestützte Simulation von Steuerbelastungen, 1996.

²⁸³ Siehe u. a. Bernd Schmidt: Die objektorientierte Modellspezifikation, 1996; Bernd Schmidt: SIMPLEX II, 1995; Bernd Schmidt: Braucht die Systemsimulation philosophische Grundlagen, 1996.

²⁸⁴ Tim Rensch: Object Oriented Programming, 1982, S. 51.

²⁸⁵ Peter Coad/Jill Nicola: Object-Oriented Programming, 1993, S. xxxiii.

Objekte, Klassen und Vererbung.²⁸⁶ Blair/Gallagher/Malk berücksichtigen ebenfalls nur technische Aspekte, wenn sie drei Kriterien anführen, die objektorientierte Systeme als solche auszeichnen: Datenkapselung, mengenbezogene Abstraktion und Polymorphie.²⁸⁷ Eine der umfangreichsten Auflistungen technischer Konzepte findet sich bei Schader/Rundshagen. Ihrer Auffassung zufolge zählen Objekte, Nachrichten, Klassen, Vererbung, Polymorphismus, Objektidentität, Beziehungen, Aggregationen, multiple Vererbung, Abstraktion bzw. abstrakte Datentypen und „Information Hiding“ zu den Konzepten, die im Rahmen der Objektorientierung von Bedeutung sind.²⁸⁸ Bei Meyer führen lediglich „sieben Stufen zur objektbasierten Glückseligkeit“: „Objektbasierte modulare Struktur“, „Datenabstraktion“, „Automatische Speicherplatzverwaltung“, „Klassen“, „Vererbung“, „Polymorphismus und dynamisches Binden“ sowie „Mehrfaches und wiederholtes Erben“.²⁸⁹

Pagé sieht die Objektorientierung weniger als technisches Konzept, sondern als ein neues Grundverständnis, geeignet, „sämtliche bisher in der Datenverarbeitung gebräuchlichen Ansätze und Techniken grundlegend zu verändern“.²⁹⁰ Für Entsminger ist Objektorientierung sowohl „a new way to write programs“ als auch „a new way to think about the interaction of programs and the world ... both a method and a philosophy“.²⁹¹ Den „philosophischen“ Aspekt betonen auch Lüscher und Straubinger, wenn sie die Objektorientierung als eine bestimmte und uns Menschen natürliche Betrachtungsweise beschreiben.²⁹²

Die kleine Auswahl angeführter Zitate zeigt, dass der Begriff der Objektorientierung zwei Dimensionen aufweist: eine eher programmier- und softwaretechnische und eine weltanschauliche. Wenn dem Objektansatz der Status eines neuen Paradigmas verliehen wird, dann ist auf diese weltanschauliche Dimension Bezug genommen.²⁹³ Die paradigmatische Bedeutung der Objektorientierung liegt dabei in dem spezifischen Denkmuster, das dieser Ansatz bereit-

²⁸⁶ Vgl. Peter Wegner: Dimensions of Object-Based Language Design, 1987, S. 168.

²⁸⁷ Gordon Blair/John J. Gallagher/Javad Malk: Genericity vs. Inheritance vs. Delegation vs. Conformance vs. ..., 1989, S. 12.

²⁸⁸ Vgl. Martin Schader/Michael Rundshagen: Objektorientierte Systemanalyse, 1996, S. 15 ff.

²⁸⁹ Bertrand Meyer: Objektorientierte Softwareentwicklung, 1990, S. 65 ff.

²⁹⁰ Peter Pagé: Objektorientierte Software in der kommerziellen Anwendung, 1996, S. 2.

²⁹¹ Gary Entsminger: The Tao of Objects, 1991, S. 18.

²⁹² Vgl. Andreas Lüscher/Andreas Straubinger: Objektorientierte Technologien, 1996, S. 4.

²⁹³ Sehr ausführlich wird der paradigmatische Aspekt der Objektorientierung von Quibeldey-Cirkel: Das Objekt-Paradigma in der Informatik, 1994, analysiert.

stellt.²⁹⁴ Objektorientierung ist im Kern nichts anderes als eine besondere Sichtweise auf die Welt; sie ist wie eine Infrarot-Brille, die die Welt in ein eigenes, spezifisches Licht taucht: Dinge, die Wärme abstrahlen, werden hell hervorgehoben, andere, kalte Substanzen bleiben dunkel und treten in den Hintergrund.

Nicht-Informatiker und Nicht-Programmierer zeigen sich von der Euphorie, mit der die Objektorientierung in der Informatik aufgegriffen und verbreitet wird, meist etwas überrascht und sind verwundert über den Neuigkeitsgrad: „When I explained OOP to my friend Mark (a psychologist), he replied ‚I don’t understand — how else would you do it? How were they doing it before?‘“²⁹⁵ Wer nicht durch prozedurale Programmierung „verdorben“ wurde, für den ist die Objektorientierung ein Déjà-vu-Erlebnis; denn das normale, natürliche menschliche Denken ist objektorientiert. Wir denken nicht in Daten und Funktionen, sondern in Objekten. Wir sehen naiv-realistisch die uns umgebende Welt bevölkert mit einer Vielzahl von Dingen: Tische, Stühle, Menschen, Autos, Pflanzen usw. Und wir assoziieren mit all diesen Gegenständen in der Regel nicht nur ihre spezifischen Eigenschaften – Form, Farbe, Material –, sondern auch ihre Funktion: eine Schere ist zum Zerschneiden da, ein Hammer zum Klopfen, eine Gabel zum Stechen, Aufspießen und Hochheben. Wir machen aus Gegenständen und ihren normalen Funktionen eine Einheit, ein Objekt, und es fällt uns nicht leicht, diese Einheit aufzulösen. Das der Kognitionspsychologie entstammende Zwei-Seile-Problem zeigt dies eindrucksvoll.²⁹⁶ In einem Raum hängen zwei Seile von der Decke, die so weit voneinander entfernt angebracht sind, dass sie nicht gleichzeitig gefasst werden können. Außerdem befinden sich ein Stuhl und eine Zange in dem Raum. Vor die Aufgabe gestellt, die Seile miteinander zu verknoten, steigen die meisten Probanden auf den Stuhl und versuchen unter abenteuerlichen Verrenkungen, beide Enden zu greifen. Die Lösung des Problems wird entweder gar nicht oder verblüffend spät gefunden: Das eine Seil mit der Zange zum Pendel gemacht und in Schwingung versetzt, gelingt es, dieses in einem günstigen Augenblick zu fassen und mit dem anderen Seilende zu verknoten.

Unser objektorientiertes Denken bringt uns dazu, mit der Zange das Ziehen, Verformen und Abzwicken und mit dem Stuhl das Daraufsetzen oder -steigen

²⁹⁴ Für die Wissenschaftstheorie hat Kuhn den Begriff des Paradigmas geprägt. Grob unterscheidet er zwei Bedeutungen: Zum Einen steht der Begriff des Paradigmas für „die ganze Konstellation von Meinungen, Werten, Methoden usw., die von den Mitgliedern einer gegebenen Gemeinschaft geteilt werden.“ Zum Anderen bezeichnet er „die konkreten Problemlösungen, die, als Vorbilder oder Beispiele gebraucht, explizite Regeln als Basis für die Lösung der übrigen Probleme der ‚normalen Wissenschaft‘ ersetzen können“. Thomas S. Kuhn: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen, 1976, S. 186.

²⁹⁵ Gary Entsminger: The Tao of Objects, 1991, S. 3.

²⁹⁶ Vgl. John R. Anderson: Kognitive Psychologie, 1996, S. 258 f.

zu assoziieren. Zu den Gegenständen gehört eine bestimmte Funktion „einfach dazu“, so dass uns Modelle, die diese Zusammengehörigkeit von Gegenstand und Funktion bewahren, sofort vertraut vorkommen. Objektorientierte Modelle beschreiben die Welt so, wie wir sie in unserem alltäglichen Realismus sehen: bevölkert von Objekten, die bestimmte Dinge tun. Weil zwischen objektorientierten Modellen und der Wirklichkeit, wie wir sie gewöhnlich sehen, eine weitgehende Strukturähnlichkeit besteht, sind objektorientierte Modelle sowohl verhältnismäßig leicht verstehbar als auch konzipierbar.²⁹⁷ Die Strukturähnlichkeit oder Homomorphie zwischen Modell und zu modellierendem System ist vor diesem Hintergrund nicht nur Gütekriterium zur Beurteilung der Modellqualität, sondern auch Vergleichskriterium für konkurrierende Modellierungsmethoden: Tendenziell besser ist, wer die weiter reichende Strukturähnlichkeit ermöglicht.²⁹⁸

System Dynamics versucht, den abzubildenden Realweltausschnitt mit Bestands- und Flussgrößen, mit materiellen und informationellen Strömen zu modellieren. Die zentralen Bausteine objektorientierter Modelle sind dagegen – kaum überraschend – Objekte. Natürlich ist ein Objekt im objektorientierten Ansatz ein Begriff spezifischen Inhalts. Zwar haben Modell-Objekte semantisch nichts, was nicht auch realen Objekten zukommt, sollen sie doch als Repräsentationen realer Objekte fungieren. Immer aber sind sie Abstraktionen und als solche sind sie in der Regel inhaltsärmer und haben einen anderen ontologischen Status als ihre „realen Vorbilder“. Formal ist ein Objekt ausgezeichnet durch die folgenden drei charakteristischen Eigenschaften:²⁹⁹

- Attribute
- Handlungsweisen oder Aktionen³⁰⁰
- Beziehungen zu anderen Objekten

²⁹⁷ Das soll nicht heißen, dass auf Regeln jeglicher Art verzichtet werden kann. Aber Regeln für objektorientiertes Modellieren, wie sie auch in dieser Arbeit formuliert werden, sind tendenziell sehr eingängig und leicht verständlich.

²⁹⁸ Vgl. Bernd Schmidt: Braucht die Systemsimulation philosophische Grundlagen, 1996, S. 2.

²⁹⁹ Der hier definierte Objektbegriff geht über die in der Literatur zu findenden hinaus. Shlaer und Mellor beschränken sich darauf Objekte über ihre Attribute zu identifizieren. Vgl. Sally Shlaer/Stephen J. Mellor: Objektorientierte Systemanalyse, 1996, S. 15 ff. Coad/Yourdon, Schader/Rundshagen kennzeichnen ein Objekt als eine Menge von Attributen *und* Methoden. Vgl. Peter Coad/Edward Yourdon: Object-Oriented Analysis, 1991, S. 30 ff.; Martin Schader/Michael Rundshagen: Objektorientierte Systemanalyse, 1996, S. 15 ff. Obwohl bei keinem Autor Objekte beziehungslos im Nichts existieren, werden Objektbeziehungen nicht zu deren originären Eigenschaften gezählt.

³⁰⁰ Synonym dazu werden die Bezeichnungen Operation, Methode, Funktion oder Elementfunktion gebraucht.

Attribute beschreiben den augenblicklichen Zustand eines Objekts. Einem bestimmten Auto ließen sich beispielsweise die Attribute Farbe, Motorleistung und Momentangeschwindigkeit mit den aktuellen Ausprägungen mimosengelb, 100 kW und Null zuordnen. Die Handlungsweisen eines Objektes sind verantwortlich für dessen Verhalten, für dessen Funktionalität; sie beschreiben bestimmte Verfahren oder Funktionen, mit denen ein Objekt den eigenen Zustand oder den Zustand anderer Objekte verändern kann.³⁰¹ Dies kann als Reaktion auf die Aktion eines anderen Objektes erfolgen oder auch Folge eines endogen generierten Ereignisses sein. So wird beispielsweise ein Verkäuferobjekt, von einem Kundenobjekt nach dem Preis des Produktes gefragt, seine Routine „GibPreisauskunft“ ausführen, um die gewünschte Information zu übermitteln. Die Beziehungen eines Objektes zu anderen Objekten schließlich begründen seine prinzipiellen Möglichkeiten zur Interaktion: Ohne eine – wie auch immer geartete – Beziehung kann ein Kundenobjekt von einem Verkäuferobjekt keine Preisauskunft erhalten. Die Aktionspotenziale eines Objektes sind strukturell festgelegt.

Die Modellierungsparadigmata von System Dynamics und OOSMS unterscheiden sich insgesamt deutlich. Der objektorientierte Ansatz hält den Modellentwickler dazu an, so natürlich wie möglich auf den Weltausschnitt zu schauen, den es zu modellieren gilt, und das Modell der Wirklichkeit einfach nachzubilden. Die Rechtfertigung für solch ein Vorgehen liegt in der sehr großen Strukturähnlichkeit zwischen objektorientierten Modellen und der menschlichen Weltsicht. Meyer geht so weit, zu behaupten, dass in der physikalischen und abstrakten Wirklichkeit Objekte bereits modelliert sind und nur darauf warten, aufgelesen zu werden.³⁰² Modellobjekte sind abstrahierte Spiegelbilder realer Objekte. Wenn beispielsweise in einem Problemfeld zwei Warenlager eine Rolle spielen, zwischen denen LKWs die Produkte transportieren, dann würde der Modellentwickler im ersten Modellierungsschritt diese beiden Warenlager und die transportierenden Lastwagen in sein Modell aufnehmen. Die Detaillierung der Objekte erfolgt erst in weiteren Schritten.

System Dynamics kennt die integrierende und in besonderem Maße intuitive Ebene der Objekte nicht. Die Modellierung vollzieht sich auf einem tieferen, von vornherein detailreicheren Niveau. In einem System-Dynamics-Modell gibt es weder Lager- noch LKW-Objekte. System Dynamics fordert den Modellentwickler stattdessen auf, nach Beständen und Flüssen zu suchen. Was der „System Dynamicist“ im oben angeführten Beispiel modellieren wird, ist nicht ein Lager als ganzes, sondern ein Lagerbestand und nicht LKWs für den Transport,

³⁰¹ Der hier definierte Objektbegriff verzichtet bewusst darauf, die Kapselung von Objekten in die Definition mit aufzunehmen.

³⁰² Siehe Bertrand Meyer: *Objektorientierte Softwareentwicklung*, 1990, S. 55.

sondern ein Transportfluss. System Dynamics verlangt, was natürlicherweise als Einheit gesehen wird, in die Einzelbestandteile aufzuspalten. Der objektorientierte Ansatz konserviert dagegen als Objekt vereint, was System Dynamics in „Level“, „Rate“, „Auxiliary“ und „Parameter“ trennt: Ein Lagerobjekt umfasst sowohl den Lagerbestand und den Wert je Stück als Attribute – daneben möglicherweise auch weitere Attribute wie Lagerkostensatz, im Lager Beschäftigte usw. – wie auch die Aktionen Lagerzugang und Lagerentnahme. Die Methode Lagerbestandswert ermittelt aus dem Lagerbestand und dem Wert je Stück den Wert der auf dem Lager liegenden Teile und gibt ihn zurück (vgl. Abbildung 34).

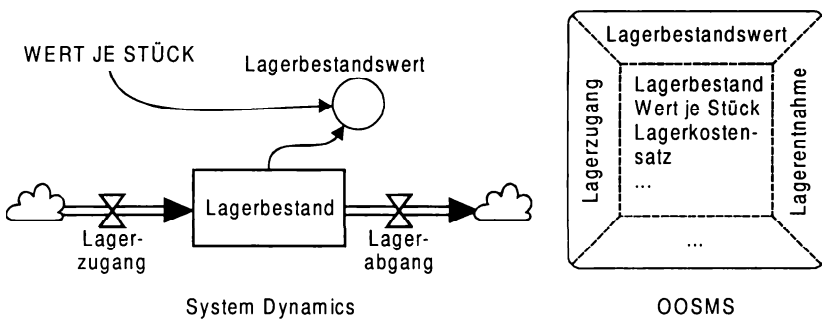


Abbildung 34: Modellierungsentitäten von System Dynamics und OOSMS

Objekte vereinen in sich damit einen Zustand und die Möglichkeit zum Zustandsübergang. Jedes Objekt hat in jedem Zeitpunkt einen ganz bestimmten Zustand, der durch die Ausprägungen aller seiner Attribute definiert ist. Das Lager in Abbildung 34 ist z. B. im Zeitpunkt t_1 mit 5.400 Autobatterien gefüllt. Die Objektmethoden erlauben jedoch, Zustandsänderungen herbeizuführen, so dass das Ausführen der Methode „Lagerentnahme(200)“ zu dem neuen Zustand von nur noch 5.200 Bleiakkus im Zeitpunkt t_2 führt. Objektorientierung ist daher nicht nur zustandsorientierte Betrachtungsweise – wie Schmidt anführt³⁰³ –, sondern die Integration von Zustands- und Verhaltensorientierung.

2. Systeme, Klassen, Objekte

In der umfangreichen Literatur zum objektorientierten Ansatz wird vergleichsweise selten auf dessen Wurzeln in der Allgemeinen Systemtheorie hin-

³⁰³ Vgl. Bernd Schmidt: Die objektorientierte Modellspezifikation, 1996, S. 8.

gewiesen. Wenn es doch einmal geschieht, dann meist am Rande oder implizit. Schmidt ist einer der wenigen Vertreter des Ansatzes, die bei der Konzeption von Leitlinien für die objektorientierte Modellierung systemtheoretisch argumentieren.³⁰⁴ Wie im Folgenden gezeigt werden kann, sind Klassen und Objekte Entitäten, die aus der formalen Systemdefinition durch geringfügige Interpretation deduziert werden können.

In Abschnitt C.II.2. wurden Attribute, Verhalten und Beziehungen zu anderen Objekten als die charakteristischen Eigenschaften eines Objektes genannt. Formal kann ein Objekt damit durch die Definitionsgleichung

$$(13) \quad O = \{A, V, B\}$$

beschrieben werden, wobei A die Menge der Attribute, V die Menge der Verhaltensweisen und B die Menge der Beziehungen symbolisiert. Der Vergleich dieser Objektdefinition mit der Definitionsgleichung für Systeme zeigt bei oberflächlicher Betrachtung eine nur partielle Identität: Lediglich die Menge der Attribute A ist Bestandteil beider Definitionen.

$$(14) \quad O = \{A, V, B\} \stackrel{?}{=} \{A, IR, S', ZR\} = S$$

Wenn Objekte Systeme sein sollen, müssten sich die Mengen aller Verhaltensweisen V und Beziehungen B in die Mengen IR und ZR in überführen lassen. Zudem müsste die hierarchische Dimension des Systembegriffs auch im Objektbegriff zu finden sein.

Innersystemische Relationen setzen die Attribute von Systemen zueinander in Beziehung. Sie sind – wie in Abschnitt C.II.2. ausgeführt wurde – Ausdruck der funktionalen Systemperspektive. Eine innersystemische Relation könnte z. B. einen funktionalen Zusammenhang zwischen der Intensität der Sonneneinstrahlung, der Zeit und dem Algenbestand in einem Teich herstellen:

$$\text{Algenbestand} = f(\text{Zeit}, \text{Intensität Sonneneinstrahlung}).$$

Das Verhalten von Objekten beschreibt Abschnitt C.III.1. als ihre Disposition zur Zustandsänderung. Wird der Teich als Objekt betrachtet, dann kann das Wachstum der Algen als Verhalten des Objektes *Teich* aufgefasst werden – abhängig von der Zeitdauer und der Intensität der Sonneneinstrahlung nimmt die Menge an Algen im Teich zu. Formulieren ließe sich dieser Wachstumspro-

³⁰⁴ Vgl. Bernd Schmidt, Die objektorientierte Modellspezifikation, 1996 oder Bernd Schmidt: SIMPLEX II, 1995.

zess beispielsweise als Differenzialgleichung. Das macht deutlich, dass Objektverhaltensweisen durch mathematische Funktionen beschrieben werden können. Diese sind jedoch – wie in Abschnitt C.II.2. angeführt – nichts anderes als Sonderformen von Relationen, womit der Nachweis erbracht wäre, dass Objektverhaltensweisen und innersystemische Relationen auf dem gleichen mathematischen Fundament ruhen.

Zwischensystemische Relationen schaffen ein Beziehungsgefüge zwischen Systemen. Sie bringen beispielsweise zum Ausdruck, dass der Output von System S_1 Input von System S_2 ist oder dass System S_a Teil von System S_b ist. Auch zwischen Objekten gibt es Beziehungen, die beispielsweise durch Assoziations- oder Aggregationsstrukturen zum Ausdruck gebracht werden. Die Menge der Beziehungen zwischen Objekten mag durch die jeweils verwendete Methodik und Notation eingeschränkter sein als es aufgrund der Systemdefinition zwischensystemischer Relationen möglich wäre. Da B somit das in jedem Fall einfachere Konzept repräsentiert, lässt sich B immer in eine Einfachversion von ZR überführen. Die Menge der Beziehungen kann somit auch als Menge zwischensystemischer Relationen aufgefasst werden.

Schließlich verfügt auch der Objektansatz über die hierarchische Dimension. Objekte sind keine atomaren Einheiten, sondern lassen sich selbst wiederum als aus Objekten zusammengesetzt betrachten. Ein Objekt kann physisch oder konzeptionell andere Objekte „enthalten“. Das Objekt Getränkeautomat beispielsweise ist mit Cola-, Fanta-, Sprite- und Mezzo-Mix-Flaschen gefüllt; das Objekt LKW besteht aus einer Vielzahl von Baugruppen und Teilen, die sich ihrerseits als Objekte auffassen lassen. Nicht nur Systeme können demnach eine Menge von Subsystemen umfassen, auch Objekte können aus anderen Objekten zusammengesetzt sein.³⁰⁵ Die objektorientierte Literatur kennt diese hierarchische Schachtelung von Objekten unter den Namen Aggregations-, Whole-Part- oder Ganzheit-Teil-Struktur.³⁰⁶

Um den hierarchischen Aspekt des objektorientierten Systemkonzeptes auch formal zum Ausdruck zu bringen, sollte die Definition ergänzt werden:

$$(15) \quad O = \{A, V, O', B\}.$$

Definitionsgleichung (15) zeigt damit explizit, wie stark der Objektansatz in systemtheoretischem Gedankengut verwurzelt ist. Die Informatik bezeichnet als

³⁰⁵ Vgl. dazu z.B. Bernd Oestereich: Objektorientierte Softwareentwicklung, 1995, S. 37; Martin Schader/Michael Rundshagen: Objektorientierte Systemanalyse, 1996, S. 85 ff.; Peter Coad/Edward Yourdon: Object-Oriented Analysis, 1991, S. 90 ff.

³⁰⁶ Vgl. Martin Schader/Michael Rundshagen: Objektorientierte Systemanalyse, 1996, S. 85.

Systeme in der Regel nur die Computerprogramme, die als Ganzes aus Objekten zusammengesetzt werden und die benötigte Funktionalität bereitstellen. Erst mit Definitionsgleichung (15) wird deutlich, dass auch Objekte als Systeme betrachtet werden können, die ihrerseits aus weiteren Objekten/Systemen zusammengesetzt sein dürfen.

Der objektorientierte Ansatz kennt aber nicht nur den Begriff des Objekts, sondern auch den der Klasse. Mit dieser Unterscheidung wird ein Aspekt betont, der in der Systemtheorie nicht besonders hervorgehoben wird. Das liegt daran, dass diese Unterscheidung erst bei der objektorientierten Programmierung von Modellen wirklich bedeutsam wird. Dennoch soll die terminologische Klärung bereits an dieser Stelle erfolgen. Objekten wird im Unterschied zu Klassen eine Identität zugesprochen und damit Unverwechselbarkeit und Individualität bescheinigt.³⁰⁷ Klassen sind abstrahierte Gebilde und als solche dem formalen Systembegriff näher. Gussformen gleich, geben sie jedem einzelnen Gussstück die grundlegende Form vor, ohne ihm die Individualität zu nehmen.

Eine Klasse Mensch beispielsweise beschreibt Menschen ganz allgemein als Träger bestimmter Attribute und Verhaltensweisen. Zu den Attributen ließen sich etwa Name, Größe, Gewicht, Augen-, Haar- und Hautfarbe usw. rechnen, während zu den Verhaltensweisen Tätigkeiten wie Essen, Trinken, Bewegen, Schlafen, Arbeiten, Denken usw. zu zählen wären. Eine Klasse gibt damit eine Musterbeschreibung der Gattung Mensch, die für alle Menschen, nicht oder aber nur teilweise für Tiere, Pflanzen oder Maschinen gilt.³⁰⁸ Objekte zeichnen sich gegenüber Klassen dadurch aus, dass sie individualisierte Angehörige einer Gattung sind, d. h. das Objekt hat eine unverwechselbare Identität, die sich in spezifischen Ausprägungen seiner Attribute manifestiert. Ein Objekt Mensch hat einen Namen – Kurt Müller –, eine Größe – 181,5 cm –, ein Gewicht – 85,56 kg –, usw. Das Objekt Mensch ist ein abstrahiertes Abbild eines individuellen Menschen mit einer eindeutigen Original-Modell-Referenzbeziehung. So wie jeder Mensch ein Individuum mit eigener Identität ist, so sind auch Objekte Individuen. Zwar werden sich die Objekte einer Klasse meist sehr ähnlich sein, aber sie sind dennoch von eigener Identität, so wie auch zwei eineiige Zwillinge trotz ihrer meist großen Ähnlichkeit verschiedene Personen sind.

Individuen werden im objektorientierten Ansatz als Objekte modelliert, Gattungen als Klassen. Systeme sind sie beide – Klassen und Objekte. Sowohl bei Klassen als auch bei Objekten haben die formalen Symbole des Systembegriffs eine inhaltliche Interpretation erfahren. Unterschiede bestehen darin, wie weit

³⁰⁷ Vgl. Andreas Lüscher/Andreas Straubinger: *Objektorientierte Technologien*, 1996, S. 23.

³⁰⁸ Menschen und Tiere gehören beide zur Gattung der Lebewesen, was ganz natürlich dazu führt, dass sie bestimmte Attribute gemeinsam haben.

diese Interpretation geht. Eine Klasse legt nur die Menge der möglichen und zulässigen Attribute fest, die Ausprägungen der Attribute sind nicht determiniert. Bei Objekten ist dieser Freiheitsgrad geschlossen.

Anders als in der objektorientierten Systemanalyse oder Programmierung werden beim objektorientierten Modellieren Klassen nicht in Reinform, sondern immer zusammen mit den aus ihnen instanziierten Objekten benötigt.³⁰⁹ Eine Klasse ohne Instanzen in einem objektorientierten Simulationsmodell zu verwenden, wäre nicht sinnvoll, weil es dann auch keine Objekte als handelnde und problemverursachende oder problemlösende Entitäten gäbe. Verschwunden wäre, was der objektorientierte Ansatz in den Mittelpunkt seiner Weltsicht stellt: Objekte, die miteinander agieren und dadurch das Systemverhalten generieren. Wenn die Realität adäquat im Sinne des objektorientierten Konzeptes abgebildet werden soll, dann müssen in einem Simulationsmodell ebenfalls Objekte existieren. Klassen allein reichen nicht aus. Andererseits ist es in vielen Fällen zu mühselig und auf der Modellierungsebene auch gar nicht notwendig, jedes Objekt einzeln darzustellen.³¹⁰ Um die Konsumenten eines Marktes zu modellieren, würde es genügen, zum Ausdruck zu bringen, dass es in der zu modellierenden Problemdomäne eine Klasse Mensch und aus ihr instanziierbare Objekte gibt, ohne schon festlegen zu müssen, wie viele und welche im Einzelnen. Deswegen arbeitet die objektorientierte Modellierung häufig mit Klassen, allerdings solchen, die auch über Instanzen verfügen. Aus pragmatischen Gründen ist der Klassenbegriff so weit zu fassen, dass auch die Objekte als instanziierte Exemplare eingeschlossen sind. Sonst müsste jedes Mal statt des kurzen Begriffs „Klasse“ das Ungetüm „Klasse und die aus ihr instanziierten Objekte“ benutzt werden.³¹¹ Eine Klasse in Reinform, d.h. eine solche, bei der es keine

³⁰⁹ Solche „Klassen in Reinform“ ohne Objekte als Instanzen werden gewöhnlich als abstrakte Basisklassen bezeichnet. Vgl. Martin Schader/Michael Rundshagen: Objektorientierte Systemanalyse, 1996, S.40 f. Abstrakte Basisklassen sind immer Bestandteil von Vererbungsstrukturen, die im Rahmen objektorientierter Modellierung unbrauchbar sind. Siehe dazu auch Abschnitt D.II.4. und Bernd Schmidt: Die objektorientierte Modellspezifikation, 1996, S.9.

³¹⁰ Die Individualisierung bzw. Instanzierung erfolgt bei der Programmierung und Parametrisierung des Modells. Dann muß festgelegt werden, wie viele Instanzen einer Klasse erzeugt und welche Attributwerte ihnen beigelegt werden. Erzeugt werden die Objekte zur Laufzeit der Simulation.

³¹¹ Davor schreckt auch Oestereich zurück; anders als hier vorgeschlagen, vereinbart er: „Wenn ich der Einfachheit halber *Objekt* schreibe, meine ich damit gewöhnlich die *Klasse und ihre Objekte*.“ Bernd Oestereich: Objektorientierte Softwareentwicklung, 1995, S.40. Coad/Yuordon verwenden demgegenüber tatsächlich das Kunstwort *Class-&-Objects*, was ins Deutsche als Klasse-mit-Objekten übersetzt werden könnte, aber den Lesefluss doch erheblich stört. Siehe dazu Peter Coad/Edward Yourdon: Object-Oriented Analysis, 1991. Zu große Bedeutung sollte diesen terminologischen Fragen allerdings nicht beigemessen werden; denn meistens ist die exakte Bedeutung aus dem Kontext zu erschließen.

instanziierten Exemplare gibt, kann in Übereinstimmung mit der gebräuchlichen Terminologie abstrakte Klasse oder Basisklasse genannt und so von den Klassen mit Objekten unterscheidbar gemacht werden.

3. OOSMS als Bestandteil kritisch-rationalen Entscheidens

Der Ansatz objektorientierter Systemmodellierung und -simulation, der im Kapitel D. entworfen wird, hat zum Ziel, die Rationalität komplizierter Entscheidungsprozesse sicherzustellen, indem die Entwicklung und Simulation formaler Modelle in den Prozess rationaler Entscheidungsfindung integriert wird. Modellierung und Simulation erfolgen dabei – der Name ist Programm – objektorientiert.

Im Verlauf des Modellentwicklungsprozesses werden implizite, mentale Vorstellungen eines Subjekts oder mehrerer Subjekte schrittweise in explizite Modelle transformiert (vgl. Abbildung 35). Das Ziel ist die Konzeption eines Simulationsmodells, das der Simulierbarkeit wegen, ein formal-mathematisches Modell sein und in einer für Computer verständlichen Form vorliegen muss. Da insbesondere bei komplexen Problemen die Distanz vom mentalen zum mathematischen Modell sehr groß ist, werden Modelle verbalen und schematischen Typs zwischengeschaltet, um den Modellentwicklungsprozess zu vereinfachen und durchschaubar zu machen. Im praktischen Ablauf ergibt sich ein iterierendes Vorgehen, bei dem der Formalisierungsgrad der Modelle mit zunehmendem Modellierungsfortschritt steigen wird.

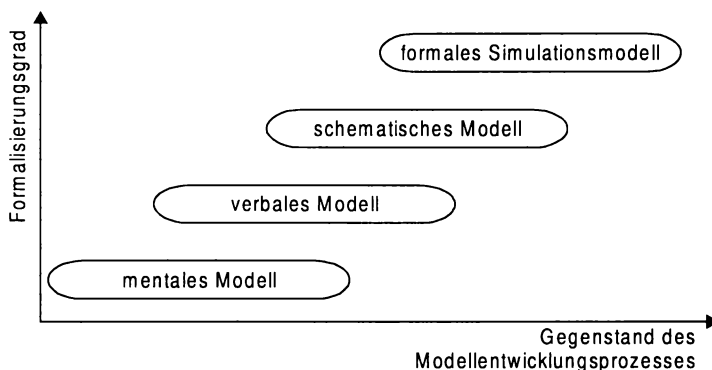


Abbildung 35: Modellentwicklungsprozess

Inhaltlich bestehen die drei Hauptaktivitäten objektorientierten Modellierens in der Konzeption der (statischen) Modellstruktur, der Abbildung der (dynamischen) Modellstruktur, der Simulation und der Validierung.

schen) Interaktionen der Modellobjekte und der Validierung (vgl. Abbildung 36). Als Teilschritte der Strukturmodellierung lassen sich anführen: die Identifikation von Klassen und Objekten, die Definition der Attribute und die Abbildung des Beziehungsgeflechts zwischen den Modellobjekten. Die Dynamikmodellierung lässt sich weiter untergliedern in die Identifikation von Objektoperationen und -interaktionen, die Abbildung von Zustandsübergängen und die Modellierung von Ereignisfolgen. Bei der Modellvalidierung ist zwischen Struktur- und Verhaltensvalidierung zu unterscheiden.

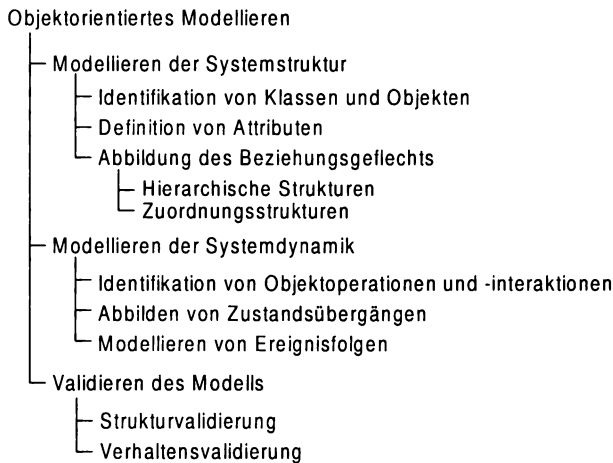


Abbildung 36: Aufbau des objektorientierten Modellierungsprozesses

Zur Beschreibung eines objektorientierten Modells werden je nach Entwicklungsstadium und inhaltlichem Gegenstand Modelle unterschiedlichen Typs eingesetzt. In der Anfangsphase des Entwicklungsprozesses werden verbale Darstellungen dominieren, die dann mehr und mehr formalisiert werden. Für die Beschreibung der statischen Modellstruktur wird in Abschnitt D.II. ein schematisch-grafisches Modell verwendet, das um verbale Anmerkungen, Erläuterungen und Kommentare ergänzt werden kann. Dieses sogenannte objektorientierte Strukturmodell der Systemstatik bildet den anschaulichen Kern objektorientierten Modellierens. Weil im Gegensatz zu praktisch allen objektorientierten Ansätzen der Systemanalyse das Modellieren nach OOSMS terminologisch auch das Programmieren einschließt, wird an Beispielen immer auch die Umsetzung in Programmcode gezeigt.

Für die Modellierung der dynamischen Aspekte eines Problems stehen insbesondere Ereignisfolge- und Zustandsübergangsdiagramme zur Verfügung. Wie der Name schon sagt, eignen sich Ereignisfolgediagramme speziell für die Kon-

zeption ereignisorientierter Simulationsmodelle. Für die Dynamikbeschreibung kontinuierlicher Simulationsmodelle sind sie nicht geeignet. Zustandsübergangsdiagramme hingegen können sowohl bei der Konzeption ereignisorientierter als auch bei der Formulierung kontinuierlicher Simulationsmodelle eingesetzt werden.

Alle für die Beschreibung des Systems verwendeten Modelle sind miteinander verknüpft, auch wenn sie inhaltlich jeweils eigene Schwerpunkte setzen. Allerdings spielt das objektorientierte Strukturmodell der Systemstatik die tragende Rolle. In ihm werden die Elemente des Systems und die Beziehungen zwischen ihnen definiert. Ohne den strukturellen Zusammenhang sind die Beschreibungen der Veränderungen wertlos.

In Abbildung 36 werden die einzelnen Aktivitäten objektorientierten Modellierens zwar hierarchisch von oben nach unten dargestellt, aber sie müssen in der praktischen Umsetzung nicht in dieser Reihenfolge durchlaufen werden. Nachweise für die Effizienz einer besonderen Ablaufgliederung, die eine Empfehlung rechtfertigen würden, gibt es nicht. Eher existieren empirische Hinweise auf die Überlegenheit eines iterierenden Vorgehens: „At MCC (Austin, Texas), researchers have observed that analysts/designers tend to work at a higher level of abstraction, then see a detailed area, dive into it, investigate it, and return to a higher level of abstraction.“³¹²

Ein besonderer und wichtiger Aspekt objektorientierten Modellierens ist die komponentenorientierte Sicht- und Vorgehensweise. Jedes Objekt wird als für sich allein lebensfähige Einheit aufgefasst und stellt eine Modellkomponente dar. Damit ist jedes Objekt nicht nur Bestandteil eines Modells, sondern selbst wieder Modell. „Der Unterschied zwischen Modell und Komponente entfällt. Es gibt nur noch Modelle, die unter Umständen zu Modellen auf einer höheren Hierarchieebene zusammengeschaltet werden können.“³¹³ Objektorientiertes Modellieren lässt sich unter diesem Gesichtspunkt auch beschreiben als die Entwicklung und intelligente Verknüpfung von zunächst selbstständigen und voll funktionsfähigen Komponenten. Weil die objektorientierte Modellierung mit Bausteinen arbeitet, die funktionierende Entitäten darstellen, ist die Reihenfolge, in der Objekte spezifiziert werden, unerheblich. Ebenso wenig ist die Reihenfolge, in der die Einzelobjekte miteinander verknüpft werden, von irgendwelcher Bedeutung. Die meisten der prozeduralen Simulationssprachen kennen diese Reihenfolgeunabhängigkeit hingegen nicht. Weil sie nicht mit abgekapselten Objekten arbeiten, sondern Anweisungen und Funktionsaufrufe abarbeiten, ist deren Reihenfolge ergebnisrelevant. Auch die Gleichungen von System-Dynamics-Modellen müssen einer bestimmten Ordnung folgen; der Benutzer ent-

³¹² Peter Coad/Edward Yourdon: Object-Oriented Analysis, 1991, S. 34 f.

³¹³ Bernd Schmidt: Die objektorientierte Modellspezifikation, 1996, S. 4.

sprechender Software ist nur deswegen von der Notwendigkeit des Sortierens befreit, weil die Simulationsumgebung diese Aufgabe übernimmt.³¹⁴

Die grafischen und verbalen Modelle, die im Verlauf des Modellierens entstehen, sind nicht das eigentliche Ziel, auch wenn sie dem Verständnis dienen und die Kommunikation vereinheitlichen. Die Absicht simulativen Experimentierens verlangt, dass ein mathematisch formuliertes Modell entsteht, das in programmierter Form vorliegt und auf einem Computer simuliert werden kann.

Objektorientierte Simulationen sind einerseits durch eine besondere Methodik bei der Durchführung der Experimente und andererseits durch die Art der verwendeten Modelle gekennzeichnet: Objektorientierte Simulationen sind Simulationsexperimente mit und an Objekten unter Verwendung von objektorientierten Modellen, wobei diese nicht notwendig objektorientiert programmiert, aber unbedingt objektorientiert spezifiziert sein müssen. Es ist wichtig, die Modellspezifikation von der Implementierung in einer Programmiersprache zu unterscheiden; natürlich lässt sich darüber streiten, ob es sinnvoll ist, ein objektorientiertes Modell in einer prozeduralen Sprache zu programmieren – aber es ist möglich. Und es ist umgekehrt auch nicht automatisch so, dass die Simulation eines objektorientiert implementierten Modells die Auszeichnung „objektorientiert“ verdient. Denn es ist ebenso möglich, ein prozedural spezifiziertes Modell in einer objektorientierten Sprache zu programmieren. Entscheidend dafür, ob eine Simulation objektorientiert genannt werden darf, ist die Modellspezifikation, nicht die Programmierung.³¹⁵

Nur bei einheitlich objektorientierter Modellierung und Simulation lässt sich allerdings das gesamte Leistungspotenzial des objektorientierten Ansatzes auch erschließen, welches darin besteht, über alle Phasen und syntaktischen Unterschiede verschiedener Modelltypen hinweg mit einem einheitlichen semantischen Modell arbeiten zu können.³¹⁶ Objektorientiertes Modellieren identifiziert Objekte im Problembereich und beschreibt diese grafisch bzw. verbal. Die Verwendung einer objektorientierten Programmier- oder Simulationssprache erlaubt die unmittelbare Übernahme des begrifflichen Objektmodells und das Arbeiten mit Objekten auch im Programmcode. Damit sind ideale Voraussetzungen dafür geschaffen, dass beim Simulieren mit Objekten experimentiert werden kann. Die objektorientierte Perspektive lässt sich dann ohne Bruch an

³¹⁴ Selbst die erste, speziell für System Dynamics entwickelte Simulationsumgebung DYNAMO war schon in der Lage, die Modellgleichungen automatisch in die passende Reihenfolge zu bringen und bot damit eine für lange Zeit unerreichte Benutzerfreundlichkeit bei der Erstellung von Simulationsmodellen. Vgl. Pugh-Roberts Associates (Hrsg.): Professional Dynamo Plus: Reference Manual, 1986, S. 23.

³¹⁵ Vgl. Bernd Schmidt: Die objektorientierte Modellspezifikation, 1996, S. 11.

³¹⁶ Vgl. Martin Schader/Michael Rundshagen: Objektorientierte Systemanalyse, 1996, S. 31.

den Schnittstellen durchgängig beibehalten, und die Ergebnisse eines Modellierungsschritts können ohne Änderung oder Uminterpretation in die nächste Phase übernommen werden.³¹⁷

³¹⁷ Siehe dazu Martin Schader/Michael Rundshagen: *Objektorientierte Systemanalyse*, 1996, S. 31, insbesondere Abbildung 2.11.

D. Objektorientierte Modellierung, Validierung und Simulation

I. Softwareunterstützung

Ein Modell zu simulieren heißt, die Zustände der Modellobjekte und ihre kontinuierlich oder diskret eintretenden Veränderungen über die Zeit hinweg zu berechnen. Voraussetzung für die computerbasierte Simulation eines Modells ist daher seine Beschreibung in einer Sprache, die von einem Computer verstanden werden kann. Heute – mehr als 4 Jahrzehnte seit der Erfindung des Elektronenrechners – ist die Auswahl an Programmier- und Simulationssprachen fast unüberschaubar groß. Eine Simulationsumgebung, die alle im Folgenden beschriebenen Modellierungskonstrukte unter einer einheitlichen Oberfläche integriert, ist jedoch nicht verfügbar. Zwar ist die Auswahl an CASE-Tools, die die objektorientierte Softwareentwicklung unterstützen, inzwischen ziemlich umfangreich.³¹⁸ Simulationen können damit jedoch nicht durchgeführt werden.

Die meisten Simulationspakete, die sich mit dem Prädikat „objektorientiert“ schmücken, konzentrieren sich auf einen bestimmten Abbildungsgegenstand – in der Mehrzahl der Fälle ist das die Darstellung von Fertigungs- und Transportstrukturen mit dem Ziel der Optimierung von Produktion und Logistik.³¹⁹ Objektorientiert bedeutet dabei in der Regel nicht mehr als komponenten- bzw. baukastenorientiert: Dem Modellbauer wird die Möglichkeit geboten, Simulationsmodelle aus einem Baukasten, der mehr oder weniger gut mit vorgefertigten Komponenten bestückt ist, zusammenzusetzen. Nur wenige Simulationspakete erlauben dem Anwender darüber hinaus die Modifikation und/oder Erweiterung der Modellbausteine.³²⁰

Den Anforderungen an ein offenes, integriertes, objektorientiertes Simulationssystem kommt SIMPLEX-II noch am nächsten.³²¹ Es erhebt den Anspruch,

³¹⁸ Eine WWW-Seite mit Links zu den Homepages zahlreicher Anbieter pflegt Bernd Oesterreich: <http://home.t-online.de/home/0404220930-0001/umltools.htm>.

³¹⁹ Dieser Kategorie zuzurechnen sind beispielsweise Tylor II oder SIMPLE ++.

³²⁰ Zu diesen Simulationspaketen gehört SIMPLE ++, das die Möglichkeit der Vererbung bietet. Der Anwender kann eigene Bausteine von den Standardelementen ableiten und in eine Bausteinbibliothek einstellen.

³²¹ SIMPLEX-II ist eine Entwicklung des Lehrstuhls für Operations Research und Systemtheorie der Universität Passau. Ab August 1996 ist SIMPLEX-II Freeware und

eine vollständige Experimentierumgebung zu bieten, die dem Anwender alle für die Modellerstellung, -simulation und -analyse notwendigen Funktionen zur Verfügung stellt.³²² Modelle werden in einer eigenen Sprache – SIMPLEX-MDL – formuliert, die eine formale, nichtprozedurale Modellspezifikation gestattet. SIMPLEX-MDL basiert auf der grundlegenden Idee, dass sich jedes Modell aus elementaren Komponenten zusammensetzen lässt, die zu Komponenten höherer hierarchischer Ordnung zusammengeschaltet werden können. Damit trägt SIMPLEX-MDL dem hierarchischen Systemkonzept Rechnung. Die Erstellung von Komponenten erfolgt bevorzugt textuell. Erst für die Verbindung einzelner Komponenten zu höheren Einheiten steht ein grafischer Editor zur Verfügung.

Die Leistungsfähigkeit von SIMPLEX-II in Bezug auf die grafisch unterstützte Modellierung ist allerdings noch nicht überzeugend. Die Bedienung ist – auch aufgrund des sehr gewöhnungsbedürftigen Texteditors – relativ kompliziert, so dass dem ungeübten Anwender die Modellerstellung Schwierigkeiten bereiten dürfte. Die verwendete Symbolik weicht überdies von der in der objektorientierten Analyse eingeführten und gebräuchlichen deutlich ab. Zudem ist SIMPLEX-II nur für verschiedene UNIX-Derivate verfügbar, nicht aber für Windows oder Windows NT. Daher ist es nicht möglich, SIMPLEX-II im Rahmen dieser Arbeit als Simulationssoftware für die Demonstration von OOSMS zu verwenden. Für die Nachfolgeversion SIMPLEX-III sind Werkzeuge angekündigt, die deutliche Besserung verheißen. Damit verspricht SIMPLEX-III als integriertes objektorientiertes Simulationspaket für einen breiteren Anwenderkreis interessant zu werden.

Die für OOSMS ideale Unterstützung wäre eine Simulationssoftware, welche die Fähigkeiten moderner CASE-Tools, die für die objektorientierte Systemanalyse bereits existieren, um die simulationsspezifischen Konstrukte und Werkzeuge erweitert. Wünschenswert wären grafische Editoren für die Erstellung von objektorientierten Statikmodellen und Ereignisfolge- sowie Zustandsübergangsdiagrammen. Maskenbasierte Eingabemöglichkeiten für die Modellparametrisierung und Funktionen für die Auswertung und Analyse der Ergebnisse würden solch ein Simulationspaket komplettieren. Es ist nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung, eine Simulationssoftware für OOSMS zu konzipieren und zu entwickeln. Die Machbarkeit steht allerdings außer Frage.

In Ermangelung einer geeigneten, integrierten Simulationsumgebung bleibt für die Demonstration der Vorgehensweise nur der Rückgriff auf eine höhere Programmiersprache. Die direkte Programmierung von Simulationsmodellen

kann frei kopiert und unentgeltlich weitergegeben werden. Die Software steht über das WWW unter <http://www.uni-passau.de/~simplex> zum Download bereit.

³²² Vgl. Bernd Schmidt: SIMPLEX-II, 1995, S. 1-1 ff.

bringt dabei nicht nur Nachteile mit sich, sondern bietet überdies den Vorteil größtmöglicher Flexibilität und Kontrolle: Der Modellentwickler hat die volle Entscheidungsgewalt über die einzusetzenden Algorithmen und kann Rechengenauigkeit wie -aufwand unmittelbar steuern.³²³ Wenn Programmiersprachen gewählt werden, für die Compiler verfügbar sind, ist in der Regel auch eine höhere Simulationsgeschwindigkeit erreichbar als bei den gewöhnlich interpretierenden Simulationspaketen. Dennoch kann nicht geleugnet werden, dass der Aufwand für die Erstellung eines Simulators in einer höheren Programmiersprache größer ist als bei Verwendung eines integrierten Simulationssystems. Dabei macht die Programmierung des eigentlichen Simulationsmodells in der Regel noch nicht einmal die meiste Arbeit; die Routinen für die Datenzufuhr und Parametereingabe, die Ausgabe und Aufbereitung der Ergebnisse sowie die Absicherung der Bedienungs Oberfläche gegen Fehleingaben beanspruchen oft mehr als die Hälfte der gesamten Programmierzeit. Obwohl moderne, visuelle Entwicklungsumgebungen die Gestaltung von Bedieneroberflächen stark vereinfachen, ist die anwenderfreundliche „Verpackung“ eines Simulators immer noch ziemlich aufwendig.

Für die Demonstration der Programmierung eines objektorientierten Simulationsmodells wird im Folgenden Borland Delphi eingesetzt. Es bietet mit Object Pascal eine voll objektorientierte Programmiersprache, die sich durch gute Lesbarkeit auszeichnet und alle Voraussetzungen für die Codierung objektorientierter Modellentwürfe erfüllt.³²⁴ Zwar muss für die Programmierung eines objektorientierten Modells nicht zwangsläufig eine objektorientierte Sprache herangezogen werden, denn prinzipiell lassen sich objektorientierte Konzepte auch auf nichtobjektorientierte Sprachkonstrukte abbilden;³²⁵ allerdings erfordert dies mehr Disziplin und Sorgfalt seitens des Programmierers, dem in solch einem Fall die besondere Ausdrucksfähigkeit einer objektorientierten Sprache und die Prüfungen des Compilers fehlen.

Delphi bietet darüber hinaus eine visuelle Programmierungsumgebung für die schnelle Entwicklung bedienungsfreundlicher Windows-Anwendungen.³²⁶ Die große Bibliothek wiederverwendbarer Komponenten und die integrierten Entwurfswerkzeuge vereinfachen und beschleunigen die Gestaltung von Benutzeroberflächen für die Datenein- und -ausgabe sowie die Steuerung der Simulation.

³²³ Vgl. Timm Grams: Simulation, 1992, S. 17 ff.

³²⁴ Object Pascal ist dokumentiert in: Borland International (Hrsg.): Object Pascal Sprachreferenz, 1995.

³²⁵ Rumbaugh et alii widmen der Implementierung objektorientiert spezifizierter Modelle mit nicht-objektorientierten Sprachen einen ganzen Abschnitt. Vgl. James Rumbaugh et alii: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen, 1993, S. 413.

³²⁶ Für Windows 3.1 steht Delphi 1.0 zur Verfügung; für Windows 95 und NT kommt Delphi 3.0 zum Einsatz.

II. Das objektorientierte Strukturmodell der Systemstatik

In der objektorientierten Literatur wird das objektorientierte statische Strukturmodell auch als Objektmodell³²⁷, Klassenmodell³²⁸ oder statisches Modell des Systems³²⁹ bezeichnet. Seine Aufgabe ist es, die Klassen bzw. Objekte eines Systems zu beschreiben und das statische Beziehungsgeflecht zwischen ihnen darzustellen.

Notationen für die grafisch-verbale Darstellung des objektorientierten statischen Strukturmodells gibt es mehr als vier Dutzend.³³⁰ Zu den, historisch gesehen, ersten Entwürfen zählt OOA von Coad und Yourdon. Akzeptanz und Verbreitung haben auch die Konzepte von Rumbaugh et alii, Shlaer/Mellor und Booch gefunden. Während bis Mitte der 90er Jahre eine stete Zunahme an Methoden zur objektorientierten Systemanalyse zu beobachten war, gibt es seit 1994 zumindest partiell Tendenzen hin zu einer Vereinheitlichung. Im Oktober 1994 beginnen Rumbaugh und Booch ihre jeweiligen Methoden zusammenzuführen; das Ergebnis ihrer Bemühungen – die sogenannte Unified Method – wird Ende 1995 veröffentlicht. Nachdem auch Jacobson seine OOSE-Methode einbringt, wird 1996 die Unified Modeling Language (UML) aus der Taufe gehoben und Anfang 1997 als Release 1.0 vorgelegt. Zwar sind nicht alle Konstrukte und Symbole, die für die objektorientierte Systemanalyse benötigt werden, auch für die objektorientierte Modellierung vonnöten, und im einen oder anderen Fall scheint eine geringfügige Erweiterung der Notation angebracht; die Neukonzeption einer OOSMS-eigenen Modellbeschreibungssprache erscheint jedoch nicht sinnvoll. Sowohl die Coad/Yourdon-Notation als auch die Unified Modeling Language sind für die mit dieser Arbeit verfolgten Zwecke von mehr als ausreichender Mächtigkeit und gleichermaßen gut geeignet. Für die Coad/Yourdon-Notation spricht, dass sie relativ leicht zu lernen ist, sich in Ausbildung wie Praxiseinsatz bewährt hat und frei zugängliche CASE-Tools³³¹ verfügbar sind. Deswegen kommt sie auch im Rahmen dieser Arbeit zum Einsatz. Die

³²⁷ Vgl. James Rumbaugh et alii: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen, 1993, S. 21.

³²⁸ Vgl. Rational Software Corporation: UML Notation Guide, 1997, S. 18.

³²⁹ Vgl. Martin Schader/Michael Rundshagen: Objektorientierte Systemanalyse, 1996, S. 40.

³³⁰ Diese Zahl findet sich in Rational Software Corporation: UML Summary, 1997, S. 2. Stein führt per 1. August 1993 41 Analysemethoden auf, die an sich selbst den Anspruch erheben, objektorientiert zu sein. Von diesen 41 Methoden unterzieht er diejenigen 14, welche ausreichend dokumentiert sind, einem ausführlichen Vergleich. Siehe dazu Wolfgang Stein: Objektorientierte Analysemethoden, 1994.

³³¹ Z.B. Playground™ von Object International, Inc. Playground™ kann über das WWW (<http://www.oi.com>) bezogen werden.

UML kann für sich den Vorteil einer breiten Unterstützung des Entwicklungskonsortiums auch aus der Industrie verbuchen, so dass sie das Potenzial hat, zum zukünftigen Standard zu werden.

1. Klassen und Objekte

Aller Wahlfreiheit bei der Ablaufgliederung objektorientierter Modellierung zum Trotz, ist der allererste Schritt notwendig vorgegeben: Vor der Identifikation nicht mindestens einer Klasse kann es keine anderen Aktivitäten geben; denn diese setzen voraus, dass bereits Klassen gefunden wurden, mit denen gearbeitet werden kann.

Wie findet man Klassen? Für Meyer ist das kein Problem, über das es sich zu grübeln lohnt: „The Objects are just there for picking.“³³² Wir brauchen uns, seiner Ansicht nach, nur mit offenen Augen in der Problemdomäne umzusehen und die Klassen einfach aufzusammeln. Ein Spielverderber, wer Zweifel hegt? Zwar ist es meist nicht allzu schwer, eine Liste potenzieller Klassen aufzustellen, die im Zusammenhang mit dem Problembereich stehen. Schon eine sehr flüchtige Analyse gibt in der Regel Hinweise auf Dutzende von „Klassenkandidaten“ und insofern hat Meyer recht, wenn er behauptet, dass objektorientierte Entwerfer normalerweise ihre Zeit nicht mit akademischen Diskussionen über Methoden verbringen, wie Klassen zu finden sind.³³³ Überdies ist es nicht vorstellbar, dass es jemals gelingen könnte, einen Algorithmus zum zuverlässigen Auffinden aller Klassen des Problembereichs zu entwickeln. Deren Identifikation wird immer ein in hohem Maße kreativer Prozess sein, bei dem das Streben nach Gewissheit ein vergebliches Bemühen ist. Kaum abzustreiten ist allerdings, dass ein auf Heuristiken basierender Leitfaden den Suchprozess erheblich verkürzen und effektiver gestalten kann. Deswegen ist Meyer nicht zuzustimmen, wenn er die methodische Diskussion über das Auffinden von Klassen und Objekten als fruchtlos verwirft.³³⁴

Ein verbreitet empfohlenes Hilfsmittel für die Identifikation von Klassen ist die Textanalyse.³³⁵ Normalerweise steht dem Modellentwickler eine Beschreibung zur Verfügung, die das Problem als Abweichung des Ist vom Soll möglichst aussagekräftig formuliert. Außerdem kann er Workshop- und Diskussi-

³³² Bertrand Meyer: *Object-Oriented Software Construction*, 1997, S. 51.

³³³ Siehe Bertrand Meyer: *Objektorientierte Softwareentwicklung*, 1990, S. 55.

³³⁴ Dieser Auffassung sind auch Schader/Rundshagen und Coad/Yourdon. Vgl. Martin Schader/Michael Rundshagen: *Objektorientierte Systemanalyse*, 1996, S. 53 oder Peter Coad/Edward Yourdon: *Object-Oriented Analysis*, 1991, S. 52.

³³⁵ Vgl. David Taylor: *Das Aufspüren geeigneter Objekte*, 1994, S. 50 f.; Gerti Kapel/Michael Schrefl: *Objektorientierte Informationssysteme*, 1996, S. 76 f.

onsrundenprotokolle, Fachbücher, Firmenschriften und Lexikaartikel heranziehen, die sich mit dem Problemfeld befassen. Weil die Namen von Klassen immer Hauptwörter sind – beispielsweise Kunde, Patient, Systemabsturz oder Durchfahrt – wird vorgeschlagen, alle Substantive zu markieren und als Kandidaten für Klassen zu betrachten. Quasi nebenbei könnten Adjektive, welche die Klassenkandidaten näher charakterisieren, Anhaltspunkte für Attribute und Verben Hinweise auf Methoden geben.

Nicht zu übersehen ist allerdings auch, dass in der Textanalyse einige Gefahren verborgen sind. Substantivierte Verben können zu einiger Verwirrung führen. Aus dem Satz „Unternehmen X verkauft Computer“ ließe sich mit gutem Grund schließen, dass Unternehmen und Computer als Klasse und die Tätigkeit „Verkaufen“ als Methode zu modellieren sind. Was aber, wenn in der Problembeschreibung stünde „Unternehmensgegenstand ist der Verkauf von Computern“? Jetzt ist auch Verkauf ein Hauptwort. Ist der Verkaufsvorgang deswegen eine Klasse? Das Beispiel macht offenkundig, dass es schwer ist, eine allgemein gültige Regel aufzustellen.

Ein zweites Problem der Textanalyse ist die Gefahr der unkontrollierten Anhäufung von Objekten. Schon eine nur wenig umfangreiche Problembeschreibung enthält viele Dutzende Substantive. Taylor warnt davor, dass es leicht passieren kann, dass man beim Entdecken und Aufschreiben von Klassen kein Ende findet. Hat ein Entwickler aber erst einmal hundert oder mehr potenzielle Klassen auf seiner Liste, ist er wahrscheinlich weiter von einer Problemlösung entfernt als zu Beginn der Arbeit.³³⁶

Eine Checkliste mit einer Reihe von Kategorien immer wieder benötigter Klassen ist ein weiteres Instrument, das Anregungen geben kann. Der Modellentwickler kann die Problemdomäne anhand der Liste „durchchecken“ und prüfen, ob die aufgeführten Kategorien von Relevanz sind. Je nach Literaturquelle finden sich Checklisten unterschiedlichen Umfangs; Abbildung 37 enthält eine tabellarische Gegenüberstellung dreier ausgewählter Checklisten.

Klassen aus der Kategorie reale Dinge sind am leichtesten zu finden. Fließband, Fabrik, Montagehalle, Lackiererei, Lager, LKW usw. sind Beispiele für Klassen, auf die noch am ehesten zutrifft, dass sie zum Aufsammeln einfach bereit liegen. Menschen agieren meist in einer bestimmten Rolle; deswegen sind sie in der Regel nicht unter die Kategorie reale Dinge einzuordnen, sondern unter die Kategorie Personen/Rollen. Typische Klassen aus diesem Bereich sind beispielsweise Lieferant, Kunde, Mitarbeiter, Arzt, Patient, Kontoinhaber, Vorgesetzter, Eigentümer, Besitzer usw. Potenzielle Klassen stellen außerdem Ereignisse dar, über die Informationen zu speichern und Behandlungsmethoden

³³⁶ Siehe David Taylor: Das Aufspüren geeigneter Objekte, 1994, S. 50.

bereitzustellen sind. Kauf, Verkauf, Lieferung, Unfall, Kinovorstellung, Programmabsturz usw. sind Beispiele aus der Kategorie Ereignis.

Interaktionen zwischen zwei oder mehreren Objekten sind selbst Kandidaten für die Klassenbildung. Interaktionsobjekte repräsentieren gemeinhin Transaktionen oder Verträge und zeichnen sich dadurch aus, dass sie sich auf andere Objekte im Modell beziehen. Heirat, Scheidung, Joint Venture, Anstellung, Entlassung sind Beispiele. Interaktionen zwischen Objekten sind praktisch immer mit Ereignissen verbunden, so dass die Grenzen zwischen der Ereignis- und der Interaktionskategorie fließend sind. Spezifikations-Klassen finden sich häufig in Lagerhaltungs- oder Produktionsmodellen. Sie repräsentieren üblicherweise einen Standard, eine Definition oder ein technisches Dokument. Beispiele sind Rezeptur, Produktspezifikation, Konstruktionsplan, Stückliste.

<i>Shlear/Mellor</i>	<i>Schader/Rundshagen</i>	<i>Coad/Yourdon</i>
✓ Reale Dinge	✓ Dinge	
✓ Rollen	✓ Personen	✓ Roles played
✓ Ereignisse	✓ Ereignisse	✓ Things or events remembered
✓ Interaktionen	✓ Interaktionen	
✓ Spezifikationen	✓ Beschreibungen	
	✓ Organisationseinheiten	✓ Organizational Units
	✓ Orte	✓ Sites
	✓ externe Systeme	✓ Other Systems
		✓ Operational procedures
		✓ Devices
		✓ Structures

Abbildung 37: Gegenüberstellung von Checklisten zum Auffinden von Klassen und Objekten³³⁷

Organisationseinheiten wie beispielsweise Abteilungen, Stäbe, Teams, Ausschüsse usw. sind gleichfalls Kandidaten für Klassen, insbesondere dann, wenn sie wichtige Funktionen ausüben und es Daten zu speichern gilt. Auch an bestimmten Orten im Problembereich können sich wichtige, eigenständig zu modellierende Informationen und Nachrichtenverbindungen konzentrieren. In einer Schienennetzsimulation können z. B. Bahnhöfe und Bahnübergänge wichtige Orte darstellen. Andere Beispiele sind Tochtergesellschaften, Filialen oder Wohnungen.

³³⁷ Vgl. Sally Shlaer/Stephen J. Mellor: *Objektorientierte Systemanalyse*, 1996, S. 16–20; Martin Schader/Michael Rundshagen: *Objektorientierte Systemanalyse*, 1996, S. 52–59; Peter Coad/Edward Yourdon: *Object-Oriented Analysis*, 1991, S. 60–66.

Objekte der Kategorie externe Systeme dienen dazu, die Systemgrenzen zu modellieren. Sie sind den Wolken des System-Dynamics-Ansatzes vergleichbar und geben an, dass sie zum Problembereich zwar dazugehören, im Modell jedoch nur rudimentär abgebildet werden. Ein solches externes System kann beispielsweise eine Lagerhaltung, ein Zentralrechner, der Arbeitsmarkt oder Ähnliches sein.

Sehr technisch und vielleicht für die objektorientierte Systemanalyse, kaum jedoch für die objektorientierte Modellierung brauchbar sind die von Coad/Yourdon genannten Kategorien „Operational procedures“ und „Devices“.³³⁸ Fruchtbare Hinweise auf weitere Klassen und Objekte können jedoch bestimmte „Structures“ geben, typische Strukturen in objektorientierten Modellen, auf die im folgenden Abschnitt detailliert eingegangen wird.

Ist eine Liste von potenziellen Klassen erstellt, sollten diese kritisch auf ihren Nutzen hin geprüft werden. Taylor sieht den Wert einer Klasse in ihrer Fähigkeit, dem Modellentwickler dabei zu helfen, „die wesentlichen Eigenschaften eines Anwendungsgebietes zu beschreiben und auf produktive Weise Schlüsse zu ziehen und Entscheidungen abzuleiten.“³³⁹ Die Schwierigkeit bei der Beurteilung der „Qualität“ von Klassen liegt darin, dass es keine generell guten Klassen gibt. Immer sind es die Anforderungen des spezifischen Modells, die den Wert eines Objektes bestimmen. Allerdings gibt es einige Prüfpunkte, die „gute“ Klassen erfüllen sollten. Coad/Yourdon beispielsweise geben dem Modellentwickler eine Checkliste mit acht Prüfkriterien an die Hand:³⁴⁰

Die Objekte einer potenziellen Klasse sollten

- (1) Informationen enthalten – und möglichst nur diese –, deren Speicherung im Modell wesentlich für eine adäquate Abbildung des Systems ist.

Dieses Prüfkriterium ist schwer zu operationalisieren. Der Modellentwickler sollte sich bei jedem potenziellen Objekt fragen, ob das, was es „weiß“, wirklich benötigt wird, um die Problemdomäne korrekt abzubilden. Ohne Frage ist bei dieser Entscheidung ein reicher Erfahrungsschatz hilfreich.

- (2) Verhaltensweisen zur Verfügung stellen, die wesentlich für das gesamte Systemverhalten sind.

Auch dieses zweite Prüfkriterium ist kaum zu operationalisieren; es will als Aufforderung zur kritischen Überprüfung des Verhaltensbestandteils von Objekten verstanden werden. Nur wenn die Frage „Tragen die Funktionen,

³³⁸ Zur näheren Erläuterung siehe Peter Coad/Edward Yourdon: Object-Oriented Analysis, 1991, S. 62 und 65.

³³⁹ David Taylor: Das Aufspüren geeigneter Objekte, 1994, S. 51.

³⁴⁰ Siehe Peter Coad/Edward Yourdon: Object-Oriented Analysis, 1991, S. 66–72.

die eine Klasse und ihre Objekte in das Modell einbringen, wirklich zur Gesamtfunktionalität bei“ eindeutig mit Ja beantwortet werden kann, sollte diese Klasse mit ihren Objekten in das Modell aufgenommen werden.

- (3) durch mehr als ein Attribut ausgezeichnet sein.

Dieses Prüfkriterium soll die übermäßig feine Klassen- und Objektbildung verhindern helfen. Häufig sind Klassen und Objekte mit nur einem Attribut nicht wirklich eigenständig, sondern Attribute anderer Klassen und Objekte. Die Modellierung einer Klasse „Name“ beispielsweise ist selten sinnvoll; besser ist es, den Namen als Attribut in die Klasse „Kunde“ mit aufzunehmen.

- (4) keine Attribute enthalten, deren Wert aus anderen, bereits aufgenommenen Attributen ermittelt werden kann.

Wenn eine Klasse „Kunde“ das Attribut „Geburtsdatum“ enthält, so ist es überflüssig, auch das Alter des Kunden als Attribut zu modellieren. Dieses kann jederzeit als Differenz von Tages- und Geburtsdatum ermittelt werden.

Die Klassen sollten darüber hinaus

- (5) in der Regel mehr als ein Objekt enthalten.

Einzelne Objekte sind in objektorientierten Modellen relativ selten. Wenn in einem Modell mehrfach Klassen mit nur einem Objekt vorkommen, kann das ein Hinweis auf eine zu feine Klasseneinteilung sein und sollte Anlass zur kritischen Prüfung geben. Das Prüfkriterium „Klassen sollten mehr als ein Objekt enthalten“ ist relativ schwach, und es gibt etliche Situationen, in denen es Sinn macht, einzelne Objekte zu modellieren. Wenn ein Unternehmen beispielsweise über nur eine Fabrikationsstätte verfügt, ist es höchstwahrscheinlich dennoch sinnvoll, die Fabrikanlage als Klasse mit einem Objekt zu modellieren.

- (6) nur Attribute bereitstellen, die von jedem Objekt der Klasse mit einem speziellen Wert belegt werden können.

Ist diese Regel verletzt, d. h. sind in einer Klasse Objekte enthalten, bei denen für mindestens ein Attribut keine Werte vorhanden sind, dann ist die Klasse nicht ausreichend homogen spezifiziert. Eine Klasse „Papiere“, die mit den Attributen Name, Hersteller und Ablaufdatum sowohl Fahrzeug- als auch Führerschein-Objekte aufnehmen soll, ist ein Beispiel für eine zu heterogen definierte Klasse.

- (7) nur über Methoden verfügen, die für jedes Objekt der Klasse eine gültige Verhaltensweise darstellen.

Wie mit der vorstehenden Prüfregel (6), soll mit (7) verhindert werden, dass Klassen zu heterogen strukturiert sind. Es muss sichergestellt sein,

dass alle Objekte einer Klasse eine bestimmte Funktion – beispielsweise „Starten“ oder „Landen“ auch ausführen können.

- (8) keine über den Problembereich hinausgehenden Attribute oder Methoden enthalten.

Das Analysemodell sollte in eine beliebige Programmier- bzw. Simulationssprache auf einer beliebigen Plattform umgesetzt werden können.

Die oben angeführten Prüfkriterien sind nicht alle Muss-Vorschriften. Erfüllt eine potenzielle Klasse eines der Kriterien (1)–(5) nicht, folgt daraus nicht zwangsläufig, dass diese sofort zu verwerfen sei. Es gibt Beispiele dafür, dass eine Klasse, auch mit nur einem Attribut, dennoch ihre Berechtigung hat. Das Nichtbestehen einer Prüfung ist lediglich als Hinweis zu verstehen, die potenzielle Klasse noch einmal kritisch und genau zu analysieren. Verboten sind allerdings Verletzungen der Regeln (6) und (7), weil dann mindestens schwer verständliche, wahrscheinlich jedoch grob falsche Modelle und fehlerhafte Simulationsergebnisse die Folge sind.

Die Darstellung einzelner Objekte ist bei Coad/Yourdon nicht vorgesehen.³⁴¹ Ihr OOA-Ansatz kennt nur ein Symbol für Klassen und eines für abstrakte Klassen (vgl. Abbildung 38).³⁴² Als Klassen-Symbol wird ein abgerundetes Rechteck mit doppeltem Rahmen verwendet, das durch zwei horizontale Linien in drei Abschnitte unterteilt ist. Der dünn oder grau gezeichnete äußere Rahmen repräsentiert dabei die Objekte der Klasse und das fett gedruckte innere Rechteck die Klasse selbst. Eine abstrakte Klasse wird folgerichtig als einfaches, fett gedrucktes abgerundetes Rechteck gezeichnet. In den ersten Abschnitt wird der Name der Klasse geschrieben; die Abschnitte zwei und drei sind für die Attribute und die Methoden der Objekte der Klasse reserviert.



Abbildung 38: OOM-Symbole für Klassen und Objekte

³⁴¹ Rumbaugh et alii verwenden demgegenüber eigene Symbole für die Instanzen einer Klasse. Vgl. James Rumbaugh et alii: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen, 1993, S. 30.

³⁴² Siehe Peter Coad/Edward Yourdon: Object-Oriented Analysis, 1991, S. 56 ff. und Martin Schader/Michael Rundshagen: Objektorientierte Systemanalyse, 1996, S. 40f.

Weil ein Objekt immer auch als Klasse mit nur einer Instanz aufgefasst werden kann, erscheinen nur zwei Symbole grundsätzlich ausreichend. Für den Fall, dass im Rahmen objektorientierter Modellierung dennoch die Notwendigkeit gegeben ist, einzelne Objekte darzustellen, bietet sich die Möglichkeit, das Coad/Yourdon-Symbol für Klassen mit Objekten – wie in Abbildung 38 gezeigt – zu modifizieren. In den ersten Abschnitt des Objektsymbols wird in diesem Fall der Klassenname in Klammern gesetzt und der Name des Objektes darunter geschrieben.

Die Benennung von Klassen und Objekten sollte klar und eindeutig sein; gängig sind Substantive, eventuell ergänzt durch ein oder zwei Adjektive. Die Namensfindung ist in der Praxis nicht immer so trivial wie sie vielleicht erscheinen mag. Denn es kommt häufig vor, dass ein einzelnes Wort für zwei oder mehrere unterschiedliche Dinge verwendet wird. Ein Flügel ist z. B. sowohl die Schwinge eines Vogels oder Flugzeugs als auch ein Instrument als auch ein Gebäudeteil. Und nicht selten wird ein und derselbe Gegenstand mit mehr als einem Wort benannt: Cafeteria, Uni-Cafe, Bistro, Wienerwald können alle denselben Ort bezeichnen. Im täglichen Leben führen diese Mehrdeutigkeiten in der Regel zu weniger Problemen als spontan zu vermuten stünde, weil Menschen die fehlenden Informationen aus dem Kontext erschließen. In Modellen sind schwammige, ungenaue und mehrdeutige Namen allerdings nicht tolerierbar. Sie machen die Vorteile der grafisch-verbalen Modellexplikation gegenüber mentalen Modellen wieder zunichte. Shlaer/Mellor plädieren daher zu Recht für die Verwendung von üblichen, starken, präzisen und inhaltsbasierten Namen.³⁴³

In Object Pascal werden Klassen durch einen Bezeichner und das Schlüsselwort „class“ deklariert. Dem Klassennamen wird dabei – der Borland Konvention folgend – ein großes T vorangestellt, so dass „EineKlasse“ durch den Ausdruck TEineKlasse = class als Klasse gekennzeichnet ist.

```
TEineKlasse = class
  //Attribute
  :
  //Methoden
  :
end;
```

Die Instanzen einer Klasse werden in Form von Objektvariablen statisch oder dynamisch erzeugt. Eine Variable erhält den Objektnamen als Bezeichner und wird als Typ der Klasse deklariert.

```
var
  EinObjekt: TEineKlasse;
```

³⁴³ Für eine ganze Reihe von Beispielen und weiterführenden Erläuterungen siehe Sally Shlaer/Stephen J. Mellor: Objektorientierte Systemanalyse, 1996, S. 22–24.

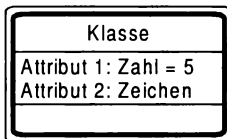
Vervollständigt wird die Modellierung von Klassen und Objekten durch eine kurze und informative Beschreibung.

2. Objektattribute

Attribute sind als die äußeren Merkmale oder Eigenschaften eines Systems definiert; formal stellen sie Mengen mit mehr als einer möglichen Ausprägung dar. Da Objekte als Systeme betrachtet werden können, gilt auch für Objektattribute, dass sie Merkmale sind, für die jedes Objekt einer Klasse eine bestimmte Ausprägung aufzuweisen hat. Name, Geburtsdatum, Größe und Gewicht können als Beispielattribute der Objekte aus der Klasse Person angeführt werden. Leistungsabgabe, zulässiges Gesamtgewicht, Farbe und Baujahr sind Beispiele für Attribute aus der Klasse PKW.

Während für Klassen nur die Menge der möglichen oder/und zulässigen Attributausprägungen definiert ist, weist jedes Objekt als Instanz einer Klasse für jedes seiner Attribute in jedem Zeitpunkt einen konkreten Wert auf. Das Attribut Geburtsdatum des Objektes Karl Müller hat z.B. die Ausprägung 10.12.1958, was nichts anderes bedeutet als: Karl Müller ist am 10.12.1958 geboren. Andere Instanzen der Klasse Person können die gleichen oder unterschiedliche Werte für ein bestimmtes Attribut besitzen.

Attribute werden – wie in Abbildung 39 gezeigt – im zweiten Abschnitt des Klassensymbols aufgeführt. Rumbaugh et alii erlauben, dass hinter jedem Attributnamen optional weitere Details stehen können.³⁴⁴ Beispielsweise kann, abgetrennt durch einen Doppelpunkt bzw. ein Gleichheitszeichen, der Datentyp oder/und der Initialwert stehen. Meist sind diese Details für die Modellierung allerdings ziemlich uninteressant und nur für die Programmierung von Bedeutung.



```

Type
TEineKlasse = Class
    Attribut_1: Integer;
    Attribut_2: Char;
End;
  
```

Abbildung 39: Modellierung von Attributen

³⁴⁴ Vgl. James Rumbaugh et alii: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen, 1993, S. 30.

In Object Pascal wird jedes Attribut einer Klasse über einen Bezeichner und einen Datentyp³⁴⁵ deklariert. Abbildung 39 zeigt im rechten Teil ein Beispiel. Eine Besonderheit des Delphi-Objektmodells ist die explizite Verfügbarkeit sog. „properties“.³⁴⁶ Properties sehen für den Benutzer einer Klasse nicht anders aus als Objektattribute; intern können sie aber Methoden verkapseln, die den Wert eines Datenfeldes lesen oder schreiben. Dadurch wird es einerseits möglich, Operationen mit dem lesenden oder schreibenden Zugriff auf ein Objektattribut zu verknüpfen³⁴⁷; andererseits können Attribute, die sich aus anderen Attributen berechnen lassen, als Eigenschaft ununterscheidbar von „echten“ Datenattributen zugänglich gemacht werden, ohne dass hilfsweise ein Datenfeld deklariert werden muss.

Shlaer/Mellor teilen die Attribute von Objekten in drei Kategorien ein: beschreibende, namensgebende und referenzielle Attribute.³⁴⁸ Beschreibende Attribute enthalten Daten, die für die spezifischen Charakteristika der Objekte verantwortlich sind. Bei der Klasse Flugzeug in Abbildung 40 sind das beispielsweise die Attribute maximale und aktuelle Flughöhe, maximale und aktuelle Fluggeschwindigkeit, Schubkraft sowie Antriebstyp. Bei der Klasse Mitarbeiter sind zu dieser Kategorie die Attribute Gehalt, Adresse, Eintrittsdatum und Ausbildung zu rechnen.

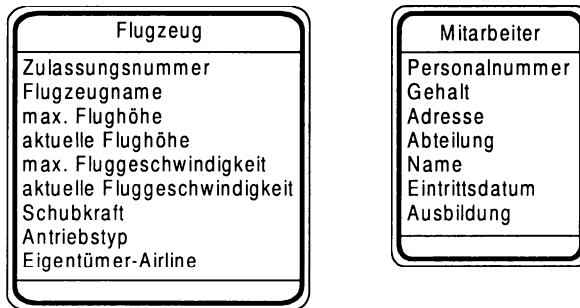


Abbildung 40: Beispiele für Objektattribute der Klassen
Flugzeug und Mitarbeiter

³⁴⁵ Datentypen sind beispielsweise die Standardtypen *real*, *double*, *integer*, *longint* usw. Aber auch selbstdefinierte sogenannte Records oder andere Klassen sind als Datentypen zulässig.

³⁴⁶ Vgl. Borland International (Hrsg.): Handbuch Komponentenentwicklung, 1995, S. 162 ff.

³⁴⁷ Mit dem Aufruf `EineKlasse.EinAttribut := 100` könnte beispielsweise die Methode `SetEinAttribut` verbunden sein, die nicht nur eine Wertzuweisung vornimmt, sondern auch eine logische Zulässigkeitsüberprüfung durchführt.

³⁴⁸ Sally Shlaer/Stephen J. Mellor: Objektorientierte Systemanalyse, 1996, S. 30.

Namensattribute enthalten Fakten über mehr oder weniger willkürliche Namen und Bezeichnungen jeder Instanz einer Klasse. Prinzipiell lassen sich Namensattribute ändern, ohne dass die Identität eines Objekts verloren geht. Der Mitarbeiterin Andrea Müller kann ohne weiteres eine andere Personalnummer zugeteilt werden; sie ist trotzdem immer noch dieselbe Person. Zu den namensgebenden Attributen in den Beispielen der Abbildung 40 gehören die Zulassungsnummer und der Flugzeugname bei der Klasse Flugzeug und die Personalnummer sowie der Name bei der Klasse Mitarbeiter.

Referenzielle Attribute verknüpfen bei Shlaer/Mellor Instanzen einer Klasse mit Instanzen einer anderen Klasse. Zu diesem Typ sind die Attribute Eigentümer-Airline und Abteilung zu rechnen. Bei der hier beschriebenen objektorientierten Modellierung sind referenzielle Attribute durch Assoziationen ersetzt.³⁴⁹ Dadurch wird deutlich unterstrichen, dass die Information, die eine Assoziation enthält, nicht allein einer Klasse zugeordnet ist, sondern von zwei oder mehr Klassen abhängt.³⁵⁰ Bei der Modellierung sind Attribute des referenziellen Typs daher zu vermeiden.³⁵¹

Bei der Erstellung eines objektorientierten Simulationsmodells ist den beschreibenden Attributen besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Sie sind die wirklich wichtigen Attribute eines Objekts. Die Menge der beschreibenden Attribute kann weiter unterteilt werden in die Konstanten oder Parameter, die Zustandsvariablen und die gelegentlich benötigten Hilfsattribute.³⁵² Konstante Attribute verändern – der Name sagt es bereits – ihren Wert während der ganzen Lebensdauer eines Objektes nicht. Ihnen wird bei der Erzeugung einer Objektinstanz ein Wert zugewiesen, auf den dann im Verlauf der Simulation nur lesend zugegriffen werden darf. Beispiele für Konstanten in Abbildung 40 sind die Attribute maximale Flughöhe und maximale Fluggeschwindigkeit. Konstanten sollten gruppiert und am Anfang der Attributliste aufgeführt sein. Sie können zur Identifikation mit einem C gekennzeichnet werden.

Die Zustandsattribute eines Objektes enthalten Informationen über dessen momentanen Zustand. Flughöhe und Fluggeschwindigkeit eines Flugzeugs sind Beispiele für Zustandsattribute. Anders als Konstanten erfahren sie im Zeitverlauf Veränderungen, d. h. wenn der Pilot den Schub der Triebwerke erhöht und

³⁴⁹ Siehe Abschnitt D.II.3.

³⁵⁰ Vgl. James Rumbaugh et alii: *Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen*, 1993, S. 39.

³⁵¹ Für die Programmierung von Assoziations- und Aggregationsstrukturen werden sie allerdings benötigt.

³⁵² In der objektorientierten Modellbeschreibungssprache SIMPLEX-MDL findet sich mit der Unterscheidung der Typen *Constants*, *State Variables*, *Sensor Variables* und *Dependent Variables* im Deklarationsteil einer Objektkomponente eine ähnliche Kategorisierung. Vgl. Bernd Schmidt: *SIMPLEX II*, 1995, S. 4–8 ff.

beschleunigt, dann wird die Fluggeschwindigkeit zunehmen. Zustandsattribute entsprechen den Levelgrößen des System-Dynamics-Ansatzes. Sie können mit einem vorangestellten Z als solche gekennzeichnet werden.

Zustandsvariablen können, müssen aber nicht derart elementarer Art sein wie die Flughöhe eines Jets; sie können sich auch aus anderen Zustandsattributen ableiten. So könnte ein Waldteich in einem bestimmten Zeitpunkt durch die Zustandsgrößen Sauerstoffgehalt des Wassers, Anzahl der Fische und Umfang des Algenbestands charakterisiert werden. Der aktuelle Zustand des Teiches würde dann über die konkreten Ausprägungen dieser Attribute beschrieben: Sauerstoffgehalt = 70 % gesättigt, Nährstoffgehalt = gering, Anzahl Fische je $\text{m}^3 = 5$, Algenbestand = 205 t. In der Wasserwirtschaft wird allerdings lieber mit der abgeleiteten Zustandsvariablen Gewässergüte gearbeitet, die in Abhängigkeit der Ausprägungen der elementaren Zustandsattribute die Werte unbelastet bis sehr gering belastet, gering belastet, mäßig belastet, kritisch belastet, stark verschmutzt, sehr stark verschmutzt, übermäßig verschmutzt annehmen kann.³⁵³ Ein weiteres Beispiel kann dem betriebswirtschaftlichen Umfeld entnommen werden: Ein Unternehmen wechselt vom Zustand der Liquidität in den der Illiquidität, wenn seine finanziellen Mittel nicht mehr ausreichen, die fälligen Zahlungsverpflichtungen zu decken.

Bei der Identifikation der Objektattribute gibt es ganz ähnliche Schwierigkeiten wie beim Aufspüren von Klassen. Meist ist es sehr einfach, zahlreiche Attribute für ein Objekt zu finden. Bei physisch existenten Objekten, wie beispielsweise einem Auto, fällt es schwer, beim Aufschreiben der Charakteristika zu einem Ende zu kommen: Es gibt Dutzende, vielleicht sogar Hunderte von Attributen, die einem Automobil zukommen. Coad/Yourdon schlagen einen Fragenkatalog vor, der bei Identifikation und Selektion von Objektattributen zur Seite steht. Der Modellentwickler soll sich nacheinander die folgenden Fragen stellen und kritisch nach Antworten suchen:³⁵⁴

- Wie kann das Objekt allgemein, d. h. losgelöst von der konkreten Problemstellung beschrieben werden?
- Wie sieht die spezielle, auf das konkrete Problemfeld zugeschnittene Objektbeschreibung aus?
- Was muss ich über das Objekt wissen? Welche Daten muss ich speichern, um alle Anforderungen erfüllen zu können?
- Welche Zustandsinformationen müssen über die Zeit gespeichert werden?
- Welche Werte können die Attributausprägungen eines Objektattributes im Zeitablauf einnehmen?

³⁵³ Vgl. Enzyklopädie Naturwissenschaft und Technik, Band Str–Z, 1981, S. 5045.

³⁵⁴ Siehe Peter Coad/Edward Yourdon: Object-Oriented Analysis, 1991, S. 121 f.

Gerade bei der Festlegung der Attribute können nach verbreiteter Auffassung in der objektorientierten Literatur frühere Modelle verwandter Problemdomänen außerordentlich hilfreich sein. Sofern solche Modelle zur Verfügung stehen, geben sie oft wertvolle Hinweise insbesondere auf allgemein beschreibende Attribute. Der Empfehlung von Coad/Yourdon, vorhandene Modelle im gleichen oder einem verwandten Problembereich auf Wiederverwertbarkeit der Attribute hin zu prüfen, ist uneingeschränkt zuzustimmen.

Vervollständigt wird diese Phase der Objektmodellierung durch eine kurze, informative Beschreibung der identifizierten und modellierten Attribute. Bei dem Attribut Eintrittsdatum könnte beispielsweise vermerkt sein: „Das Eintrittsdatum gibt an, zu welchem Zeitpunkt ein Mitarbeiter in das Unternehmen eingetreten ist.“

3. Assoziationen und Aggregationen

Mit *Assoziationen* werden Beziehungen zwischen Objekten modelliert. Formal handelt es sich bei einer Assoziation um eine Relation, die dem in Abschnitt 2 erklärten Typ der zwischensystemischen Relation äquivalent ist. Inhaltlich haben Assoziationen die Aufgabe, das Verbindungsgefüge zwischen Objekten abzubilden, das meist dadurch entsteht, dass ein Objekt zur Erfüllung seiner Aufgaben auf Informationen oder Funktionen anderer Objekte zugreifen muss. Zwischen Arbeitern und Unternehmen besteht beispielsweise die Assoziation *arbeitet für*, was nichts Anderes bedeutet, als dass Arbeiter für ein Unternehmen tätig sind und dabei von ihrem Arbeitgeber bereitgestellte Maschinen und Werkzeuge einsetzen. Die Assoziation könnte völlig äquivalent auch mit dem Namen *beschäftigt* versehen werden und würde wiederum Arbeiter und Unternehmen verbinden, jetzt allerdings aus der Sicht des Unternehmens. Beide Richtungen sind gleichermaßen sinnvoll. Sie unterscheiden sich nur durch die Perspektive; die begründete Assoziation ist in beiden Fällen dieselbe. Assoziationen sind darum inhärent bidirektional.³⁵⁵ Auch wenn die Benennung einer Assoziation eine bestimmte Richtung in den Vordergrund stellt und dadurch möglicherweise den Anschein der Unidirektionalität erweckt, lässt sich eine Assoziation konzeptionell immer in beide Richtungen durchlaufen.

Assoziationen werden, wie Abbildung 41 zeigt, durch einfache Linien symbolisiert. Während Rumbaugh et alii Assoziationen im Regelfall benennen, verzichten Coad/Yourdon und Schader/Rundshagen grundsätzlich auf die Vergabe von Namen für Objektbeziehungen. Nur in besonderen Fällen, bei denen es zu

³⁵⁵ Siehe James Rumbaugh et alii: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen, 1993, S. 34.

Verwechslungen kommen kann oder zwischen zwei Objekten mehr als eine Assoziation besteht, empfehlen auch diese Autoren die Beschriftung der Verbindungslinien.

Den Sonderfall einer binären 1:1-Assoziation zeigt Abbildung 41 im unteren Teil. Jeweils zwei Objekte stehen in einer ein-eindeutigen Beziehung zueinander: Jedes Land hat eine Hauptstadt, und jede Hauptstadt ist genau einem Land zugeordnet. Die Spezifikation, wie viele Instanzen einer Klasse mit wie vielen Instanzen einer assoziierten Klasse verbunden sein können, wird als Multiplizität oder Kardinalität bezeichnet. Coad/Yourdon geben Kardinalitäten dadurch an, dass sie natürliche Zahlen oder die Platzhaltersymbole m und n , die für beliebige natürliche Zahlen stehen, an die Verbindungslinie schreiben.³⁵⁶

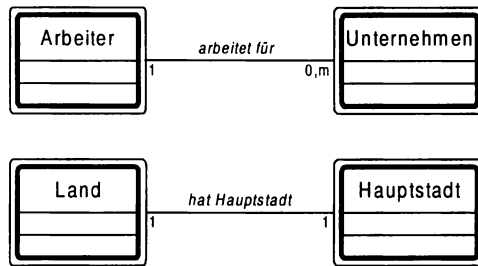


Abbildung 41: Symboldarstellung von Assoziationen

In den frühen Stadien der Modellentwicklung erweist sich die Festlegung von Multiplizitäten als eher nachrangig. Wichtig sind die Assoziationen an sich. Über die Multiplizität kann im weiteren Verlauf immer noch entschieden werden; denn häufig gehen in die Festlegung von Multiplizitäten abstrahierende Annahmen ein. Von einem grundsätzlichen Standpunkt aus müsste die als erstes Beispiel angeführte Assoziation *arbeitet für* als $n:m$ - und nicht als $1:m$ -Assoziation modelliert werden: Eine Unternehmung wird in aller Regel mehr als einen Arbeiter beschäftigen, aber auch ein Arbeiter kann, obwohl das nicht so häufig vorkommt, für mehr als einen Arbeitgeber tätig sein. Dennoch ist es in vielen Fällen adäquat – und aus Gründen der Komplexitätsreduktion empfehlenswert – eine $1:m$ Assoziation wie in Abbildung 42 zu modellieren. Voraussetzung dafür ist, dass die Mehrfachbeschäftigung für die spezielle Problemdomäne irrelevant ist und vernachlässigt werden kann. Die Technik der Objektmodellierung trägt allerdings dazu bei, dass solche Entscheidungen über den Grad der Abstraktion bewusst getroffen werden.

³⁵⁶ Vgl. Peter Coad/Edward Yourdon: Object-Oriented Analysis, 1991, S. 126 ff.

Abbildung 42 zeigt einen weiteren Sonderfall: Assoziationen kann es nicht nur zwischen Objekten verschiedener Klassen, sondern auch zwischen Objekten ein und derselben Klasse geben. Die Assoziation *beaufsichtigt* zwischen Fach- und Hilfsarbeitern innerhalb der Gruppe der Arbeiter wird wie jede andere Assoziation auch durch eine Verbindungslinie symbolisiert. Allerdings ist es in solchen Fällen häufig hilfreich, an den Enden der Verbindungslinien nicht nur die Kardinalitäten anzugeben, sondern auch die Rollen zu vermerken, die die Objekte in dieser Assoziation spielen. Das Beispiel in Abbildung 42 bringt zum Ausdruck, dass jeder Facharbeiter zwischen 0 und m Hilfsarbeiter beaufsichtigt, und umgekehrt jeder Hilfsarbeiter genau einem Facharbeiter unterstellt ist. Ebenfalls möglich wäre es, die beiden Rollen Fach- und Hilfsarbeiter als zwei eigenständige Klassen zu modellieren. Was besser ist, muss im Einzelfall beurteilt werden.

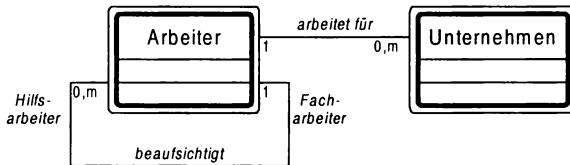


Abbildung 42: Assoziationen zwischen Objekten derselben Klasse

In besonderen Fällen ist es nützlich, eine Assoziation selbst als Klasse zu modellieren.³⁵⁷ Wenn – was anzunehmen ist – ein Arbeitsverhältnis zwischen einem Arbeiter und einem Unternehmen nicht über die ganze Lebensdauer der Objekte Bestand hat und wenn es sinnvoll ist, Informationen über Art, Zustandekommen, Beginn, Ende usw. der Beziehung zu speichern, dann könnte dies über das Dazwischenschalten einer Klasse Arbeitsverhältnis erfolgen. Variante A in Abbildung 43 zeigt die symbolische Notation, wie sie Coad/Yourdon für diesen Fall vorschlagen. Dabei wird die ursprüngliche Assoziation *arbeitet für* ersetzt; die Namensgebung für die beiden neuen Assoziationen erweist sich als schwierig; unbedingt erforderlich ist sie allerdings auch nicht, weil eindeutig ist, was gemeint ist. Der Vorteil von Variante B, die an Rumbaugh et alii angelehnt ist, besteht darin, dass die ursprüngliche Assoziation als solche erhalten und nach wie vor sichtbar bleibt.

Alle bisher dargestellten Assoziationen sind binären Typs, d. h. sie beschreiben Beziehungen zwischen den Instanzen zweier Klassen. Das ist auch der in

³⁵⁷ Vgl. James Rumbaugh et alii: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen, 1993, S. 41 ff. und Martin Schader/Michael Rundshagen: Objektorientierte Systemanalyse, 1996, S. 74 ff.

der Modellierungspraxis häufigste Fall. Selten sind Assoziationen höherer Ordnung. Aber es gibt sie. Ein Beispiel: Programmierer, zugehörig zur Klasse Person, verwenden bestimmte Programmiersprachen für bestimmte Projekte. Es scheint nicht möglich, diese trinäre Assoziation ohne Verlust an Informationen aufzubrechen. Meist wird ein Programmierer mehr als eine Programmiersprache kennen und auch an mehr als einem Projekt gearbeitet haben. Welche Sprache für ein ganz bestimmtes Projekt von einem ganz bestimmten Programmierer ausgewählt ist, lässt sich nur über die trinäre Assoziation eindeutig festhalten. Während Rumbaugh et alii eine Raute, von der die Verbindungslinien ausgehen, zur Modellierung von Assoziationen höherer Ordnung zur Verfügung stellen, verfügen Coad/Yourdon über keine eigenständige Symbolik.³⁵⁸ Als Ausweg bleibt nur, trinäre und höhere Assoziationen – wie in Abbildung 43 für den binären Fall demonstriert – über Klassen zu modellieren. Da Assoziationen höherer Ordnung schwieriger zu zeichnen, aufwendiger zu implementieren und schwer zu verstehen und nachzuvollziehen sind, sollten sie, wenn immer möglich, vermieden werden.

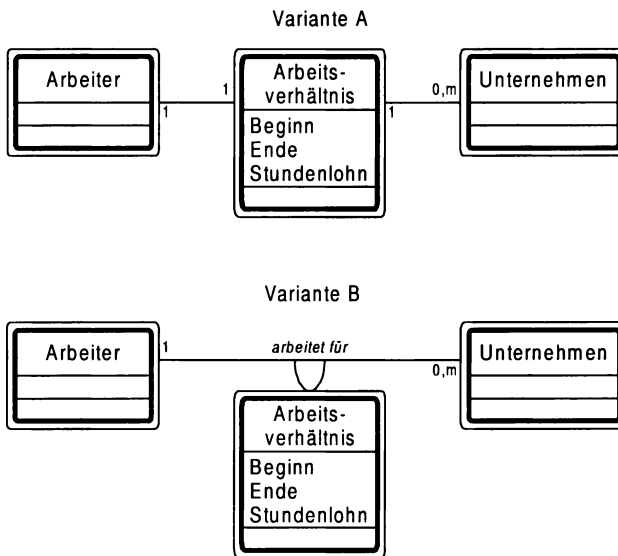


Abbildung 43: Modellierung von Objektassoziationen als Klassen

³⁵⁸ Höhere Assoziationen sind bei James Rumbaugh et alii: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen, 1993 auf den Seiten 35 ff. beschrieben. Der interessierte Leser findet dort auch die angesprochenen Symboldarstellungen.

Aggregationen sind ein Sonderfall der Assoziationen. Mit ihnen ist die hierarchische Systemperspektive im Objektansatz realisiert. Aggregationsstrukturen machen die explizite Modellierung von Ganzheit-Teil-Beziehungen möglich: Objekte, die eine Ganzheit darstellen, werden durch eine vertikale, mit einem Dreieck gekennzeichnete Linie, mit ihren Teil-Objekten verbunden. Dabei zeigt die Spitze des Dreiecks immer auf die Ganzheit-Objekte, und die Grundseite des Dreiecks ist dementsprechend immer den Teil-Objekten zugewendet. Dadurch ist es auch dann möglich, eindeutig zwischen Ganzheit und Teilen zu unterscheiden, wenn die in Abbildung 44 gezeigte vertikale Orientierung aus Platzgründen nicht realisiert werden kann.

Wie bei Assoziationen geben Zahlen an den Objekten die Kardinalitäten an. Eine Galaxie beispielsweise besteht aus 1–m Sonnensystemen, wobei umgekehrt jedes Sonnensystem Bestandteil genau einer Galaxie ist. Die wichtigste Eigenschaft einer Aggregation ist die Transitivität.³⁵⁹ Wenn – wie in Abbildung 44 – Sonnensysteme Teile einer Galaxie sind und Planeten, Monde, Sterne und Asteroiden Teile von Sonnensystemen, dann sind Planeten, Monde, Sterne und Asteroiden zwangsläufig auch Teile von Galaxien. Aggregationen sind darüber hinaus auch antisymmetrisch; aber das ist fast schon eine Trivialität, heißt es doch nichts Anderes, als dass A nicht Teil von B sein kann, wenn B Teil von A ist.

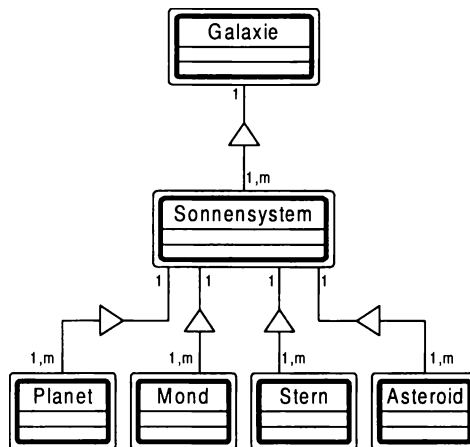


Abbildung 44: Aggregationsstruktur

³⁵⁹ Vgl. James Rumbaugh et alii: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen, 1993, S. 46.

Schader/Rundshagen empfehlen dem Modellentwickler nach drei immer wieder zu findenden Typen von Aggregationsstrukturen Ausschau zu halten:³⁶⁰

- (1) Bei der physisch existenten Ganzheit-Teil-Struktur gehören Ganzes und Teile unlösbar zusammen. Wenn eine Armbanduhr in ihre Einzelteile zerlegt wird, dann wird aus der Uhr eine Ansammlung von Metall- und Glasteilen, die nicht mehr in der Lage ist, ihrer Funktion nachzukommen und die aktuelle Uhrzeit anzuzeigen.
- (2) Die Container-Inhalt-Struktur hat ihren Namen daher, dass ein Objekt der Gesamtheit mindestens ein Teil-Objekt physisch umfasst. Ein Beispiel ist ein Linienbus, der Fahrgäste aufnehmen und befördern kann. Die Container-Inhalt-Struktur ist nicht so fest gefügt wie (1). Die Anzahl der Fahrgäste in einem Bus kann variieren, ohne dass der Bus seine Charakteristik wechselt.
- (3) Die konzeptionelle Gesamtheit-Teil-Struktur sieht eine Gruppierung als Ganzheit und deren Mitglieder als Teile des Ganzen. Ein typisches Beispiel ist ein Verein und seine Mitglieder. Von (1) unterscheidet sich diese Struktur in erster Linie dadurch, dass zwischen Teil und Ganzem keine physische Verbindung, sondern z. B. ein Rechtsverhältnis auf dem Papier besteht. Während es einer Schraube als Teil-Objekt einer Uhr nur dann möglich ist, zum gleichen Zeitpunkt auch Teil-Objekt eines Videorekorders zu sein, wenn die Uhr ihrerseits ein Bauteil des Videorekorders ist, können die Teil-Objekte einer konzeptionellen Ganzheit-Teil-Struktur in mehreren verschiedenen Aggregationsobjekten enthalten sein.

Es gibt Modellierungsprobleme, bei denen nicht offensichtlich ist, ob die Beziehungen zwischen Objekten besser durch Aggregationen oder durch Assoziationen abgebildet werden. Wirklich überraschend ist das nicht, denn die Aggregation ist eine Sonderform der Assoziation, kein völlig eigenständiges Konzept. Beide Strukturen modellieren Relationen zwischen Objekten; die Aggregation ist nichts Anderes als eine Assoziation mit zusätzlicher Semantik: Sie fügt der „einfachen“ Beziehung die inhaltliche Bedeutung *ist Teil von* bzw. *besitzt* hinzu. Bei der Klärung der Frage, ob die Aggregation das adäquate Konstrukt ist, können die folgenden Tests unterstützen:³⁶¹

- Ist die Beschreibung *Teil von* wirklich zutreffend?
- Werden manche Operationen sowohl auf das Ganze als auch auf die Teile angewendet?

³⁶⁰ Vgl. Martin Schader/Michael Rundshagen: Objektorientierte Systemanalyse, 1996, S. 86 f.

³⁶¹ Siehe James Rumbaugh et alii: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen, 1993, S. 71.

- Sind charakteristische Attribute sowohl bei der Ganzheit wie bei den Teilen zu finden?
- Ist die Beziehung zwischen Objekten durch eine innere Asymmetrie gekennzeichnet?
- Handelt es sich um eine Beziehungsstruktur hierarchischen Typs?

Ein Ja auf diese Fragen ist als Indiz für eine Aggregationsstruktur aufzufassen, die Verneinung legt die Verwendung von Assoziationen nahe. Letzten Endes ist die Entscheidung für oder gegen eine Aggregation Ermessenssache. Sie kann kaum in eine Richtig-Falsch-Disjunktion gepresst werden, sondern muss von Zweckmäßigkeitsüberlegungen geleitet sein. Dass es dabei zu Unsicherheiten über den angemessenen Weg kommen kann, ist typisch für Modellentwicklungsprobleme. Trost spenden vermag vielleicht die Auffassung von Rumbaugh et alii, nach der auch eine ungenaue Unterscheidung zwischen Aggregation und Assoziation in der Praxis kaum zu Problemen führt.³⁶²

Für die Programmierung von Assoziationen und Aggregationen gibt es mehrere Möglichkeiten.³⁶³ In einigen Fällen einer Whole-Part-Struktur bietet es sich an, die Part-Objekte quasi als Attribute der Whole-Objekte aufzufassen und in die Attributdeklaration aufzunehmen. So könnte beispielsweise ein Attribut *Hauptstadt* des Typs *THauptstadt* in der Klasse *TLand* die Aggregation „Ein Land hat eine Hauptstadt“ zum Ausdruck bringen.

```
TLand = class
public
    Hauptstadt : THauptstadt;
end;
```

Eine weitere Option steht mit der Verwendung von eingebetteten Zeigern zur Verfügung. Auch dafür sind zusätzliche Attribute in die Klassendefinition einzufügen; diese dienen dazu, Zeiger auf die jeweils assoziierten Objekte zu speichern. Für die binäre Assoziation ist – soll sie in beide Richtungen durchlaufen werden können – in jedem der zueinander in Beziehung stehenden Objekte ein Attribut vonnöten. Wenn – wie in diesem Beispiel – nur eine Richtung relevant erscheint, reicht ein Zeigerattribut aus. Die beiden nachfolgend aufgeführten Deklarationen sind zueinander äquivalent und der obigen sehr ähnlich.³⁶⁴

³⁶² Vgl. James Rumbaugh et alii: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen, 1993, S. 72.

³⁶³ Siehe auch James Rumbaugh et alii: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen, 1993, S. 379.

³⁶⁴ Da in Delphi alle Objekte dynamische Instanzen sind (d.h. sie sind auf dem Heap alloziert, und der Zugriff erfolgt über einen Zeiger), ist es nicht erforderlich, separate Objekt- und Zeigertypen zu deklarieren und Objektzeiger explizit zu dereferenzieren. Es besteht daher kein Unterschied, ob Hauptstadt als vom Typ *THauptstadt* oder vom Typ *^THauptstadt* deklariert ist. Beide Deklarationen sind für Delphi identisch. Der vordefi-

```

TLand = class
public
  Hauptstadt : ^THauptstadt;
end;

```

```

TLand = class
public
  Hauptstadt : Pointer;
end;

```

Wenn – wie im Fall der Aggregation Unternehmen-Mensch – einer übergeordneten Ganzheit mehr als ein Teil zugeordnet ist, reicht ein einzelnes Zeigerattribut nicht mehr aus. Für eine unveränderliche Anzahl Part-Objekte ist die Verwendung eines Arrays eine brauchbare Lösung. Schwankt die Zahl der aggregierten Teile jedoch im Verlauf der Simulation stark, wird besser eine verkettete Liste³⁶⁵ oder eine Kollektion verwendet.

```

TUnternehmen = class
public
  Mitarbeiter : Array[1..10] of TMitarbeiter;
end;

TUnternehmen = class
public
  Mitarbeiter : TList;
end;

```

Schließlich kann eine Assoziation auch als eigenes Behälterobjekt programmiert werden. Ein einfacher Ansatz besteht darin, für ein Assoziationsobjekt zwei Nachschlagetabellen zu verwenden. Die eine Nachschlagetabelle bildet dabei die Assoziation in Vorwärtsrichtung, die andere in Rückwärtsrichtung ab.

4. Exkurs: Vererbungsstrukturen

Vererbung wird in der Literatur zu den Kernkonzepten des objektorientierten Ansatzes gezählt. Es handelt sich bei ihr um ein mächtiges Instrument, das dazu dient, Ähnlichkeiten zwischen verschiedenen Klassen zu teilen und trotzdem ihre Unterschiede zu erhalten. Vererbung ist ein Mechanismus, durch den eine Klasse mit all ihren Attributen und Operationen als Spezialfall einer allgemeineren Klasse definiert wird. Eigenschaften und Verhaltensmöglichkeiten werden dabei automatisch von der generellen auf die spezielle Klasse übertragen.

nierte Typ Pointer kennzeichnet demgegenüber einen untypisierten Zeiger, das heißt, einen Zeiger, der auf keinen bestimmten Typ verweist.

³⁶⁵ Delphi stellt standardmäßig die Klasse TList zur Verfügung. Mit einem TList-Objekt wird eine Liste von Objekten gespeichert und verwaltet. TList verfügt über verschiedene Eigenschaften und Methoden, die folgenden Zwecken dienen:

- Objekte zur Liste hinzufügen oder daraus entfernen;
- Objekte in der Liste neu anordnen;
- Objekte in der Liste finden und darauf zugreifen;
- Objekte in der Liste sortieren.

Vgl. Borland International (Hrsg.): Handbuch Bibliothekenreferenz – Band 2, 1995, S. 1140.

Warum wird ein offensichtlich so wichtiges und zentrales Konzept hier nur in einem Exkurs abgehandelt? Es wäre falsch, das als Ausdruck der Abwertung oder Geringschätzung zu interpretieren. Richtig ist, dass die Vererbung bei dem Bemühen, die Softwarekrise³⁶⁶ zu meistern, eine Schlüsselrolle spielt. Sie ermöglicht auf einfache und flexible Weise, geprüfte und für gut befundene Bausteine in neuen Projekten wiederzuverwenden. Neue, projektspezifische Funktionalität wird ergänzt, indem spezielle Klassen von den allgemeinen abgeleitet werden; bewährte, getestete Attribute und Methoden werden an die Nachkommen vererbt, die zusätzliche Funktionalität wird in den abgeleiteten Klassen ergänzt, ohne dass die Implementierung der Ursprungs-klasse geändert werden muss. Die Wiederverwendung von Softwarebausteinen wird durch das objektorientierte Vererbungskonzept einfacher und weniger fehleranfällig.

Der Grund dafür, die Vererbung in einem Exkurs zu behandeln, ist vielmehr darin zu sehen, dass sie für die Modellierung nicht so wichtig ist wie für die Implementierung. Wenn dennoch alle bekannten objektorientierten Analysemethoden Symboldarstellungen für Vererbungshierarchien kennen, dann liegt das an der Bedeutung, die der Wiederverwendung im Rahmen objektorientierter Softwareentwicklung beigemessen wird: Dem Entwickler von Anwendungssoftware soll explizit die Möglichkeit gegeben werden, den Wiederverwendungsaspekt von Analysebeginn an explizit zu beachten. Dabei sind Modellierungskonstrukte für Generalisierungs-Spezialisierungs-Strukturen eine effektive Unterstützung. Objektorientierte Simulationsmodelle haben jedoch einen anderen Charakter als Anwendungssoftware. Sie bilden Realitätsausschnitte möglichst strukturähnlich ab; abstrakte Klassen – häufige Bestandteile von Vererbungsstrukturen – tragen zu diesem Ziel nichts bei. Auf der Ebene der Modellspezifikation wird die Vererbung nicht benötigt. Sie schadet zwar nicht, aber sie hilft andererseits auch nicht weiter. Schmidt nennt sie für die Modellspezifikation einfach nur nutzlos.³⁶⁷

³⁶⁶ Mit dem Schlagwort „Softwarekrise“ wird im Allgemeinen plakativ umschrieben, dass strukturierte und prozedurale Ansätze trotz CASE-Tool-Unterstützung nur bedingt in der Lage sind, hochkomplexe Softwareentwicklungen adäquat zu unterstützen. Zu spät ausgelieferte Software, die nicht mehr den Bedürfnissen der Anwender entspricht und zu viel gekostet hat, ist die unerfreuliche Folge. Siehe beispielsweise David A. Taylor: Objektorientierte Technologien, 1992, S. 13 ff. oder Ernst Denert: Objektorientierung – Weg aus der Softwarekrise, 1992, S. 50 ff.

³⁶⁷ Siehe Bernd Schmidt: Die objektorientierte Modellspezifikation, 1996, S. 9. Hilfreich ist das Vererbungskonzept allerdings auf der Ebene der Programmierung objektorientierter Simulationsmodelle, wo es Arbeit sparen und zur Fehlervermeidung beitragen kann. Das ist auch die Meinung von Schmidt, für den „die Vererbung ein nützliches Instrument auf der Ebene der Implementierung darstellt“. Bernd Schmidt: Die objektorientierte Modellspezifikation, 1996, S. 9.

III. Das objektorientierte Modell der Systemdynamik

Mit den in Abschnitt D.II. vorgestellten Konstrukten lässt sich die Statik eines Systems grafisch modellieren. Rein statische Modelle spielen in der praktischen Anwendung der OOSMS-Methodik jedoch keine Rolle. Die Problemfelder, deren Lösung durch Modellieren und Simulieren herbeigeführt werden sollen, sind inhärent dynamischer Natur. Abschnitt D.III. befasst sich deshalb mit den Ergänzungen, die für die Modellierung dynamischer Systeme notwendig sind. Die Besonderheiten dynamischer Systeme – und insbesondere die Unterschiede zwischen diskreter und kontinuierlicher Modellierung – erörtert Abschnitt D.III.1. In Abschnitt D.III.2 wird das statische Modell um Objektmethoden und Interaktionswege zwischen Objekten erweitert. Abschließend wird untersucht, inwieweit Zustandsdiagramme, Ereignisfolgediagramme und Struktogramme, mit denen die dynamischen Aspekte im Rahmen der objektorientierten Systemanalyse abgebildet werden, auch für die Modellierung der Systemdynamik von Simulationsmodellen geeignet sind.

1. Kontinuierliche versus diskrete Modellierung dynamischer Systeme

Ein dynamisches System zeichnet sich dadurch aus, dass die Zeit eines seiner charakteristischen Attribute ist und dass mindestens eine funktionale Beziehung zwischen der Zeit und einer anderen Systemeigenschaft besteht.³⁶⁸ Dynamische Systeme zeigen in irgendeiner Form ein „Verhalten“, d. h. sie tun etwas, oder in ihnen tut sich etwas, woraus Übergänge von einem Zustand in einen anderen resultieren. Es ist somit das zentrale und charakteristische Merkmal eines dynamischen Systems, dass es nicht in einem einzigen Zustand verharret, sondern dass es im Zeitablauf mindestens zwei, meist jedoch mehrere voneinander unterscheidbare Zustände durchläuft.

Statische Systeme sind im Gegensatz dazu ohne jede Veränderung in der Zeit. Sie haben lediglich einen Zustand, in dem sie auf Dauer verharren. Statische Systeme zeigen kein Verhalten, sie bestehen nur aus Struktur³⁶⁹. Unter den empirischen Systemen sind statische außerordentlich selten. Auf den ersten Blick statische Systeme sind bei genauerer Untersuchung meist ebenfalls mit

³⁶⁸ Vgl. Mihajilo D. Mesarovic/Yasuhiko Takahara: General Systems Theory: Mathematical Foundations, 1975, S. 20–22; vgl. Günter Ropohl: Einführung in die allgemeine Systemtheorie, 1978, S. 35; vgl. Ulrich Guntram: Die Allgemeine Systemtheorie, 1985, S. 308–311.

³⁶⁹ Struktur in dem Sinn, dass zwischensystemische Relationen Attribute verschiedener Systeme zueinander in Beziehung setzen.

Veränderungen behaftet, die dann allerdings sehr langsam ablaufen oder mit langen Phasen der Ruhe diskontinuierlich auftreten. Ein Fels in der Brandung ist beispielsweise nur für die kurzfristige Betrachtung als statisch anzusehen. Bei längerem Betrachtungshorizont bleibt sein Zustand nicht ohne Veränderung: Er verliert durch die Kraft des Meeres an Masse und verändert seine Form. Am ehesten könnten noch künstliche Systeme statisch genannt werden. So bleibt die Komposition eines Musikstücks nach seiner Vollendung ohne weitere Veränderung in der Zeit: Die Menge an Noten, die Beziehungen zwischen ihnen und die Zuordnung zu Instrumenten sind festgeschrieben. Unterschiede gibt es nur bei der Aufführung eines Stückes in der Interpretation. Statik ist vor diesem Hintergrund eine selten feststellbare, aber denkbare Extreमेigenschaft eines Systems.³⁷⁰

Andererseits gibt es Systeme unterschiedlich starker Dynamik. Bei manchen sind die Zustandsänderungen häufig und beträchtlich, bei anderen eher selten und geringfügig. Statik und Dynamik können vor diesem Hintergrund kaum als binäre, entgegengesetzte Antipoden aufgefasst werden. Vielmehr ist die Dynamik als Kontinuum zu verstehen, die in der Statik eine ihrer extremen Ausprägungen findet. Ulrich unterscheidet überdies zwischen einer inneren und einer äußeren Dynamik.³⁷¹ Mit der Zunahme der materiellen und immateriellen Austauschbeziehungen zwischen System und Umwelt steigt die sogenannte äußere Dynamik eines Systems. Die innere Dynamik wird demgegenüber an der Intensität der im System ablaufenden Prozesse gemessen. Dynamik ist eine wesentliche Eigenschaft praktisch aller gesellschaftlicher, sozioökonomischer Systeme. Viele spezielle Systemtheorien konzentrieren sich auf dynamische Systeme – so z. B. auch Forresters System-Dynamics-Ansatz – und sind aufgrund ihrer besonderen Terminologie gar nicht mehr in der Lage, statische Systeme sinnvoll zu beschreiben.

Empirische Systeme sind immer Systeme in Raum und Zeit, d. h. sie haben in jedem Zeitpunkt einen bestimmten definierten Zustand. Im Rahmen der mathematischen Modellierung von Systemen gibt es allerdings unterschiedliche Möglichkeiten der Dynamikbeschreibung: So kann ein Systemmodell entweder zeitdiskret oder zeitkontinuierlich formuliert sein. Während sich die Attribute eines kontinuierlichen Systems in jedem beliebigen Zeitpunkt berechnen und angeben lassen, ist das bei diskreten Systemen nicht der Fall. Nur in bestimmten Zeitschritten, die nicht notwendig äquidistant sein müssen, werden die Systemzustände aktualisiert.

³⁷⁰ Vgl. Hans Ulrich: Die Unternehmung als produktives soziales System, 1968, S. 113.

³⁷¹ Vgl. Hans Ulrich: Die Unternehmung als produktives soziales System, 1968, S. 113.

Der Unterschied zwischen zeitkontinuierlichen und -diskreten Modellen liegt in der mathematischen Formulierung der Relationen eines Systems. Die Beschreibung eines Systems über Integral- oder Differenzialgleichungen erzeugt ein Systemmodell, dessen Attribute prinzipiell in jedem Zeitpunkt angegeben werden können. Die Menge MR eines radioaktiven Stoffes beispielsweise, der jedes Jahr zu einem gleich hohen Anteil z zerfällt, kann mit Gleichung (16) berechnet werden; die Abnahme der Menge AR ergibt sich aus Gleichung (17):

$$(16) \quad MR_{(t)} = MR_{(0)}(1 - z)^t$$

$$(17) \quad AR_{(t)} = \frac{dMR_{(t)}}{dt} = MR_{(0)}(1 - z)^t \log(1 - z)$$

Allgemein wird ein zeitkontinuierliches Modell durch ein System von Zustandsgleichungen Z und Zustandsübergangsgleichungen z beschrieben, für die gilt:

$$(18) \quad Z_i = f_i(t) \quad \text{für } i = 1, 2, \dots, n$$

$$(19) \quad z_i = f_i(t) = \frac{dZ_i}{dt} \quad \text{für } i = 1, 2, \dots, n$$

respektive

$$(20) \quad z_i = f_i(t) \quad \text{für } i = 1, 2, \dots, n$$

$$(21) \quad Z_i = \int_t z_i \quad \text{für } i = 1, 2, \dots, n$$

Die Beschreibung eines zeitkontinuierlichen Systems ist entweder durch Differenzialgleichungen oder durch Integralgleichungen möglich. Beide Darstellungen sind äquivalent. Differenzengleichungen dagegen generieren Systemmodelle, bei denen sich Zustände nur in diskreten Zeitabständen berechnen lassen. Aussagen über die Systemzustände zwischen den Berechnungszeitpunkten sind prinzipiell nicht möglich, so dass sie für diese Zeitspannen als unverändert gelten. Für die Berechnung des Systemzustands im Zeitpunkt $t + \Delta t$ muss auf den Zustand im Zeitpunkt t zugegriffen werden:

$$(22) \quad MR_{(t+\Delta t)} = MR_{(t)} - AR_{(\Delta t)}$$

$$(23) \quad AR_{(\Delta t)} = MR_{(t)}(z \cdot \Delta t)$$

Die allgemeine Beschreibung eines zeitdiskreten Modells erfolgt durch ein System von Rekursionsgleichungen:

$$(24) \quad Z_i(t+1) = f_i(Z_i(t)) \quad \text{für } i = (1, 2, \dots, n).$$

Der Systemzustand in einem diskreten Zeitpunkt t hängt funktional vom jeweils vorhergehenden Zustand im Zeitpunkt $t - \Delta t$ ab. Für die numerische Berechnung muss daher der Anfangszustand des Systems bekannt sein.

Der Unterschied zwischen zeitdiskreten und zeitkontinuierlichen Modellen lässt sich grafisch anschaulich darstellen. Während sich bei zeitkontinuierlichen Modellen die Zustandsvariablen im Zeitverlauf stetig verändern, kommt es bei zeitdiskreten Modellen in bestimmten, distinkten Zeitabständen zu Zustandsprüngen. Wenn beispielsweise in einem zeitdiskret formulierten Lagerhaltungsmodell eine Lieferung eintrifft, dann erhöht sich das Attribut Lagerbestand schlagartig um die Liefermenge. Die nächste Zustandsänderung erfolgt erst bei Eintritt des nächsten Ereignisses; zwischen zwei Ereignissen werden Zustandsattribute nicht berechnet, was mit den gestrichelten Linien in Abbildung 45 veranschaulicht werden soll. Wie das Lagerhaltungsbeispiel schon nahelegt, müssen die Zeitabstände, in denen es zu Zustandsänderungen kommt, überdies keineswegs gleich groß sein.

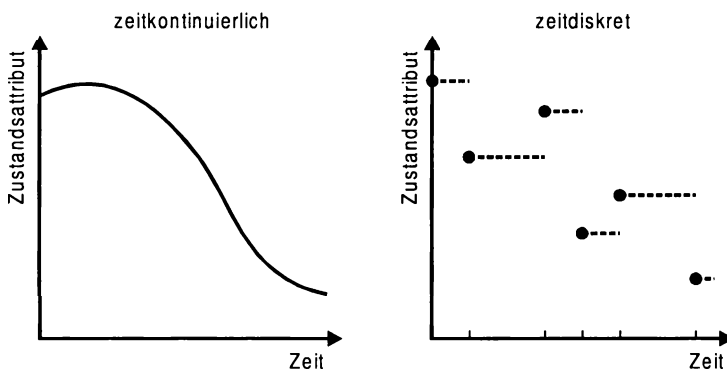


Abbildung 45: Zeitverlauf von Zustandsvariablen bei zeitdiskreten und zeitkontinuierlichen Modellen

Zustandsänderungen in zeitdiskreten Modellen werden am besten als von bestimmten Vorfällen oder Ereignissen ausgelöst betrachtet. Was ist ein Ereignis?

Üblicherweise wird darunter ein Vorfall verstanden, der in einem bestimmten Augenblick passiert und dabei zu Änderungen an den Werten der Zustandsattribute eines oder mehrerer Systemobjekte führt.³⁷² Beispielsweise sind Vorgänge wie „LKW trifft mit Warenlieferung ein“ oder „Bestellung wird abgeschickt“ Ereignisse. Obwohl natürlich kein Vorgang ganz und gar zeitlos sein kann, wird Ereignissen üblicherweise ein so schnelles Eintreffen unterstellt, dass ihre Zeitdauer vernachlässigt werden kann. Manchmal sind Ereignisse allerdings auch bewusste Abstraktionen von Prozessen; wenn beispielsweise nicht interessiert, welchen Weg ein Hase gehoppelt ist, sondern nur der Ort wichtig ist, an dem er sich zum Fressen hinsetzt, könnte die aus dem Hoppeln resultierende Ortsveränderung sehr gut als Ereignis aufgefasst werden.

Bei fast allen zeitkontinuierlichen Modellen – so auch bei System-Dynamics-Modellen – sind für die Modellformulierung zwar Integralgleichungen verwendet; für die numerische Berechnung der Zustandsgrößen muss dann allerdings auf Näherungslösungen der numerischen Mathematik wie beispielsweise das Eulersche Polygonzug- oder das Runge-Kutta-Verfahren zurückgegriffen werden.³⁷³ Indem für die Integralfunktion $y(t)$ an bestimmten, meist äquidistant gewählten Stützstellen t_i Näherungswerte y_i ermittelt werden, wird das zeitkontinuierlich formulierte Modell für die Lösung künstlich diskretisiert: Die Integralgleichung wird implizit in eine Differenzengleichung transformiert. Für eine im Verhältnis zum insgesamt betrachteten Zeithorizont T hinreichend klein gewählte Schrittweite³⁷⁴ Δt , d. h. $\Delta t/T \rightarrow 0$ ³⁷⁵, werden die Unterschiede zwischen quasi-kontinuierlicher und tatsächlich kontinuierlicher Simulation, die nur auf nicht mehr gebräuchlichen Analogrechnern³⁷⁶ möglich ist, allerdings sehr klein.

³⁷² Ähnliche Definitionen finden sich etwa bei James Rumbaugh et alii: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen, 1993, S.104 oder bei Martin Schader/Michael Rundshagen: Objektorientierte Systemanalyse, 1996, S.136 f.

³⁷³ Siehe dazu etwa Ilja N. Bronstein/Konstantin A. Semedjajew/Gerhard Musiol/Heiner Mühlig: Taschenbuch der Mathematik, 1993, S.614 ff.

³⁷⁴ Zwar wird mit $\Delta t \rightarrow 0$ der Diskretisierungsfehler zunehmend kleiner, denn für ein konsistentes Einschrittverfahren folgt

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} F(x, y, \Delta t) = f(x, y) \cdot$$

Für die praktische Durchführung des Einschrittverfahrens muss aber berücksichtigt werden, dass zum globalen Diskretisierungsfehler $O(\Delta t^2)$ noch ein Rundungsfehleranteil $O(1/\Delta t)$ hinzukommt. Deswegen soll auch mit keiner zu kleinen Schrittweite gerechnet werden. Siehe dazu auch Ilja N. Bronstein/Konstantin A. Semedjajew/Gerhard Musiol/Heiner Mühlig: Taschenbuch der Mathematik, 1993, S.617 f. Eine anschauliche Beschreibung für die numerische Integration von Differenzialgleichungen findet sich auch bei Bernd Schmidt: Systemanalyse und Modellaufbau, 1985, S.80 ff.

³⁷⁵ Absolut betrachtet kann die Zeitspanne Δt , die zwischen zwei Systemzuständen liegt, durchaus im Bereich von Tagen, Wochen, ja sogar Monaten liegen.

³⁷⁶ Eine Kurzbeschreibung eines Analogrechners findet sich in: Enzyklopädie Naturwissenschaft und Technik, Band A–D, 1979, S.173. Bei Möller findet sich eine Dar-

Dynamische Modelle, die mit Integral- bzw. Differenzialgleichungen beschrieben sind, werden daher gewöhnlich auch dann zum Typ der kontinuierlichen Modelle gerechnet, wenn sie für die numerische Lösung diskretisiert werden.³⁷⁷

Die Unterscheidung in kontinuierliche und diskrete Modelle kann nicht nur aufgrund der Art der Zeitfortschreibung erfolgen. Auch die für die Attributausprägungen zulässige Zahlenmenge kann als Kriterium dienen.³⁷⁸ Ist die Wertemenge für die Ausprägungen der Zustandsattribute auf die Menge der natürlichen oder ganzen Zahlen eingeschränkt, handelt es sich um attribut- oder zustandsdiskrete Modelle; im Umkehrschluss ist bei attribut- oder zustandskontinuierlichen Modellen der Wertebereich für die Attributausprägungen die Menge der reellen Zahlen. Aus der Kombination der beiden diskutierten Kriterien ergibt sich die in Abbildung 46 dargestellte Klassifikationsmatrix mit vier Feldern:

- Der erste Quadrant nimmt die rein kontinuierlichen Systemmodelle auf, bei denen sowohl die Zeit als auch die Attributwerte kontinuierlich angegeben werden können. Das als Beispiel benutzte Modell des Zerfalls radioaktiven Materials gehört etwa in diese Kategorie. Auch viele System-Dynamics-Modelle sind vom rein kontinuierlichen Typ.
- Dem zweiten Quadranten zugeordnet sind solche Modelle, bei denen die Zeit zwar kontinuierlich fortgeschrieben wird, Zustandsattribute aber nur diskrete Ausprägungen annehmen dürfen. Autos beispielsweise können nur als ganze Einheiten ge- und verkauft werden, so dass der Bestand an Neufahrzeugen eines Autohauses nicht 45,26, sondern nur entweder 45 oder 46 sein kann.
- Viele der in der Literatur diskret genannten Modelle sind vom rein diskreten Typ und somit dem dritten Quadranten zuzurechnen. In diskreten Zeitschritten erfolgen diskrete Zustandsänderungen. Bei Warteschlangenmodellen werden beispielsweise Kunden, die neu an einem Schalter eintreffen, in eine Warteschlange aufgenommen und einer nach dem anderen bedient.
- Im vierten Quadranten finden sich schließlich solche Modelle, bei denen die Zeit diskret fortgeschrieben wird und die Werte der Zustandsattribute der Menge der reellen Zahlen entstammen dürfen.

stellung der analogen Simulation. Vgl. Dietmar Möller: Modellbildung, Simulation und Identifikation dynamischer Systeme, 1992, S.126 ff.

³⁷⁷ Aus diesem Grund werden System-Dynamics-Modelle zu Recht dem kontinuierlichen Typ zugerechnet.

³⁷⁸ Siehe auch Peter Milling: Simulationen in der Produktion, 1996, Sp. 1844.

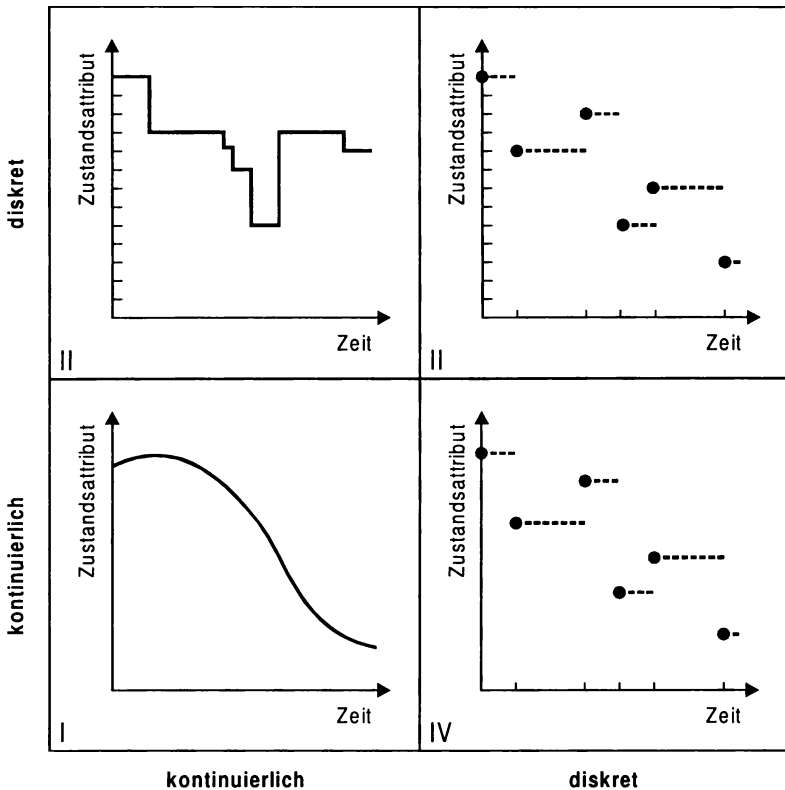


Abbildung 46: Kontinuierliche versus diskrete Modelle

Nicht alle Modelle sind allerdings ausschließlich einem der vier Quadranten der Abbildung 46 zuzuordnen. Nicht selten gibt es Mischformen, die daraus resultieren, dass etwa in zeitkontinuierliche Modelle ereignisinduzierte Zustandsänderungen aufgenommen werden. Wird beispielsweise modelliert, dass bei Absinken des Lagerbestands unter die Alarmschwelle von 1.000 Stück eine Sonderbestellung in Höhe von 500 Stück ausgelöst wird, kann es zu unstetigen Zeitverläufen von Zustandsvariablen kommen. Abbildung 47 illustriert diesen Fall. Kombinierte Modelle sind keinesfalls kritisch zu beurteilen; eher ist im Gegenteil zu befürchten, dass ein missionarisches Festhalten an einer Trennung zwischen zeitdiskreter und -kontinuierlicher Simulation den Blick für neue, innovative Lösungen verbaut.³⁷⁹

³⁷⁹ Dieser Meinung ist auch Schmidt. Vgl. Bernd Schmidt: Systemanalyse und Modellenaufbau, 1985, S. 9.

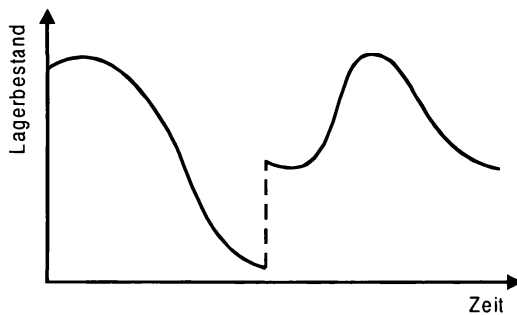


Abbildung 47: Zeitverlauf von Zustandsvariablen
in kombinierten Modellen

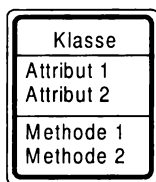
Die in diesem Abschnitt skizzierte Verhaltensdynamik von Systemen darf nicht mit der strukturellen Dynamik verwechselt werden. Strukturdynamik ist dann gegeben, wenn sich der Aufbau von Systemen im Zeitablauf verändert, d. h. wenn neue Subsysteme hinzukommen oder bestehende wegfallen und zwischensystemische Relationen aufhören zu existieren, sich verändern oder neu entstehen. Ein solchermaßen strukturdynamisches System wird auch flexibel genannt; das strukturstatische System wird demgegenüber als starr bezeichnet. Für die Systemmodellierung und -simulation stellen flexible Systeme eine große, bislang noch weitgehend unbewältigte Herausforderung dar. Sie werden auch im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.

2. Objektoperationen und -interaktionen

Aus objektorientierter Perspektive kommt das Zeitverhalten eines Systems dadurch zustande, dass in und mit Objekten etwas passiert, dass Objekte – sofern es mehrere in einem System gibt – miteinander interagieren. Manche Objekte, beispielsweise ein Haufen radioaktiven Materials, sind ständig aktiv; andere „erwachen“ aus ihrer Passivität erst dann, wenn sie von einem Ereignis angestoßen und sozusagen aktiviert werden. Ein typisches Beispiel für solch ein Ereignis ist ein Kunde, der etwa einem Maschinenbauunternehmen einen Auftrag für eine Metallfräse erteilt. Der Kundenauftrag löst in dem Unternehmen eine Kettenreaktion von Aktivitäten aus. In der Konstruktionsabteilung wird der Bauplan an die besonderen Wünsche des Kunden angepasst. Der Einkauf ordert zusätzlich benötigte Rohstoffe und Vorprodukte. In der Fertigungsplanung wird der Auftrag in die Zeit- und Kapazitätsplanung eingegliedert. Die Produktionssteuerung gibt ihn frei und lastet ihn auf bestimmten Maschinen ein. Die Qualitätskontrolle prüft das fertige Produkt. Der Versand schließlich verpackt die

Maschine und übergibt sie der Spedition. Die Liste der Aktivitäten ist lang, dabei aber noch keineswegs vollständig. Gemeinsam ist ihnen, dass sie von einem einzelnen Ereignis ausgelöst wurden.

Der objektorientierte Ansatz erklärt Systemdynamik aus dem dynamischen Verhalten und der Interaktion von Objekten. Objekte sind daher so zu modellieren, dass sie ein Verhalten zeigen können, d. h. dass sie fähig sind, zu agieren und zu reagieren. Um dem Rechnung zu tragen, wird die Symboldarstellung für Objekte und Klassen um eine funktionale Schicht erweitert: Das untere Drittel im abgerundeten Rechtecksymbol nimmt die Namen der einem Objekt möglichen Operationen auf (siehe Abbildung 48). Die verwendeten Namen sollten so „sprechend“ wie möglich sein und die Methoden mit Verben oder mit Zusammensetzungen aus Verben und Substantiven bezeichnen, damit deutlich wird, dass das Objekt eine „Tätigkeit verrichtet“. Einstellen, entlassen, Zeugnis ausstellen, Traineeprogramme organisieren sind beispielsweise typische Methoden für Objekte der Klasse Personalabteilung. Sich informieren, vergleichen, kaufen, nutzen könnten Methoden der Klasse Konsument darstellen.



```
Type
TEineKlasse = Klasse
  Attribut_1: String;
  Attribut_2: Integer;
  Procedure Methode_1 (Arg: Byte);
  Function Methode_2 (Arg: Char): Boolean;
End;
```

Abbildung 48: Symboldarstellung für Objektmethode

Sofern erwünscht, können hinter jeder Methode weitere Details angeführt sein.³⁸⁰ Eine Liste mit Argumenten, die der Methode übergeben werden dürfen, ist in Klammern dem Namen hintanzustellen; mehrere Argumente werden durch Kommata voneinander getrennt. Zusätzlich kann auch der Ergebnistyp verzeichnet sein; er wird durch Doppelpunkt von der Argumentliste separiert. In manchen Fällen ist die Angabe dieser Details hilfreich, in anderen eher verwirrend. Zum Teil handelt es sich um Festlegungen, die erst während der Implementierung getroffen werden und somit nicht schon von Beginn an im Modell enthalten sein müssen.

Die Methoden eines Objektes können zweierlei Typs sein – algorithmisch einfach oder algorithmisch anspruchsvoll.³⁸¹ Es gibt Methoden, die lediglich

³⁸⁰ Vgl. James Rumbaugh et alii: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen, 1993, S. 32.

³⁸¹ Vgl. Peter Coad/Edward Yourdon: Object-Oriented Analysis, 1991, S. 147 f.

den momentanen Zustand eines Objektes zurückgeben. Die Methode „gibPreis“ eines Produktobjektes bewirkt beispielsweise nicht mehr, als die Information zu liefern, was dieses kostet. Solche Zugriffsfunktionen implementieren kein Objektverhalten, sondern nur eine Schnittstelle auf Objektattribute. In die gleiche Kategorie algorithmisch einfacher Methoden fallen Konstruktor-, Destruktor- und Verbindungsfunktionen. Konstruktorfunktionen erzeugen die Objekte einer Klasse und initialisieren sie. Destruktorfunktionen löschen Objekte am Ende ihres Lebenszyklus und geben den belegten Speicher wieder frei.³⁸² Verbindungsfunktionen schließlich sind dafür da, Assoziationen oder Aggregationen zwischen Objekten aufzubauen und wieder zu lösen. Alle diese Funktionen implementieren keine Verhaltensfunktionalität und werden daher im Objektmodell normalerweise nicht angegeben.³⁸³ In dieses aufgenommen werden, der besseren Überschaubarkeit wegen, nur die Objektmethoden, die zur Systemdynamik beitragen und damit dem zweiten, wichtigeren Typ zuzurechnen sind. Dieser Methodentyp zeichnet sich dadurch aus, dass er den Zustand des eigenen Objektes oder den anderer Objekte verändert.

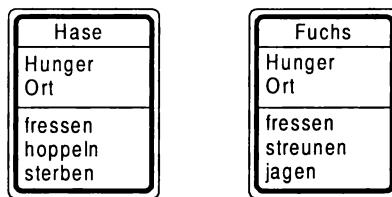


Abbildung 49: Beispiele für Klassen mit Attributen und Methoden

Wenn ein Hase im Beispiel der Abbildung 49 die Methode hoppeln ausführt, dann ändert sich dadurch sein Aufenthaltsort. Wenn er frisst, dann wechselt er vom hungrigen in den sattten Zustand. Stirbt er, dann beendet er seine Existenz. Nehmen die drei Hasen-Methoden lediglich Einfluss auf das eigene Objekt,³⁸⁴ hat die Methode „fressen“ eines Fuchses weiterreichende, quasi objektüberschreitende Folgen; denn ein Fuchs wird sich nicht mit Gras als Nahrung bescheiden, sondern Hasen jagen. Wenn ein Fuchs frisst, dann bekämpft er

³⁸² Manche Programmiersprachen wie etwa Smalltalk verfügen über eine sog. „Garbage Collection“, die automatisch dafür sorgt, dass gelöschte oder nicht mehr referenzierte Objekte keinen Speicherplatz mehr belegen.

³⁸³ Vgl. Martin Schader/Michael Rundshagen: Objektorientierte Systemanalyse, 1996, S. 93 f.

³⁸⁴ Eine exaktere Modellierung des Systems müsste allerdings auch noch ein Objekt Wiese berücksichtigen. Das hätte zur Folge, dass auch die Methode „fressen“ eines Hasen Zustandsänderungen bei anderen Objekten hervorriefe.

damit also nicht nur seinen Hunger, sondern er nimmt darüber hinaus auch erheblichen Einfluss auf den Zustand eines Hasenobjektes – der betroffene Hase wird im Verlaufe des Fressvorganges sterben und damit aufhören, zu existieren. Methoden, die derart zu Zustandsänderungen führen, sind in der Methodenschicht eines Modells unbedingt anzugeben; denn sie verursachen wesentlich die Dynamik eines Systems.

Zusätzlich zu den Methoden können auch die *Interaktionswege* zwischen Objekten in das Objektmodell aufgenommen werden. Damit lässt sich grafisch darstellen, welche Objekte auf Methoden anderer Objekte zugreifen dürfen. Kennzeichnend werden Interaktionsbeziehungen durch dicke graue oder schwarze Pfeile, deren Spitze in Interaktionsrichtung weist. Ebenso wie Objektassoziationen können auch Interaktionen beschriftet sein. Das ist insbesondere dann empfehlenswert, wenn mehrere Interaktionen denselben Weg nehmen.

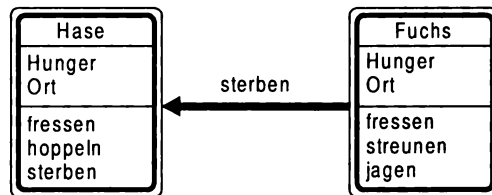


Abbildung 50: Interaktionswege zwischen Objekten

In der objektorientierten Literatur findet sich statt des hier bevorzugten Begriffs *Interaktionsweg* fast regelmäßig der Terminus Technicus *Nachrichtenverbindung*. Die Begründung dafür liefert das Postulat der Informationskapselung³⁸⁵, welches verbreitet zu den zentralen Prinzipien objektorientierter Softwareentwicklungstechnologie gezählt wird. Mit Verkapselung ist gemeint, dass der interne Aufbau von Objekten gegenüber der Außenwelt, d. h. anderen Objekten, völlig abgeschottet ist und ein Zugriff auf Attribute und Funktionen ausschließlich über definierte Schnittstellen erfolgt.³⁸⁶ Ein Objekt kann somit nie unmittelbar auf die Interna anderer, verkapselter Objekte zugreifen. Objekte, die sich der Funktionalität anderer Objekte bedienen möchten, können dies nur, indem sie diesen eine Anforderung – oder Nachricht – schicken. Das Objekt, bei dem die Nachricht eingeht, interpretiert diese, führt die angeforderte Methode aus und sendet gegebenenfalls das Ergebnis an den Absender der Nachricht

³⁸⁵ Synonyme sind: Geheimnisprinzip, „Information Hiding“, Kapselung.

³⁸⁶ Vgl. Andreas Lüscher/Andreas Straubinger: *Objektorientierte Technologien*, 1996, S. 31. Solche Schnittstellen werden üblicherweise von Objektmethoden bereitgestellt.

zurück. Interaktionen zwischen gekapselten Objekten kommen in objektorientiert implementierten Programmen ausschließlich über den Austausch von Nachrichten zustande, was die Beliebtheit des Begriffs in der Literatur zu erklären vermag.

Zur Modellierung von Softwareapplikationen wie beispielsweise Text-, Kalkulations-, Buchhaltungs- oder Lohnabrechnungsprogrammen ist die nachrichtenorientierte Sichtweise der Interaktion zwischen Objekten sehr gut geeignet. Dass beispielsweise ein Softwareanwendungsobjekt auf eine Benutzereingabe derart reagiert, dass es wie in Abbildung 51 einem Fensterobjekt die Nachricht zukommen lässt, sich zu verschieben und neu zu zeichnen, ist nur auf den ersten Blick ungewöhnlich. Die solchermaßen vorgenommene Dezentralisierung der Softwarefunktionalität hat große Vorteile für Wartung und Pflege. Und nach relativ kurzer Gewöhnungszeit hat die Vorstellung eines Kontos, das im Rahmen eines Buchungsvorgangs selbst den eigenen Saldo aktualisiert, etwas Bestechendes.

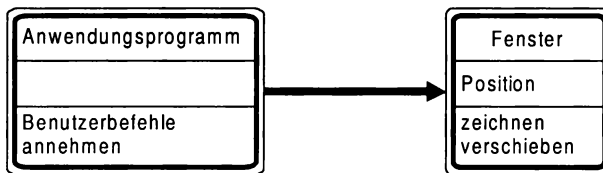


Abbildung 51: Beispiel für eine Nachrichtenverbindung zwischen Objekten

Dass ein Fuchs-Objekt im Rahmen seiner Methode „fressen“ dem zu verspeisenden Hasen-Objekt aber eine Nachricht schickt, auf die hin es sich selbst zerstören soll, mutet merkwürdig an. Tatsächlich führt das Geheimnisprinzip in Verbindung mit der nachrichtenorientierten Sichtweise von Objektinteraktionen zu einer kontraintuitiven Modellierungsperspektive. Schmidt ist daher zuzustimmen, wenn er die Verkapselung für die Modellierungsphase gänzlich verbietet. Seine Begründung: „Verkapselung darf auf der Ebene der Modellspezifikation nicht vorgesehen werden, da es in realen Systemen zahllose Fälle gibt, in denen Komponenten die Verkapselung verletzen. Eine Modellspezifikationssprache, die auf der Verkapselung beharrt, könnte diese Sachverhalte, die in der realen Welt auftreten, nicht beschreiben.“³⁸⁷ Als Beispiel führt er an, dass ein Roboter bei der Produktion in ein Fahrzeugobjekt eingreift und an diesem Veränderungen vornimmt, ohne dass sich dieses dagegen wehren könnte.³⁸⁸ Bei uneinge-

³⁸⁷ Bernd Schmidt: Die objektorientierte Modellspezifikation, 1996, S. 9.

³⁸⁸ Siehe Bernd Schmidt: Die objektorientierte Modellspezifikation, 1996, S. 9.

schränkter Gültigkeit des Geheimnisprinzips wäre es einem Roboter verboten, etwa die Karosserie punktzuschweißen oder Hohlraumschutz einzusprühen. Er dürfte dem Fahrzeug lediglich die Botschaft senden, sich jetzt selbst zusammenschweißen oder die eigenen Hohlräume zu versiegeln. Solch eine Sichtweise ist auf der Modellierungsebene unangemessen.

3. Ereignisfolgeszenarios

Mit der Darstellung der Interaktionsbeziehungen im Objektmodell ist zwar festgelegt, dass es zwischen bestimmten Objekten zu einem Zusammenwirken kommt. Die Ablaufstruktur von Interaktionen – insbesondere die Reihenfolge der Ausführung von Operationen – ist jedoch damit nicht modelliert. Weil die Erweiterung des statischen Strukturmodells um die Darstellung der Ausführungsabfolge ein unübersichtliches und mehr verwirrendes als hilfreiches Durcheinander zur Folge hätte, sollen dazu separate, aber trotzdem konsistent mit dem statischen Strukturmodell verknüpfte Ereignisfolgeschreibungen und -diagramme verwendet werden.³⁸⁹

Ereignisfolgeszenarios lassen sich natürlich nur dann modellieren, wenn das objektorientierte Simulationsmodell nicht als rein kontinuierliches Modell konzipiert wird. Vollziehen sich die Zustandsänderungen von Objekten zeitkontinuierlich und gibt es keine Vorfälle, die in einem bestimmten Augenblick passieren und dabei zu Änderungen von Attributwerten eines oder mehrerer Objekte führen, ist die Erstellung von Ereignisfolgeschreibungen oder -diagrammen hinfällig. Darin ist ein entscheidender Unterschied zwischen objektorientierter Modellierung zum Zweck der Simulation und zum Zweck der Softwareprogrammierung zu sehen. Bei der objektorientierten Systemanalyse sind praktisch in jedem Fall Situationen zu bedenken, in denen der Benutzer mit dem Anwendungsprogramm interagiert und so externe Ereignisse auslöst, auf die eine Reaktion des Programms erfolgen muss. Schader/Rundshagen zeigen am Beispiel einer Steuerung für einen Getränkeautomaten wie eine Szenariobeschreibung für einen normalen Produktverkauf aussieht.

- „Der Benutzer gibt die Ziffer 2 ein.
- Die Anzeige zeigt die Auswahl 02.
- Der Benutzer drückt die Taste Bestätigung.
- Der Automat bereitet den Verkaufsvorgang vor. Er kontrolliert, daß noch mindestens ein Produkt mit der Nummer 2 in einem Schacht enthalten ist, stellt den Produktpreis fest und übermittelt den Betrag an den Münzzähler.

³⁸⁹ Diese Empfehlung greift die Vorgehensweise von Schader/Rundshagen auf. Siehe Martin Schader/Michael Rundshagen: Objektorientierte Systemanalyse, 1996, S. 109.

- Die Anzeige zeigt den zu zahlenden Betrag 0,80. Der Münzzähler prüft, ob passend gezahlt werden muß.
- Der Benutzer wirft eine 50 Pf-Münze ein. Der Münzzähler prüft, ob genug eingezahlt ist.
- Die Anzeige zeigt den noch zu zahlenden Betrag 0,30.
- Der Benutzer wirft eine 50 Pf-Münze ein. Der Münzzähler prüft, ob genug eingezahlt ist.
- Die Anzeige zeigt 0,00. Ein Schacht gibt das Produkt aus. Das Restgeld 0,20 wird zurückgegeben, und der Verkaufsvorgang ist beendet.“³⁹⁰

Die Szenariobeschreibung gibt eine spezielle Folge von Ereignissen genauso wieder, wie sie in der Realität bei der Interaktion von Benutzer und Automat ablaufen könnte. Die Ereignisse sind dabei in chronologischer Abfolge angeordnet. Die Zeitspanne, die zwischen zwei Ereignissen vergeht, kann bei Bedarf angegeben werden. Wenn – wie in dem Beispiel – zahlreiche Ereignisse vom Benutzer ausgelöst werden, hat das zur Folge, dass das System in der Zwischenzeit auf Aktionen oder Reaktionen des Bedieners wartet. Das heißt allerdings auch, dass ein kausaler Zusammenhang zwischen den Ereignissen nicht gegeben sein muss; wichtig ist nur, dass die einzelnen Ereignisse einer logischen Zeitabfolge genügen.

Ereignisfolgediagramme geben eine formalisierte und detaillierte Darstellung der in den Szenariobeschreibungen verbal gefassten Informationen; ihrer inhaltlichen Aussage nach sind Diagramme und Beschreibungen jedoch völlig äquivalent. Die in die Ereignisabfolge eingebundenen Objekte werden im Ereignisfolgediagramm durch durchgezogene vertikale Linien symbolisiert. Die horizontal eingezeichneten Pfeile stellen die Ereignisse dar, die zu Interaktionen zwischen den Objekten führen. Da für die objektorientierte Systemanalyse Ereignisse immer mit Methodenaufrufen verbunden sind, werden die Ereignispfeile entsprechend beschriftet. Die Pfeilverbindung „ermittle Bestand“ ist daher so zu interpretieren: Objekt Verkauf sendet dem Objekt Produkt eine Nachricht, die dazu führt, dass das Objekt Produkt seine Methode zur Bestandsberechnung ausführt und das Ergebnis zurückgibt. Die Zeit in einem Ereignisfolgediagramm schreitet von oben nach unten voran: Das erste Ereignis eines Szenarios ist dementsprechend im Diagramm ganz oben, das letzte ganz unten eingezeichnet. Die Abstände zwischen den einzelnen Ereignissen sind ohne Bedeutung und daher üblicherweise gleich gewählt. Sie geben keinen Hinweis auf die Zeitdauer zwischen zwei Ereignissen, weil nur die Abfolge, nicht jedoch der genaue Zeitbedarf dargestellt werden soll.

³⁹⁰ Martin Schader/Michael Rundshagen: Objektorientierte Systemanalyse, 1996, S. 116.

Die in Abbildung 52 dargestellte Ereignisabfolge ist dabei nur eine unter vielen möglichen. Für jede denkbare und zulässige Ereignisabfolge ist ein eigenes Szenario zu skizzieren. Für das Beispiel des Getränkeautomaten wären zur angemessenen Spezifikation der Interaktionsdynamik noch eine ganze Reihe weiterer Szenarien zu entwerfen. Die Möglichkeit, dass der Benutzer den Verkaufsvorgang abbricht oder dass er seine Wahl korrigiert, wäre ebenso zu berücksichtigen wie die Situation, dass sich nicht mehr genug Wechselgeld im Münzfach befindet oder ein gewünschtes Produkt ausverkauft ist. Es darf kein Ereignis geben, das zur Programmlaufzeit eintreten kann und das nicht zumindest in einem Szenario erfasst ist.

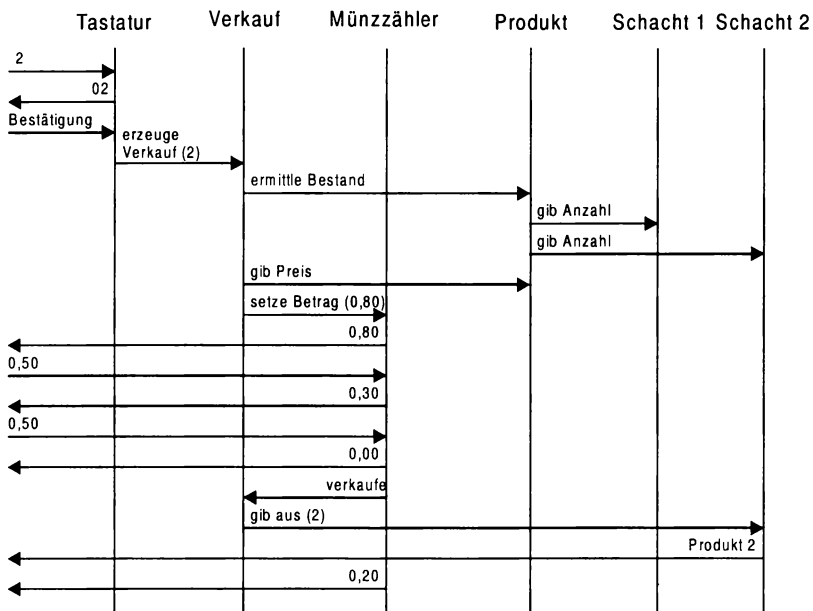


Abbildung 52: Ereignisfolgediagramm für das Getränkeautomat-Beispiel³⁹¹

Im Gegensatz zu einer Softwareapplikation sind externe Ereignisse³⁹² in Form von Benutzereingriffen bei einer Simulation eher selten. Mit Ausnahme

³⁹¹ Martin Schader/Michael Rundshagen: Objektorientierte Systemanalyse, 1996, S. 118.

³⁹² Zur Kategorie externer Ereignisse zählen regelmäßige Benutzereingaben wie das Drücken einer Taste oder das Klicken mit der Maus, aber auch solche Dinge wie das Eintreffen des Messwertes eines Sensors oder das Auswerfen eines Produktes in den Ausgabeschacht eines Automaten.

von sogenannten Gaming-Simulationen³⁹³ ist es so, dass die simulierte Dynamik eines Systems endogen erzeugt wird: Ist die Simulation einmal angestoßen, läuft sie ohne Eingriffsmöglichkeit durch den Benutzer so lange, bis das vorher festgelegte Abbruchkriterium erfüllt ist. Für die Erstellung objektorientierter Simulationsmodelle spielen die intern generierten, endogenen Ereignisse die maßgebliche Rolle, weil sie die Dynamik des Systems determinieren.

Der Eintritt eines Ereignisses in einer Simulation kann zweierlei Ursachen haben: zum einen gibt es rein zeitabhängige, zum anderen kausal von anderen Ereignissen abhängige Ereignisse. Rein zeitabhängige Ereignisse realisieren sich dann, wenn die Zeit dafür „reif ist“. So wird ICE 256 in Berlin Bahnhof Zoo dann losfahren, wenn die Uhr 18.02 anzeigt. Natürlich mag es andere Faktoren geben, die eine termingerechte Abfahrt verhindern; diese sind jedoch nicht Ursache für das Losfahren, sondern Ursache für die Verzögerung bei der Abfahrt. Zeitabhängige Ereignisse werden bei einer objektorientierten Simulation in Abhängigkeit vom Stand der Simulationsuhr ausgelöst. So könnte etwa mit jedem Weiterschalten der Uhr die Einlastung von x Fertigungsaufträgen auf Maschine Z34 verbunden sein. Wenn die Fertigungszeit 10 Minuten beträgt, würden die Endprodukte dann nach weiteren 10 simulierten Minuten auf Lager gelegt.

Zwei kausal miteinander verknüpfte Ereignisse stehen demgegenüber in einer Ursache-Wirkung-Beziehung zueinander: Ist A kausal von B abhängig, wird B dann – und nur dann – eintreten, wenn zuvor A passiert.³⁹⁴ Das Loslassen eines Kieselsteins zehn Meter über dem Boden führt beispielsweise dazu, dass der Stein nach ziemlich genau einer Sekunde auf der Erde aufschlägt. Wäre der Kiesel nicht losgelassen worden, könnte er nicht auf den Boden fallen. Der Zusammenhang zwischen den Ereignissen Loslassen und Aufschlagen ist stärker als ein bloßes zeitliches Vorher-Nacher. So muss beispielsweise die Ankunft des ICE 256 in Mannheim notwendig nach seiner Abfahrt in Berlin erfolgen, aber die Abfahrt kann kaum Ursache für die Ankunft in Mannheim genannt werden. Denn wäre z. B. unterwegs nur eine Weiche anders gestellt gewesen, der Zug würde in Heidelberg und nicht in Mannheim einfahren.

Obwohl kausal voneinander abhängige Ereignisse wichtig für die Dynamik und das Verständnis eines Systems sind, kommt es für die Modellierung in erster Linie darauf an, dass der logische zeitliche Ablauf korrekt erfasst ist. Als

³⁹³ Gaming-Simulationen sind interaktive Simulationen, die sich wesentlich dadurch auszeichnen, dass der Benutzer in die laufende Simulation eingreifen kann. Er kann beispielsweise Parameter ändern und dadurch untersuchen, wie das Modell auf externe Maßnahmen reagiert.

³⁹⁴ Kausal verknüpfte Ereignisse treten in der Regel in so schneller Abfolge ein, dass in einem Simulationsmodell unmittelbares Aufeinanderfolgen ohne nennenswerten Zeitbedarf unterstellt werden kann.

Besonderheit muss bei der Modellierung kausaler Ereignisse allerdings beachtet werden, dass sie meist in so schneller Abfolge eintreten, dass eine Aufeinanderfolge ohne nennenswerten Zeitbedarf unterstellt werden kann.

Anders als bei einem Sequenzendiagramm für die objektorientierte Analyse müssen für ein objektorientiertes Simulationsmodell notwendigerweise Ereignisse modelliert sein, die rein zeitabhängiger Natur sind und ausschließlich in Abhängigkeit vom Stand der Simulationsuhr ausgelöst werden. Ohne diese von der Simulationsuhr gesteuerten Ereignisse wäre es beispielsweise nicht möglich, mehr oder weniger regelmäßig eintreffende Aufträge zu modellieren. Ein Simulationsmodell bliebe ohne Input und es käme keine Dynamik zustande. Abbildung 53 zeigt ein Beispiel. Der in Abhängigkeit von der Simulationsuhr eingesteuerte Auftragszugang stößt eine Kette weiterer Ereignisse an und sorgt erst dafür, dass in dem Modell etwas passiert. Bei der Simulation über einen längeren Zeitraum wird es in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen zu solchen, von der Simulationsuhr bestimmten Ereignissen kommen müssen.

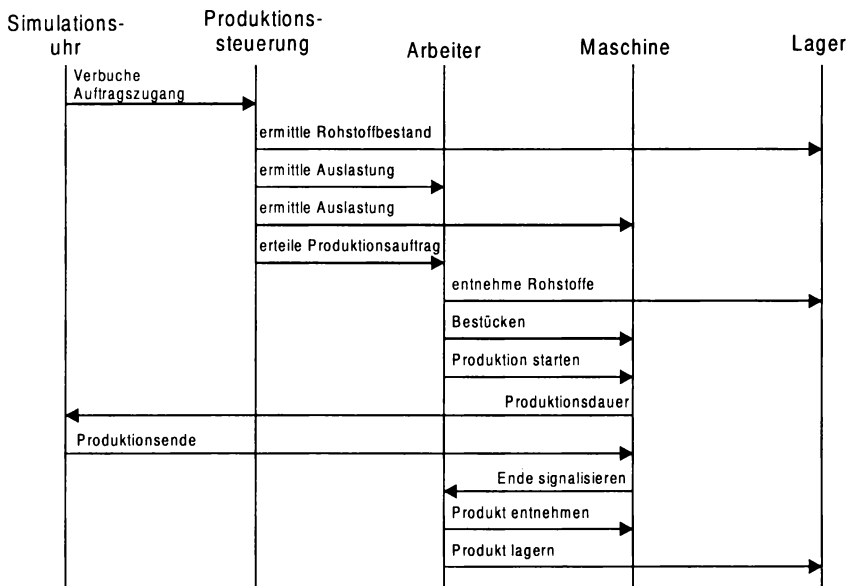


Abbildung 53: Ereignisfolgediagramm für eine Produktionssimulation

Es ist relativ häufig der Fall, dass Ereignisse nur dann eintreten (dürfen), wenn bestimmte Bedingungen erfüllt sind. Ein Fuchs wird nur unter der Voraussetzung einen Hasen jagen, dass er ihn zum einen gewittert hat und zum zweiten Hunger verspürt. Und fressen wird er erst dann können, wenn seine Jagd von

Erfolg gekrönt war. Solche Bedingungen, die erfüllt sein müssen, damit ein Ereignis eintritt, können im Diagramm der Ereignisbeschreibung in eckigen Klammern vorangestellt werden (vgl. Abbildung 54).

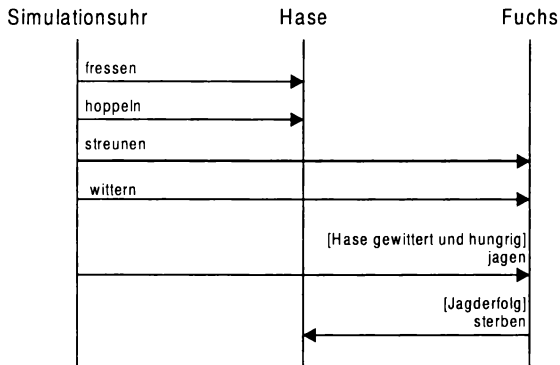


Abbildung 54: Ereignisfolgediagramm für eine Räuber-Beute-Simulation

4. Objektzustände und Zustandsübergänge

Zustandsübergangsdiagramme vervollständigen die Modellierung der dynamischen Aspekte eines Problems. Sie informieren darüber, welche Zustände die Objekte einer Klasse einnehmen können, und beschreiben die zulässigen Übergangswege von einem Zustand in einen anderen.³⁹⁵ Weil per Definition alle Instanzen einer Klasse das gleiche Verhalten zeigen, gilt ein Zustandsdiagramm sowohl für ein einzelnes Objekt wie auch für die ganze Klasse.³⁹⁶ So wie jedes Objekt seine eigenen Attributwerte hat, besitzt auch jedes Objekt seinen eigenen, individuellen Zustand: Er ist das Ergebnis aller Ereignisse, die es bis zum Betrachtungszeitpunkt empfangen hat.

Während Ereignisse zumindest in der Abstraktion zeitpunktbezogene Vorfälle darstellen, sind Zustände zeitdauerbestimmt: Ein definierter Zustand eines Objektes bleibt so lange bestehen, bis er durch ein Ereignis verändert wird. Zustandsänderungen werden demnach von Ereignissen ausgelöst, deren zeitliches Eintreffen Start- und Endpunkt für die Dauer eines Zustands markieren. Beispielsweise ist der Zustand einer Pflanzenlampe so lange leuchtend, bis die

³⁹⁵ Vgl. Rational Software Corporation: UML Notation Guide, 1997, S. 89.

³⁹⁶ Siehe James Rumbaugh et alii: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen, 1993, S. 110.

Zeitschaltuhr den Strom abstellt; in diesem Augenblick wechselt der Zustand nach dunkel. Oder ein Lehrbuch ist so lange im Zustand vorrätig, bis ein Student nach ihm verlangt und es ausleiht; bringt er es dann wieder in die Bibliothek zurück, ändert sich der Zustand erneut von entliehen nach vorrätig.

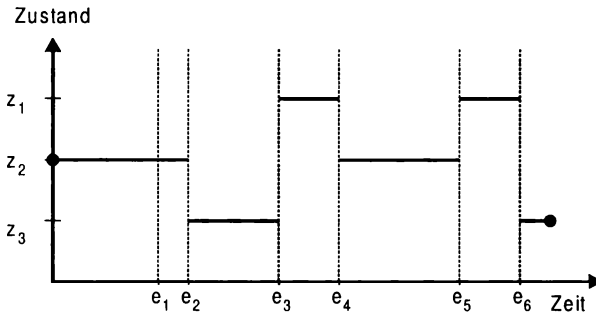


Abbildung 55: Zustände und Zustandsänderungen

Der Versuch, Zustände und Zustandsübergänge in Bezug auf ihre dynamischen Implikationen zu veranschaulichen, führt zu Abbildung 55. Auf der Ordinate sind die Zustände abgetragen, die ein Objekt im Zeitverlauf einnehmen kann. Im Beispiel sind es drei: z_1 , z_2 und z_3 . Ausgelöst von den Ereignissen e_1 – e_6 , finden zu bestimmten, nicht notwendigerweise äquidistanten Zeitpunkten Zustandsänderungen statt, die grafisch als Sprünge in vertikale Richtung in Erscheinung treten. Bis zum nächsten Ereignis verbleibt das Objekt in einem definierten, unveränderten Zustand, was durch eine durchgezogene horizontale Linie dargestellt ist. Im Zeitablauf betrachtet, ist die Dynamik eines Objektes durch den steten, alternierenden Wechsel zwischen Zustand und Ereignis gegeben, wobei gilt: Ein Ereignis trennt zwei Zustände, ein Zustand zwei Ereignisse. Zustände und Ereignisse sind daher wie die zwei Seiten einer Medaille – aus ihrer jeweils individuellen Perspektive spiegeln sie das gemeinsame Phänomen Dynamik.³⁹⁷

Der Zustandsbegriff ist jedoch nicht allein an eine bestimmte Zeitdauer gebunden, welche durch das Intervall zwischen zwei Ereignissen festgelegt ist. Charakterisiert wird er überdies durch eine bestimmte Kombination von Attribut- und Assoziationsausprägungen eines Objektes. So ist der Zustand einer Bankfiliale beispielsweise solvent oder insolvent in Abhängigkeit von der Höhe ihres Bargeldbestandes. Ein Stimmzettel ist gültig oder ungültig, je nachdem, ob

³⁹⁷ Siehe James Rumbaugh et alii: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen, 1993, S. 107.

die maximal zulässige Anzahl Kreuze überschritten ist oder nicht, und je nachdem, ob Kommentare zu finden sind oder nicht. Die Werte der Eigenschaftsausprägungen sind dabei derart zu distinkten Zuständen zu gruppieren, dass von diesen ein maßgeblicher Einfluss auf das Objektverhalten ausgeht. Denn während alle Objekte eines bestimmten Zustands qualitativ gleich auf dasselbe Ereignis reagieren und Unterschiede lediglich im Hinblick auf die Quantität in Abhängigkeit von den konkreten Werten der Attributausprägungen möglich sind, muss dies für Objekte in unterschiedlichen Zuständen nicht gelten. Die insolvente Bankfiliale wird etwa einer Auszahlungsanforderung überhaupt nicht entsprechen können, weil sie kein Bargeld hat, das sie auszahlen könnte. Und der gültige Stimmzettel nimmt Einfluss auf die Sitzverteilung im Parlament, wohingegen der ungültige Stimmzettel keine Wirkung entfalten kann. Wenn Ereignisse bei Objekten, die sich in verschiedenen Zuständen befinden, unterschiedliches Verhalten auslösen, dann spricht das für die Korrektheit der Zustandsmodellierung. Wenn hingegen das gleiche Ereignis trotz vermeintlich unterschiedlicher Objektzustände zum selben Verhalten führt, ist kritisch zu prüfen, ob die Zustandsdefinition angemessen erfolgt ist.

Grundsätzlich ist jede einzelne Objekteigenschaft in Abhängigkeit bestimmter Werte oder Wertebereiche dazu in der Lage, verschiedene Zustände zu konstituieren. Wasser beispielsweise, als Objekt mit der Eigenschaft Temperatur modelliert, kann die Zustände fest, flüssig und gasig einnehmen. Voraussetzung für den festen Zustand ist, dass die Wassertemperatur nicht über 0°C steigt; der flüssige Zustand hingegen ist an die Bedingung $0^{\circ}\text{C} < \text{Wassertemperatur} < 100^{\circ}\text{C}$ gekoppelt, wohingegen der gasige Zustand erst jenseits von 100°C Wassertemperatur eintreten kann.³⁹⁸ Zustände werden daher häufig mit einem Attributwert oder einer bestimmten Kombination von Attributwerten assoziiert, wobei bestimmte Bedingungen erfüllt sind. Zwar kann im Prinzip jedes Objektattribut, sofern es nicht ganz und gar nutzlos ist und völlig entfernt werden könnte, zur Definition von Zuständen herangezogen werden. Aus arbeitsökonomischen Gründen empfiehlt sich bei der Modellierung jedoch die Konzentration auf diejenigen Eigenschaften, die in Abhängigkeit von ihrer konkreten Ausprägung starke, qualitative Unterschiede im Objektverhalten auslösen.

Nicht immer muss ein Ereignis die Änderung eines Zustands zur Folge haben; in nicht wenigen Fällen wird der neue Zustand gleich dem alten sein, d. h. es findet ein Übergang von einem Zustand in wieder denselben Zustand statt. Es hängt sowohl vom spezifischen Ereignis als auch vom aktuellen Objektzustand ab, ob ein Objekt seinen Zustand verändert oder nicht.³⁹⁹

³⁹⁸ Weitere Voraussetzung: Der Luftdruck muss 1013 hPa betragen. Bei geringeren Drücken siedet Wasser schon bei niedrigeren Temperaturen.

³⁹⁹ Ereignisse, die eine Zustandsveränderung herbeiführen, heißen auch Transitionen.

Die Zustände eines Objektes werden im Diagramm durch abgerundete Rechtecke repräsentiert. Pfeile, die mit dem Namen des Ereignisses beschriftet sind, geben die Richtung an, in der sich ein Zustandsübergang vollziehen kann. Der Anfangszustand eines Objektes wird von einem kleinen, schwarzen, massiven Kreis markiert; die Endzustände – sofern es welche gibt – werden durch einen in einem Kreis zentrierten Punkt angezeigt. Abbildung 56 zeigt diese Notation an dem praktischen Beispiel eines Damespiels.⁴⁰⁰

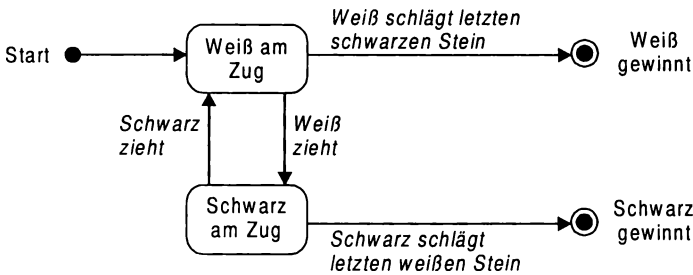


Abbildung 56: Zustandsdiagramm für ein Damespiel⁴⁰¹

Wenn das Spiel beginnt, ist immer Weiß zuerst am Zug. Dann wechseln sich die Zustände „Weiß am Zug“ und „Schwarz am Zug“ so lange ab, bis eine der Parteien den letzten gegnerischen Stein geschlagen hat und das Spiel zu Ende ist. Im Endzustand hat entweder Weiß oder Schwarz die Partie für sich entscheiden können. Kommt es zu einer Revanche, wird das Zustandsdiagramm erneut durchlaufen.

Zustandsübergänge müssen immer zwei Zustände miteinander verbinden; es darf nicht sein, dass ein Pfeil im Nichts endet oder aus dem Nichts anfängt.⁴⁰² Sehr wohl möglich ist jedoch, dass mehrere Wege aus einem bestimmten Zustand hinausführen; in solch einem Fall hängt es dann von eben diesem Zustand

⁴⁰⁰ Die gleiche Notation wird von James Rumbaugh et alii oder Schader/Rundshagen verwendet. Im Rahmen der UML ist das Konzept des Zustandsdiagramms erweitert. Vgl. James Rumbaugh et alii: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen, 1993, S. 109 ff.; Martin Schader/Michael Rundshagen: Objektorientierte Systemanalyse, 1996, S. 131 ff.; Rational Software Corporation: UML Notation Guide, 1997, S. 89 ff.

⁴⁰¹ James Rumbaugh et alii zeigen ein ähnliches Zustandsdiagramm für ein Schachspiel. Siehe James Rumbaugh et alii: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen, 1993, S. 111.

⁴⁰² Sonderfälle sind die Zustandsübergänge zum Endzustand oder in den Startzustand. Findet der Übergang in den Startzustand durch einen Konstruktoraufwurf statt, wird das Objekt aus dem Zustand der Nichtexistenz in den der Existenz versetzt. Der Übergang in den Endzustand beschließt andererseits den Lebenszyklus eines Objekts.

und von dem eintretenden Ereignis ab, welcher der Zustandsübergänge realisiert wird. Vollzogen werden kann jedoch nur einer der möglichen Übergänge; eine Situation, in der zwei oder mehr Transitionen gleichzeitig eintreten, ist ausgeschlossen. Das bedeutet auch, dass ein Objekt sich immer nur in einem Zustand seines Zustandsdiagramms befinden kann: Im Damespiel beispielsweise kann es nie passieren, dass zum selben Zeitpunkt sowohl Weiß als auch Schwarz am Zug ist. Ein Ereignis kann allerdings mehr als einmal in einem Zustandsdiagramm aufgeführt sein; denn je nach Ausgangszustand und Ereignisparameterwerten kann das gleiche Ereignis zu unterschiedlichen Folgezuständen führen. Abbildung 57 veranschaulicht diesen Fall am Beispiel eines Kontozustandsdiagramms.

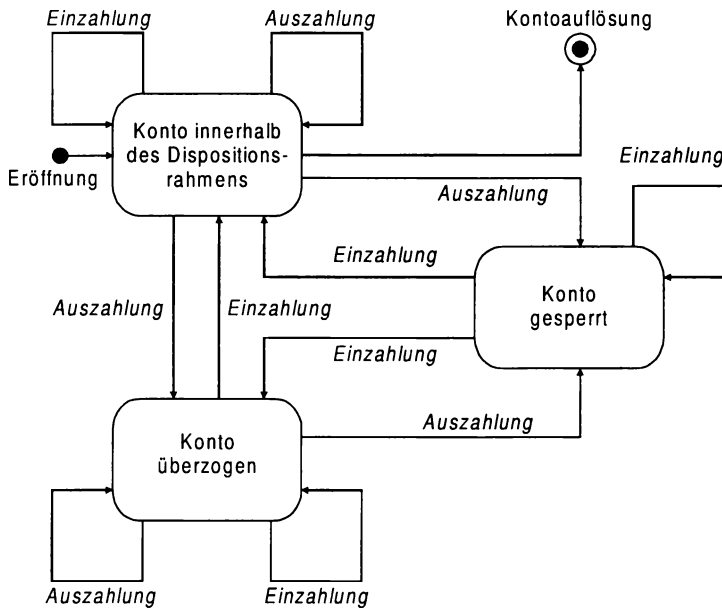


Abbildung 57: Zustandsdiagramm eines Kontos⁴⁰³

Wenn auf einem Konto beispielsweise DM 500 Guthaben stehen, und es werden DM 300 abgehoben, dann wird der Dispositionsrahmen nicht überschritten; werden bei einem eingeräumten Dispositionskredit von DM 4.000 jedoch DM 5.000 ausbezahlt, wechselt das Konto in den Zustand überzogen. Liegt die Toleranzschwelle der Bank bei 1,5-facher Überschreitung des Dispo-

⁴⁰³ In Anlehnung an Martin Schader/Michael Rundshagen: Objektorientierte Systemanalyse, 1996, S. 133.

sitionskredits, führt eine Abhebung von weiteren DM 500 noch nicht zu einer Zustandsänderung, während bei einer Auszahlung von DM 1.500 das Konto gesperrt wird. Der aktuelle Zustand eines Objektes, d. h. die Ausprägungen seiner Attribute und Assoziationen, und das konkret eintreffende Ereignis determinieren den zu beschreitenden Zustandsübergang. Der bisher durch das Diagramm zurückgelegte Weg spielt für den nächsten Schritt keine Rolle. Für die Bestimmung, ob eine Auszahlung von einem überzogenen Konto zu einer Sperre führt, muss nicht bekannt sein, wie oft das Konto in der Vergangenheit überzogen war. Der momentane Kontostand und die Höhe des abgebobenen Betrages reichen aus.

Zustandsübergangsdiagramme und Ereignisfolgediagramme beleuchten die Dynamik eines Modells jeweils aus ihrer besonderen Perspektive und setzen unterschiedliche Schwerpunkte. Dennoch sind beide Darstellungen miteinander verwandt. Bei der Erstellung von Zustandsübergangsdiagrammen können daher zuvor erstellte Ereignisfolgediagramme Hilfestellung leisten. Jedes Ereignis, das ein Objekt betrifft, ist in der Lage, einen Zustandsübergang auszulösen und muss sich deshalb in einem Zustandsübergangsdiagramm wiederfinden. Außerdem gilt für jedes Verhaltensmuster eines Objektes, dass es genau einem Weg durch das Zustandsdiagramm entsprechen muss. Vice versa muss jeder zulässige Weg durch das Zustandsdiagramm eine dem Objektverhalten entsprechende, sinnvolle Abfolge von Ereignissen beschreiben.

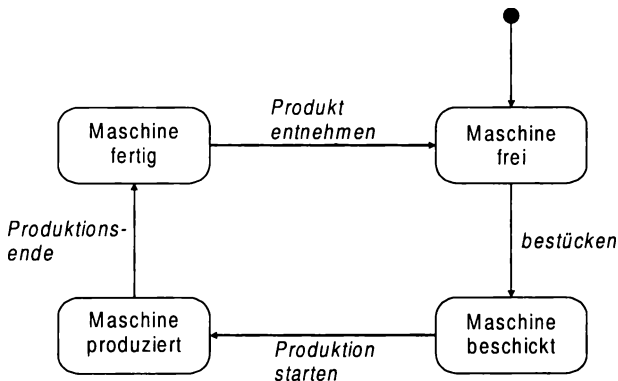


Abbildung 58: Zustandsdiagramm für eine Maschine

Abbildung 58 zeigt das Zustandsdiagramm für eine Maschine des Produktionssimulationsbeispiels von Seite 186 (Abbildung 53). Jeder einzelne bei der Klasse Maschine eintreffende Pfeil des Sequenzendiagramms entspricht in diesem konkreten Fall einem Ereignis, welches einen Zustandsübergang bewirkt.

IV. Die Validierung objektorientierter Modelle

Insofern es der Zweck des Einsatzes von Modellen ist, Experimente zur Entscheidungsunterstützung auszuführen und so vorab zu ermitteln, wie eine Handlung in der Wirklichkeit wirken würde, muss der Anspruch, der an die Realitätsabbilder zu stellen ist, hoch sein. Nur dann, wenn das Modell auf Maßnahmen genauso reagiert wie die wirkliche Welt, sind die Erkenntnisse und Ideen aus dem Experimentieren an und mit Modellen in die Realität übertragbar: „Validity of the results in a model-based study are crucially dependent on the validity of the model“.⁴⁰⁴ Um formale Modelle zur Unterstützung und Vorbereitung von Entscheidungen einsetzen zu können, hält es Milling daher für unabdingbar, dass „der problemrelevante Ausschnitt der Realität ordnungsgemäß wiedergegeben wird und die auf ihnen basierenden Analysen mit der Realität korrespondieren“.⁴⁰⁵ Er sieht es als Aufgabe der Validierung an, die „Gültigkeit“ von Modellen zu prüfen, und misst ihr große Bedeutung im Modellentwicklungsprozess wie auch für die Modellanwendung zu.⁴⁰⁶

1. Aufgabe und Inhalt der Modellvalidierung

Obwohl die Bedeutung der Validierung von entscheidungsunterstützenden Modellen in der Literatur unbestritten ist, gibt es kein methodisches Konzept, welches die objektive Richtigkeit eines Modells unzweifelhaft sicherstellen kann. „Schuld“ daran ist nicht ein Forschungsdefizit, sondern die Natur der Sache selbst: Validität im Sinne von Verifikation eines Modells ist aus prinzipiellen, logischen Gründen unerreichbar.

Um die Richtigkeit oder Wahrheit eines Modells feststellen zu können, müsste seine Übereinstimmung mit der Wirklichkeit zweifelsfrei nachgewiesen werden. Das jedoch ist unmöglich. Denn um aus dem Abgleich von Modell und Wirklichkeit zu einem sicheren Urteil über die Korrektheit oder Falschheit des Abbildes zu kommen, wäre die unmittelbare Erkennbarkeit des Urbildes – d. h. der objektiven Realität an sich – notwendige Voraussetzung. Zwar gibt es die Position des naiven Realismus, der behauptet, dass die Welt genauso ist, wie wir sie wahrnehmen, und das menschliche Mentalmodell als ein isomorphes

⁴⁰⁴ Yaman Barlas: Formal Aspects of Model Validity and Validation in System Dynamics, 1996, S. 183.

⁴⁰⁵ Peter Milling: Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik, 1981, S. 163.

⁴⁰⁶ Siehe Peter Milling: Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik, 1981, S. 163.

Abbild der Wirklichkeit ansieht. Schon der antiken Skepsis gelang es jedoch, mit guten Argumenten, den naiven Realismus als unhaltbar zu widerlegen.⁴⁰⁷ Dem Menschen ist es nicht möglich, objektives Ist und objektives Formalmodell des Ist unmittelbar aneinander zu prüfen und auf diese Weise die Richtigkeit des Modells nachzuweisen. Ihm fehlt der direkte Zugang zur Objektivität; er kann nicht einerseits ohne und andererseits mit sich selbst erkennen, und was er wahrnimmt, bleibt immer mit Zweifeln behaftet.⁴⁰⁸ Wenn jedoch die Wahrnehmungen, welche die Sinne liefern, und die Einsichten, welche der Verstand ermöglicht, nicht ausreichen, um ein zuverlässiges und wahres Mentalmodell der Realität zu erzeugen, dann ist jede Verifikation mit Anspruch auf Objektivität von vornherein zum Scheitern verurteilt. Die Unmöglichkeit des Vergleichs von Modell und objektiver Wirklichkeit wie die Gewissheit um die Unvollkommenheit des subjektiven mentalen Modells der Realität machen daher die Ablehnung eines Validitätskonzeptes, welches nach Verifikation strebt, unabwendbar.

Das oben angeführte Argument gegen die Verifizierbarkeit von Modellen gilt ohne Rücksicht auf den jeweiligen Modelltyp; es ist von großer Tragweite. Für alle Modelle, die universal gültige Tatsachenaussagen enthalten – das trifft auf praktisch alle formalen Simulationsmodelle zu –, ist darüber hinaus auch das logische Induktionsproblem von Relevanz. Aus rein logischen Gründen ist ein allgemein formulierter Zusammenhang der Art „Wenn der Preis des Produktes um DM 10 steigt, dann sinkt die monatliche Nachfrage um 5 %“ auch durch noch so viele Beobachtungen niemals endgültig zu verifizieren. Es bleibt immer der Zweifel, ob die nächste Beobachtung nicht doch ein anderes Ergebnis zutage bringt. Auch die Einführung eines Induktionsprinzips, womit der Positivismus das Problem aufheben wollte, vermag die logische Unmöglichkeit, von Sätzen, die einzelne Sachverhalte beschreiben, auf allgemeine Sätze zu schließen, nicht zu beseitigen.⁴⁰⁹

Im Ergebnis bleibt nur die Einsicht: Sicheres Wissen, objektive Erkenntnis wird Menschen nie möglich sein. Niemals wird sich daher mit Sicherheit sagen lassen, ob ein Modell wirklich wahr und im objektiven Sinn valide ist; so wie Popper erkannt hat, dass die Suche nach Rechtfertigung des Wahrheitsan-

⁴⁰⁷ Siehe beispielsweise Friedo Ricken: Antike Skeptiker, 1994. Eine übersichtliche Systematik skeptischer Argumente bieten Thomas Grundmann und Karsten Stüber in ihrer Einleitung zur Philosophie der Skepsis: vgl. Thomas Grundmann/Karsten Stüber (Hrsg.): Philosophie der Skepsis, 1996, S. 14 ff.

⁴⁰⁸ Und wenn so etwas ginge, wäre unsere Sinnenwelt überflüssig, denn wir hätten ja die wirkliche, und Modelle wie Theorien wären unnötig, weil wir uns im Besitz der Wahrheit befänden. Vgl. auch Ernst von Glasersfeld: Konstruktion der Wirklichkeit und des Begriffs der Objektivität, 1992, S. 19 ff.

⁴⁰⁹ Siehe dazu Karl R. Popper: Logik der Forschung, 1994, S. 3 ff.

spruchs einer Theorie aufgegeben werden muss, so werden Modellbauer und -anwender einsehen müssen, dass der objektiv gültige Korrektheitsnachweis eines Modells von Menschen nicht erbracht werden kann. Alle Modelle sind Hypothesen; alle können umgestoßen werden.⁴¹⁰

Wenngleich sich die Wahrheit eines Modells aus den genannten Gründen nie wird nachweisen lassen, so ist es dennoch manchmal möglich zu sagen, dass es mit hoher Wahrscheinlichkeit falsch ist. Während noch so viele Einzelbeobachtungen den Schluss auf eine Regel nicht gestatten, reicht eine einzige Ausnahme, um eine Regel in Frage zu stellen.⁴¹¹ Die Validierung könnte sich demnach die logische Asymmetrie zwischen Verifikation und Falsifikation zunutze machen und als Falsifikationismus konzipieren lassen.

Validieren würde dann nicht mehr bedeuten, als ein Modell so kritisch wie möglich zu prüfen und es zu verwerfen, wenn es in Widerspruch zur Realität geriete. Valide Modelle wären nicht gleichzusetzen mit wahren oder gültigen Modellen; valide Modelle wären einfach nur Modelle, die oft und intensiv geprüft und dabei nicht falsifiziert wurden. Das Problem eines strikt falsifikationistischen Validierungskonzeptes ist jedoch, dass im Grunde kein objektorientiertes Simulationsmodell als valide gelten könnte. Jegliche Vereinfachung, die im Rahmen der Modellentwicklung vorgenommen würde, um die ansonsten überwältigende Komplexität handhabbar zu machen, müsste die Ablehnung des Modells nach sich ziehen, weil Zusammenhänge, die in der Wirklichkeit bestehen, im Modell nicht abgebildet sind. Nur Modelle, die als isomorphe Abbilder der Realität konzipiert sind, hätten überhaupt die Chance, einen strikt falsifikationistisch ausgerichteten Validierungstest zu bestehen. Weil es zur Reduktion von Komplexität und Aufwand bei schwierigen Problemen jedoch unumgänglich ist, homomorphe Modelle zu konzipieren, müsste das Validierungsurteil in der Praxis regelmäßig „falsch“ lauten. Ein Validierungskonzept mit derart einseitigem Ergebnis führt sich jedoch selbst ad absurdum.

Zu bedenken ist überdies, dass absolute Sicherheit auch bei der Falsifikation nicht erreichbar ist. Letztlich beruht die Ablehnung eines Modells auf nichts Anderem als einem Beschluss: Ein Modell ist dann als falsch anzusehen, wenn ein Sachverhalt, der ihm widerspricht, als wahr akzeptiert ist.⁴¹² Es gibt keine endgültige Absicherung dagegen, dass dieser Beschluss nicht von falschen

⁴¹⁰ In Analogie zu Karl R. Popper: Objektive Erkenntnis, 1994, S. 30: „Alle Theorien sind Hypothesen; alle können umgestoßen werden.“

⁴¹¹ Aus wissenschaftstheoretischer Sicht ist der im Alltagsleben häufig zu hörende Spruch „Ausnahmen bestätigen die Regel“ purer Unsinn. Das genaue Gegenteil ist richtig: Ausnahmen von einer Regel widerlegen diese, statt sie zu bestätigen.

⁴¹² Siehe dazu auch die Ausführungen von Karl R. Popper über die Falsifikation und Bewährung von Theorien. Karl R. Popper: Logik der Forschung, 1994, S. 60 ff., insbesondere S. 69–71.

Voraussetzungen ausgehen und somit selbst fehlerhaft sein kann. Wer Modellvalidierung im Sinne einer Gültigkeitsprüfung betreiben will, sieht sich daher einerseits vor das Problem gestellt, den Nachweis der Korrektheit von Modellen aus logischen Gründen nicht führen zu können und den Beweis der Falschheit schlussendlich auf Konventionen stützen zu müssen. Andererseits jedoch wäre noch keineswegs gewährleistet, dass ein Modell auch den von ihm erwarteten Beitrag zur Problemlösung erbringt, selbst wenn es – rein hypothetisch und allen Widrigkeiten zum Trotz – gelingen sollte, seine Richtigkeit sicherzustellen; denn richtig heißt nicht automatisch auch nützlich.

Das Ziel kritisch-rationalen Entscheidens ist, eine Entscheidung zu fällen, nicht die Korrektheit oder Falschheit eines Modells nachzuweisen. Vor diesem Hintergrund darf der Nützlichkeitsaspekt eines Modells als Validierungskriterium nicht außer Acht gelassen werden. Wenn sich die Richtigkeit eines Modells nicht beweisen lässt und überdies alle für den praktischen Einsatz konzipierten Modelle ohnehin falsch sind – weil sie die Realität homomorph statt isomorph abzubilden versuchen –, dann gebietet es die Pragmatik, sich vom Verständnis der Validierung als Gültigkeits- oder Korrektheitsprüfung zu verabschieden, und das Validieren von Modellen mehr als einen Prozess der Vertrauensbildung aufzufassen: „Validation is the process of establishing confidence in the soundness and usefulness of a model.“⁴¹³ Aufgabe der Validierung sollte somit primär sein, kritisch zu prüfen, ob sich ein Modell zu dem Zweck, zu dem es erstellt wurde, tatsächlich auch eignet. Das bedeutet, dass die Validität objektorientierter Simulationsmodelle zur Entscheidungsunterstützung nur im Hinblick auf die Problemstellung adäquat beurteilt werden kann. Eine am Wahrheitsideal orientierte Validität mit Absolutheitsanspruch würde an den Anforderungen der Praxis vorbeigehen.⁴¹⁴ Validität ist vielmehr ein in zweierlei Hinsicht relatives Konzept: Validität ist zum einen relativ zum verfolgten Zweck und zum anderen relativ zu den verfügbaren Alternativen zu sehen. „One must always choose between competing models. Often a model with known deficiencies may be

⁴¹³ Jay W. Forrester/Peter M. Senge: Tests for Building Confidence in System Dynamics Models, 1980, S. 210. Diese Auffassung wird von den allermeisten Vertretern des System-Dynamics-Ansatzes geteilt. Vgl. dazu Yaman Barlas/Stamley Carpenter: Philosophical Roots of Model Validation: Two Paradigms, 1990, S. 160 ff.

⁴¹⁴ Richardson und Pugh argumentieren in die gleiche Richtung, wenn sie betonen, dass es sinnlos ist „to try to judge validity in the absence of a clear view of model purpose“. George P. Richardson/Alexander L. Pugh: Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO, 1981, S. 310. Milling stellt fest, dass es keine absolute, vom jeweiligen Modellzweck losgelöste Validität gibt; und auch bei Forrester wird die Validität an den Zweck eines Modells geknüpft. Siehe Peter Milling: Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik, 1981, S. 167 und Jay W. Forrester: Industrial Dynamics, 1961, S. 115.

chosen, if it inspires greater confidence than its alternatives. This is especially true when decisions must be made.“⁴¹⁵

Validität lässt sich nicht als objektives, binäres Konzept auffassen.⁴¹⁶ Die Validität eines Modells kann nicht zweifelsfrei festgestellt werden; sie ist vielmehr in einem möglicherweise langwierigen Prozess zu erarbeiten und zu kommunizieren. Zwar kann Modellvalidität intersubjektiv kritisch geprüft werden, aber nur insoweit die Ziele der in den Modellierungsprozess involvierten Personen auch deckungsgleich sind. Wenn jeder der Beteiligten andere Anforderungen an ein Modell stellt, sind Unterschiede in der Einschätzung der Validität unvermeidlich. Weil Validität nicht dichotom entweder gegeben oder nicht gegeben ist, weil sie nicht mit objektiver Wahrheit gleichgesetzt werden kann, ist auch der Prozess des Validierens von Modellen nicht formalisierbar und objektivierbar.⁴¹⁷ Er wird informelle, subjektive und qualitative Komponenten enthalten. Er wird sich deswegen auch vom Modellieren nicht völlig trennen lassen. So wie nach Auffassung des Total-Quality-Ansatzes die Qualität in Produkte nicht hineingepüft und -kontrolliert werden kann, sondern hineinproduziert werden muss, so ist Validität schon während der Entwicklung in ein Modell hineinzumodellieren.⁴¹⁸ Das soll nicht heißen, dass zusätzliche, der eigentlichen Modellentwicklung nachgeschaltete Validierungstests überflüssig sind. Notwendig ist jedoch, die Validierung als integralen Bestandteil der Modellierung zu betrachten. Sie kann nicht sinnvoll von der Entwicklung im engeren Sinne separiert werden.

Die Idee, die dem hier vertretenen Validierungskonzept zugrunde liegt, fußt auf einem relativierten, konstruktiven Falsifikationismus. Weil objektorientierte Simulationsmodelle „White-Box-Modelle“ sind, die versuchen, ein bestimmtes Verhalten eines Systems aus seiner Struktur zu deduzieren und damit zu erklären, ist die interne Struktur eines Modells mit allen enthaltenen Hypothesen und Annahmen das maßgebliche Validierungsobjekt. Anders als bei einfachen „Black-Box-Modellen“⁴¹⁹ statistischer Analysen reicht es nicht aus, dass das Modell in der Lage ist, beobachtetes Verhalten zu reproduzieren. An ein valides objektorientiertes Simulationsmodell ist die Anforderung zu stellen, dass es „the

⁴¹⁵ Jay W. Forrester/Peter M. Senge: Tests for Building Confidence in System Dynamics Models, 1980, S. 211.

⁴¹⁶ Siehe Peter Milling: Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik, 1981, S. 167.

⁴¹⁷ Siehe Yaman Barlas: Formal Aspects of Model Validity and Validation in System Dynamics, 1996, S. 183.

⁴¹⁸ Vgl. David C. Lane: The Folding Star: A Comparative Reframing and Extension of Validity Concepts in System Dynamics, 1995, S. 114.

⁴¹⁹ Ein Beispiel wäre die Gleichung einer Regressionsgeraden.

right output behavior for the right reasons“⁴²⁰ generiert. Deswegen ist es unabdingbar notwendig, die interne Modellstruktur in einem Prozess kritischer Prüfung zu validieren. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Modellstruktur nicht unabhängig von dem mit dem Modell insgesamt verfolgten Zweck an der Realität gemessen werden darf; sonst wird die Modellierung wegen permanenter Ablehnung im Rahmen der Validierung nie zu einem Resultat kommen.

2. Die Technik des Validierens

Validieren – das hat Abschnitt D.IV.1. ergeben – heißt, zu einem Urteil zu kommen; genauer: zu einem Urteil darüber, ob ein Modell als problemadäquates Abbild des wirklichen Problembereichs gelten kann oder nicht. Bei der Urteilsbildung wirken Logik und Wertung zusammen: Die logische Komponente der Modellvalidierung zielt dabei in erster Linie auf die Prüfung der Richtigkeit des Modells, während die wertende Komponente der Zweckbezogenheit von Modellen Rechnung trägt.

Modellvalidierung nach den Gesetzen der Logik heißt, Aussagen des Modells an Aussagen über die Wirklichkeit zu prüfen.⁴²¹ Die Aussagen können dabei insbesondere in Form von Sätzen oder in Form von zeitabhängigen Datenreihen vorliegen und sich inhaltlich einerseits auf die Struktur und andererseits auf das Verhalten beziehen.⁴²² Da nicht Äpfel mit Birnen verglichen werden können, müssen die zu validierenden Modellaussagen sich auf den gleichen Gegenstandsbereich beziehen und in derselben Form vorliegen wie die Aussagen über die Realität. Insbesondere heißt das, dass nur Datenreihen an Datenreihen und Sätze ausschließlich an Sätzen geprüft werden dürfen. Ein Problem entsteht aus dieser Forderung jedoch nicht, auch wenn der Gebrauch unterschiedlicher grafischer und künstlicher Sprachen vorderhand Anderes suggeriert. Ein objektorientiertes Strukturmodell lässt sich genauso wie etwa ein Zustandsdiagramm partiell oder in toto in die natürliche Sprache – in der wir gewöhnlich die Realität beschreiben – übersetzen.⁴²³ Aussagen in Form von Zeitreihen andererseits

⁴²⁰ Yaman Barlas: Formal Aspects of Model Validity and Validation in System Dynamics, 1996, S. 186.

⁴²¹ Quellen für solche Sätze, die Aussagen über die Realität machen, sind beispielsweise die Alltagserfahrung oder Beobachtungen, theoretisches Wissen oder Experimente.

⁴²² Wobei es zwar sein kann, dass Aussagen über das Verhalten in Form von Sätzen formuliert sind, aber kaum möglich ist, Strukturaussagen in Form von Zeitreihen zu tätigen.

⁴²³ Am Beispiel des ohmschen Gesetzes soll diese Behauptung veranschaulicht werden. Das ohmsche Gesetz kann entweder durch die mathematische Formel $U = R \cdot I$ zum Ausdruck gebracht werden oder verbal formuliert sein: Die Spannung in einem

erzeugen Modelle über die Simulation, während in der Realität Mess- und Datenerfassungssysteme unterschiedlicher Art Einsatz finden.

Die Validierung von Modellen durch den Vergleich von Zeitreihen verfolgt immer das Ziel, das Modell daraufhin zu überprüfen, ob es zur korrekten Reproduktion real beobachteter Verhaltensweisen in der Lage ist. Diese Art der Validierung wird daher auch als Verhaltensvalidierung – im Englischen „behavior validity“ – bezeichnet. Die Aufgabe besteht darin, Wertetabelle und/oder Graph eines Modellobjektattributes auf Konsistenz mit empirisch gewonnenen Datenreihen hin zu prüfen. Nach streng logischen Kriterien dürfte dabei ein nicht-negatives Urteil nur dann ausgesprochen werden, wenn beide Kurven – die vom Modell erzeugte wie die durch die realen Daten gegebene – deckungsgleich aufeinander liegen. Jegliche, auch noch so geringe Abweichung müsste die Falsifikation des Modells zur Folge haben – eine Forderung fern jeglicher Praktikabilität.⁴²⁴ Um den ihm zugedachten Zweck zu erfüllen, reicht es im Allgemeinen aus, wenn das von einem Modell erzeugte Verhalten die Realität in guter Näherung reproduzieren kann. Damit stellt sich jedoch zwangsläufig die Frage nach Kriterien, anhand derer festgestellt werden kann, wann Modelloutput und Daten ausreichend gut zusammenpassen.

Eigentlich stünde zu vermuten, dass die Statistik über geeignete Tests und Kennzahlen für die Identitätsprüfung zweier Datenreihen verfügt. Aber dem ist nicht so. Insbesondere dann, wenn Zeitverläufe mit starken, periodischen oder aperiodischen Schwankungen, starken Wachstums- und Verfallsphasen oder s-förmigen Abschnitten zu untersuchen sind, versagen die üblichen statistischen Verfahren.⁴²⁵ Zwar findet sich verhältnismäßig häufig die Empfehlung, die Summe der quadrierten Abweichungen zwischen Modelloutput und realen Daten als Kennzahl zu verwenden; deren Aussage erweist sich jedoch nur unter bestimmten Voraussetzungen als verlässlich, wie bereits Forrester zeigen konnte.⁴²⁶ Abbildung 59 zeigt die Entwicklung eines Objektattributes im Zeitablauf, einmal auf der Basis von empirischen Datenreihen, einmal generiert durch Modell A und einmal erzeugt von Modell B. Zieht man für die Beurteilung, ob Modell A oder Modell B die reale Entwicklung besser wiedergeben kann, die Summe der quadrierten Abweichungen heran, ist B das bessere Modell: Die Summe der quadrierten Abweichung zwischen realem Attributverlauf und dem

Stromkreis entspricht dem Produkt aus Stromstärke und Leitungswiderstand. Implizit vorausgesetzt ist dabei, dass die Bedeutung der Symbole bekannt oder in einer Legende angegeben ist.

⁴²⁴ Die ausschließlich logisch operierende Validierung ist Ausdruck eines strengen Falsifikationismus, dem in Abschnitt D.IV.1. bereits eine Absage erteilt wurde.

⁴²⁵ Vgl. Yaman Barlas: Formal Aspects of Model Validity and Validation in System Dynamics, 1996, S. 194.

⁴²⁶ Siehe Jay W. Forrester: Industrial Dynamics, 1961, S. 126 f.

von Modell A erzeugten beträgt 115.522; bei Modell B ist die Kennzahl nur 72.408. Großes Vertrauen vermag dieses Urteil jedoch nicht hervorzurufen, denn B ist nicht in der Lage, die charakteristischen Schwankungen des wirklichen Attributwertes zu replizieren.

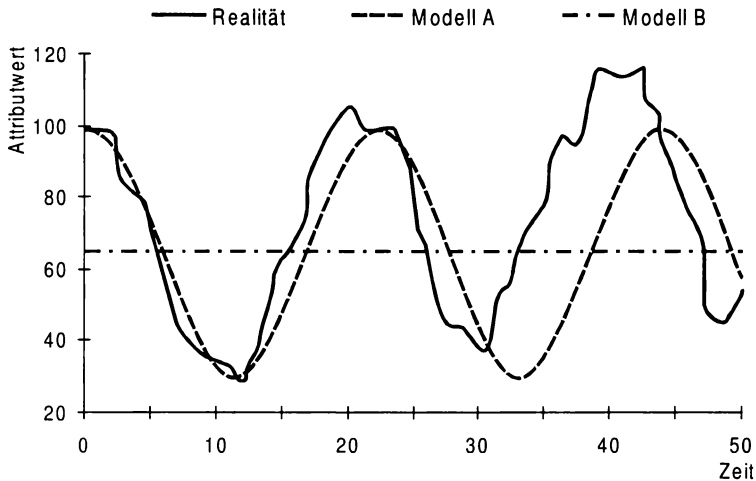


Abbildung 59: Eignung statistischer Kennzahlen zur Prüfung von Verhaltensvalidität⁴²⁷

Nur für die Beurteilung von Modellen, die ein weitgehend stabiles und ziemlich lineares Zeitverhalten zeigen, erscheint der Einsatz statistischer Methoden sinnvoll. Barlas schlägt für sogenannte „steady-state behavior models“ einen sechsstufigen Prüfprozess zur Verhaltensvalidierung vor.⁴²⁸ Im ersten Schritt erfolgen Trendvergleich und gegebenenfalls eine Bereinigung. Dann werden die Zeitreihen auf Autokorrelation hin überprüft. Die dritte und vierte Validierungsstufe besteht im Vergleich von Mittelwert und Varianz. Als fünftes wird geprüft, ob eine Phasenverschiebung vorliegt oder nicht; und zum Schluss erfolgt die Berechnung eines globalen Abweichungsmaßes.

Bei allen Objektattributen, die im Zeitablauf keine stabile oder trendförmige Entwicklung zeigen, ist es jedoch sowohl am Einfachsten wie auch am Besten, die Übereinstimmung visuell anhand der Graphen zu prüfen. Es ist meist gar nicht schwer, den Output eines Modells als akzeptable Wiedergabe der realen Daten zu akzeptieren oder abzulehnen. Als Beurteilungskriterien können neben

⁴²⁷ Siehe Jay W. Forrester: Industrial Dynamics, 1961, S. 126.

⁴²⁸ Vgl. Yaman Barlas: Formal Aspects of Model Validity and Validation in System Dynamics, 1996, S. 194 f. Siehe dort auch Abbildung 3 auf S. 195 und S. 206–208.

der in hohem Maße leistungsfähigen visuellen Einschätzung der Abweichung dafür herangezogen werden:⁴²⁹

- Einzelwerte
- Durchschnittswerte
- Trend
- Anzahl und Lage von Hoch- und Tiefpunkten
- Zeitspanne zwischen zwei Maxima oder Minima
- Maximal- und Minimalwerte
- Anzahl der Wendepunkte
- zeitliches Auftreten der Wendepunkte
- Richtung der Wendepunkte
- durchschnittliche Amplitude der Zeitreihe

In Abbildung 60 (a) passt der vom Modell erzeugte Lagerbestandsverlauf nicht zu den realen Daten, weil das Trendkriterium verletzt wird: Während das Modell einen kontinuierlichen Rückgang erzeugt, zeigt sich in der Realität ein steigender Trend. Bei (b) verlaufen Modelldaten und Echt Daten beinahe spiegelverkehrt, so dass die zeitliche Lage von Hoch- und Tiefpunkten und die Richtung der Wendepunkte nicht übereinstimmt. In (c) sind sich beide Kurven bis zur Halbzeit sehr ähnlich, dann werden die Abweichungen immer größer, wobei besonders bedenklich ist, dass der vom Modell erzeugte Lagerbestand wieder anwächst, während sich die realen Werte asymptotisch der Achse nähern; bei (d) spricht für die Ablehnung, dass der Abstand zwischen beiden Kurven relativ groß ist; Einzel- wie auch Durchschnittswerte liegen mehr als das tolerierbare Maß auseinander.

Das letzte Beispiel zeigt allerdings auch, dass bei einer rein grafischen Beurteilung der Abweichungen die Achsenskalierung keinesfalls außer Acht gelassen werden darf. Ohne jede zusätzliche Information über absolute Einzel- oder Durchschnittswerte wäre das für Abbildung 60 (d) ausgesprochene ablehnende Urteil fahrlässig.

Wenn demgegenüber die in Abbildung 61 gezeigten Beispiele nicht zu einem negativen Validierungsurteil führen, dann wird deutlich, wie sehr auch die subjektive Wertung die Urteilsfindung beeinflusst. Unter streng logischen Gesichtspunkten dürfte keines der Modelle, die (a) bis (d) als Output erzeugen, als valide bezeichnet werden; denn in keinem Fall stimmt der vom Modell generierte Lagerbestandsverlauf exakt mit dem der Realität überein. Für die meisten

⁴²⁹ Vgl. Yaman Barlas: Formal Aspects of Model Validity and Validation in System Dynamics, 1996, S. 194; Kalman J. Cohen/Richard M. Cyert: Simulation of Organizational Behavior, 1965, S. 331.

Anwendungsfälle werden in Abbildung 61 (a) bis (d) die durch das Modell generierten Zeitreihen als ausreichend gute, weil zweckerfüllende, Annäherung an die Wirklichkeit gelten können.

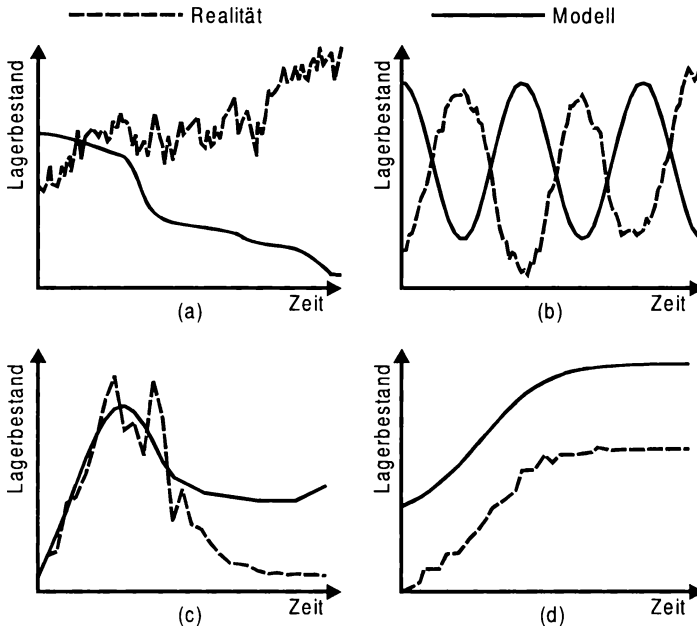


Abbildung 60: Der Vergleich von Verlaufsmustern zweier Kurven im Rahmen der Verhaltensvalidierung

Auch wenn am Verhaltensvergleich orientierte Validierungstests eine Wertungskomponente enthalten, sind sie – bezogen auf ihr Falsifikationspotenzial – ziemlich leistungsfähig: Es ist meist nicht sehr schwer, unter den in den Validierungsprozess involvierten Personen Übereinstimmung darüber herzustellen, ob das Verhalten eines Modells auf reale Daten passt oder nicht. Aus den relativ starken Falsifikationsleistungen der Verhaltenstests darf jedoch keineswegs auf eine ebenso gute Bewährungsleistung geschlossen werden. Das Gegenteil ist richtig. Ein bestandener Verhaltenstest erlaubt überhaupt keinen Rückschluss auf die Adäquanz eines Modells. Wenn ein Modell reales Verhalten gut reproduzieren kann, darf daraus nicht geschlossen werden, dass es sich um ein gutes, ein zweckmäßiges Modell handelt. Es ist nie auszuschließen, dass es das korrekte Verhalten aus den falschen Ursachen und Zusammenhängen generiert. Aus diesem Grund ist es unerlässlich, auch die Modellstruktur der Validierung zu unterziehen.

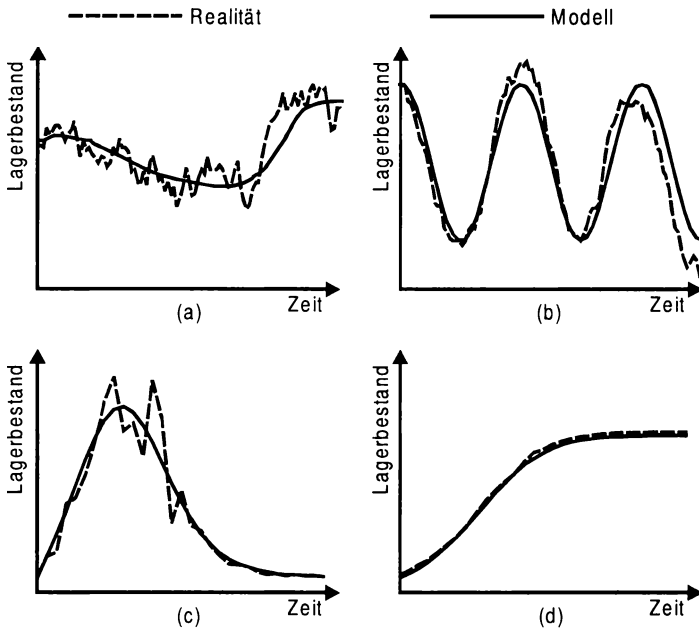


Abbildung 61: Verlaufsmustervergleich mit nicht-negativem Validitätsurteil

Strukturorientierte Validitätsurteile kommen weniger aufgrund des Vergleichs von Zeitreihen zustande, sondern stützen sich primär auf Aussagen in Satzform. Die Technik struktureller logischer Validierung von Modellen beruht darauf, Sätze, die Aussagen des Modells formulieren, auf ihre Gültigkeit hin zu prüfen, indem sie mit Sätzen, die Aussagen über die Wirklichkeit wiedergeben, verglichen werden. Manchmal ist solch ein Abgleich sehr einfach. Wenn beispielsweise das Modell behauptet, dass die Maschine MAN W34598 ein Gewicht von 2.450 kg hat, dann genügt ein Wägeprotokoll mit dem Vermerk „MAN W34598 wiegt 1.980 kg“, um diese Aussage des Modells zu widerlegen. Für den Validierungstest universaler Modellaussagen kann es jedoch auch notwendig sein, mehr als einen Satz über die Realität heranzuziehen, wie das nachfolgende Beispiel zeigt.

Modell:	Jedes Automobil hat vier Räder.
Realität:	In Mannheim benutzt die Stadtreinigung Piaggios APE 50 mit nur drei Rädern. Eine Piaggio APE 50 ist ein Auto.

An diesem Beispiel wird jedoch auch deutlich, dass das Nichtbestehen eines logischen Validierungstests nicht zugleich die völlige Ablehnung des ganzen Modells zur Folge haben muss. Formallogisch ist das Modell zwar falsch; den-

noch kann es seinen Zweck möglicherweise in vollem oder nahezu vollem Umfang erfüllen. Wenn das Modell etwa dazu gedacht ist, die Lagerhaltung in einer Autowerkstatt zu optimieren und der Anteil dreirädriger Autos, die in dieser Werkstatt mit Reifen ausgestattet werden, so klein ist, dass für diesen Spezialfall keine Lagerhaltung betrieben wird, dann wird man diese eigentlich falsche Modellaussage als zulässige, weil folgenlose Vereinfachung bewerten dürfen. Aufgabe der wertungsabhängigen Validierung ist es demnach, formallogische Validitätsurteile unter Berücksichtigung des Modellzwecks auf ihren Bestand hin zu überprüfen. Dabei ist die Korrektur sowohl falsifizierender formallogischer Urteile als auch bestandener Prüfungen möglich. Eine nicht falsifizierte Modellaussage kann im Rahmen der wertungsabhängigen Modellierung dennoch als sinnlos verworfen werden, weil sie nicht zweckdienlich oder gar schädlich ist.

Während die logische Prüfung eines Modells trotz aller Detailprobleme vergleichsweise gut strukturiert werden kann, ist die Bewertung der aus ihr resultierenden Ergebnisse ein schwieriges, subjektives und stark von der Erfahrung abhängiges Unterfangen. Helfen können unter Umständen Empfehlungen, die aus Modellentwicklungserfahrungen abgeleitet sind und in Form von Einzelvorgaben oder Checklisten präsentiert werden. Regeln wie die, dass Objekte über mehr als ein Attribut verfügen sollten, fallen in diese Rubrik. Auch der Vergleich des eigenen Modells mit den Modellen anderer Entwickler, die eine zumindest ähnliche Problemdomäne bearbeitet haben, kann bei der wertenden Validierung unterstützen. Es ist jedoch nicht zu leugnen, dass der Teil der Validierung, welcher der Aufgabe nachkommt, ein Modell im Hinblick auf einen bestimmten Zweck zu beurteilen, in hohem Maße informell und subjektiv ist.

3. Tests zur Modellvalidierung

Tests zur Validierung objektorientierter Simulationsmodelle lassen sich nach dem Gegenstand der Prüfung und der Erfordernis der Simulation in drei Kategorien einteilen:⁴³⁰ Strukturvalidierungstests prüfen Aussagen über die Struktur des Modells unmittelbar an bekannten oder in Literatur und Praxis dokumentierten Aussagen über die Realität. Die Simulation des Modells ist dazu nicht notwendig und nicht vorgesehen. Verhaltensvalidierungstests gründen ihr Urteil ausschließlich auf einen Vergleich von Modellverhalten und Verhalten des Realsystems. Die Tests zur Verhaltensvalidierung erfordern daher, dass das Modell simuliert werden kann. Auch strukturorientierte Verhaltensvalidierungstests bedürfen zur Durchführung eines syntaktisch korrekten, simulierbaren Mo-

⁴³⁰ Vgl. Yaman Barlas: Formal Aspects of Model Validity and Validation in System Dynamics, 1996, S. 188 ff.

dells. Aus der Umkehrung der Einsicht, dass die Struktur das Verhalten maßgeblich bestimmt, wird mit diesem Testtyp versucht, aus Verhaltensdefekten auf strukturelle Abbildungsfehler zu schließen.

Zu den im Folgenden vorgestellten Strukturvalidierungstests gehören der Strukturexistenztest, der Objektparametertest und der Einheitentest.

Aufgabe des Strukturexistenztests ist es, zu prüfen, ob modellierte Strukturen in der Realität auch tatsächlich vorkommen. Dazu werden in erster Linie modellbasierte Existenzaussagen mit der Erfahrungswirklichkeit verglichen. Der Prüfbereich von Strukturexistenztests erstreckt sich vorwiegend auf die Bereiche Modellierungsgrenze, Objektattribute, -assoziationen, -interaktionen und -zustände. Es wird beispielsweise untersucht, ob es bestimmte modellierte Objektattribute und -beziehungen in dieser Weise auch in der Realität gibt. Abbildung 62 zeigt einige Beispiele prüfbarer Modellaussagen. Im Rahmen des Strukturexistenztests erfolgt noch keine Beurteilung der Notwendigkeit und Nützlichkeit der abgebildeten Strukturen. Es geht nur darum, ihr tatsächliches Vorkommen zu überprüfen.

Gegenstandsbereich	Beispiele prüfbarer Modellaussagen
Modellierungsgrenze	In der Problemdomäne gibt es die Klassen X, Y und Z.
Objekteigenschaften (Zustände, Parameter)	Die Klasse Lager hat das Attribut Lagerbestand. Die Klasse Auto ist durch die Attribute Farbe, Leistung und Benzinverbrauch gekennzeichnet.
Objektassoziationen	Ein Arzt betreut im Durchschnitt 2.000 Patienten. Jedes Kind hat einen Vater und eine Mutter.
Objektoperationen	Die Klasse Lager kann die Operation Lagerzugang ausführen.
Objektinteraktionen	Füchse fressen Hasen.
Objektzustände	Ein Girokonto kann die Zustände im Haben, ausgeglichen, im Soll, überzogen und gesperrt einnehmen.

Abbildung 62: Prüfgegenstände von Strukturexistenztests

Der Objektparametertest hat die Prüfung des numerischen Wertes eines Objektparameters zum Gegenstand. Zu den Objektparametern sind dabei die Eigenschaften eines Objektes zu zählen, die im Zeitablauf – also auch während einer Simulation – konstant sind. In vielen Fällen ist es sehr leicht, den korrekten, realen Wert eines Parameters zu ermitteln. Der Parameter Lagerkapazität der Klasse Lager ist bezogen auf den Platzbedarf eines bestimmten Produktes ohne Schwierigkeiten auszurechnen. Der Zinssatz einer festverzinslichen Anleihe ist mit der Emission festgelegt und urkundlich dokumentiert. In solchen

Fällen bereitet der Abgleich zwischen Modell und Wirklichkeit keine Schwierigkeiten.

Da in objektorientierte Simulationsmodelle aber nicht nur „harte“ Fakten, sondern auch „weiche“ Faktoren Eingang finden, wird die Validierung eines Parameterwertes nicht immer so einfach sein. Es ist beispielsweise unstrittig, dass Konsumenten unterschiedlich kontakt- und kommunikationsfreudig sind und dass diese Eigenschaften maßgeblichen Einfluss auf die Verbreitungsgeschwindigkeit von Informationen in einem sozialen System haben. Das spricht dafür, Kommunikationsfreude als Attribut eines Konsumenten zu modellieren. Keine Trivialität ist in diesem Zusammenhang jedoch die Operationalisierung dieser Eigenschaft, die dennoch geleistet werden muss. Denn sie wegzulassen bedeutet, sie Null zu setzen und als Einflussfaktor völlig außer Acht zu lassen.

Der Einheitentest ist besonders für kontinuierlich formulierte, objektorientierte Modelle von großer Bedeutung. Inhaltlich geht es darum, die Identität der Einheiten auf beiden Seiten einer Gleichung sicherzustellen. Das nachfolgend angegebene Codefragment für die Methode „ÄndereLagerbestand“ erlaubt, die Vorgehensweise zu demonstrieren.⁴³¹

```
TLager.ÄndereLagerbestand;
begin
  i_Lagerbestand := i_Lagerbestand
                  + TimeStep * (Lagerzugang - Lagerabgang)
end;
```

Die Variable `i_Lagerbestand` ist ein Bestandsattribut mit der Einheit [Stück]. Lagerzugang und Lagerabgang sind zeitabhängige Flussgrößen, die die Einheit [Stück/Periode] haben. Aufgabe des Einheitentests ist die Überprüfung, ob auf beiden Seiten der Gleichung jeweils die gleiche Einheit steht. Dazu werden nur die Einheiten der Variablen betrachtet:

$$[Stück] = [Stück] + [Periode] \cdot \left(\frac{Stück}{Periode} - \frac{Stück}{Periode} \right).$$

Der Einheitentest ist bestanden, wenn nach Anwendung aller zulässigen Umformungs- und Kürzungsoperationen eine wahre Aussage der Art

$$[Stück] = [Stück]$$

bestehen bleibt.

Die zweite Kategorie der reinen Verhaltenstests hat das Ziel, die Ähnlichkeit von realen und modellierten Objektattributen im Zeitablauf zu überprüfen. Die

⁴³¹ Siehe auch Jay W. Forrester: Industrial Dynamics, 1961, S. 142.

dafür verfügbaren Techniken wurden bereits in Abschnitt D.IV.2. beschrieben, so dass sich an dieser Stelle eine weitere Diskussion erübrigt.

Die beiden wichtigsten Tests aus der Kategorie der strukturorientierten Verhaltenstests sind der Extremwerttest und der Kausalitätstest. Ergänzend seien noch der Verhaltenssensitivitätstest und der Schocktest vorgestellt.

Der Extremwerttest beruht darauf, dass sich über ein reales System meist eine ganze Reihe von Aussagen finden lassen, die den zulässigen Wertebereich ausgewählter Attribute begrenzen. Die Zahl der Personen, die in einem bestimmten Gebiet leben, kann im Extremfall Null, nie aber negativ werden. Ebenso wenig kann ein Unternehmen eine negative Anzahl von Mitarbeitern beschäftigen oder das Alter eines Menschen kleiner als Null sein. Weitere Beispiele sind: „Die Aktiv- und Passivseite einer Bilanz müssen in der Summe den gleichen Wert ergeben“; „Die Summe der Anteile aller Aktionäre am Grundkapital muss immer 100% betragen“; „Jeder Mensch hat genau einen Vater“. Im Rahmen des Extremwerttests wird unter Einsatz der Simulation geprüft, ob die Werte der in den Test einbezogenen Attribute auch unter extremen Konstellationen in ihren Grenzen bleiben. Wird im Rahmen eines Simulationslaufes auch nur eine der aufgestellten Extremwertbedingungen verletzt, ist das als starker Hinweis auf einen strukturellen Fehler zu sehen.

Beim Kausalitätstest wird das Verhalten von Modellobjekten mit kausalen Aussagen über die Wirklichkeit konfrontiert. Solche kausalen Aussagen betreffen normalerweise bestimmte, zwangsläufig ablaufende Ereignisketten oder von Ereignissen herbeigeführte Zustandsübergänge und sind in „Wenn-Dann-Form“ formuliert:

- Wenn der Lagerbestand von Produkt X unter 200 Stück sinkt, wird eine Bestellung ausgelöst.
- Wenn ein gesunder Mensch auf einen kranken Menschen trifft, erkrankt der Gesunde mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,25.
- Wenn Geld von einem ausgeglichenen Konto abgeboben wird, dann ist es danach im Soll.
- Wenn einem Angeklagten die Mordtat vor Gericht nachgewiesen werden kann, dann muss dieser ins Gefängnis.
- Wenn die Objekte einer Modellsimulation bei gleicher Ausgangssituation anders reagieren als ihre realen Urbilder, dann muss der Kausalitätstest als nicht bestanden gelten.

Beim Verhaltenssensitivitätstest wird geprüft, ob die Faktoren, deren Veränderungen starke Auswirkungen im realen System nach sich ziehen, auch bei Variation im Modell zu ähnlich sensitiven Reaktionen führen. Der Test kontrolliert damit, ob in der Realität sensitive Faktoren auch im Modell noch empfindlich auf Modifikationen reagieren. Beim Schocktest wird untersucht, ob das

Modellverhalten trotz der Variation insbesondere der sensitiven Faktoren über einen extrem großen Wertebereich hinweg noch nachvollziehbar und plausibel bleibt. Der Schocktest ist mit dem Extremwertetest eng verbunden; er geht nur insofern über ihn hinaus, als er außer der Einhaltung der Grenzwerte bestimmter Attribute auch die Plausibilität des Wertes an sich prüft. Ein Markt-Unternehmens-Modell, das beispielsweise auf einen extrem hohen Preis mit einer dennoch weit über Null liegenden Nachfrage reagiert, könnte so als suspekt entlarvt werden.

V. Objektorientierte Simulation

Ganz allgemein heißt simulieren sich verstellen, etwas vorgeben, etwas nachahmen oder etwas durchspielen.⁴³² Damit hat der Simulationsbegriff eine mehrfache und darum etwas schillernde Bedeutung. Im Kontext dieser Arbeit ist der Simulationsbegriff enger gefasst. Der Simulant, der sich verstellt und eine Krankheit beispielsweise nur vorgibt, ist auszugrenzen. Nachahmen und Durchspielen sind allerdings Aktivitäten, die auch im Rahmen objektorientierter Simulation von Relevanz sind: Gegenstand der Nachahmung ist die Realität bzw. ein Ausschnitt von ihr und durchgespielt wird ihr dynamisches Verhalten.

Der Begriff der Simulation hat darum zwei Bedeutungsebenen. Die Simulation kann einerseits, eng und technisch gefasst, eine Methode der Lösung von Modellen sein. In dieser Funktion stellt sie die Antipode zur analytischen Berechnung des Zeitverhaltens der Modellvariablen dar. Mit einer rechnerischen Modelllösung ist jedoch gewöhnlich noch keine Problemlösung gefunden. Um diese zu erreichen, sind eine ganze Reihe von Experimenten notwendig, was zur zweiten, experimentellen Bedeutung der Simulation führt. Denn mit der Zielvorgabe der Problemlösung und aus der Sicht des Experimentators fungiert das simulative Experiment am Modell als Alternative zum Realexperiment, so dass neben das Gegensatzpaar Simulation–analytische Lösung das Begriffspaar Simulationsexperiment–Realexperiment tritt.

1. Computersimulation zur Lösung von Modellen

Dass Probleme und Rechenaufgaben gelöst werden können, ist intuitiv eingängig. Wie aber werden Modelle gelöst? Und was ist das Ergebnis dieses Lösungsprozesses?

⁴³² Vgl. Duden – Rechtschreibung der deutschen Sprache, 1996, S. 684.

Um alle Formen der Modelllösung einbeziehen zu können, plädiert Harbordt für eine umfassende Definition und charakterisiert die Lösung eines Modells als einen Deduktionsprozess: Aus dem Modell und eingegebenen Daten werden durch arithmetische wie logische Operationen Aussagen abgeleitet, wobei die zulässigen Operationen dabei durch das Modell selbst festgelegt sind.⁴³³ Die Aussagen, die das Ergebnis der Modelllösung darstellen, können in unterschiedlicher Form vorliegen. Bei dynamischen, deterministischen Modellen erhält man insbesondere Zeitreihen interessierender Größen; bei stochastischen Modellen sind die Verteilungen bestimmter Variablen von besonderem Interesse.

Am Beispiel des einfachen Modells radioaktiven Zerfalls sei der Unterschied zwischen analytischer und simulativer Modelllösung verdeutlicht.⁴³⁴ Bei einem analytisch lösbaren Modell gibt es für jede modellendogene Variable eine Funktionsgleichung, welche die unmittelbare mathematische Berechnung des numerischen Variablenwertes bei Kenntnis der exogenen Inputwerte erlaubt. Die analytische Lösungsformel enthält neben numerischen Konstanten nur (Buchstaben)Symbole als Platzhalter. Gleichung (16) auf S. 172 für die Beschreibung des radioaktiven Zerfalls ist ein Beispiel für eine analytische Lösungsformel.

Der grundlegende Vorteil analytischer Lösungsformeln liegt darin, dass für jede Konstellation der unabhängigen Größen der gesuchte Lösungswert sehr schnell und einfach dadurch berechnet werden kann, dass man anstelle der Symbole die numerischen Werte in die Formel einsetzt. Aus der allgemeinen, symbolischen Lösung entsteht auf diese Weise die numerische spezielle Lösung. Dass beispielsweise von einem radioaktiven Stoff mit einer Zerfallsrate von 10 % nach 5 Jahren noch 59,049 % der ursprünglichen Menge vorhanden ist, lässt sich ausrechnen, indem man die Werte $z=0,1$, $MR_{(0)}=100$ und $t=5$ in die Gleichung des radioaktiven Zerfalls einsetzt:

$$(25) \quad MR_{(5)} = MR_{(0)}(1 - z)^5 = 100(1 - 0,1)^5 = 59,049 .$$

Vorteilhaft an der analytischen Lösungsformel ist überdies, dass durch Umformen jede Größe zur Abhängigen gemacht werden kann. Will man etwa wissen, wie hoch die Zerfallsrate sein muss, damit nach 10 Jahren nur noch 0,1 % der ursprünglichen Strahlung freigesetzt wird, ist Gleichung (16) nach z aufzulösen, und der Informationsbedarf kann befriedigt werden.

⁴³³ Siehe Steffen Harbordt: *Computersimulation in den Sozialwissenschaften*, 1974, S. 149.

⁴³⁴ Milling gibt ein analoges Beispiel anhand der Zinseszinsberechnung. Siehe Peter Milling: *Simulationen in der Produktion*, 1996, Sp. 1844.

Die Modelllösung auf dem Wege der Simulation erfolgt dagegen relativ aufwendig Schritt für Schritt nach der Rechenvorschrift

$$(26) \quad MR_{(t+\Delta t)} = MR_{(t)} - \Delta t \left(MR_{(t)} \cdot z \right).$$

Um simulierend auszurechnen, wie viel der ursprünglichen Menge radioaktiven Materials nach fünf Jahren noch vorhanden ist, muss zunächst die Menge in jeder einzelnen Periode davor berechnet werden.⁴³⁵ Ausgehend von $MR_{(0)} = 100$ ergibt sich die folgende Lösungsprozedur:

$$(27) \quad \begin{aligned} MR_{(1)} &= MR_{(0)} - 1 \left(MR_{(0)} \cdot z \right) = 100 - 1(100 \cdot 0,9) = 90 \\ MR_{(2)} &= MR_{(1)} - 1 \left(MR_{(1)} \cdot z \right) = 90 - 1(90 \cdot 0,9) = 81 \\ &\vdots \\ MR_{(5)} &= MR_{(4)} - 1 \left(MR_{(4)} \cdot z \right) = 65,61 - 1(65,61 \cdot 0,9) = 59,049 \end{aligned}$$

Obwohl augenscheinlich um ein Mehrfaches aufwendiger in der Berechnung, bietet die Simulation den Vorteil, dass sie auch bei komplexen, nichtlinearen und rückgekoppelten Modellen noch funktioniert und ohne komplizierte Mathematik auskommt – in der Regel reichen die elementaren mathematischen Operationen Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division auch für die Formulierung umfangreicher Simulationsmodelle aus. So elegant und informativ die analytische Modelllösung auch ist – schon bei nichtlinearen Modellen mit kaum einem Dutzend interdependent verknüpfter Variablen stößt sie an die Grenzen des mathematisch Möglichen.⁴³⁶ Um nicht, wie weite Bereiche des Operations Research, der Neigung zu erliegen, die Realität an das Modell anzupassen und dieses so einfach zu halten, dass analytische Lösungen möglich sind, werden objektorientierte Modelle von vornherein als Simulationsmodelle konzipiert. Die simulative Modelllösung erlaubt in Verbindung mit systematisch durchgeführten simulativen Modellexperimenten eine der analytischen Vorgehensweise vergleichbare Problemdurchdringung; und das – dank des Computereinsatzes – bei kaum größerem Aufwand. Das Kriterium der Lösbarkeit der Modellgleichungen spielt durch den Einsatz der Simulation auch bei der Entwicklung realistischer Abbilder komplexer Systeme keine Rolle mehr.⁴³⁷

⁴³⁵ Natürlich kann Δt auch kleiner als 1 Jahr gewählt werden. Die Anzahl der benötigten Rechenschritte steigt dann entsprechend.

⁴³⁶ Vgl. Jay W. Forrester: *Principles of System*, 1968, S. 3-9 f.

⁴³⁷ Peter Milling: *Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik*, 1981, S. 113.

Für objektorientierte Simulationsmodelle, die objektorientiert programmiert werden, kann die für die Simulation notwendige Grundfunktionalität in einer abstrakten Klasse bereitgestellt und somit durch Vererbung auf jedes konkrete Modell übertragen werden. Abbildung 63 zeigt die dafür konzipierte Klasse Simulation. Für jede Simulation müssen Startzeit und Endezeit eingestellt werden. Außerdem ist es notwendig, die aktuelle Zeit abfragen zu können. Wenn – wie hier der Einfachheit halber – eine Zeitfortschreibung in äquidistanten Zeitschritten vorgesehen ist, wird überdies das Attribut TimeStep benötigt.⁴³⁸ Die Klasse Simulation stellt daher die Attribute „StartZeit“, „EndeZeit“, „TimeStep“ und „AktuelleZeit“ bereit.

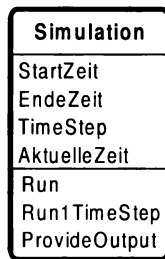


Abbildung 63: Abstrakte Basisklasse Simulation

Die Methoden „Run1TimeStep“ und „ProvideOutput“ sind abstrakte Operationen, die von den für den konkreten Fall abgeleiteten Klassen überschrieben werden müssen. In der Methode „Run1TimeStep“ ist für ein konkretes Simulationsmodell festzulegen, was genau während eines Zeitschrittes im Modell geschieht. Die Methode „ProvideOutput“ kann Algorithmen für die Ausgabe und Speicherung der Modellergebnisse enthalten. Beide Methoden werden von der eigentlichen Steuerungsroutine „Run“ aufgerufen. Die Algorithmik von `TSimulation.Run` ist sehr einfach und nachstehend wiedergegeben. Im Anhang findet sich darüber hinaus eine vollständige Dokumentation der Klasse Simulation.

```

procedure TSimulation.Run;
begin
  While AktuelleZeit <= EndeZeit do
  begin
    Run1TimeStep;
    ProvideOutput;
  end;
end;
  
```

⁴³⁸ Die ereignisorientierte Zeitfortschreibung erläutert beispielsweise Michael Pidd: *Computer Simulation in Management Science*, 1993, S. 49 ff.

In Kapitel E. ist der Einsatz der Klasse Simulation anhand von Beispielen aus den Problemdomänen Informations- und Produktdiffusion demonstriert.

2. Die Besonderheiten objektorientierter Simulationsexperimente

Simulatives Experimentieren ist das Experimentieren an und mit einem Modell, „das die Wirklichkeit abbildet“ und das sich in einer Weise manipulieren lässt, „die bei dem wirklichen System unmöglich, zu gefährlich oder zu teuer wäre“⁴³⁹. Die Simulation als spezifische Form des Modellexperiments ist auf das Vorliegen von Modellen notwendig angewiesen. Experimente am realen Objekt sind daher keine Simulationen, sondern Realexperimente. Wenn ein Firmenchef neue Organisationsformen ausprobieren möchte und dazu im Halbjahresrhythmus die Organisationsstruktur seines Unternehmens komplett umstellt, dann handelt es sich um ein Experiment am realen Objekt, nicht um eine Simulation. Es wäre jedoch falsch, daraus den Schluss zu ziehen, Simulationen seien auf das Arbeiten mit formalen, mathematischen Modellen beschränkt. Auch physische oder begriffliche Abbilder der Realität erlauben, je nach Fragestellung, die Durchführung sinnvoller Simulationsexperimente.⁴⁴⁰ Im Rahmen der Layoutplanung von Fabriken ist es beispielsweise durchaus üblich, körperliche Modelle zu verwenden und unterschiedliche Maschinen- und Transportbandanordnungen auszutesten, um eine möglichst effiziente Lösung zu finden.

Die weiteste Verbreitung in Wissenschaft und Technik haben Computersimulationen erfahren. Neue Autos werden zunächst im Rechner gegen ein Hindernis gefahren und im Hinblick auf ihr Deformationsverhalten untersucht. Die Wetterentwicklung wird im Computer simuliert, um die Vorhersage zu verbessern und anschaulich zu präsentieren. Der Computer ist aus den Labors und Büros der FuE-Abteilungen, Universitäten und Forschungsinstitute nicht mehr wegzudenken. Zwar muss für eine Computersimulation ein formales, symbolisches Modell in einer für den Computer verständlichen Sprache programmiert werden, was je nach Umfang und Problemfeld sehr aufwendig sein kann. Crash-Test- oder Wettervorhersage-Modelle wären ohne Computerunterstützung jedoch überhaupt nicht zu lösen, und selbst bei einfachen Problemen würde der Zwang zur manuellen Simulation das Ertrags-Aufwands-Verhältnis gegen Null drücken. Wenn Schnelligkeit und Kosten relevante Gesichtspunkte darstellen, ist die Computersimulation kaum zu schlagen. Computergestützte Simulationsmodelle liefern „vergleichbare Ergebnisse in einem Bruchteil der für die

⁴³⁹ Peter Mertens: Simulation, 1982, S. 1.

⁴⁴⁰ Vgl. Peter Milling: Simulationen in der Produktion, 1996, Sp. 1842.

körperlichen Experimente erforderlichen Zeit und zu einem Bruchteil der Kosten“⁴⁴¹.

Die objektorientierte Simulation als Bestandteil des OOSMS-Konzeptes erfolgt computerbasiert auf der Grundlage eines formalen Modells. Andere Experimentierformen – etwa am realen Objekt – werden daher explizit aus der Betrachtung ausgenommen. Was zeichnet objektorientiertes Simulieren gegenüber normaler, gewöhnlicher Simulation aus? Wo liegen die Besonderheiten? Auch bei objektorientierter Simulation handelt es sich um ein Experimentieren an und mit einem Modell. Notwendige Voraussetzung ist allerdings, dass dieses Modell objektorientiert spezifiziert ist. Schmidt definiert: „Objektorientierte Simulation liegt vor, wenn die Modellspezifikationsprache zunächst den komponentenweisen Aufbau, das Klassenkonzept und die hierarchische Strukturierung kennt.“⁴⁴² Objektorientierte Spezifikation darf dabei nicht mit objektorientierter Programmierung verwechselt werden. Nicht jedes Modell, das in einer objektorientierten Sprache programmiert ist, muss automatisch auch objektorientiert spezifiziert sein. Insbesondere mit Hybridsprachen ist es ein Leichtes, im Grunde prozedural spezifizierten Modellen den Mantel der Objektorientierung umzuhängen. Andererseits zeigen Rumbaugh et alii, dass es sehr wohl auch möglich ist, ein objektorientiertes Modell in einer prozeduralen Sprache zu programmieren.⁴⁴³ Vor diesem Hintergrund kann allein die Art der Modellspezifikation und nicht die Implementierungssprache ausschlaggebend dafür sein, ob eine Simulation objektorientiert genannt werden darf oder nicht.

Objektorientierte Simulationsexperimente zeichnen sich auch dadurch aus, dass ihnen eine bestimmte methodische Perspektive zugrunde liegt. Objektorientiertes Experimentieren ist Experimentieren an und mit Objekten. Auch wenn es im numerischen Ergebnis keinen Unterschied macht, ist es Ausdruck einer anderen Sichtweise, die Attribute von Objekten statt die Parameter eines Modells experimentell zu verändern.

3. Durchführung von Simulationsexperimenten zur Entscheidungsunterstützung

Die Simulation des Zeitverhaltens eines Modells findet sich durch den gesamten Modellentwicklungs- und Validierungsprozess hinweg. Immer wieder

⁴⁴¹ Peter Milling: Simulationen in der Produktion, 1995, Sp. 1842 f. Gleichlautende Argumente finden sich bei vielen anderen Autoren. Vgl. z. B. Michael Pidd: Computer Simulation in Management Science, 1993, S. 7 f.

⁴⁴² Bernd Schmidt: Die objektorientierte Modellspezifikation, 1996, S. 11.

⁴⁴³ Siehe James Rumbaugh et alii: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen, 1993, S. 413 ff.

ist es notwendig, Änderungen am Modell auf ihre Plausibilität zu überprüfen, um eventuell sich ergebende Probleme frühzeitig lösen zu können. Dazu ist es notwendig, zu simulieren. Ist ein Modell aber erst einmal als valide akzeptiert, wird das simulative Experimentieren mit dem Zweck der Konsequenzenanalyse zum neuen Schwerpunkt. Experimente, die das Ziel haben, die Folgen verschiedener zur Wahl stehender Handlungsoptionen zu ermitteln, bedürfen allerdings sorgfältigerer Planung als die testweisen Simulationen im Rahmen der Modellentwicklung und -validierung. Insbesondere bei der experimentellen Arbeit mit komplexen Modellen führt das planlose Simulieren mehr in die Konfusion als zu einem besseren Verständnis der Entscheidungssituation. Überdies ist eine systematische Planung und Durchführung von Simulationsexperimenten ein Gebot effizienten Ressourceneinsatzes.

Experimentieren bedeutet, auf ausgewählte Faktoren gezielt Einfluss zu nehmen, dabei alle übrigen Randbedingungen möglichst konstant zu halten und die Auswirkungen der Einflussnahme zu beobachten und zu dokumentieren. In den Naturwissenschaften gehört eine detaillierte Versuchsplanung mit einer Beschreibung der verwendeten Geräte, des Versuchsaufbaus der vorzunehmenden Eingriffe und der Umgebungsbedingungen zu den unverzichtbaren Bestandteilen sorgfältigen Experimentierens. Sollen möglichst eindeutige Resultate großer Genauigkeit und Relevanz erzielt werden, wird für Entwurf und Planung naturwissenschaftlicher Experimente die Beachtung folgender Gesichtspunkte empfohlen:⁴⁴⁴

- (1) Die Konsequenzen von Einwirkungen sind an möglichst vielen gleichartigen experimentellen Systemen zu ermitteln. Diese sogenannte Replikation von Experimenten führt zu größerer Genauigkeit, weil sich zufällige Fehler bei einer Mittelwertbildung zumindest zum Teil gegenseitig aufheben.
- (2) Die Ergebnisse eines Experiments müssen mehrmals reproduziert werden. Die Wirkung, die als Folge experimenteller Einflussnahme an einem System beobachtet werden kann, muss bei Wiederholung des Experiments am gleichen System jederzeit in gleicher Weise wieder auftreten.
- (3) Stehen mehrere gleichartige Experimentierumgebungen zur Verfügung, hat die Auswahl zufällig zu erfolgen.
- (4) Haben mehrere verschiedene Faktoren einen Einfluss auf den Ausgang eines Experiments, muss dennoch dafür gesorgt sein, dass die Wirkung jedes einzelnen Faktors isoliert bestimmt werden kann. Dies geschieht in der Regel dadurch, dass bei Konstanz aller übrigen Faktoren nur jeweils ein Faktor im Rahmen eines Experimentes verändert wird. Die Anzahl der ins-

⁴⁴⁴ Vgl. Enzyklopädie Naturwissenschaft und Technik, Band E-J, 1980, S. 1275.

gesamt durchzuführenden Experimente ergibt sich aus dem Produkt der Anzahl der zu untersuchenden Ausprägungen für jeden Faktor.⁴⁴⁵

Diese vier Punkte sind auf OOSMS-Simulationsexperimente nicht 1:1 zu übertragen. Da sie auf der Basis von Computersimulationsmodellen – d.h. künstlichen, formalen Systemen – stattfinden, sind die Punkte (1) und (3) gegenstandslos.⁴⁴⁶ Weil mit dem Simulationsmodell nur ein einziges Experimentalsystem zur Verfügung steht, erübrigt sich die Frage der Auswahl, und das Problem, Ergebnisse anhand von gleichartigen Systemen replizieren zu müssen, stellt sich nicht. Der Experimentator hat bei modellbasierten Experimenten die Bedingungen, unter denen das Experiment abläuft, völlig unter Kontrolle. Unerkannte, von außen stammende Faktoren, die das Experiment stören und die Ergebnisse verfälschen können, gibt es beim Modellexperiment nicht. Die Anwendung von Verfahren der maximalen Zufallsstreuung oder Gleichsetzung zur Neutralisation der Wirkungen unkontrollierter Faktoren ist daher nicht erforderlich. Alle zu untersuchenden Faktoren sind in idealer Weise zu kontrollieren; das gilt auch für stochastische Faktoren, denn Zufallszahlen lassen sich in identischer Abfolge und Ausprägung beliebig oft generieren. Da Modellexperimente immer auf ein und demselben Objekt – dem Modell nämlich – basieren, ist die exakte und beliebig häufige Reproduktion eines Experimentes ebenso jederzeit gewährleistet wie die Vergleichbarkeit zwischen zwei Versuchen. Auch Punkt (2) ist damit automatisch erfüllt.

Selbst bezogen auf Punkt (4) ist das Experimentieren mit Computersimulationsmodellen nicht im gleichen Maße eingeschränkt wie Versuche in der Realität. Mit der Varianzanalyse steht für Experimente mit numerischen Faktoren eine Technik zur Verfügung, die es trotz gleichzeitiger Variation mehr als eines Faktors erlaubt, jedem Faktor seinen Beitrag zur Reaktion zuzuweisen.⁴⁴⁷ Bei Computersimulationsexperimenten können daher die Faktorwirkungen ebenso gut isoliert wie kombiniert untersucht werden, während es bei vielen realen Versuchen nach wie vor unmöglich ist, die Wirkungen einzelner Faktorvariationen zu ermitteln, sofern zu einem Zeitpunkt mehr als ein einzelner verändert wird.

Experimente an und mit Computersimulationsmodellen laufen im Grundsatz immer nach dem gleichen Schema ab.⁴⁴⁸ Das Experiment besteht darin, Ände-

⁴⁴⁵ Vgl. Michael Pidd: *Computer Simulation in Management Science*, 1992, S. 234.

⁴⁴⁶ Die folgende Begründung orientiert sich an Steffen Harbordt: *Computersimulation in den Sozialwissenschaften*, 1974, S. 210 ff.

⁴⁴⁷ Eine Einführung in die Varianzanalyse gibt beispielsweise Fritz Pokropp: *Lineare Regression und Varianzanalyse*, München/Wien: Oldenburg, 1994.

⁴⁴⁸ Vgl. Steffen Harbordt: *Computersimulation in den Sozialwissenschaften*, 1974, S. 210 ff.

rungen an der Parametrisierung oder an der Struktur des Modells vorzunehmen, das Zeitverhalten zu simulieren und die Auswirkungen auf zentrale Betrachtungsgrößen zu analysieren. In computerbasierten Simulationsexperimenten sind die Parameter eines Modells bzw. von Objekten häufiger als die Struktur Ansatzpunkte experimenteller Einflussnahmen. Der Eingriff besteht dabei normalerweise in einer Variation des numerischen Wertes. Dass die Modellstruktur demgegenüber seltener Gegenstand experimenteller Untersuchungen ist, hat im Wesentlichen zwei Gründe. Einerseits liegt das daran, dass sie in vielen Entscheidungsproblemen als unveränderliche Randbedingung aufgefasst wird und damit fixiert ist; andererseits ist auch der große Aufwand, der mit der Modellierung mehrerer Strukturalternativen verbunden ist, dafür verantwortlich. Modelle, die alternative Strukturen enthalten, sind aufwendig zu erstellen, werden sehr schnell unübersichtlich und sind dann nur schwer noch nachzuvollziehen. Nichtsdestotrotz kann die experimentelle Prüfung von Entscheidungsalternativen sowohl die Beeinflussung bestimmter Modellparameter als auch bestimmter Modellstrukturen notwendig machen. Insbesondere die modellbasierte Hilfestellung bei strategischen, unternehmenspolitischen Entscheidungen erfordert Modellexperimente mit alternativen Eingriffen in die grundlegenden Entscheidungsregeln und damit die Strukturen von Modellen.

Die experimentell veränderten Größen werden üblicherweise *Faktoren* genannt; das Ergebnis des Eingriffs heißt *Reaktion*. Variiert wird ein Faktor in sogenannten *Stufen*. Dabei kann es sich sowohl um numerische Werte als auch um qualitative Ausprägungen handeln. Der Preis eines Produktes könnte beispielsweise im Rahmen einer Versuchsreihe in Schritten von einer Mark zwischen DM 1 und DM 200 variiert werden, so dass sich für diesen konkreten Fall insgesamt 200 Stufen ergäben. Ebenso gut ließe sich allerdings auch die Preispolitik als langfristig wirkende, strukturelle Entscheidungsregel zum Faktor in einem Experiment machen und beispielsweise in den Stufen vollkostenorientierte Preisfindung, Penetrationspreisstrategie und konkurrenzorientierte Preissetzung verändern. Die Gesamtheit aller Faktorstufen und Kombinationen von Faktorstufen, welche bei einem Experiment möglich sind, ergibt den *Faktorraum*. Jedes einzelne Experiment erfordert die Festlegung einer bestimmten Faktorstufe oder einer Kombination von Faktorstufen und damit die Bestimmung eines Punktes aus dem Faktorraum.

Auch wenn OOSMS-Experimente vollständig im Computer ablaufen und daher einfacher und viel schneller in der Durchführung sind als Realexperimente, ist eine systematische, geplante Vorgehensweise unabdingbare Voraussetzung für ein zielorientiertes Experimentieren und die Bewältigung der Komplexität. Wer planlos mit den vielen Faktoren, die schon mäßig komplexe Modelle bieten, jongliert und bei der Auswertung völlig auf seine Intuition vertraut, wird sich mit großer Wahrscheinlichkeit in der Fülle der Möglichkeiten verlieren. Ein zuverlässiges Bild der Ursache-Wirkungs-Beziehungen ist so kaum zu

gewinnen. In den weitaus meisten Fällen ist der Faktorraum aufgrund der metrischen Skalierung vieler Faktoren so groß, dass trotz der Leistungsfähigkeit moderner Computer und trotz der Möglichkeit zu automatischer Ausführung ganzer Versuchsserien nicht alle Faktorstufen und deren Kombinationen untersucht werden können. Bei nur vier zu berücksichtigenden Faktoren und nur je zwei Ausprägungen je Faktor sind 16 Experimente notwendig, um ein vollständiges Bild der Reaktionsoberfläche zu gewinnen und die Auswirkungen jedes einzelnen Faktors zu isolieren. Handelte es sich um 4 statt 2 Ausprägungen je Faktor, müssten schon 256 Experimente durchgeführt werden; bei 10 Stufen je Faktor wären es 10.000 und bei 100 bereits 10 Millionen.

In Anbetracht dieser Größenordnungen ist es unverzichtbar, alle Arten verfügbarer Informationen, die zur Strukturierung der Versuchsplanung beitragen können, heranzuziehen und auszuwerten. Dazu gehört einerseits natürlich jegliches Vorwissen über besonders stark wirkende Faktoren und Wechselwirkungen, gleich welcher Quelle es entstammt. Andererseits hat auch der mit dem Experimentieren verfolgte Zweck Einfluss auf die Versuchsanordnung.⁴⁴⁹ Wenn experimentell ermittelt werden soll, wie sich die Änderung bestimmter Faktoren auf das Ergebnis auswirkt, handelt es sich um sogenannte Erkundungsexperimente. Dabei sind die interessierenden Faktoren festgesetzt, und es ist das Ziel der Untersuchung, die Wirkung von Variationen auf den Modelloutput festzustellen. Im Fall von Optimierungsexperimenten ist das gewünschte Ergebnis vorgegeben; gesucht wird diejenige Faktorkombination, deren Modelloutput der Zielvorgabe am nächsten kommt.⁴⁵⁰

OOSMS-Experimente, die mit dem Ziel der Entscheidungsunterstützung unternommen werden und sich die in Entscheidungstheorie und -forschung erprobte Praxis der Unterscheidung von Handlungsalternativen und Umweltkonstellationen zunutze machen, haben den Charakter von Erkundungsexperimenten. Wie in Abbildung 64 dargestellt, wird die Faktormenge in zwei Teilmengen aufgetrennt. Je nachdem, ob ein Faktor der gestalterischen Einflussnahme des Entscheidungsträgers unterliegt oder als hinzunehmende Randbedingung auf das Entscheidungsergebnis einwirkt, ist er entweder der Kategorie der beeinflussbaren oder der nicht beeinflussbaren Faktoren zuzurechnen. Eine einzelne Aktionsalternative ist dann durch eine individuelle Kombination konkreter Ausprägungen der zugeordneten Faktoren gekennzeichnet. Auf gleiche Weise ist jede einzelne Umweltsituation als Kombination von Faktorstufen bestimmt.

⁴⁴⁹ Siehe dazu auch Steffen Harbordt: Computersimulation in den Sozialwissenschaften, 1974, S. 212 f.

⁴⁵⁰ Optimierungsexperimente können nicht zu einem wirklichen, objektiven Optimum führen. Das erzielbare Optimum ist immer relativ zu den in die Versuchsreihe einbezogenen Faktoren zu sehen.

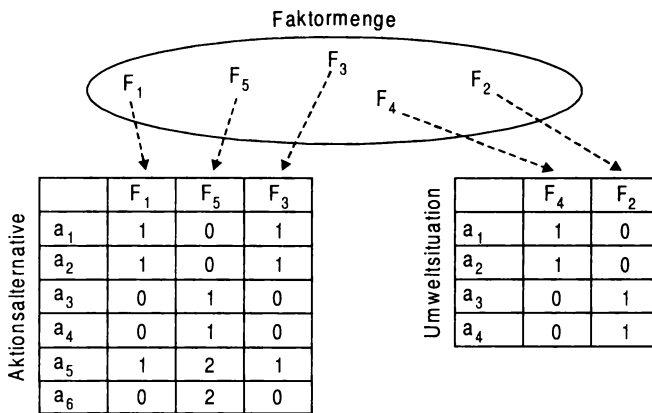


Abbildung 64: Strukturierung der Faktormenge

Das Feld für Experimente wird durch die Mengen der Aktionsalternativen und Umweltsituationen aufgespannt. Zu ermitteln ist nun, wie der Modelloutput in einer bestimmten Umweltsituation auf eine Handlungsoption reagiert. Das bedeutet, dass für jede Kombination von Entscheidungsalternative und Umweltsituation ein Simulationsexperiment durchgeführt werden muss, wenn beabsichtigt ist, ein vollständiges Bild des Ergebnisraumes zu bekommen. Bei einer dynamischen Betrachtung nimmt der Ergebnisraum die Form eines Kubus an: In diesem Fall ist das Resultat einer Handlungsalternative für eine bestimmte Umweltsituation zu jedem Zeitpunkt einer Zeitspanne zu ermitteln. Im Gegensatz dazu ist für eine Zwei-Zeitpunkt-Betrachtung eine Ergebnismatrix ausreichend. Abbildung 65 stellt beide Alternativen grafisch dar.

Die vollständige Untersuchung aller Kombinationen stellt dann kein Problem dar, wenn die Mengen der Alternativen und Umweltsituationen eine relativ geringe Anzahl an Elementen umfassen. Sofern das Entscheidungsproblem daher nicht von Natur aus begrenzt ist, muss eine künstliche Vereinfachung erfolgen, um die Lösbarkeit zu gewährleisten. Bereits in Abschnitt B.III.2. wurde darauf hingewiesen, dass der Versuch einer vollständigen Berücksichtigung aller nur möglichen und denkbaren Alternativen ein jedes Problem unentscheidbar machen würde und es insofern nicht Ziel eines rationalen Entscheiders sein kann, dem Vollständigkeitspostulat der klassischen Entscheidungstheorie zu genügen.

Die Gefahr, dass die Zahl der notwendigen Experimente jedes bewältigbare Maß übersteigt, ist insbesondere dann groß, wenn sich in der Faktormenge metrisch skalierbare Größen finden. Kann beispielsweise der Preis eines Produktes in der Bandbreite von DM 0 bis DM 2.000 in Pfennigsschritten variiert werden, wären in einer Simulationsstudie 200.000 verschiedene Preisalternati-

ven zu berücksichtigen, wenn die vollständige Exploration des Möglichkeitsraumes angestrebt würde. Ist dann gleichzeitig der Umfang der zu tätigen Investitionen als zweiter, sehr fein skalierter Faktor Entscheidungsgegenstand, explodiert die Zahl der prinzipiell möglichen Entscheidungsalternativen in die Milliarden.

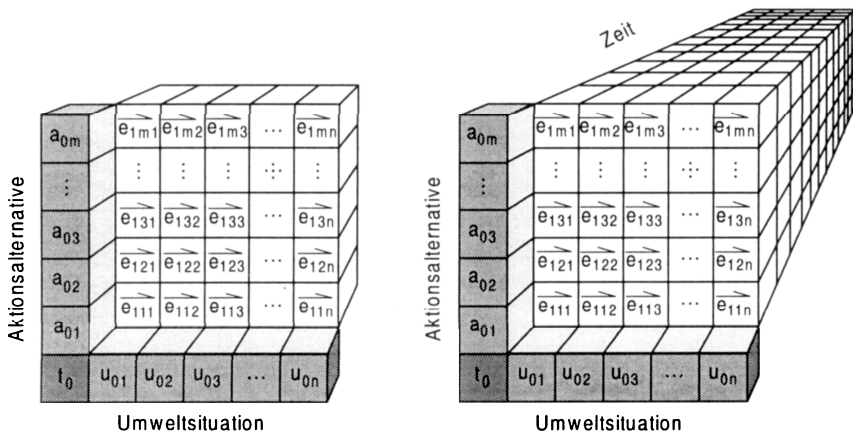


Abbildung 65: Ergebnismatrix versus Ergebniskubus

Bei der Verwendung stochastischer Modelle kommt weiter erschwerend hinzu, dass das Ergebnis eines Experiments von Zufallseinflüssen nicht frei ist. Während sich die Attribute, Attributsausprägungen, Subsysteme sowie inner- und zwischensystemischen Relationen deterministischer Systeme mit einer Wahrscheinlichkeit von 1 angeben lassen, enthalten stochastische Modelle mindestens eine Zufallsvariable. Es ist daher nicht ausreichend, einen einzelnen Ergebniswert zu ermitteln; vielmehr ist es erforderlich, ein mittleres Ergebnis und gegebenenfalls seine Verteilung zu bestimmen. Stochastische Simulationsstudien erfordern aus diesem Grund die mehrmalige Wiederholung eines Experimentes mit jeweils unterschiedlichen Zufallszahlenfolgen.

Um den experimentell zu ermittelnden Ergebnisraum einzugrenzen, können die folgenden Maßnahmen ergriffen werden:

- Faktoren, die erfahrungsgemäß gar keinen oder einen sehr geringen Einfluss auf das Ergebnis haben, werden aus dem Untersuchungsdesign eliminiert.
- Die Variationsbreite der in die Untersuchung einbezogenen Faktoren wird auf ein realistisches Intervall begrenzt. Wenn beispielsweise der Preis eines Produktes bisher DM 1.000 betragen hat, dann erscheint weder ein Preis von DM 10.000 noch von DM 10 als wirklich erwägenswerte Alternative.

- Auch bei metrisch skalierbaren Faktoren wird zunächst nur eine geringe Anzahl von Stufen zugelassen. Um sich ein Bild der Auswirkungen einer Faktorvariation zu verschaffen, reicht es gewöhnlich aus, maximal fünf Stufen zu betrachten: die Werte der oberen und unteren Intervallgrenze, die Mitte des Intervalls und die Werte an der Viertel- und Dreiviertelposition.

E. Diffusionsmodelle als Anwendungsbeispiele objektorientierter Modellierung

Die im vorangegangenen Kapitel D. entwickelte Methodik objektorientierter Systemmodellierung und -simulation muss, um dem Vorwurf des Methodenplatonismus zu entgehen, den Nachweis ihrer praktischen Anwendbarkeit erbringen. Am Beispiel der Diffusion von Informationen und Gütern wird in den folgenden Abschnitten die Vorgehensweise system- wie objektorientierter Modellierung und Simulation demonstriert. Diffusionsmodelle eignen sich deshalb in besonderem Maße als Demonstrationsobjekte, weil sie im Kontext des Produktlebenszykluskonzeptes sowohl in der betriebswirtschaftlichen Forschung etabliert als auch in der praktischen Anwendung erprobt und ihre Vorzüge wie Grenzen bekannt sind. Insbesondere im Hinblick auf die in der Literatur verstärkt zu findende Forderung nach mehr mikroanalytischer Fundierung vermag die objektorientierte Modellspezifikation mit der Möglichkeit zur Individualisierung ihr Leistungspotenzial unter Beweis zu stellen.⁴⁵¹

I. Aggregierte Modelle des Ausbreitungsprozesses neuer Produkte

Die meisten der bestehenden Modelle, die bei der schwierigen Projektion des Absatzes neuer Produkte helfen wollen, basieren auf dem deskriptiven Ansatz des Produktlebenszyklus und generieren konkave oder s-förmige Absatzverläufe mittels einer einzigen oder einigen wenigen Differenzial- oder Differenzengleichungen.⁴⁵² Sie sind dabei nicht mikroökonomisch fundiert, d. h. sie beschreiben die Diffusionsdynamik aus einer Makroperspektive; die Adoptions-

⁴⁵¹ Siehe dazu beispielsweise Richard Klophaus: Anwendungsprobleme bei der Diffusionsprognose und -steuerung, 1995, S. 90 ff. und die dort angegebene Literatur.

⁴⁵² Eine Übersicht über die Entwicklung der Diffusionsmodellierung bieten beispielsweise Vijay Mahajan/Eitan Muller/Frank M. Bass: New Product Diffusion Models in Marketing, 1990, S. 1–26 oder Franz Böcker/Heribert Gierl: Die Diffusion neuer Produkte, 1988, S. 32 ff. Bei Maier findet sich eine tabellarisch aufbereitete Systematisierung von Diffusionsmodellen: vgl. Frank Maier: Die Integration von wissens- und modellbasierten Konzepten zur Entscheidungsunterstützung im Innovationsmanagement, 1995, S. 111.

prozesse einzelner, individueller Konsumenten, die der Verbreitung von neuen Produkten zugrunde liegen, sind nicht Gegenstand konventioneller Diffusionsmodellierung.

1. Grundmodelle der Konsumgüterdiffusion

Als die drei Grundmodelle der Konsumgüterdiffusion sind das External-, das Internal- und das Mixed-Influence-Modell anzusehen.⁴⁵³ Alle drei Modelle beruhen bei stetiger Zeitbetrachtung auf der allgemeinen Differenzialgleichung

$$(28) \quad Z(t) = \frac{dX(t)}{dt} = f[X(t)] [M - X(t)].^{454}$$

Unterschiede zwischen den Modellen bestehen lediglich in der Funktion $f[X(t)]$, welche die Transferrate beschreibt.

Der Zuwachs an Nutzern $Z(t)$ eines neuen Produkts⁴⁵⁵ resultiert aus dem noch nicht belieferten Käuferpotenzial, der sog. „Bedarfslücke“ $M - X(t)$, multipliziert mit der Transferrate $f[X(t)]$. Diese, obwohl bei den drei Modellen durch unterschiedliche Terme repräsentiert, bewegt sich immer zwischen der unteren Schranke 0 und der oberen Schranke 1. M symbolisiert die Anzahl der potenziell an der Innovation interessierten Käufer.⁴⁵⁶ Wiederholungskäufe sind in den Grundmodellen nicht vorgesehen; es wird gewöhnlich unterstellt, dass es sich bei den betrachteten Produkten um langlebige Konsumgüter handelt, bei denen es zumindest im Zeitraum zwischen Markteinführung und -sättigung keinen Ersatzbedarf gibt.⁴⁵⁷

⁴⁵³ Synonym dazu werden für die beiden ersten die Bezeichnung Modell der Massenkommunikation bzw. Modell der persönlichen Kommunikation gebraucht. Das Mixed-Influence-Modell wird in der Literatur verbreitet nach seinem Schöpfer als Bass-Modell benannt. Vgl. Vijay Mahajan/Robert A. Peterson: Models for Innovation Diffusion, 1985, S. 14 ff.; Peter Milling/Frank Maier: Invention, Innovation, Diffusion, 1996, S. 72.

⁴⁵⁴ Siehe auch Richard Klophaus: Anwendungsprobleme bei der Diffusionsprognose und -steuerung, 1995, S. 90 ff.

⁴⁵⁵ Der Absatz $S(t)$ errechnet sich durch Multiplikation von $Z(t)$ mit der Anzahl der gekauften Produkte je Käufer.

⁴⁵⁶ Die Zahl der potenziell an einer Innovation interessierten Konsumenten ist in der Regel kleiner als die Gesamtheit der möglichen Käufer eines Produktes. Zu den potenziellen Käufern sind nur diejenigen zu zählen, die ein echtes Interesse an einem spezifischen Marktangebot zeigen. Vgl. zu Definition und Begriffsabgrenzung Philip Kotler/Friedhelm Bliemel: Marketing-Management, 1992, S. 381 ff.

⁴⁵⁷ Siehe Frank M. Bass: A New Product Growth Model for Consumer Durables, 1969, S. 215 f.

Für den Term $f[X(t)]$, der hier in Anlehnung an Klophaus als Transferrate bezeichnet wird, finden sich in der Literatur unterschiedliche Interpretationen. Einerseits wird $f[X(t)]$ als individuelle Kaufwahrscheinlichkeit verstanden, die angibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein potenzieller Kunde das neue Produkt in t erwirbt und somit zum Adopter wird.⁴⁵⁸ Andererseits wird $f[X(t)]$ als aggregierter Anteilswert betrachtet, der den Prozentsatz der potenziellen Käufer darstellt, die in t den Übergang vom Zustand des potenziellen Kunden in den des Adoptors vollziehen.

Wird $f[X(t)]$ mikroanalytisch interpretiert und als individuelle Kaufwahrscheinlichkeit aufgefasst, so geht mit dieser Deutung notwendig die Annahme gleicher Wahrscheinlichkeiten für alle Konsumenten einher. Es muss dann unterstellt werden, dass die Verbraucher hinsichtlich ihrer Eigenschaften und Verhaltensweisen homogen strukturiert sind.⁴⁵⁹ Diese Annahme ist angesichts der tatsächlich bestehenden Unterschiede in Einkommen, Präferenzstruktur, Art und Häufigkeit des kommunikativen Informationsaustausches sowie in der Kapazität zur Informationsverarbeitung und -speicherung realitätsfern. Aus diesen Gründen wird hier der Interpretation von $f[X(t)]$ als Anteilswert oder Transferrate auf der Makroebene der Vorzug gegeben.

Im External-Influence-Modell ist die Transferrate $f[X(t)]$ eine Konstante:⁴⁶⁰

$$(29) \quad f[X(t)] = \alpha.$$

Der Diffusionsprozess wird als nur von externen Faktoren – beispielsweise die Werbung – getrieben angesehen. Der Zuwachs an Nutzern des neuen Produktes erreicht gleich zu Beginn der Diffusion den höchsten Wert und nimmt dann sukzessive ab. Die Kumulation aller Nutzer zeigt einen exponentiellen Kurvenverlauf.

Das Internal-Influence-Modell⁴⁶¹ setzt für die Transferrate eine Funktion $f[X(t)]$, beispielsweise

$$(30) \quad f[X(t)] = \beta \frac{X(t)}{M}.$$

⁴⁵⁸ Vgl. z. B. Hans-Werner Hesse: Kommunikation und Diffusion von Produktinnovationen im Konsumgüterbereich, 1987, S. 8 ff.

⁴⁵⁹ Vgl. Helmut Schmalen/Franz-Michael Binnering/Hans Pechtl: Diffusionsmodelle als Entscheidungshilfe zur Planung absatzpolitischer Maßnahmen bei Neuprodukteinführungen, 1993, S. 518.

⁴⁶⁰ Vgl. Klaus P. Kaas: Diffusion und Marketing, 1973, S. 88 ff.

⁴⁶¹ Siehe dazu auch Vijay, Mahajan/Robert A. Peterson: Models for Innovation Diffusion, 1994, S. 15 f.

Damit wird unterstellt, dass die Anzahl neuer Nutzer sich in Abhängigkeit von der bereits vorliegenden Verbreitung von Innovationen verändert. Der Diffusionsprozess erhält dadurch eine Eigendynamik zugesprochen, die in einem logistischen Graphen zum Ausdruck kommt.

Bass, dem das Verdienst zukommt, als erster das External- mit dem Internal- zum Mixed-Influence-Modell verknüpft zu haben, unterstellt für die Transfer-rate

$$(31) \quad f[X(t)] = \alpha + \beta \frac{X(t)}{M},$$

so dass die folgende Gleichung als Bass-Modell oder Mixed-Influence-Modell Eingang in die Literatur gefunden hat:

$$(32) \quad Z(t) = \frac{dX(t)}{dt} = \alpha[M - X(t)] + \beta \frac{X(t)}{M}[M - X(t)].^{462}$$

Durch den im Zeitablauf konstanten Wirkungsparameter α wird der diffusionsfördernde Einfluss der Massenkommunikation erfasst; β hingegen steht für die Wirkung der persönlichen Kommunikation auf die potenziellen Erwerber und Anwender einer Innovation.⁴⁶³ Bezogen auf die Anzahl der Adoptoren lässt sich der Zeitpfad des Diffusionsverlaufs für $X(0) = 0$ durch

$$(33) \quad X(t) = M \left(\frac{1 - e^{-(\alpha+\beta)t}}{1 + \frac{\beta}{\alpha} e^{-(\alpha+\beta)t}} \right)$$

beschreiben.⁴⁶⁴ Für $\alpha = 0$ geht das Bass-Modell in das Internal-Influence-Modell über; für $\beta = 0$ wird es zum External-Influence-Modell. Bei $0 < \alpha < \beta < 1$

⁴⁶² Siehe den wegweisenden Artikel von Bass in der Management Science: Frank M. Bass: A New Product Growth Model for Consumer Durables, 1969, S. 215–227. Die Sekundärliteratur zum Bass-Modell ist außerordentlich umfangreich. Genannt werden könnte beispielsweise Vijay Mahajan/Eitan Muller: Innovation Diffusion and New Product Growth Models, 1979, S. 58 oder Helmut Schmalen: Das Bass-Modell zur Diffusionsforschung, 1989, S. 211 ff.

⁴⁶³ Milling hat den Gleichungsterm für die durch den Einfluss persönlicher Kommunikation bewirkten Innovationsdiffusion kombinatorisch hergeleitet. Siehe dazu Peter Milling: Diffusionstheorie und Innovationsmanagement, 1986, S. 54 f.

⁴⁶⁴ Vgl. Richard Klophaus: Anwendungsprobleme bei der Diffusionsprognose und -steuerung, 1995, S. 91 ff.

ergibt sich ein s-förmiger Diffusionsverlauf; aus $0 < \beta < \alpha < 1$ resultiert hingegen ein konkaver Verlauf, der an den Graph einer Wurzelfunktion erinnert.

Verbreitet wird das Verhalten, sich bei Kaufentscheidungen primär an massenkommunikativ verbreiteten Informationen zu orientieren, Innovatoren unterstellt.⁴⁶⁵ Sie gelten Neuheiten gegenüber als sehr aufgeschlossen, wobei sie ihren Informationsbedarf aus allgemein verfügbaren Quellen decken und insbesondere unabhängig von den Empfehlungen anderer Konsumenten zu einer Adoption oder Rejektion neuer Produkte gelangen.⁴⁶⁶ Imitatoren hingegen lassen sich von den persönlich übermittelten Empfehlungen anderer bei der Entscheidung für oder gegen die Übernahme einer Innovation leiten. Sie kaufen, weil andere vor ihnen das neue Produkt gekauft haben. Der Anteil der imitativen Adoption in t ist Bass zufolge „a linear function of the number of previous buyers“⁴⁶⁷, so dass sich die Kaufbereitschaft mit zunehmendem Marktsättigungsgrad $X(t)/M$ erhöht.

Insofern ist nachvollziehbar, wenn häufig – und so auch bei Bass selbst – der erste Term der Gleichung (32) als Ausdruck des innovativen Einflusses auf den Diffusionsprozess verstanden wird und der zweite Term für die imitative Wirkung steht. Der Absatz eines neuen Produktes kann dann, Gleichung (32) folgend, als Summe der erstmaligen Käufe der Innovatoren $\alpha[M-X(t)]$ und denen der Imitatoren $\beta X(t)/M[M-X(t)]$ aufgefasst werden. Folgerichtig interpretiert Bass α als „coefficient of innovation“ und β als „coefficient of imitation“.⁴⁶⁸

Innovations- und Imitationskoeffizient dürfen allerdings nicht mit dem Anteil der Innovatoren und Imitatoren am noch unerschlossenen Marktpotenzial gleichgesetzt werden. Schmalen zeigt, dass der Innovatorenanteil – und demzufolge auch der Prozentsatz der Imitatoren – von dem Verhältnis beider Koeffizienten determiniert wird – also nicht mit α identisch ist.⁴⁶⁹ Der Aussagegehalt der Koeffizienten α und β reduziert sich auf die numerische Repräsentation der Bedeutung der Innovatoren oder Imitatoren für den Diffusionsprozess.

⁴⁶⁵ Wobei der Innovatorenbegriff allerdings eine andere Deutung erfährt als bei Rogers, der zu den Innovatoren nur die ersten 2,5 % der Übernehmer einer Neuerung zählt. Vgl. dazu Everett M. Rogers: *Diffusion of Innovations*, 1983, S. 241 ff.

⁴⁶⁶ Vgl. Vijaya Mahajan/Eitan Muller/Rajendra K. Srivastava: *Determination of Adopter Categories by Using Innovation Diffusion Models*, 1990, S. 38 ff.

⁴⁶⁷ Vgl. Frank M. Bass: *A New Product Growth Model for Consumer Durables*, 1969, S. 216.

⁴⁶⁸ Frank M. Bass: *A New Product Growth Model for Consumer Durables*, 1969, S. 217.

⁴⁶⁹ Vgl. Helmut Schmalen/Franz-Michael Binnering/Hans Pechtl: *Diffusionsmodelle als Entscheidungshilfe zur Planung absatzpolitischer Maßnahmen bei Neuprodukteinführungen*, 1993, S. 519. Für ein mit $\alpha=0,03$, $\beta=0,25$, $M=100.000$ und $X(0)=0$ parametrisiertes Modell ergibt sich beispielsweise nach vollendeter Diffusion ein Anteil von ca. 29 % Innovatoren und 71 % Imitatoren.

Für die Deutung von $f[X(t)]$ als individuelle Kaufwahrscheinlichkeit ergibt sich aus der Interpretation von α und β als Innovations- respektive Imitationskoeffizient ein weiteres Problem. Weil das Käuferpotenzial als homogen strukturiert anzusehen ist, wenn α und β individuelle Kaufwahrscheinlichkeiten repräsentieren, müssen sich daher alle potenziellen Kunden in gleichem Maße innovativ wie imitativ verhalten. Es gäbe dann weder Verbraucher, die als typische Innovatoren bezeichnet werden können, noch solche, denen das Prädikat Imitator verliehen werden könnte. Jeder Konsument müsste z. B. als ein 20 %-Innovator und ein 80 %-Imitator betrachtet werden. Weil die Annahme so gearterter Mischadoptoren kaum die Konfrontation mit der Realität besteht, wird $f[X(t)]$ – wie hier vorgeschlagen – besser als Transferrate aufgefasst.⁴⁷⁰ Der Verzicht, den Adoptorenzuwachs auf das individuelle Verhalten von Konsumenten zurückzuführen, steht überdies besser im Einklang mit der aggregierten kontinuierlichen Modellformulierung. Ein mikroanalytisches Diffusionsmodell müsste, um die Mikrofundierung wirklich zum Ausdruck bringen zu können, als diskretes, ereignisorientiertes Modell konzipiert sein.

2. Das Bass-Modell als system- und objektorientiertes Diffusionsmodell

Das in Form von analytisch lösbaren Differenzialgleichungen vorliegende Bass-Modell lässt sich natürlich auch in ein Simulationsmodell übertragen. Das bringt den Vorteil der praktisch beliebigen Erweiterbarkeit mit sich, weil bei der simulativen Modelllösung die Mathematik als begrenzender Faktor keine Rolle spielt. Abbildung 66 zeigt das Bass-Modell als System-Dynamics-Flussdiagramm, wobei die Möglichkeiten moderner Simulationssoftware genutzt und sprechende Variablenbezeichner verwendet sind.⁴⁷¹

Adoptoren und „Potenzielle Käufer“ sind Bestandsvariablen, d. h. sie stellen Integrationen der Flussvariablen „käufertransfer“ über die Zeit dar. Die Variable Adoptoren korrespondiert unmittelbar mit der Größe $X(t)$ des Bass-Modells, die Variable „Potenzielle Käufer“ findet in der Bedarfslücke ($M - X(t)$) ihre Entsprechung; $Z(t)$ entspricht der Flussvariablen „käufertransfer“.

⁴⁷⁰ Empirisch fundierte Argumente gegen Mischadoptoren liefert Steven A. Baumgarten: *The Innovative Communicator in the Diffusion Process*, 1975, S. 12–18.

⁴⁷¹ Die Variablennamen sind entsprechend der Konventionen der Simulationssprache Vensim® geschrieben. Vgl. Ventana Systems, Inc. (Hrsg.): *Vensim® – Reference Manual*, 1997. Für die Konstanten ist dabei eine Schreibung in Großbuchstaben vorgesehen; Fluss- und Hilfsgrößen werden komplett kleingeschrieben, und bei Bestandsgrößen ist der jeweils erste Buchstabe ein Großbuchstabe.

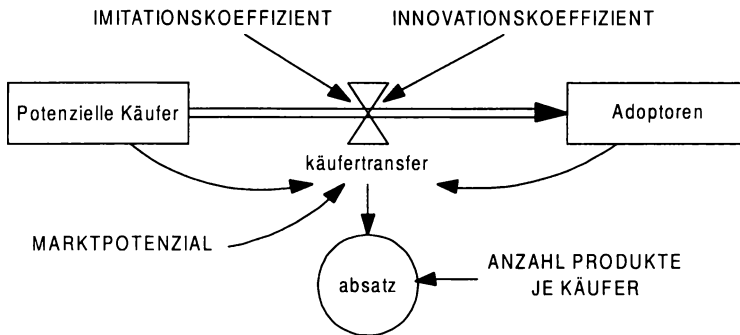


Abbildung 66: Das Bass-Modell als System-Dynamics-Modell

Die Gleichungen für $Z(t)$ und „käufertransfer“ sind dabei inhaltlich völlig deckungsgleich. Das ablauffähige Simulationsmodell ist bis auf die Steueranweisungen nachstehend vollständig angegeben.⁴⁷²

Adoptoren = INTEG(käufertransfer , 0)

Units: Personen

käufertransfer = INNOVATIONSКОEFFIZIENT * Potenzielle Käufer
+ IMITATIONSКОEFFIZIENT / MARKTPOTENZIAL * Adoptoren *
Potenzielle Käufer

Units: Personen/Monat

absatz = käufertransfer * ANZAHL PRODUKTE JE KÄUFER

Units: Stück/Periode

Potenzielle Käufer = INTEG(– käufertransfer , MARKTPOTENZIAL)

Units: Personen

MARKTPOTENZIAL = 100000

Units: Personen

ANZAHL PRODUKTE JE KÄUFER = 1

Units: Stück/Personen

IMITATIONSКОEFFIZIENT = 0.25

Units: 1/Periode

INNOVATIONSКОEFFIZIENT = 0.0005

Units: 1/Periode

Das Bass-Diffusionsmodell findet sich als zentrales Modul im Marktsektor zahlreicher komplexerer Simulationsmodelle. Es eignet sich gut für Erweiterungen. Milling etwa präsentiert ein System-Dynamics-Modell für den Einsatz im Innovationsmanagement, dessen Diffusionskern ein erweitertes Bass-Modell

⁴⁷² Siehe dazu Ventana Systems, Inc. (Hrsg.): Vensim® – Reference Manual, 1997.

ist.⁴⁷³ Maier verwendet es als Wurzel einer Modulbibliothek für den Diffusionssektor und ergänzt es in weiteren Modulen um Kapazitätsrestriktionen, Wiederholungskäufe, Konkurrenzwirkungen und diverse Einflussfaktoren wie Preis, Werbung und Lieferbereitschaft.⁴⁷⁴

Das Bass-Modell lässt sich nicht nur als System-Dynamics-Simulationsmodell formulieren, sondern auch als kontinuierliches, objektorientiertes Simulationsmodell abfassen. Abbildung 67 zeigt die sehr einfache Struktur. Von der Klasse Simulation wird lediglich die Klasse „BassDiffusionSimulation“ abgeleitet, die alle Attribute und Methoden in sich vereint. Das Bass-Modell ist ein Makromodell, so dass es nicht sinnvoll scheint, eine Detaillierung in mehrere Objekte vorzunehmen. Die Disaggregation und stärkere Hierarchisierung bleibt den mikroanalytischen Modellen der folgenden Abschnitte vorbehalten.

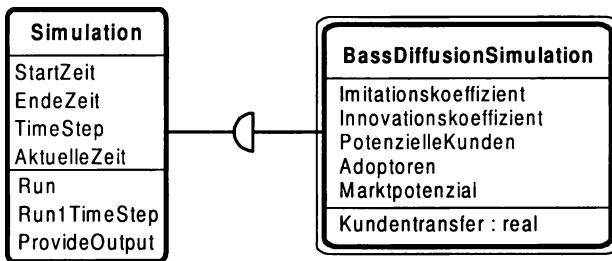


Abbildung 67: Objektorientierte Struktur des Bass-Modells⁴⁷⁵

Auch die Modellierung der Dynamik ist sehr einfach. Die Methode *Kundentransfer* ermittelt in Abhängigkeit von den Werten des Innovations- und Imitationskoeffizienten, der Anzahl der Adoptoren und dem Wert des Marktpotenzials, wie viele potenzielle Kunden in einem Simulationsschritt zu Adoptoren werden. Der Programmcode für diese Methode und die Methode *Run1TimeStep*, die zum Ausdruck bringt, was während der Simulation geschieht, ist nachstehend wiedergegeben.

⁴⁷³ Vgl. Peter Milling: Diffusionstheorie und Innovationsmanagement, 1986, S. 52–55.

⁴⁷⁴ Vgl. Frank Maier: Die Integration von wissens- und modellbasierten Konzepten zur Entscheidungsunterstützung im Innovationsmanagement, 1995, S. 250 ff., insbesondere S. 256–310.

⁴⁷⁵ Der Halbkreis symbolisiert eine Vererbungsstruktur. Die Klasse „BassDiffusionSimulation“ ist von der Klasse Simulation abgeleitet und erbt deren Attribute und Methoden. Zu Vererbungsstrukturen siehe Martin Schader/Michael Rundshagen: Objektorientierte Systemanalyse, 1996, S. 42 f und 76 ff.

```

function TBassDiffusionSimulation.Kundentransfer : real;
begin
    Result := INNOVATIONSKOEFFIZIENT * PotenzielleKunden
              + IMITATIONSKOEFFIZIENT / Marktpotenzial
              * Adoptoren * PotenzielleKunden
end;

procedure TBassDiffusionSimulation.Run1TimeStep;
begin
    FKundentransfer := Kundentransfer;
    FAdoptoren := FAdoptoren + TimeStep * (FKundentransfer);
    FPotenzielleKunden := FPotenzielleKunden -
                          TimeStep * (FKundentransfer);
    AktuelleZeit := AktuelleZeit + TimeStep;
    ProvideOutput;
end;

```

Unabhängig davon, ob das Zeitverhalten analytisch oder auf dem Wege der Simulation errechnet wird, ergibt sich für die Adoptoren, die potenziellen Käufer und den Käufertransfer ein identischer Werteverlauf über die Zeit, wobei allerdings vorausgesetzt ist, dass jeweils der gleiche Parametersatz verwendet wird.⁴⁷⁶ Abbildung 68 zeigt den Diffusionsverlauf für $\alpha=0,0005$, $\beta=0,25$ und $M=100.000$.

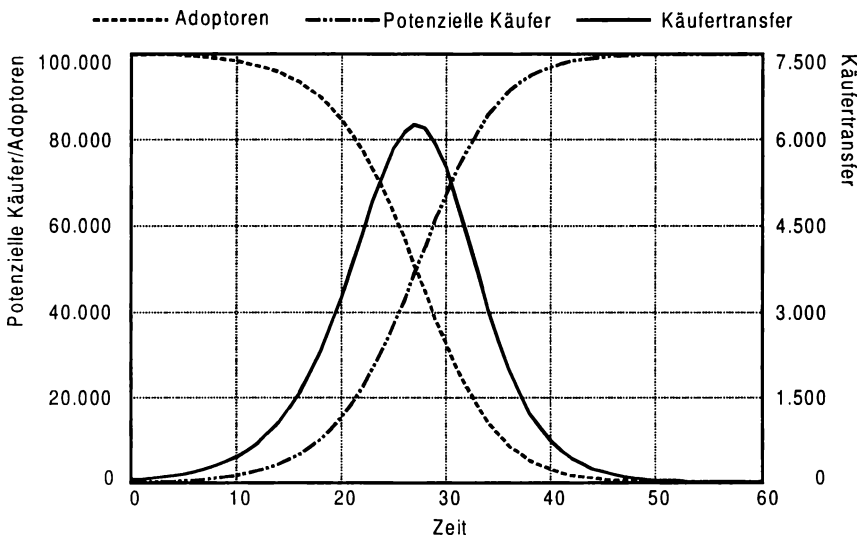


Abbildung 68: Der Diffusionsprozess im Bass-Modell

⁴⁷⁶ In Abhängigkeit von der Wahl des Wertes für die Integrationsschrittweite kommt es bei der simulativen Berechnung zu mehr oder weniger großen Fehlern. Wenn für TimeStep der Wert 1 gesetzt wird, stimmen die analytisch berechneten Werte mit den Simulationsergebnissen exakt überein.

Die Anzahl der Konsumenten, die vom Zustand potenziellen Käufertums in den des Nutzers neuer Produkte wechseln, steigt zunächst allmählich an. Je größer im Zeitverlauf die Zahl der Adoptoren wird, desto mehr Konsumenten geben ihre Kaufabstinenz auf. Die Möglichkeiten zum Erfahrungsaustausch zwischen Adoptoren und potenziellen Käufern nimmt zunächst mit steigendem Bestand an Adoptoren zu. Wenn beide Bestandsvariablen gleich groß werden, erreicht der Transfer sein Maximum und fällt dann im gleichen Maße wieder ab, wie er zuvor angestiegen ist. Die Bestandskurven zeigen dementsprechend einen s-förmigen respektive spiegelverkehrt s-förmigen Verlauf.

3. Vorteile einer mikroanalytischen Modellierung des Diffusionsprozesses

Es steht außer Zweifel, dass die Bass-Formel geeignet ist, tatsächliche Diffusionsverläufe ex post mit gutem Fit zu approximieren: Bass selbst findet R^2 -Werte nahe bei 0,9.⁴⁷⁷ Für die Vorhersage der Ausbreitung neuer Konsumgüter ist sie jedoch weit weniger geeignet. Aus rein schätztechnischer Sicht müssen Daten zumindest für so viele Zeitpunkte vorliegen wie Parameter im Modell enthalten sind – beim Bass-Modell sind das drei, so dass wenigstens Verkaufszahlen für die zurückliegenden drei Jahre vorhanden sein müssen, um eine Schätzung für die Modellparameter vornehmen zu können.⁴⁷⁸ Zuverlässige Vorhersagen sind nach einer empirischen Untersuchung von Heeler/Hustad jedoch erst dann zu erwarten, wenn die zur Parameterschätzung verwendeten Zeitreihen zwei Mindestanforderungen genügen:⁴⁷⁹

- Die Länge der Zeitreihe beträgt mindestens zehn Jahre.
- Der Wendepunkt der Diffusionskurve bzw. das Jahr der maximalen Absatzmenge ist in der Zeitreihe enthalten.

Für viele Anwendungsfälle erweisen sich diese Anforderungen als unerfüllbar. Insbesondere wenn die Diffusionsprognose schon vor der eigentlichen Markteinführung erstellt werden soll, wird die Untauglichkeit des Bass-Modells offenkundig. Denn in diesem Fall stehen nicht nur zu wenige, sondern überhaupt noch keine Daten zur Verfügung. Wenn dann – nach etlichen Jahren – die Datenlage endlich ausreichend umfangreich ist, gibt es meist kein Prognosepro-

⁴⁷⁷ Vgl. Frank M. Bass: A New Product Growth Model for Consumer Durables, 1969, Tabelle 3 auf S. 222.

⁴⁷⁸ Vgl. Michael R. Hyman: The Timeliness Problem in Application of Bass-Type New Product-Growth Models to Durable Sales Forecasting, 1988, S. 31.

⁴⁷⁹ Siehe Roger M. Heeler/Thomas P. Hustad: Problems in Predicting New Product Growth for Consumer Durables, 1980, S. 1013 ff.

blem mehr: Die Diffusion ist so weit fortgeschritten, dass eine weitere Vorhersage entweder nicht mehr sinnvoll erscheint, oder die Anwendung des Modells daran scheitert, dass dann einige der Grundannahmen des Modells nicht mehr plausibel sind.⁴⁸⁰ Vor diesem Hintergrund ist „parameter estimation for diffusion models ... of primarily historical interest; by the time sufficient observations have developed for reliable estimation, it is too late to use the estimates for forecasting purposes.“⁴⁸¹

Der Versuch, die Anwendungsprobleme regressionsbasierter Schätzverfahren zu umgehen, indem man sich auf Analogie- oder Expertenschätzungen für die Parameter α und β zurückzieht, ist ebenfalls nicht ohne Schwierigkeiten.⁴⁸² Für eine Analogieschätzung muss ein älteres Produkt existieren, das mit der neu im Markt zu platzierenden Innovation vergleichbar ist. Zudem dürfen sich die Determinanten des Diffusionsprozesses nicht in größerem Umfang verändert haben, weil sonst die Korrektur der Modellparameter als nur schwer zu lösende Aufgabe hinzukommt. Mit der unmittelbaren Schätzung der Parameter α und β wird andererseits auch ein Experte seine Schwierigkeiten haben; denn es ist kaum zu bestreiten, dass sich Erfahrungswerte und Kenntnisse des Managements etwa über die Innovationsbereitschaft in einem bestimmten Markt nur schwer in konkrete Werte für die wenig intuitiven Koeffizienten α und β umsetzen lassen. Mahajan/Sharma wollen dem Fachmann die Aufgabe dadurch vereinfachen, dass sie nicht nach α und β direkt fragen, sondern die Größe des Marktpotenzials, den Zeitpunkt sowie die Höhe der maximalen Absatzmenge schätzen lassen.⁴⁸³ Damit ein Experte dazu aber in der Lage ist, muss er über eine schon ziemlich konkrete Vorstellung des Diffusionsprozesses verfügen, und es stellt sich die Frage, wozu ein Diffusionsmodell dann überhaupt noch hilfreich ist. Der Experte könnte auf der Basis seiner fundierten Kenntnisse und Erfahrungen den Diffusionsverlauf vermutlich ebenso gut direkt abschätzen, so dass der Einsatz eines mathematischen Modells keine Erleichterung mehr bedeutet.

Bei einem großen Teil der Fragen, die im Zusammenhang mit Diffusionsprozessen gestellt werden, stößt das sehr einfach strukturierte und aggregierte Bass-Modell nicht nur an die Grenzen seiner Prognosekraft, sondern auch an die

⁴⁸⁰ Die Voraussetzung, dass Ersatznachfrage vernachlässigt werden kann, ist beispielsweise in den späten Phasen des Diffusionsprozesses nicht mehr plausibel.

⁴⁸¹ Vijay Mahajan/Eitan Muller/Frank M. Bass: *New Product Diffusion Models in Marketing*, 1990, S. 9.

⁴⁸² Siehe auch die Ausführungen von Richard Klophaus: *Anwendungsprobleme bei der Diffusionsprognose und -steuerung*, 1995, S. 93 ff.

⁴⁸³ Vgl. Vijay Mahajan/Subash Sharma: *Simple Algebraic Estimation Procedure for Innovation Diffusion Models of New Product Acceptance*, 1986, S. 333.

seines Erklärungspotenzials.⁴⁸⁴ Die Antwort auf die Frage nach dem Motiv der Nachfrager für den Erwerb der Innovation fällt mit der Erklärung, dass ein kleinerer Teil externer Beeinflussung – etwa durch die Medien – nachgibt und das Produkt vielleicht aus Neugier oder als Statussymbol anschafft, und der überwiegende Teil kauft, weil andere vor ihnen gekauft haben und sich dadurch ein sozialer Adoptionsdruck aufbaut, eher unbefriedigend aus. Die theoretischen Erkenntnisse der Konsumenten- und Kaufverhaltensforschung, der mikroökonomischen Haushaltstheorie ebenso wie die des Marketing bleiben unberücksichtigt. Welche Bedeutung die Werbung, die Preise der Güter oder ihre Qualität für den Verbreitungsprozess haben, und warum das so ist, kann das Bass-Modell nicht beantworten. Die Verbreitung neuer Produkte nimmt vor diesem Hintergrund einen quasi naturgesetzlichen Charakter an.⁴⁸⁵ Das Management muss „nur“ die Parameter und Koeffizienten schätzen, um den zu erwartenden Zyklus richtig vorhersagen zu können; beeinflussen kann es ihn nicht: Im Bass-Modell gibt es keine „Stellschrauben“ wie Preis, Werbung, Produkttechnologie usw., über die das Management den Absatz steuern kann. Und selbst dann, wenn solche Parameter in erweiterte Diffusionsmodelle integriert sind, bleibt die Quantifikation der Wirkungsbeziehungen ein ernstes Problem: Ohne mikroökonomische Fundierung bleibt unklar, wie beispielsweise Marketinginstrumente auf den Adoptionsprozess heterogener Konsumenten wirken

Ein aggregiertes Makromodell wie das von Bass ist nur sehr bedingt geeignet, den realiter sehr komplexen Prozess der Verbreitung neuer Produkte in einem sozialen System zu erklären und als Instrument zur Gestaltung von Handlungsempfehlungen zu fungieren. Tiefergehende Erkenntnisse der Marktvorgänge mit ihren Auswirkungen auf den Diffusionsverlauf lassen sich aus einer Makro-Sichtweise nicht ableiten.⁴⁸⁶ Es ist daher zweifelhaft, ob eine Handlungsempfehlung für den Anbieter eines neuen Konsumgutes von praktisch-normativem Wert sein kann, wenn diese auf der Basis eines aggregierten, nicht mikroökonomisch fundierten Diffusionsmodells gegeben wird.⁴⁸⁷ Der Einsatz des Bass-Modells als Instrument zur Entwicklung praktisch-normativer Gestaltungsempfehlungen ist aus diesen Gründen zumindest fragwürdig.

Die Anwendungsprobleme herkömmlicher Diffusionsmodelle geben Anlass zu einer methodischen Neuorientierung. In der Literatur werden daher verstärkt

⁴⁸⁴ Vgl. auch Helmut Schmalen: Modelle der absatzwirtschaftlichen Diffusionsforschung, 1987, S. 18 ff.

⁴⁸⁵ Siehe Peter Milling: Diffusionstheorie und Innovationsmanagement, 1986, S. 49.

⁴⁸⁶ Siehe zu dieser Problematik auch Glen L. Urban: Sprinter Mod III, 1969, S. 806 ff.

⁴⁸⁷ Diese Auffassung teilt Richard Klophaus: Anwendungsprobleme bei der Diffusionsprognose und -steuerung, 1995, S. 95.

mikroökonomisch fundierte Diffusionsmodelle diskutiert.⁴⁸⁸ Das Verlassen der Makroebene, das Aufbrechen des homogenen, anonymen Käuferpotenzials traditioneller Modelle in individuelle Konsumenten als agierende Einheiten verspricht, eine Reihe von Schwierigkeiten zu überwinden, die sich beim Einsatz traditioneller Lösungen auftun. Die zu treffenden Annahmen sind weniger problematisch und die Modellierung orientiert sich mehr an der Struktur der Realität.

Mit der Individualisierung des bei Bass homogenen Käuferpotenzials wird der einzelne Konsument mit seinem individuellen Adoptionsprozess in den Mittelpunkt gerückt. Kommunikationsverhalten, Entscheidungsprozess und Kaufakt des *einzelnen, individuellen* Konsumenten können im Detail abgebildet werden. Die Vorgänge der Nachrichtenübermittlung und werblichen Beeinflussung sind explizit als solche modellierbar, so dass es vermieden werden kann, diese in eine mathematische Formel hineinzuiinterpretieren. Auch die Tatsache, dass ein potenzieller Käufer Zeit braucht, um die auf ihn einströmenden Informationen zu verarbeiten, dass er eine nur begrenzte Informationsaufnahme- und verarbeitungskapazität besitzt und dass er sich bei seiner Entscheidung an Faktoren wie Preis, Qualität, technische Leistungsfähigkeit, Verfügbarkeit usw. orientiert, kann in ein mikroanalytisches Diffusionsmodell Eingang finden.

Der entscheidende Vorteil mikroanalytischer Modellierung liegt in der sehr weit reichenden Strukturähnlichkeit zwischen Modell und Realität. Weil die Kommunikation zwischen Nutzern und Interessenten eine für die Verbreitung neuer Produkte essenzielle Rolle spielt, wird im folgenden Abschnitt E.II. zunächst ein objektorientiertes Modell räumlicher Informationsdiffusion entwickelt, das dann in Abschnitt E.III. zu einem mikroanalytischen Konsumgüterdiffusionsmodell ausgebaut wird.

II. Ein objektorientiertes, räumliches Mikromodell der Ausbreitung von neuen Informationen

Die wohl wichtigste Rolle bei der Verbreitung von Informationen in einer Gesellschaft oder Gebietsgemeinschaft spielt der Mensch. Er ist Träger, Übermittler und Empfänger einer Information. Und er ist Gradmesser dafür, wie weit die Verbreitung einer Information in zeitlicher wie räumlicher Hinsicht vorangeschritten ist. Ein Modell, das sich der möglichst realitätsähnlichen Abbildung

⁴⁸⁸ Siehe etwa Rabikar Chatterjee/Jehoshua. Eliashberg: The Innovation Diffusion Process in a Heterogeneous Population, 1990, S. 1057–1079; John H. Roberts/Glen L. Urban: Modeling Multiattribute Utility, Risk, and Belief Dynamics for New Consumer Durable Brand Choice, 1988, S. 167–185.

von Informationsdiffusionsprozessen und darum der mikroanalytischen Modellierung verpflichtet sieht, kommt nicht umhin, die Diffusion einer Information als Aggregat vieler einzelner Kommunikationsakte zu betrachten und den individuellen Menschen mit all seinen relevanten Eigenschaften und Funktionen als treibende Kraft des Prozesses in die Modellierung einzubeziehen. Ziel muss sein, eine künstliche Gesellschaft intelligenter Akteure zu entwerfen.

Mit der Verteilten Künstlichen Intelligenz gibt es ein Arbeits- und Forschungsgebiet, welches sich mit der Allokation von Intelligenz auf eine Agentengesellschaft befasst. Auch wenn die Verteilte Künstliche Intelligenz ihren Kinderschuhen sicherlich noch nicht ganz entwachsen ist, können die bereits vorhandenen Erkenntnisse die Entwicklung eines Diffusionsmodells auf der Basis intelligenter Akteure befruchten, so dass sich Abschnitt E.II.1. zunächst mit den Grundgedanken des Konzeptes intelligenter Agenten befasst.

1. Das Konzept intelligenter Agenten

Der Begriff des intelligenten Agenten findet sich erst seit Anfang der neunziger Jahre in der deutschsprachigen Literatur.⁴⁸⁹ Die Idee, die sich dahinter verbirgt, ist jedoch weitaus älter. Es ist in vielen Bereichen zu beobachten, dass sich ein bestimmtes Verhalten auf der Makroebene aus der Aggregation vieler Mikroverhaltensweisen ergibt. In einer Volkswirtschaft beispielsweise beruhen gesamtwirtschaftliche Phänomene, wie sie etwa im Rahmen der Makroökonomie betrachtet werden, auf einer Vielzahl von konsumenten- und unternehmensindividuellen Entscheidungen. Erst mit den heute verfügbaren leistungsstarken Computern wird es zunehmend möglich, auch Modelle zu konzipieren, die ein global beobachtbares Verhalten aus den individuellen Eigenschaften intelligenter Agenten und ihren Interaktionen herleiten. Der Begriff *intelligente Agenten* ist daher eng verbunden mit der disaggregierten Modellierung soziotechnischer und sozioökonomischer Systeme, bei denen insbesondere Menschen in großer Zahl zusammenarbeiten. Aus diesem Grund repräsentieren in vielen Fällen intelligente Agenten Menschen. Es gibt aber auch Situationen, in denen Tiere oder Maschinen als intelligente Agenten betrachtet werden können. Nicht immer muss außerdem ein intelligenter Agent ein einzelnes Individuum sein; auch Teams, Abteilungen oder ganze Unternehmen lassen sich als intelligente Agenten modellieren.⁴⁹⁰

⁴⁸⁹ Vgl. Jürgen Müller (Hrsg.): Verteilte Künstliche Intelligenz, 1993. Im englischen Sprachraum ist der Begriff „Distributed Artificial Intelligence“ seit etwa Ende der 80er Jahre gebräuchlich.

⁴⁹⁰ Vgl. Kurt Sundermeyer: Modellierung von Agentensystemen, 1993, S. 23.

Im Allgemeinen werden intelligenten Agenten eine Reihe von besonderen Eigenschaften zugeschrieben, deren bedeutendste nachfolgend zusammengestellt sind.⁴⁹¹

- Intelligente Agenten zeichnen sich durch ein eigenständiges Verhalten aus, das endogen wie exogen veranlasst sein kann. Endogen generiertes Verhalten ist eigendynamisch, d. h. es kommt zustande, ohne dass es externer Stimuli bedarf. Exogen verursachtes Verhalten stellt demgegenüber eine Reaktion auf die Inputs dar, die aus der Umwelt auf den intelligenten Agenten einwirken.
- Jeder intelligente Agent verfügt über eine ihm eigene Vorstellung der externen, ihn umgebenden Welt. Sie beschreibt – praktisch immer unvollständig, nie 100 % richtig –, wie der intelligente Agent die Welt sieht. Dieses Weltbild intelligenter Agenten soll als ihr Mentalmodell bezeichnet werden. Bei den wirklich intelligenten Agenten ist das mentale Modell keine Konstante. In diesem Fall besteht dann nicht nur das Potenzial zum Single-Loop-Learning, sondern darüber hinaus auch die Fähigkeit zum Double-Loop-Lernen.⁴⁹²
- Intelligente Agenten sind zur Kommunikation und Kooperation fähig. Sie können mit der Umwelt und mit anderen intelligenten Agenten Informationen austauschen.
- Viele intelligente Agenten zeichnen sich darüber hinaus durch die Fähigkeit zu räumlicher Beweglichkeit aus. Andererseits gibt es auch Agenten, denen diese Eigenschaft nicht zukommt und die dennoch als intelligent zu bezeichnen wären. Die räumliche Beweglichkeit ist daher zu den zwar häufigen, aber nicht notwendigen Eigenschaften intelligenter Agenten zu zählen.

Die interne Struktur eines intelligenten Agenten besteht somit aus den konstitutiven Komponenten Wahrnehmung, Mentalmodell und Verhalten. Abbildung 69 zeigt deren Zusammenspiel in der Übersicht.

Wenn intelligente Agenten mit anderen intelligenten Agenten und ihrer Umwelt interagieren können sollen, muss eine Wahrnehmungsschnittstelle modelliert sein. Mit der Komponente *Wahrnehmung* kann ein intelligenter Agent Informationen von außen empfangen. Um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass Wahrnehmen eher ein Interpretieren als ein schlichtes Aufnehmen von Infor-

⁴⁹¹ Siehe beispielsweise Bernd Schmidt: Intelligente Agenten und objektorientierte Modellspezifikation, 1996, S. 449 ff. oder Kurt Sundermeyer: Modellierung von Agentensystemen, 1993, S. 25.

⁴⁹² Vgl. dazu Chris Argyris/Donald Schoen: Organizational Learning II, 1996, S. 20 ff. oder Peter Milling: Organisationales Lernen und seine Unterstützung durch Managementsimulatoren, S. 96 ff.

mationen ist, kann mit der Wahrnehmung eine Modifikation oder Filterung der eingehenden Nachrichten verbunden werden. Auf diese Weise wird es möglich, Informationsverfälschungen und selektive Informationsaufnahmen zu modellieren.

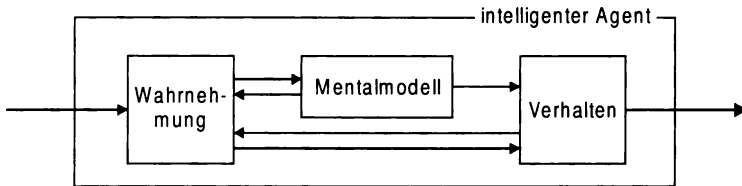


Abbildung 69: Basisstruktur eines intelligenten Agenten⁴⁹³

Die Komponente *Mentalmodell* umfasst das Weltbild, das ein intelligenter Agent von seiner Umwelt hat. Da nicht nur Menschen intelligente Agenten sein können, ist der Begriff des mentalen Modells in diesem Zusammenhang so weit zu fassen, dass er beispielsweise auch das Gedächtnis eines Roboters und die dort einprogrammierten Regeln einschließt. Der Doppelpfeil zwischen den Komponenten Wahrnehmung und Mentalmodell in Abbildung 69 drückt eine wechselseitige Beeinflussung aus. Wahrnehmungen können einerseits Änderungen des Mentalmodells nach sich ziehen, und andererseits geschieht Wahrnehmen immer im Lichte von mentalen Modellen. Besonders dieser zweite Punkt ist von großer Bedeutung; denn es wird gern übersehen, dass die Wahrnehmung nicht voraussetzungslos ist: Wahrnehmen passiert nicht einfach so, ohne dass der Wahrnehmende etwas dazu beiträgt, sondern Wahrnehmung wird gemacht.⁴⁹⁴ Diesen Sachverhalt bringt der Pfeil zum Ausdruck, der die Komponente Mentalmodell mit der Komponenten Wahrnehmung verbindet.

Das Verhalten eines intelligenten Agenten ist in der Komponente *Verhalten* beschrieben. Dabei sind drei grundlegende Verhaltensweisen zu berücksichtigen:

(1) das autonome Eigenverhalten

Bestimmte Verhaltensweisen erfolgen gänzlich unabhängig von äußeren Stimuli. So unterliegt beispielsweise jedes Lebewesen einem stetigen Alterungsprozess, ohne dass es dazu eines exogenen Inputs bedarf.

⁴⁹³ In Anlehnung an Bernd Schmidt: Intelligente Agenten und objektorientierte Modellspezifikation, 1996, S. 451.

⁴⁹⁴ Siehe dazu auch Karl R. Popper: Objektive Erkenntnis, 1994, S. 356.

(2) das reaktive Verhalten

Viele Verhaltensweisen sind Reaktionen auf Aktionen von außen. Dabei kann es sich sowohl um bewußt gesteuertes Verhalten handeln, welches auf Veränderungen des mentalen Modells zurückzuführen ist, als auch um reflexartige Reaktionen, die spontan von bestimmten Wahrnehmungen ausgelöst werden.

(3) das gestalterische, zielorientierte Handeln

Das gestalterische Handeln orientiert sich an Zielen, die selbst gesetzt oder von außen vorgegeben sind. Es werden Aktionen ergriffen, die auf der Basis des mentalen Modells eine Verbesserung der Zielerreichung versprechen. Das gestalterische, zielorientierte Verhalten hat ein schöpferisches Element und ist die am schwierigsten zu modellierende Verhaltensart.

Als ein zentrales Merkmal intelligenter Agenten wurde die Möglichkeit zur Interaktion angeführt. Damit es eine Kommunikation zwischen zwei intelligenten Agenten geben kann, muss eine Beziehung zwischen ihnen etabliert sein. Für die Modellierung dieser Beziehungen stehen zwei grundsätzliche Möglichkeiten bereit, die Abbildung 70 gegenüberstellt.⁴⁹⁵

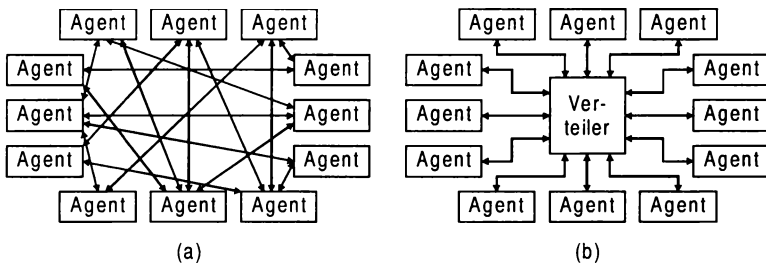


Abbildung 70: Modellierungsalternativen für die Interaktion zwischen intelligenten Agenten

Zum einen kann natürlich jede paarweise Interaktion isoliert modelliert werden. Wie aus Abbildung 70 (a) jedoch ersichtlich wird, führt diese Art der Interaktionsmodellierung schnell zu komplizierten, unübersichtlichen Strukturen. Selbst dann, wenn nicht alle der potenziell möglichen Austauschwege genutzt werden, ist es besser, einen zentralen Verteiler einzuschalten, der den Informationsaustausch zwischen den intelligenten Agenten vornimmt. Zwar wird dadurch die Strukturähnlichkeit zwischen Realität und Modell etwas vermindert,

⁴⁹⁵ Vgl. Bernd Schmidt: Intelligente Agenten und objektorientierte Modellspezifikation, 1996, S. 452.

was durch die bessere Übersichtlichkeit und Nachvollziehbarkeit jedoch wieder wettgemacht werden kann.

2. Informationsdiffusion durch Kommunikation zwischen intelligenten Agenten

Die Verbreitung einer Neuigkeit kann als Vorgang charakterisiert werden, der sich in Raum und Zeit abspielt und durch Kommunikationsakte vorangetrieben wird. In der Literatur finden sich nur wenige Modelle, welche die räumliche Dimension der Diffusion explizit berücksichtigen; die meisten konzentrieren sich auf den zeitlichen Ablauf des Verbreitungsprozesses. Eine Ausnahme bilden das Modell von Hägerstrand und die darauf aufbauenden Modelle von Wolpert und Karlsson.⁴⁹⁶

Die erste Version eines objektorientierten Diffusionsmodells wird stark abstrahiert sein und nur die drei wesentlichen Faktoren Menschen, Raum und Zeit berücksichtigen. Die Menschen werden als intelligente Agenten gesehen, wobei jedoch im ersten Schritt nicht alle der im vorangehenden Abschnitt beschriebenen Komponenten modelliert werden. Zwei Eigenschaften sind für den Prozess der Informationsdiffusion von besonderer Relevanz und aus diesem Grund unverzichtbar: Ein intelligenter Agent befindet sich zu jedem Zeitpunkt an einer bestimmten Stelle im Raum, und er hat die neue Information oder er hat sie nicht. Der Raum, in dem sich die Nachricht verbreiten kann, wird vereinfacht als rechteckige Fläche modelliert. Über diese Fläche wird – wie über die Erde ein Netz von Längen- und Breitengraden – zur besseren Orientierung ein Koordinatensystem gelegt, so dass sich viele kleine Rechtecke ergeben.⁴⁹⁷ Die Position jedes Menschen auf dieser Ebene kann dann über eine X- und eine Y-Koordinate exakt festgelegt werden.⁴⁹⁸

Für die erste einfache Version des Diffusionsmodells werden die Menschen mit nur zwei elementaren Verhaltensweisen ausgestattet: Sie können sich in der

⁴⁹⁶ Siehe Torsten Hägerstrand: A Monte Carlo Approach to Diffusion, 1965; Julian Wolpert: A Regional Simulation Model of Information Diffusion, 1966; Georg Karlsson: Ein mathematisches Modell der Nachrichtenverbreitung, 1967.

⁴⁹⁷ Hägerstrand und Wolpert verwenden Quadrate für eine Unterteilung der Fläche. Siehe Torsten Hägerstrand: A Monte Carlo Approach to Diffusion, 1965, S. 51 ff.; Julian Wolpert: A Regional Simulation Model of Information Diffusion, 1966, S. 600.

⁴⁹⁸ Dabei kann die (X, Y)-Angabe sowohl als Schnittpunkt zweier Koordinatenachsen als auch als Identifikation einer Rechteckfläche aufgefasst werden. In der ersten Interpretation bewegen sich die intelligenten Agenten gleichsam auf einem Gitter, wohingegen sie nach der zweiten Interpretation von Fläche zu Fläche springen. Abbildung 71 positioniert die Agenten in die Mitte rechteckiger Flächenstücke und gibt damit der zweiten Variante den Vorzug.

Ebene bewegen und mit anderen Menschen Informationen austauschen, wenn sie sich treffen. Die Bewegung erfolgt nach Richtung und Ausmaß zufallssteuert, wobei angenommen ist, dass im Rahmen eines Bewegungsvorgangs nur maximal je ein Schritt in X- und Y-Richtung vollzogen werden kann. Die modellierten Menschen können also entweder auf eines der angrenzenden Felder springen oder unverändert an ihrem Ort bleiben, so dass nach einem Bewegungsvorgang eine von maximal neun möglichen neuen Positionen besetzt sein wird (vgl. Abbildung 71). Befindet sich eine Person auf einem Feld am Rand der Fläche, ist die Bewegungsmöglichkeit entsprechend eingeschränkt, denn sie kann sich nicht über die Begrenzung hinausbewegen.

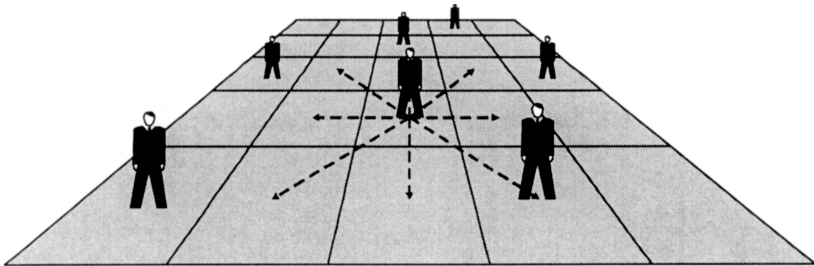


Abbildung 71: Positionierung und Bewegung von Menschen in der Ebene

Der Nachrichtentransfer erfolgt ohne weitere Einschränkung immer dann, wenn zwei Menschen sich ausreichend nahe kommen, um miteinander kommunizieren zu können. Wenn das Diffusionsgebiet fein genug segmentiert ist, wird die Kommunikation zwischen zwei Personen nicht nur bei exakt übereinstimmender Position, sondern auch dann möglich sein, wenn sie sich auf benachbarten Feldern befinden. Eine Nachrichtenübertragung erfolgt unter der Voraussetzung, dass Informationsasymmetrie besteht, d. h. dass eine Person die Nachricht schon kennt, die andere jedoch noch nicht. Treffen zwei Personen aufeinander, die entweder beide schon informiert sind oder beide noch nichts von der Neuigkeit vernommen haben, passiert nichts.

Die Annahme eines ausschließlich vom Zusammentreffen abhängigen Nachrichtenübergangs ist natürlich sehr rigide und wirklichkeitsfremd. Denn damit ist vorausgesetzt, dass die Menschen gleichermaßen unendlich mitteilungsbedürftig wie neugierig sind. Sie erzählen alles weiter, was sie an Neuem erfahren, und sie glauben alles, was sie hören. Auch die Möglichkeit der Verfälschung von Nachrichten ist in der ersten Modellversion noch nicht berücksichtigt. In Erweiterung des Modells lassen sich diese Restriktionen allerdings ohne ernsthafte Schwierigkeiten lockern.

Abbildung 72 zeigt ein objektorientiertes Modell der statischen Grundstruktur des skizzierten Diffusionsmodells. Weil nicht nur die zeitliche, sondern auch die räumliche Verbreitung einer Information simuliert werden soll, wird als Gegenstand der Simulation das Diffusionsgebiet festgelegt und von der abstrakten Simulationsklasse *Simulation* abgeleitet. Ein Diffusionsgebiet ist insbesondere durch eine räumliche Ausdehnung und eine für den konkreten Fall festzulegende Anzahl von Menschen gekennzeichnet, die dieses Gebiet bevölkern. Dabei kann prinzipiell in jedem beliebigen Zeitpunkt ermittelt werden, wie groß die Zahl der Menschen ist, die informiert sind, und wie viele noch nichts von der Neuigkeit wissen. Um diese Werte speichern zu können, verfügt die Klasse *Diffusionsgebiet* über die beiden Attribute *„AnzahlInformierte“* und *„AnzahlNichtInformierte“*. Dass das betrachtete und simulierte Gebiet von einer bestimmten Anzahl Menschen bevölkert wird, ist durch Aggregationsstruktur in Abbildung 72 zwischen *Diffusionsgebiet* und *Mensch* zum Ausdruck gebracht.

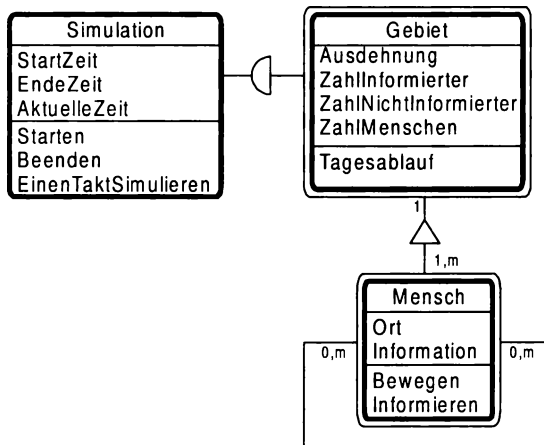


Abbildung 72: Basisstruktur eines objektorientierten Informationsdiffusionsmodells

Unter dem Gesichtspunkt des Informationsstandes kann ein individueller Mensch zwei Zustände einnehmen: informiert oder nicht-informiert (siehe Abbildung 73). Es hängt von der Parametrisierung der Ausgangssituation ab, wie viele Menschen sich zu Beginn der Simulation im einen und wie viele im anderen Zustand befinden. Während der Simulation – so die Annahme – kann es nur zu einem möglichen Zustandsübergang kommen: Unter der Voraussetzung, dass

- (1) mindestens zwei Menschen geographisch aufeinander treffen und
- (2) einer die neue Information hat und

(3) der andere nicht,

informiert der Wissende den Unwissenden, und die Diffusion der Nachricht schreitet voran.

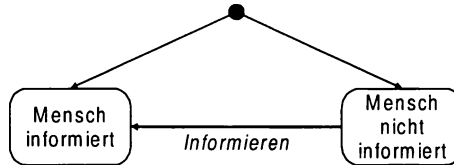


Abbildung 73: Zustandsübergangsdiagramm für die Klasse Mensch

Was in dem simulierten Diffusionsgebiet während eines Simulationstaktes vor sich geht, ist in der Methode `Run1TimeStep` beschrieben:

```

procedure TSimulationDiffusionsgebiet.Run1TimeStep;
var
  aMensch1,
  aMensch2 : TMensch;
  z1, z2 : integer;
begin
  //Menschen bewegen sich
  For z1 := 1 to Populationsgroesse499 do
  begin
    aMensch1 := Population[z1-1];
    aMensch1.Bewegen(X_Ausdehnung, Y_Ausdehnung);
  end;
  //Menschen kommunizieren miteinander
  For z1 := 1 to Populationsgroesse do
  begin
    aMensch1 := Population[z1-1];
    For z2 := (z1 + 1) to Populationsgroesse do
    begin
      aMensch2 := Population[z2-1];
      aMensch1.Informieren(aMensch2);
    end;
  end;
  //Simulationsuhr vorstellen
  IncAktuelleZeit;
end;
  
```

Aus dem wiedergegebenen Programmcode wird ersichtlich, dass sich während eines Simulationsschritts dreierlei vollzieht: Zunächst werden alle Personen veranlasst, sich zu bewegen; dann erfolgen Kommunikation und Informationsaustausch und abschließend wird die Simulationsuhr einen Takt weitergeschaltet.

⁴⁹⁹ Die Variable *Populationsgroesse* ist ein Hilfsattribut, das die Anzahl der Menschen, die sich im Diffusionsgebiet bewegen, speichert.

Um das Modell zu simulieren, muss im Hauptprogramm ein Exemplar der Klasse Diffusionsgebiet erzeugt und initialisiert werden. Bei der Initialisierung werden die Objektparameter und Anfangszustände übergeben. Die Methode Run simuliert das Zeitverhalten für die Spanne zwischen Anfangs- und Endzeit. Mit der Prozedur Destroy wird die Simulation abgeschlossen und der belegte Speicher freigegeben.

```
Var
  aDiffusionsgebiet : TDiffusionsgebiet;

begin
  aDiffusionsgebiet := TDiffusionsgebiet.Create;
  with Diffusionsgebiet do
    begin
      Initialize({Hier sind die Parameter zu übergeben!});
      Run;
      Destroy;
    end;
  end;
```

Um verschiedene Simulationsläufe durchführen zu können, ohne jedes Mal neu compilieren zu müssen, und außerdem Ergebnis und Verlauf der Simulation betrachten zu können, wurde für das beschriebene mikroanalytische Informationsdiffusionsmodell eine einfache Bedienungs Oberfläche entwickelt. Die Symbole der Steuerungsleiste und die Statuszeile zeigt Abbildung 74.

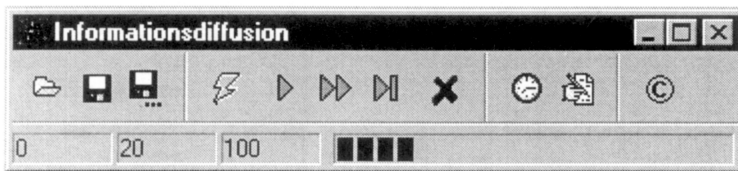


Abbildung 74: Bedienungs Oberfläche zur Steuerung der Simulation

Von links nach rechts betrachtet, dienen die ersten drei Schaltflächen dazu, einen Parametersatz zu öffnen sowie diesen unter dem aktuellen oder unter einem neuen Namen zu speichern. Damit ist es sehr einfach, eine Simulation zu reproduzieren. Die folgenden fünf Schaltflächen sind dazu da, eine neue Simulation zu initialisieren, einen Simulationstakt, zehn Takte oder alle Takte von Anfang bis Ende zu simulieren sowie die Simulation abzuschließen. Die Schaltflächen neun und zehn rufen die in Abbildung 75 gezeigten Registerdialoge auf, mit denen sich das Modell parametrisieren lässt.

In der Statuszeile werden Startzeitpunkt, aktuelle Simulationszeit und Ende der Simulation angegeben. Ein Fortschrittsbalken visualisiert außerdem den zeitlichen Ablauf.

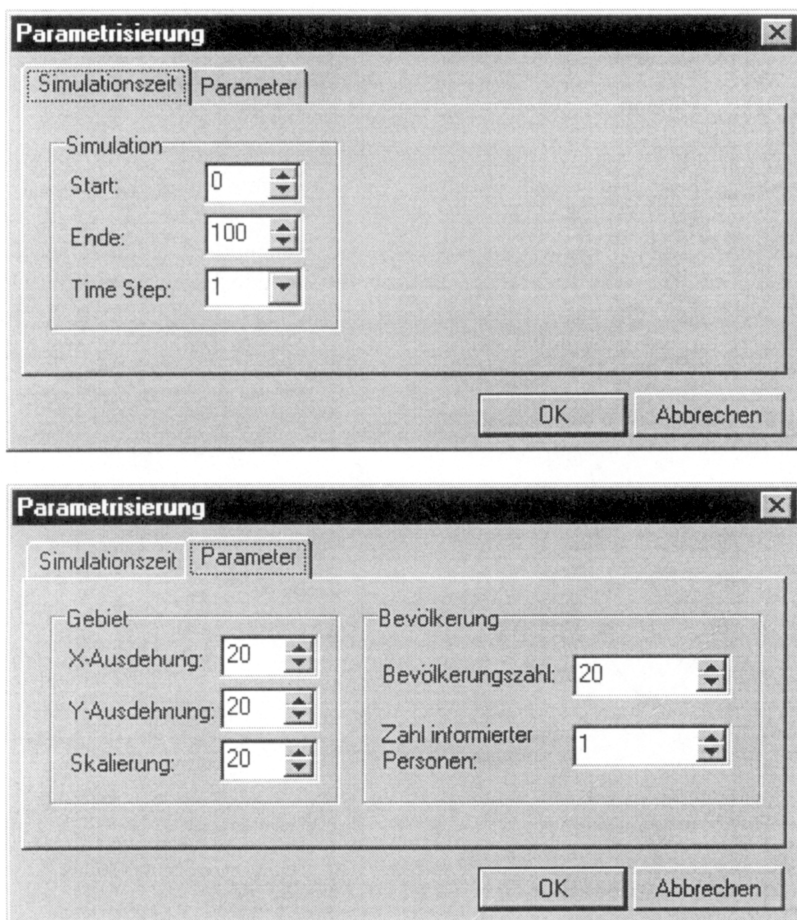


Abbildung 75: Registerdialoge für die Modellparametrisierung

Das Registerblatt Simulationszeit erlaubt die Einstellung von Start, Ende und Schrittweite. Im Parameterdialog wird die Ausdehnung des rechteckigen, simulierten Gebietes bestimmt, indem für die X- und für die Y-Richtung jeweils ein Wert festgelegt wird. Die Variable Skalierung ist keine Größe, die den Diffusionsprozess beeinflusst. Sie bestimmt lediglich, wie groß das Diffusionsgebiet auf dem Bildschirm dargestellt wird. Einfluss auf den Diffusionsverlauf nehmen allerdings die beiden noch verbliebenen Größen: Die Bevölkerungszahl gibt an, wie viele Personen in dem simulierten Diffusionsgebiet leben, und mit dem letzten Editierfeld kann festgelegt werden, wie groß die Zahl der zum Startzeitpunkt bereits informierten Menschen ist.

Die Ausgabe der Simulationsergebnisse erfolgt sowohl zeit- als auch raumbezogen. Der zeitliche Ablauf der Diffusion wird als Liniengrafik – ähnlich der in Abbildung 68 gezeigten – dargestellt. Bei einer Liniengrafik steht die Visualisierung der numerischen Veränderung der Zustandsgrößen im Vordergrund.

Die räumliche Verbreitung der neuen Information wird in einem eigenen Fenster animiert. Transparente Kästchen mit schwarzem Rahmen symbolisieren dabei die noch nicht informierten Personen; schwarz gefüllte Quadrate weisen auf die Träger der Nachricht hin. Diejenigen Personen, die während eines Zeitakts als Sender oder Empfänger in eine Informationsübertragung involviert sind, werden durch mittelgraue Kästchen hervorgehoben. Abbildung 76 zeigt die Bildschirmausgabe für die räumliche Ausbreitung einer neuen Information.

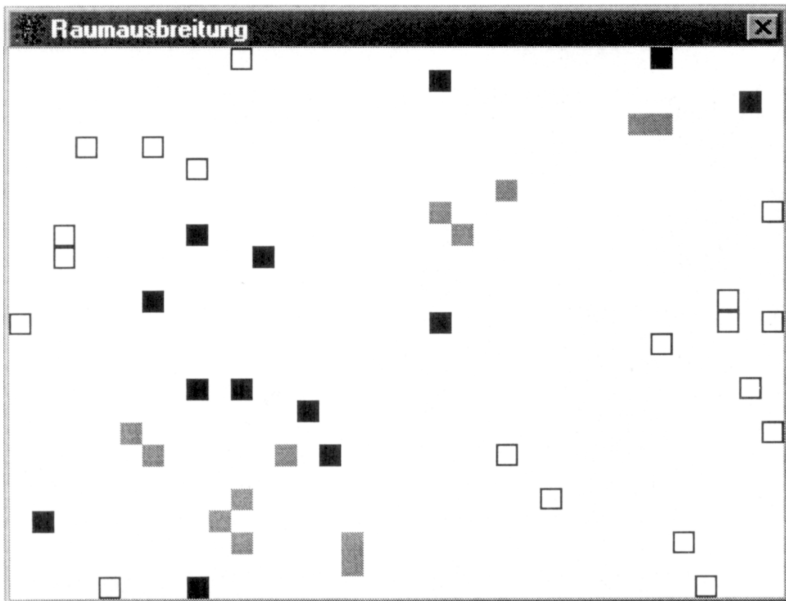


Abbildung 76: Ausgabe und Animation der räumlichen Diffusion

3. Räumlicher und zeitlicher Diffusionsverlauf – ein Vergleich von Mikro- und Makromodellen

Um zu ermitteln, wie sich die Verbreitung einer neuen Information auf der Basis des in Abschnitt E.II.2. beschriebenen mikroanalytischen Modells in Raum und Zeit vollzieht, wird ein virtuelles Diffusionsgebiet unterstellt und

simuliert. Das Gebiet erstreckt sich jeweils 75 Felder in X- und Y-Richtung. Es ist mit 250 Personen bevölkert, von denen sich zu Beginn der Simulation lediglich eine im Besitz der neuen Information befindet.

Abbildung 77 zeigt, wie sich die informierten und nicht informierten Personen im Raum verteilen und wie sich ihre Verteilung im Zeitablauf verändert. Zwischen den einzelnen Momentaufnahmen liegen dabei jeweils 100 Simulationstakte.

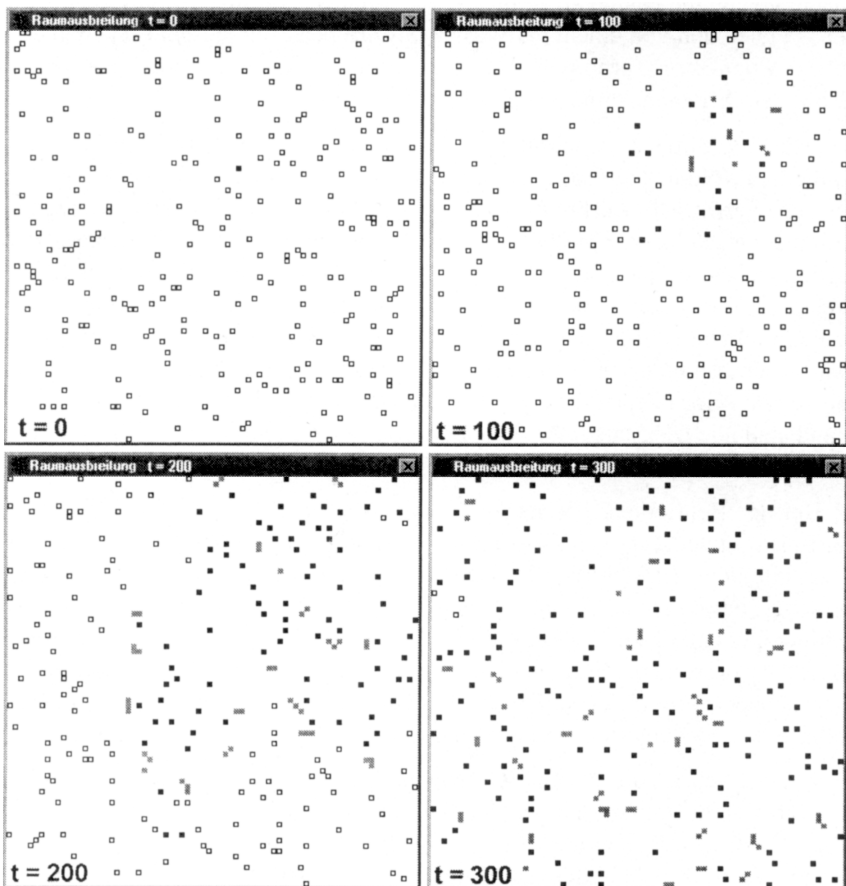


Abbildung 77: Die räumliche Verbreitung der Neuigkeit im Diffusionsgebiet

Vor dem Hintergrund der in das Modell eingegangenen Annahmen ist es nicht überraschend, dass zunächst diejenigen Personen die Neuigkeit erfahren, die dem Informationsträger am nächsten sind. Telefon, Fax, E-Mail oder andere

Kommunikationsmöglichkeiten, mit denen der Raum überbrückt werden kann, sind nicht modelliert. Die Information kann somit nur bei persönlichem Kontakt übertragen werden, und dieser ereignet sich bei Menschen, die sich in geringer räumlicher Distanz zueinander bewegen, naturgemäß mit größerer Wahrscheinlichkeit. Die sich aufdrängende Vermutung, dass sich die Neuigkeit, ausgehend vom ersten Informationsträger, ziemlich gleichförmig in alle Richtungen ausbreiten wird, kann Abbildung 77 jedoch nicht uneingeschränkt bestätigen. Die Bevölkerungsdichte ist nicht hoch und die Populationsverteilung nicht gleichmäßig genug; die Neuigkeit kann sich daher nur schwer in konzentrischen Kreisen – gleich den von einem ins Wasser geworfenen Stein ausgelösten Wellen – in der Population verbreiten. Der Zufall spielt – insbesondere in der ersten Phase der Diffusion – eine zu gewichtige Rolle.

Nach 100 Simulationsschritten hat sich in dem in Abbildung 77 dargestellten Fall eine „Kolonie“ informierter Personen im rechten oberen Viertel des Gebietes versammelt. Die Ausbreitung zur Mitte hin ist noch nicht sehr weit vorangekommen. Nach insgesamt 200 Takten hat sich das Bild deutlich verändert. Jetzt ist ungefähr die Hälfte der in dem Gebiet lebenden Personen informiert. Die Neuigkeit findet nun auch zunehmend im mittleren Bereich und im linken unteren Viertel Aufnahme. Dennoch dominiert nach wie vor der rechte obere Quadrant. Nach weiteren 100 Simulationstakten ist die räumliche Informationsdiffusion praktisch vollständig abgeschlossen. Bis auf drei Ausnahmen am linken Rand sind alle Menschen des simulierten Gebietes über die Neuigkeit in Kenntnis gesetzt.

Bei der Beurteilung des in Abbildung 77 gezeigten Verbreitungsprozesses darf nicht außer Acht gelassen werden, dass ihm eine stochastische Simulation zugrunde liegt. Da sich die Menschen in dem simulierten Gebiet völlig zufalls-gesteuert bewegen und der Ort, an dem sich der Informationsträger zur Startzeit befindet, ebenfalls zufällig gewählt ist, wird jeder Simulationslauf neue Ergebnisse hervorbringen. Zwar werden sich die Ausbreitungsmuster ähneln, kaum jemals aber völlig gleichen. Das liegt in der Natur der stochastischen, individuenbasierten Modellierung und Simulation.

Maßgeblich ist die Art und Geschwindigkeit der räumlichen Diffusion von der Position beeinflusst, an der sich die im Ausgangszustand einzig informierte Person befindet. Wie groß die Unterschiede sein können, demonstriert der Vergleich der in den Abbildungen 78 und 79 dargestellten Verbreitungsprozesse. Während sich im Szenario der Abbildung 78 die neue Nachricht, ausgehend von der linken oberen Ecke des Gebiets, nur langsam herumspricht, vollzieht sich die Diffusion in Abbildung 79 beim Start aus zentraler Position sehr rasch, wenn auch nicht gleichmäßig. Nach dreihundert Simulationsschritten ist im ersten Fall die Bevölkerung nur zu etwa 50 % informiert, wohingegen sie im zweiten Szenario vollständig in Kenntnis gesetzt ist.

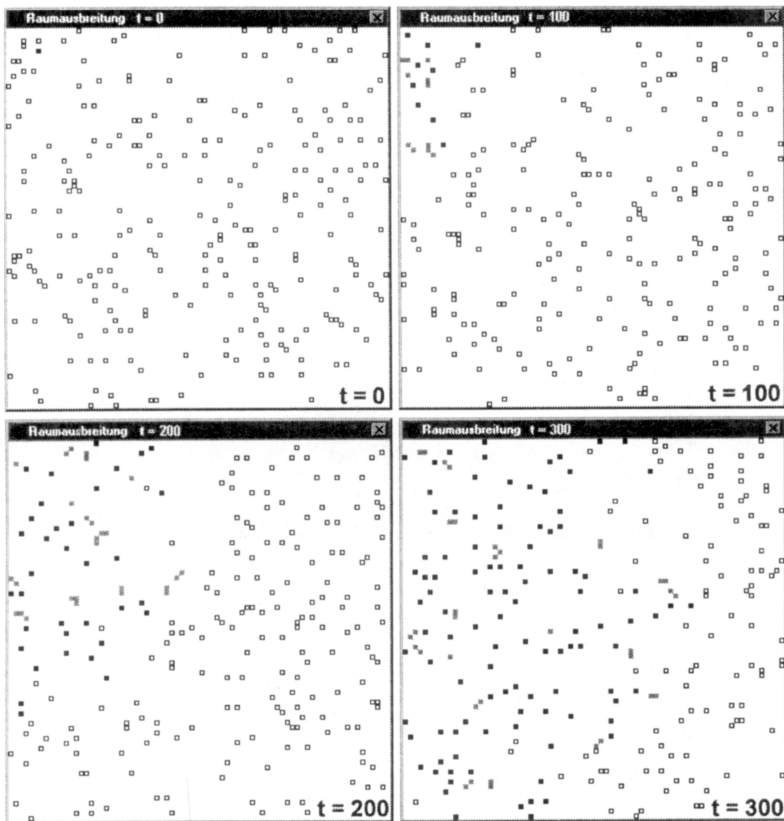


Abbildung 78: Räumliche Diffusion mit Startpunkt in der linken oberen Ecke des simulierten Gebietes

Es soll nicht versäumt werden, darauf hinzuweisen, dass sich verallgemeinerbare Erkenntnisse über die räumlichen Muster einer Diffusion auf der Grundlage dieser ersten Modellversion nicht gewinnen lassen. Dazu wäre es notwendig, den örtlichen Ausgangspunkt des Diffusionsprozesses festlegen zu können, um so den Einfluss der Stochastik auf die zufällige Bewegung der Individuen zu beschränken.⁵⁰⁰ Nur unter dieser Voraussetzung ließen sich für Monte-Carlo-Simulationen typische Auswertungsverfahren anwenden und aus einer größeren Menge von Simulationen sinnvolle durchschnittliche Werte für die zu bestimm-

⁵⁰⁰ Diese Erweiterung betreffe nur die Bedienungsfläche und nicht die Verhaltensgleichungen des Modells. Sie ließe sich ohne Schwierigkeiten programmieren. Angesichts des prototypischen Charakters der Oberfläche wurde jedoch auf eine Realisierung verzichtet.

ten Zeitpunkten zu beobachtenden Grenzen der räumlichen Verbreitung ermitteln.

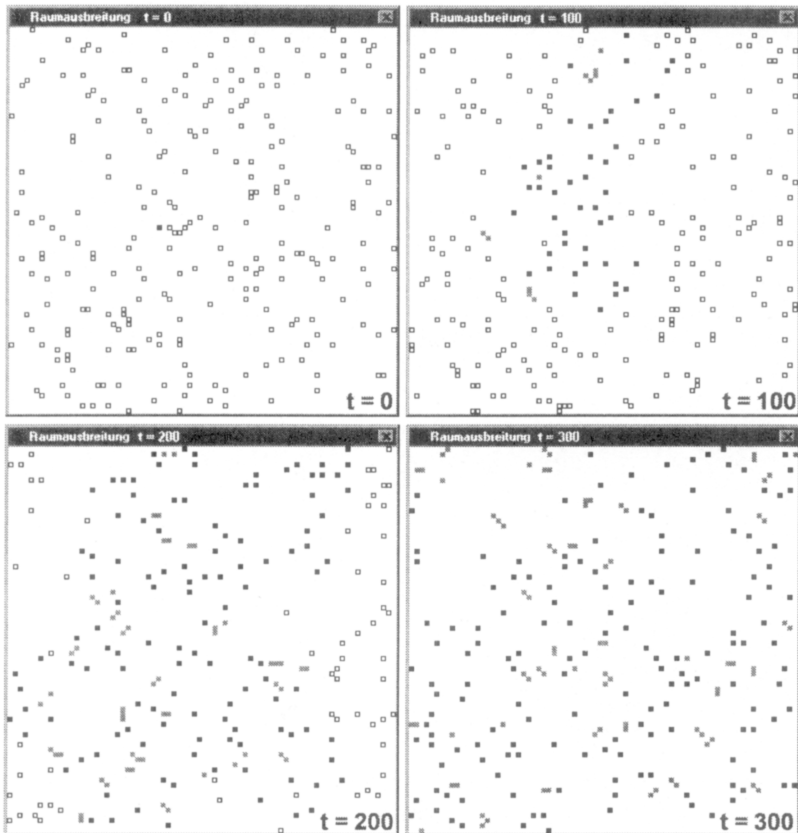


Abbildung 79: Räumliche Diffusion mit zentralem Startpunkt

Um die auf einem Mikromodell basierende Diffusion mit den Resultaten der Makromodelle vergleichen zu können, ist die individuenbasierte Raumperspektive gegen die aggregierte zeitliche Betrachtung auszutauschen. Nicht mehr die räumliche Lokalisierung der Informationsträger ist dann von Bedeutung, sondern ihre Zahl zu einem bestimmten Zeitpunkt. Bei mikroanalytischer Modellierung muss – ganz wie in der Realität – durch Befragen, Zählen und Addieren ermittelt werden, wie viele Personen informiert sind und wie viele noch keine Kenntnis haben. Die Funktion, mit der die Zahl der bereits informierten Menschen ermittelt wird, ist nachstehend wiedergegeben. Die Funktion, die die noch Unwissenden zählt, ist analog aufgebaut.

```

function TDiffusionsgebiet.GetZahlInformierte : integer;
var
  aMensch : TMensch;
  z : integer;
begin
  Result := 0;
  For z := 1 to Populationsgroesse do
  begin
    aMensch := Population[z-1];
    if aMensch.HatKenntnis then inc(Result);
  end;
end;

```

Den sich ergebenden zeitlichen Verlauf der Informationsverbreitung zeigt Abbildung 80.

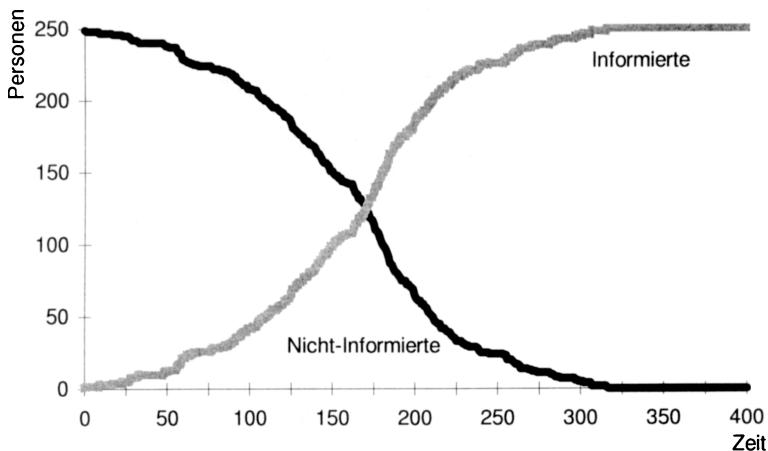


Abbildung 80: Zeitlicher Verlauf der Informationsausbreitung
im mikroanalytischen Modell

Die Kurvenzüge der Informierten und Unwissenden in Abbildung 80 sehen denen aggregierter Modelle, wie sie Abbildung 68 für das Bass-Modell zeigt, sehr ähnlich. Der s-förmige bzw. umgekehrt s-förmige Verlauf ist unverkennbar. Die etwas unregelmäßige, treppenstufige Form ist eine notwendige Konsequenz stochastischer und individuenbasierter Modellierung. Sie rührt daher, dass die in Abbildung 80 gezeigte Anzahl der informierten Individuen eben nicht der Graph einer Funktion in Abhängigkeit von der Zeit ist, sondern das aggregierte Ergebnis individueller Verhaltensweisen und zufallsbeeinflusster Ereignisse darstellt. Die stochastische Komponente führt auch dazu, dass der zeitliche Ablauf der Diffusion trotz identischer Parametrisierung von Simulationslauf zu Simulationslauf verschieden ist. Je nachdem, wo sich der Träger

der Information zu Beginn der Simulation befindet und wie sich die Menschen bewegen, verbreitet sich die Nachricht schneller oder langsamer. Abbildung 81 zeigt, wie unterschiedlich schnell die Zahl der informierten Personen, allein durch Zufallseinflüsse bedingt, zunehmen kann. Der Durchschnitt aus allen Simulationsläufen ist als dicke, schwarze Linie eingezeichnet.

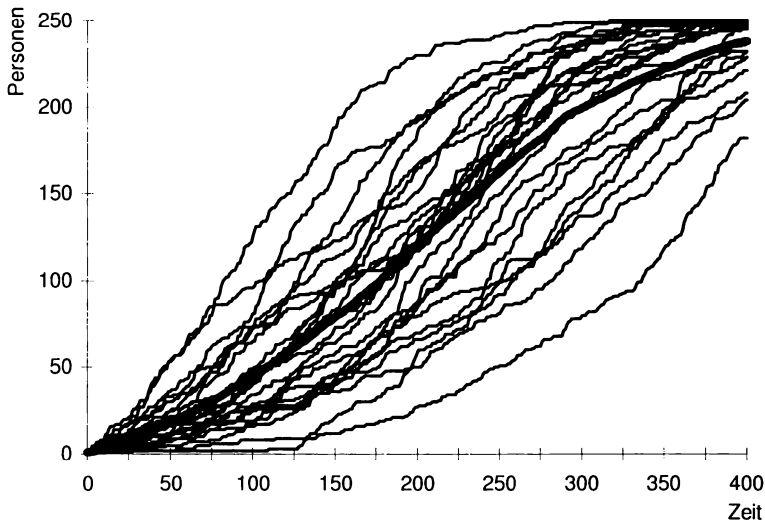


Abbildung 81: Anzahl informierter Personen – das Ergebnis einer Monte-Carlo-Simulation mit 25 Durchläufen

Bereits die erste, sehr einfache mikroanalytische Modellversion ist in der Lage, realitätsnahe Diffusionsverläufe zu erzeugen. Auch wenn viele der unterstellten Annahmen sehr restriktiv sind und die modellierten Agenten noch eher Robotern einfachster Bauart als wirklichen Menschen gleichen, so ist der Versuch, Makroentwicklungen aus Mikroverhalten abzuleiten, augenscheinlich erfolgreich. Der Erweiterung des Modells sind überdies konzeptionell praktisch keine Grenzen gesetzt. Der folgende Abschnitt diskutiert einige Verbesserungen und analysiert deren Auswirkungen auf die Modelldynamik.

4. Die Erweiterung des Modells

Die in Abschnitt E.II.2. beschriebene erste Version eines mikroanalytischen Diffusionsmodells bietet der Kritik natürlich noch eine sehr breite Angriffsfläche. Es entspricht sicherlich nicht der Realität, wenn für die Wahrscheinlichkeit

des Informationsaustausches bei einem Aufeinandertreffen zweier Personen 1,0 angenommen wird. Weder sind Menschen normalerweise unendlich mitteilssam, noch sind sie alle unendlich neugierig. Dass es zum Gespräch kommt, wenn sich zwei Menschen auf der Straße treffen, passiert im Grunde eher selten und dann mit größerer Wahrscheinlichkeit, wenn sie sich bereits kennen. Selbst wenn zwei Personen miteinander sprechen, muss nicht automatisch auch die Neuigkeit, deren Verbreitung betrachtet wird, Konversationsgegenstand sein. Möglicherweise hat derjenige, der im Besitz der Information ist, diese schon vor so langer Zeit erhalten, dass er sie als inzwischen allgemein bekannt erachtet und gar nicht mehr aktiv weitergibt. Die Zeitspanne, in der eine Neuigkeit weitererzählt wird, darf deswegen nicht als unendlich lang angenommen werden. Schließlich ist es auch eine Frage der Glaubwürdigkeit des Erzählers, ob der Empfänger einer Botschaft diese für wahr hält und sie in sein mentales Modell aufnimmt oder sie als fragwürdig zurückweist. Das ist insbesondere deshalb von Bedeutung, weil die Information nur dann aktiv an andere weitergegeben wird, wenn derjenige, der sie hört, selbst von ihrer Richtigkeit überzeugt ist.

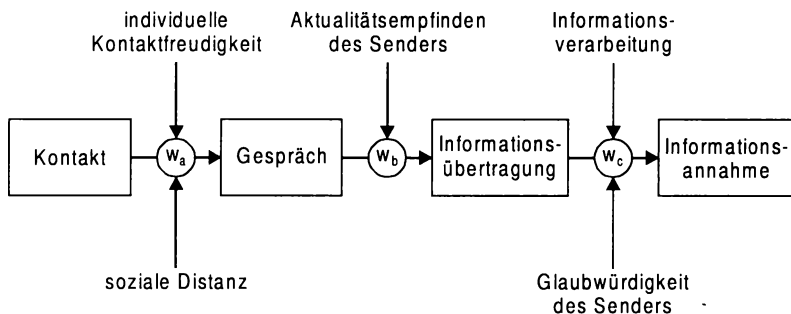


Abbildung 82: Stadien erfolgreicher Informationsübernahme

Die angesprochenen Kritikpunkte lassen es angeraten erscheinen, den Prozess des Informationstransfers im Modell zu verfeinern und die erfolgreiche Übernahme einer Neuigkeit an eine Reihe von Bedingungen zu knüpfen. Wie in Abbildung 82 dargestellt, soll für die zweite verbesserte Modellversion eine viergliedrige Ereignisabfolge unterstellt werden:

- Ein Kontakt ergibt sich wie in Modellversion eins dann, wenn mindestens zwei Personen aufeinander treffen.
- Aber nicht aus jedem Kontakt resultiert ein Gespräch. Damit sich das ergibt, müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein.
- Auch wird die Information, deren Verbreitung Gegenstand der Simulation ist, nicht automatisch in jedem Gespräch übermittelt.

- Ob der Empfänger die Nachricht glaubt und selbst weitergibt, ist ebenfalls nicht sicher.

Der Übergang von einem Ereignis zum nächsten erfolgt somit nie mit Sicherheit, sondern immer nur mit Wahrscheinlichkeit; die als bedeutsam erachteten, im Modell zu berücksichtigenden Einflussfaktoren auf die Wahrscheinlichkeiten des Fortgangs sind die folgenden:

(1) Kontakt-Gespräch

Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass eine Begegnung zweier Akteure in ein Gespräch mündet, wird – so die Annahme – davon abhängen, wie kontaktfreudig die potenziellen Gesprächspartner sind und wie groß die soziale Distanz zwischen ihnen ausfällt.⁵⁰¹ Durch die Modellierung einer sozialen Distanz zwischen den intelligenten Akteuren wird dem Faktum Rechnung getragen, dass es leichter zu Gesprächen kommt, wenn die Aufeinandertreffenden dieselbe „Sprache sprechen“, d. h. derselben Gesellschaftsschicht angehören. Bei der Begegnung zweier Personen aus stark unterschiedlichen Gesellschaftsschichten ist demgegenüber die Wahrscheinlichkeit groß, dass man aneinander vorbeigeht, ohne auch nur ein Wort zu wechseln. Die individuelle Kontaktfreudigkeit als zweite Bestimmungsgröße der Wahrscheinlichkeit eines Gespräches ist ein Persönlichkeitsattribut. Ihre Aufnahme in das Modell erlaubt die Berücksichtigung individuell unterschiedlicher Gesprächsneigungen.

(2) Gespräch-Informationsübertragung

Die Wahrscheinlichkeit für die Übertragung der Information, deren Diffusion betrachtet wird, ist vom Aktualitätsempfinden des Informationsträgers abhängig. Eine Botschaft, die dem Träger selbst „altbacken“ erscheint, wird somit nur noch mit wesentlich verminderter Wahrscheinlichkeit zum Gesprächsgegenstand. Bei „brandaktuellen“ Nachrichten wird demgegenüber die Bereitschaft, darüber Konversation zu treiben, sehr groß sein.

(3) Informationsübertragung-Informationsannahme

Ob schließlich die Annahme einer erfolgreich übertragenen Information in dem Sinn erfolgt, dass sie geglaubt und selbst an andere weitergegeben wird, darf ebenfalls nur mit Wahrscheinlichkeit modelliert werden. Als Einflussfaktoren sind außer dem ganzen Prozess der Informationsverarbeitung insbesondere die Glaubwürdigkeit des Senders ausschlaggebend.

Die Gesamtwahrscheinlichkeit für einen erfolgreich verlaufenden Informationsprozess ergibt sich aus dem Produkt der drei Einzelwahrscheinlichkeiten.

⁵⁰¹ Die Berücksichtigung des Einflussfaktors der sozialen Distanz wird von Karlsson vorgeschlagen. Siehe dazu Georg Karlsson: Ein mathematisches Modell der Nachrichtenverbreitung, 1967, S. 74 f.

$$(34) \quad w = w_a \cdot w_b \cdot w_c$$

Weil w typischerweise kleiner als 1,0 sein wird, steht zu erwarten, dass der Diffusionsprozess in der erweiterten Modellversion zwei langsamer ablaufen wird als im ursprünglichen Modell.

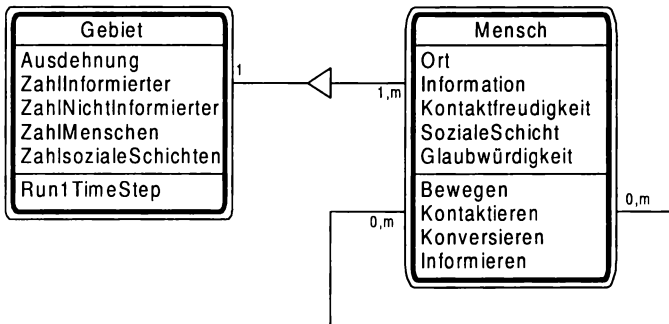


Abbildung 83: Strukturmodell der erweiterten Modellversion

Um die diskutierten Erweiterungen zu modellieren, sind neue Objektattribute und -operationen zu formulieren; einige bereits vorhandene Methoden müssen angepasst werden. Abbildung 83 zeigt, dass die Klasse Gebiet um das Attribut „ZahlsozialeSchichten“ ergänzt wurde; die Klasse Mensch enthält die neuen Attribute Kontaktfreudigkeit, „SozialeSchicht“ und Glaubwürdigkeit. Bei den menschlichen Operationen wird jetzt unterschieden zwischen Kontaktieren, Konversieren und Informieren. Wie die nachstehend wiedergegebene, modifizierte Prozedur `TDiffusionsgebiet.Run1TimeStep` zeigt, ist dabei die Informationsübertragung nur dann möglich, wenn zuvor ein Gespräch zustande gekommen ist, und zur Konversation kann es erst kommen, wenn ein Zusammentreffen vorausgegangen ist. So wird gewährleistet, dass die in Abbildung 82 dargestellte Ereignisabfolge eingehalten ist.

```

procedure TDiffusionsgebiet.Run1TimeStep;
var
  aMensch1,
  aMensch2 : TMensch;
  z1, z2 : integer;
begin
  //Menschen bewegen sich
  For z1 := 1 to Populationsgroesse do
  begin
    aMensch1 := Population[z1-1];
    aMensch1.Bewegen(X_Ausdehnung, Y_Ausdehnung);
  end;

  For z1 := 1 to Populationsgroesse do

```

```

begin
  aMensch1 := Population[z1-1];
  For z2 := (z1 + 1) to Populationsgrosse do
    begin
      aMensch2 := Population[z2-1];
      //Mensch1 und Mensch2 begegnen einander
      if aMensch1.Kontaktieren(aMensch2)
      then
        //Mensch1 und Mensch2 sprechen miteinander
        if aMensch1.Konversieren(aMensch2)
        then
          begin
            //Mensch1 informiert Mensch2 und umgekehrt
            aMensch1.Informieren(aMensch2);
            aMensch2.Informieren(aMensch1);
          end;
        end;
      end;
    end;
  IncAktuelleZeit;
end;

```

Die menschlichen Eigenschaften Kontaktfreudigkeit und Glaubwürdigkeit werden als normalverteilte Zufallsvariablen betrachtet, wobei als untere Grenze 0 und als obere Grenze 1 festgelegt ist, damit sich die numerischen Werte als Wahrscheinlichkeiten interpretieren lassen.⁵⁰² Mittelwert und Standardabweichung lassen sich vorgeben. Für jedes instanziierte Individuum wird mit der Initialisierung der Simulation ein konkreter Wert aus der festgelegten Verteilung gezogen. Jede virtuelle Person wird einer bestimmten sozialen Schicht zugerechnet. Wie viele soziale Schichten für das simulierte Gebiet zu unterscheiden sind, kann ebenfalls festgelegt werden. Bei der Initialisierung einer Simulation werden die erzeugten Individuen dann gleichmäßig auf die sozialen Schichten verteilt. Die nachfolgend wiedergegebene Operation `TMensch.Konversieren` verdeutlicht, wie die Kontaktfreudigkeit und die soziale Distanz als Einflussfaktoren benutzt werden, um – nach erfolgtem Kontakt – die Wahrscheinlichkeit für das Zustandekommen eines Gesprächs zu ermitteln.

```

function TMensch.Konversieren(aMensch : TMensch) : Boolean;
var
  SozialeDistanz : integer;
  KWSD,
  Konversationswahrscheinlichkeit : real;
begin
  SozialeDistanz := Abs(Self.SozialeSchicht -
                        aMensch.SozialeSchicht);
  Case SozialeDistanz of
    0 : KWSD := 1;
    1 : KWSD := 0.5;
    2 : KWSD := 0.25;
    3 : KWSD := 0.125;
    4 : KWSD := 0.0625;
  end;

```

⁵⁰² Die Normalverteilung wird an der oberen bzw. unteren Grenze abgeschnitten, um zu gewährleisten, dass keine größeren oder kleineren Zahlenwerte auftreten.


```

else
  KWSD := 0;
end;
Konversationswahrscheinlichkeit :=
  KWSD * Self.Kontaktfreudigkeit *
  aMensch.Kontaktfreudigkeit;
Result := Random_True(Konversationswahrscheinlichkeit);
end;

```

Voraussetzung dafür, dass ein Mensch einen anderen im Rahmen eines Gespräches informieren kann, ist zuallererst der Umstand, dass er über die Information selbst verfügen muss. Ist er im Besitz der Neuigkeit, dann spielt die subjektiv empfundene Aktualität der Nachricht eine Rolle für die Bereitschaft, diese anderen weiterzuerzählen. Es ist im Modell unterstellt, dass diese linear mit voranschreitender Zeit abnimmt. Die Modellierung nichtlinearer Zusammenhänge wäre allerdings einfach durch Änderung des funktionalen Zusammenhangs ebenso möglich.

```

procedure TMensch.Informieren(aMensch: TMensch);
var
  Aktualitaetsempfinden : real;
begin
  if not Self.HatKenntnis then exit;
  Aktualitaetsempfinden := 1 - (aDiffusionsgebiet.AktuelleZeit
    - Information.Eingangsdatum) / 100;
  if Random_True(Aktualitaetsempfinden)
  then
    aMensch.InformationVerarbeiten(Self.Information.Kopie,
      Self.Glaubwuerdigkeit);
  end;
end;

```

Es wurde bereits die Vermutung geäußert, dass sich bei der Simulation des so veränderten Modells deutlich langsamer voranschreitende Diffusionsverläufe zeigen. Diese Vermutung kann in vollem Umfang bestätigt werden. Abbildung 84 zeigt die Ergebnisse von 10 Simulationsexperimenten, bei denen nur eine Schichtung der Population und ein im Zeitablauf rückläufiges Aktualitätsempfinden unterstellt ist. Sowohl die Glaubwürdigkeit als auch die Kontaktfreudigkeit wirken als jeweils (1, 0)-normalverteilte Zufallsvariablen für die Diffusion nicht restriktiv. Verglichen mit Abbildung 81 braucht die Informationsausbreitung jetzt ungefähr doppelt so lange. Der Wendepunkt der Kurven der Informierten bzw. noch nicht Informierten liegt in Abbildung 84 um die Simulationsperiode 250, während in Abbildung 81 schon nach etwa knapp 200 Perioden die Hälfte der Bevölkerung die Neuigkeit erfahren hat.

Außerdem kann es bei Simulationen der zweiten Modellversion zum Abbruch des Verbreitungsprozesses kommen – ein Phänomen, das mit der ersten Modellversion nie aufgetreten ist. Der Grund dafür ist darin zu suchen, dass eine Person die Neuigkeit nach längstens 100 Simulationsperioden für derart normal und gewöhnlich befindet, dass sie diese überhaupt nicht mehr an andere weitererzählt. Wegen dieses Verhaltens können mit der zweiten Modellversion auch unvollständige Diffusionsverläufe erzeugt werden.

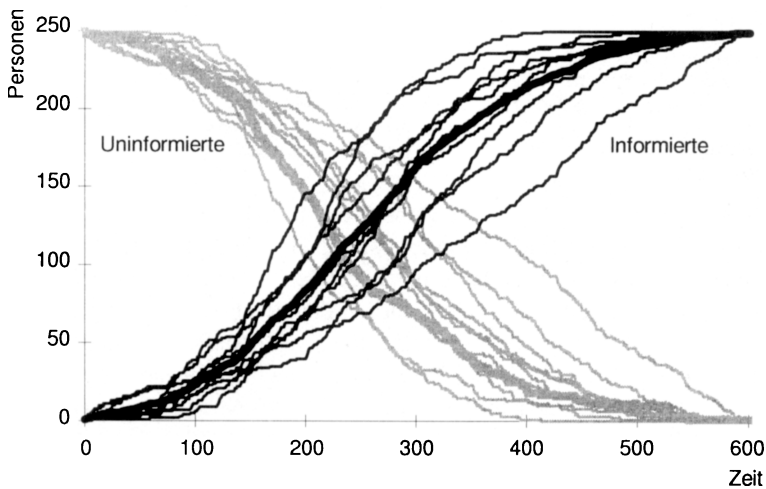


Abbildung 84: Informationsdiffusion bei fünffacher sozialer Schichtung⁵⁰³

Noch viel häufiger kommt es zum Abbruch des Informationsverbreitungsprozesses, wenn die Einflussfaktoren Kontaktfreudigkeit und Glaubwürdigkeit die ihnen zugedachte restriktive Rolle übernehmen. Nimmt man für die Kontaktfreudigkeit eine Normalverteilung mit Mittelwert 0,5 und Standardabweichung 0,2 an und unterstellt für die Glaubwürdigkeit einen Mittelwert von 0,8 sowie eine Standardabweichung von 0,2, verläuft die Diffusion in etwa 2 von 3 Fällen unvollständig. Wenn – wie unterstellt – am Anfang der Simulation nur eine Person um die Neuigkeit weiß, dann ist es gar nicht so selten, dass überhaupt keine Informationsweitergabe stattfindet. In anderen Fällen kommt die Diffusion sehr schnell wieder zum Erliegen, und es erfahren nur einige wenige Personen die neue Nachricht. Abbildung 85 zeigt 10 zufällig ausgewählte Diffusionsverläufe, die über das frühe Anfangsstadium hinausgekommen sind. Kaum überraschend ist, dass sich der Trend hin zu längeren Diffusionszeiten fortsetzt. Je seltener eine Informationsübertragung vorkommt, desto länger dauert es natürlich auch, bis sich eine Neuigkeit herumgesprochen hat. Des Weiteren ist zu beobachten, dass die Streuung der Diffusionsverläufe steigt. Das liegt daran, dass der Zufall eine immer größere Rolle spielt, weil an zunehmend mehr Stellen Zufallsvariablen Eingang finden.

⁵⁰³ Anzahl soziale Schichten = 5, Mittelwert Kontaktfreudigkeit = 1, Standardabweichung Kontaktfreudigkeit = 0, Mittelwert Glaubwürdigkeit = 1, Standardabweichung Glaubwürdigkeit = 0. Die Mittelwerte sind jeweils als dicke Linien eingezeichnet.

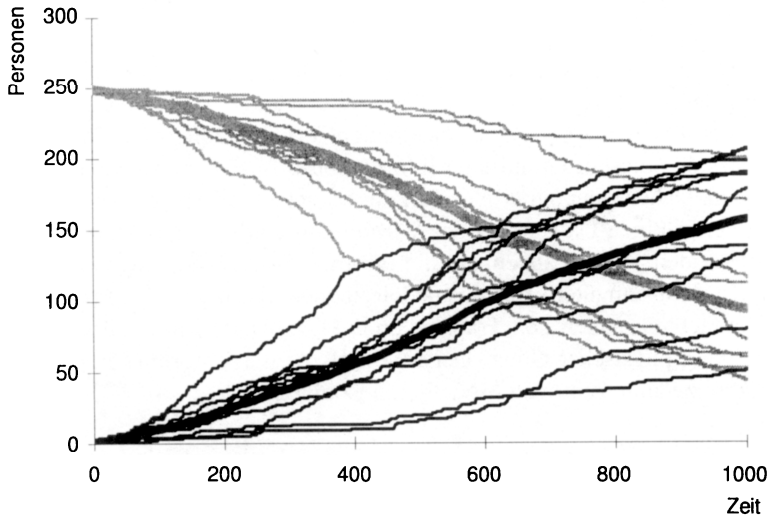


Abbildung 85: Informationsdiffusion bei eingeschränkter Kontaktfreudigkeit und Glaubwürdigkeit⁵⁰⁴

Es bleibt unbestritten, dass auch diese zweite, erweiterte Modellversion noch ein beinahe unbegrenztes Verbesserungspotenzial aufweist. Der Phantasie und Kreativität des Modellierers sind andererseits auch kaum Grenzen gesetzt. Erweiterungen sind nicht nur denkbar, sondern – dank objektorientierter Spezifikation und Modellierung – auch ohne Schwierigkeiten zu realisieren. Ansatzpunkte böte beispielsweise das Zustandekommen von Kontakten, denn die Annahme, dass die Nachrichtenübermittlung notwendigerweise räumliche Nähe, d. h. ein persönliches Aufeinandertreffen, voraussetzt, ist angesichts von Post, Telefon, Telefax oder E-Mail sicherlich nicht mehr ganz zeitgemäß. Weitere Modellversionen könnten somit die raumübergreifende Kontaktaufnahme berücksichtigen und so den Einsatz moderner Kommunikationsmittel abbilden. Erweiterungen dieser Art sollen jedoch zugunsten der Untersuchung und Modellierung der Konsumgüterdiffusion zurückgestellt werden. Ausgehend von den in Abschnitt E.I.3. erörterten Grenzen aggregierter Modelle soll im Folgenden das Potenzial mikroanalytischer Modellierung prototypisch aufgezeigt werden.

⁵⁰⁴ Anzahl soziale Schichten = 5, Mittelwert Kontaktfreudigkeit = 0,5, Standardabweichung Kontaktfreudigkeit = 0,2, Mittelwert Glaubwürdigkeit = 0,8, Standardabweichung Glaubwürdigkeit = 0,2.

III. Ein mikroanalytisches Modell der Konsumgüterdiffusion

Die Diffusion von Konsumgütern und die Diffusion von Informationen sind zwei wesensverwandte Prozesse:⁵⁰⁵ Potenzielle Käufer von innovativen Produkten werden ohne entsprechende Informationen nicht kaufen. Der Produktdiffusion muss aus diesem Grund eine Informationsdiffusion notwendigerweise vorausgehen. Daher kann ein großer Teil des bis jetzt erarbeiteten Know-hows bei der modellmäßigen Darstellung der Verbreitung von Konsumgütern wiederverwendet werden. Anders als ein auf die Informationsdiffusion begrenztes Modell muss ein Konsumgüterdiffusionsmodell jedoch Austauschprozesse zweierlei Typs betrachten: neben den Transfer produktbezogener Informationen tritt die Übertragung physischer Güter. Der Markt als Austauschforum für Waren wird damit zum zweiten zentralen Modellierungsobjekt.

1. Der Markt als Treffpunkt individueller Nachfrager und Anbieter

Was ist ein Markt? Welche Eigenschaften zeichnen ihn aus? Wie lässt er sich beschreiben oder definieren? Je nachdem welches Untersuchungsziel im Vordergrund steht, werden in der Literatur einmal mehr Marktvorgang und Marktgeschehen betont – „Angebot und Nachfrage treffen aufeinander“⁵⁰⁶ –, ein anderes Mal mehr die handelnden Subjekte in den Vordergrund gerückt – „Ein Markt konstituiert sich ganz allgemein dann, wenn Wirtschaftssubjekte in der Absicht aufeinander treffen, Tauschverträge abzuschließen“⁵⁰⁷. Kotler/Bliemel legen besonderes Gewicht auf die Käuferseite; nach ihrer Auffassung besteht ein Markt aus „allen potentiellen Kunden mit einem bestimmten Bedürfnis oder Wunsch, die willens und fähig sind, durch einen Austauschprozeß das Bedürfnis oder den Wunsch zu befriedigen.“⁵⁰⁸

Weitgehend unbestritten ist, dass Angebot und Nachfrage die elementaren Eigenschaften eines Marktes darstellen. Für den hier verfolgten Zweck einer Demonstration objektorientierter, mikroanalytischer Modellierung sind Angebot und Nachfrage aber zu stark aggregierte Konzepte. Ein Angebot ohne Anbieter

⁵⁰⁵ Historisch betrachtet, ist die betriebswirtschaftlich orientierte Diffusionsforschung auf den Fundamenten anthropologischer, biologischer und soziologischer Forschungsarbeiten errichtet. Einen Überblick über die wegweisenden Arbeiten und die historischen Grundlagen geben beispielsweise Everett M. Rogers: *Diffusion of Innovations*, 1983, S. 38 ff. oder Klaus P. Kaas: *Diffusion und Marketing*, 1973, S. 7 f.

⁵⁰⁶ Hans H. Bauer: *Marktabgrenzung*, 1989, S. 18.

⁵⁰⁷ Wolfgang Hilke: *Markt, Marktformen und Marktverhaltensweisen*, 1993, Sp. 2769.

⁵⁰⁸ Philip Kotler/Friedhelm Bliemel: *Marketing-Management*, 1992, S. 12.

oder eine Nachfrage ohne Nachfrager ist nicht vorstellbar. Das Entstehen von Angebot und Nachfrage ist an Subjekte gebunden. Menschliche Bedürfnisse verlangen nach Befriedigung und münden mehr oder weniger rasch in einer individuellen Nachfrage. Diese wird an einem ganz bestimmten Ort bei einem konkreten Anbieter kaufwirksam. Neben Angebot und Nachfrage ist somit der Raum die dritte zu modellierende Dimension eines Marktes.

Ein mikroanalytisches Marktmodell hat der Tatsache, dass der Marktprozess zwischen individuellen Anbietern und Nachfragern zustande kommt, Rechnung zu tragen. Es ist aus diesem Grund als Multiagentenmodell zu konzipieren, wobei Anbieter und Nachfrager als intelligente Agenten betrachtet werden, die miteinander kooperieren, kommunizieren und interagieren.

Die intelligenten Agenten auf der Nachfrageseite sind die einzelnen Konsumenten. Die Suche nach intelligenten Agenten auf der Anbieterseite endet mit der Erkenntnis, dass es nicht einen einzigen Anbietertyp gibt; vielmehr ist die allgemeine und abstrakte Klasse der Unternehmen für das Problem der Diffusion neuer Produkte in die Klassen der Produzenten und Anbieter zu spezialisieren. Produzierende Unternehmen verkaufen ihre Produkte nur ausnahmsweise direkt; sie bedienen sich in der Regel einer Vielzahl von Absatzmittlern. Mit den Produzenten eines neuen Produktes tritt der Verbraucher daher nur in Ausnahmefällen in Kontakt, so dass für ihn der Handel als eigentlicher Anbieter neuer Produkte fungiert. Von denkbaren, aber seltenen Sonderfällen wie Fabrikverkauf oder Direktversand wird dabei abstrahiert. Eine Beziehung zwischen der Angebots- und Nachfrageseite wird – wie in Abbildung 86 gezeigt – daher ausschließlich über die Assoziation zwischen Anbieter- und Konsumentenobjekten hergestellt. Bei dieser Assoziation handelt es sich um eine m-zu-n-Beziehung, was bedeutet, dass ein Konsument nicht nur einen einzigen Anbieter kennen kann, sondern auch mehrere oder gar keinen.⁵⁰⁹ Umgekehrt ist ein Anbieter Anlaufstelle für beliebig viele Verbraucher.

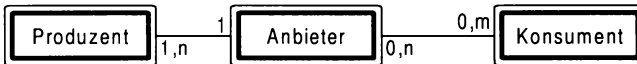


Abbildung 86: Assoziationen zwischen Produzenten, Anbietern und Konsumenten

Auf der Angebotsseite des Marktes gibt es zwischen Produzenten und Anbietern im Grunde ebenfalls eine m-zu-n-Beziehung. Ein Produzent kann mit beliebig vielen Anbietern und ein Anbieter mit beliebig vielen Produzenten

⁵⁰⁹ Für die weitere Modellentwicklung soll jedoch der Sonderfall des Angebotsmonopols unterstellt werden.

zusammen arbeiten. Um die Modellkomplexität nicht ausufern zu lassen, wird jedoch nur eine 1-zu-n-Beziehung modelliert. Das bedeutet, dass ein Anbieter immer nur die Produkte eines Produzenten vertreibt und ein Hersteller über mindestens eine Verkaufsstelle verfügen muss.

Der Handel nimmt als Anbieter von Innovationen eine wichtige Mittlerrolle zwischen Produzenten und Konsumenten ein. Weil er dabei eine Reihe von Funktionen erfüllt, die ihn selbst zu einem intelligenten Agenten machen, scheint es nicht angemessen, nur die Produzenten zu modellieren und auf die Abbildung der Distributoren zu verzichten. Der Einfluss der Absatzmittler auf den Diffusionsverlauf ist zu erheblich, als dass von ihm – wie in der traditionellen Diffusionsforschung – abgesehen werden sollte.

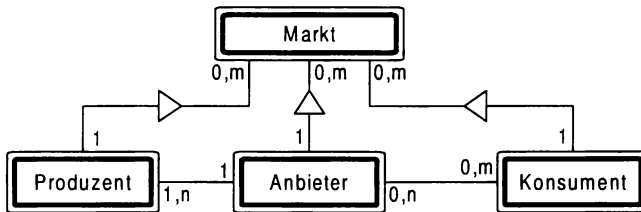


Abbildung 87: Objektorientiertes Strukturmodell eines Marktes

Abbildung 87 gibt die grundlegende Struktur der Angebots- und Nachfrageseite des modellierten Marktes wieder. Sie macht deutlich, dass ein Markt von individuellen Produzenten, Anbietern und Nachfragern etabliert wird. Jeder Einzelne dieser intelligenten Akteure trägt seinen Teil zu einer erfolgreichen Marktdurchdringung einer Innovation bei.

Obwohl die Produktion von Gütern in Wirklichkeit ein meist hochkomplexer Vorgang ist, wird das Objekt des Produzenten hier sehr einfach abgebildet. Das ist deswegen möglich, weil einige wenige Attribute und Operationen ausreichen, um die für dieses prototypische Beispiel ausreichende Funktionalität bereitzustellen. Die zweifellos wichtigste Funktion eines Produzenten ist die Fertigung von Produkten. Sehr abstrahiert betrachtet, werden dabei Produktspezifikationen, wie sie in Konstruktionszeichnungen und Stücklisten festgehalten sind, materialisiert. Modelliert ist der Produktionsprozess als Instanziierungsvorgang: Ein neues Produkt wird als Exemplar seiner Klasse erzeugt und gemäß der grundsätzlich festgelegten Produktspezifikation initialisiert. Die Entwicklung und Vereinbarung der für die Fertigung maßgebenden Produktspezifikation erfolgt im Rahmen der Konstruktion – eine Operation, die deshalb nicht fehlen darf. Es ist allerdings nicht so, dass die Konstruktion aufwendig abgebildet ist; sie bildet vielmehr eine Schnittstelle, um extern vorzuzugende Produkt-

spezifikationen in eine interne Objekteigenschaft zu transformieren. Auf der Basis dieser Informationen ist ein Produzent dann in der Lage, nicht nur Produkte herzustellen, sondern auch Informationsblätter über sein Produkt anzufertigen und an seine Vertriebspartner weiterzuleiten. Auf diese Weise können die Anbieter die zu ihnen kommenden Konsumenten über die angebotenen Produkte informieren.

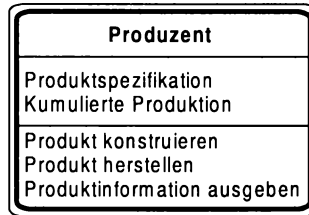


Abbildung 88: Die Klasse Produzent

Die Struktur der Anbieterobjekte (vgl. Abbildung 89) ist komplizierter als die der Produzenten. Anbieter interagieren sowohl mit Herstellern als auch mit den Konsumenten. Als Absatzmittler beziehen sie Produkte von ihren Lieferanten und verkaufen diese weiter an die Konsumenten. Darüber hinaus müssen sie auch auf Kundenkontakte reagieren und Produktinformationen bereitstellen. Daher sind für Anbieter die Operationen Kontaktieren, Informieren und Verkaufen modelliert.



Abbildung 89: Die Klasse Anbieter

Kontakte zwischen Anbietern und Konsumenten ergeben sich dann, wenn ein Verbraucher bei seinen regelmäßigen Bewegungen auf einen Anbieter stößt und gleichsam zu ihm in den Laden kommt. Ein Anbieter selbst kann seinen Ort nicht verändern; Vertreterbesuche oder Ähnliches sind somit nicht modelliert. Ist die Kontaktaufnahme erfolgreich vollzogen, wird der Verkäufer den poten-

ziellen Käufer zunächst beraten und ihm dabei alle wichtigen Informationen über sein Angebot mitteilen. Aber nur wenn der Interessent tatsächlich auch kaufwillig ist, kommt es zum Abschluss und zur Übertragung eines Produktes. Zur Vereinfachung ist unterstellt, dass ein Produkt vom assoziierten Hersteller bei Bedarf mit unendlicher Geschwindigkeit produziert und angeliefert wird. Das erspart die aufwendige Modellierung eines Bestell- und Lagerwesens und vereinfacht die Struktur der Anbieterobjekte.

Die Konsumenten, welche die Nachfrageseite eines Marktes formieren, sind in erster Linie Menschen. Daher verfügen sie über ebendieselben Attribute und Operationen, wie sie für die Klasse Mensch im erweiterten Informationsdiffusionsmodell unterstellt sind (vgl. Abbildung 83). Neu hinzu kommen die Eigenschaften Zuhause und Kaufhürde sowie die Methoden Kaufen und Produkt benutzen. Modifiziert werden müssen insbesondere das Bewegungsverhalten eines Konsumenten und die Routine der Informationsverarbeitung, die jetzt produktbezogen vonstatten geht und eine wichtige Rolle im später noch ausführlich vorzustellenden individuellen Adoptionsprozess spielt.

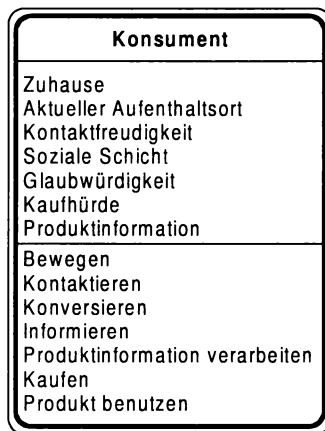


Abbildung 90: Die Klasse Konsument

Mit der Aufnahme des Attributes Zuhause wird der Tatsache Rechnung getragen, dass Menschen sich nicht ohne Bezugspunkt ziellos im Raum umherbewegen. Sie sind vielmehr sesshaft und werden daher in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen in ihr Zuhause zurückkehren. Wenn bei einem Konsumenten der Wunsch oder die Notwendigkeit auftritt, nach Hause zu gehen, so ist unterstellt, dass er sich zielgerichtet, d.h. auf dem kürzesten Weg, dorthin begibt. Die Fortbewegungsgeschwindigkeit ist dabei nach wie vor auf jeweils maximal ein Feld in X- und Y-Richtung begrenzt.

Eine zielgerichtete Bewegung soll jedoch nicht nur für den Nach-Hause-Weg angenommen sein, sondern auch beim Auftreten ernsthafter Kaufabsichten erfolgen. Mit dem Empfang und der Verarbeitung einer Produktinformation weiß der Konsument auch von dem Laden des Anbieters, wo er das Produkt erwerben kann. Wenn sich somit bei ihm der Wunsch manifestiert, das angepriesene Produkt haben zu müssen, dann ist die Annahme vernünftig, dass er alle ihm verfügbaren Informationen nutzen und den ihm bekannten Anbieter auf direktem Wege aufsuchen wird, um das Gut zu erwerben.

2. Das Produkt als Gegenstand des Diffusionsprozesses

Es ist eine Trivialität: Ohne Produkte gibt es keinen Markt; als konstituierende Elemente sind Produkte für einen Markt unentbehrlich. Weniger trivial ist allerdings das Beziehungsverhältnis in umgekehrter Richtung: Schafft sich jedes Produkt einen eigenen Markt? Gibt es einen Markt für jede Produktgattung? Oder sind alle Produkte Tauschobjekte auf einem einzigen großen Markt? Wie ist der relevante Markt abzugrenzen?

Da der Diffusionsprozess einer Innovation modelliert werden soll, scheint die sachliche, produktbezogene Abgrenzung des Marktes auf den ersten Blick unproblematisch: Marktgegenstand ist ein neues, innovatives Gut. Dieses wird von den Produzenten hergestellt, von den Anbietern feilgeboten und von den Verbrauchern nachgefragt. Kein Problem, sollte man meinen. Dass es aber gar nicht so leicht ist, dem Markt, den es zu modellieren gilt, Grenzen zu setzen, zeigt schon der Umfang der Literatur, die sich mit der Bestimmung des relevanten Marktes befasst.⁵¹⁰

Das neue Produkt, so einzigartig es mit einigen seiner Eigenschaften auch sein mag, konkurriert mit bereits angebotenen Gütern desselben Herstellers oder der Wettbewerber. Brächte Siemens etwa eine neue Waschmaschine auf den Markt, so stünde diese im Wettbewerb mit etablierten Produkten von Bosch, Bauknecht oder AEG. Die Abgrenzung eines Marktes, der nur das innovative Produkt umfasst, sich in dem Beispiel also nur auf die neue Siemens-Waschmaschine beschränkte, ist meistens nicht zweckmäßig. Denn Konkurrenz- oder Substitutionsprodukte haben einen nachhaltigen Einfluss auf die Diffusion des innovativen Waschautomaten. Ähnlich falsch wäre gelegen, wer einen neuen, hervorragenden Schallplattenspieler entwickelt hätte und bei der Prognose seiner Verbreitung den CD-Spieler nicht mit ins Kalkül gezogen hätte. Und selbst, wenn weit und breit kein Substitutions- oder Konkurrenzprodukt existiert, wie

⁵¹⁰ Siehe Hans H. Bauer: Marktabgrenzung, 1989 und die dort angegebene weiterführende Literatur.

das beispielsweise bei der Erfindung des Videorekorders der Fall war, besteht immer noch die Konkurrenz zwischen Innovationen untereinander und bereits eingeführten Gütern um die vorhandene Kaufkraft.

Der letzte Fall – Innovationen konkurrieren um die vagabundierende Kaufkraft – sprengt jedoch die Möglichkeiten der Modellbildung. Ein Totalmodell einer ganzen Volkswirtschaft, im Extrem sogar der ganzen Weltwirtschaft müsste konzipiert werden, um diese Erscheinung abzubilden. Das anzustreben, ist nicht mehr sinnvoll. Wenn Aufwand und Nutzen der Erstellung eines Diffusionsmodells im Gleichgewicht bleiben sollen, muss eine Eingrenzung vorgenommen werden. Nieschlag/Dichtl/Hörschgen empfehlen für die Identifikation des relevanten Marktes das Konzept der subjektiv empfundenen Substituierbarkeit.⁵¹¹ Als Produkte eines gemeinsamen Marktes müssen danach alle diejenigen gelten, die in den Augen der Kunden ähnliche materielle und funktionelle Beschaffenheit aufweisen und geeignet sind, weitgehend die gleichen Bedürfnisse zu befriedigen. Anhaltspunkte für die Abgrenzung des zu modellierenden Marktes kann auch die Vorgehensweise der traditionellen Diffusionsforschung geben, die meist die Verbreitung ganzer Produktgattungen untersucht. Bass beispielsweise testet sein Modell anhand der Verkaufsdaten von 11 langlebigen Verbrauchsgütern: Kühl- und Gefrierschränke, Schwarzweißfernseher, Waserenthärter, Raumklimaanlagen, Motorrasenmäher, elektrische Heizdecken, Kaffeemaschinen, Dampfbügeleisen sowie Plattenspieler.⁵¹² Bei anderen Autoren werden Produkte wie Heimcomputer, Wäschetrockner, Geschirrspülmaschinen oder Farbfernsehgeräte für die empirische Überprüfung der Modelle herangezogen.⁵¹³ Relativ neu ist eine Untersuchung von Mansfield über die Diffusion flexibler Fertigungssysteme in Japan, Europa und den Vereinigten Staaten.⁵¹⁴

Für das zu Demonstrationszwecken zu konzipierende objektorientierte Diffusionsmodell werden Produkte als Instanzen einer einzigen Klasse Produkt modelliert. Damit wird unterstellt, dass alle Produkte über die gleichen Attribute verfügen und sich nur in den Ausprägungen unterscheiden. Was aber sind Attribute, die Produkte typischerweise auszeichnen? Der Begriff Produkt ist so allgemein gebräuchlich, dass die Vermutung naheliegt, eine Definition oder exakte Beschreibung sei überflüssig. Autos sind Produkte, PCs, Tische, Äpfel oder Birnen ebenso. Allen industriellen Produkten gemeinsam ist, dass sie physisch greifbar sind und mit konkreten Eigenschaften ausgestattet sind, die Nutzen

⁵¹¹ Vgl. Robert Nieschlag/Erwin Dichtl/Hans Hörschgen: Marketing, 1997, S. 624.

⁵¹² Vgl. Frank M. Bass: A New Product Growth Model for Consumer Durables, 1969, S. 215-217.

⁵¹³ Eine tabellarische Auflistung ausgewählter empirischer Studien bis 1983 findet sich bei Franz Böcker/Heribert Gierl: Die Diffusion neuer Produkte, 1988, S. 45.

⁵¹⁴ Vgl. Edwin Mansfield: The Diffusion of Flexible Manufacturing Systems in Japan, Europe and the United States, 1993, S. 149-159.

stiften. Und dennoch findet sich in der Literatur ein Produktbegriff, der weit darüber hinausgeht. Marr/Picot etwa definieren: „Als ... Produkt wird die Kombination der physischen, symbolischen und dienstleistungsgemäßen Komponenten bezeichnet, die – bezogen auf einen Gegenstand – beim Käufer die Erfüllung bestimmter Erwartungen oder die Lösung bestimmter Probleme ... hervorruft.“⁵¹⁵ Ein Produkt ist nach dieser weiten Fassung des Begriffs ein Mittel zur Befriedigung von Bedürfnissen oder zur Lösung von Problemen. Um nur von A nach B zu kommen, taugt ein Trabant genauso gut wie ein BMW. Und dennoch wird der BMW als Problemlösung anderer Art empfunden, weil er über die reine Streckenbewältigung hinaus weitere Bedürfnisse befriedigen kann. Er ist nicht nur eine Ansammlung von Metall, Kunststoff und Gummi und ein Mittel zum Zweck der Fortbewegung – das Auto ist ein Statussymbol und erfüllt das Verlangen nach Prestige und sozialem Ansehen.

Es zwar vorstellbar, für die meisten Anwendungsbereiche jedoch kaum zweckmäßig, alle Aspekte eines derart weiten Produktbegriffs modellmäßig abzubilden, zumal das Marketing einen großen Teil seiner Anstrengungen darauf verwendet, mit einem umfangreichen absatzpolitischen Instrumentarium dem Produkt Zusatznutzen zu verleihen, um so die Problemlösungskraft zu erhöhen. Eine Beschränkung auf die wesentlichen Eigenschaften eines Produktes erscheint – gerade für dieses einführende Beispiel – aus Praktikabilitätsüberlegungen geboten. Die Klasse Produkt mit ihren Objekten soll so abstrakt gestaltet sein, dass sie industriell herstellbare, technische Konsumgüter mit begrenzter Nutzungsdauer repräsentieren kann. Für diesen Zweck ist die Modellierung dreier Attribute ausreichend: Qualität, Haltbarkeit und Preis.



Abbildung 91: Die Klasse Produkt

Durch die Modellierung der Produktqualität als Produkteigenschaft wird der verbreitet sehr differenziert betrachtete Qualitätsbegriff auf die quasi-objektive Seite reduziert. Qualität wird mit Fertigungsqualität gleichgesetzt, wobei eine hohe Fertigungsqualität bedeutet, dass ein Produkt keine Fehler aufweist und

⁵¹⁵ Rainer Marr/Arnold Picot: Absatzwirtschaft, 1991, S. 674.

einwandfrei funktioniert. Die subjektive Komponente des Qualitätsbegriffs wäre – dem Konzept intelligenter Agenten folgend – bei der Modellierung der Konsumenten zu berücksichtigen. Die Produktqualität wird als normalverteilte Zufallsvariable betrachtet. Der Wert von 1 bedeutet Fehlerfreiheit. Je nachdem, wie gut die Fertigung arbeitet, wird die Streuung und damit die Standardabweichung größer oder kleiner ausfallen.

Unter der Haltbarkeit ist die Zahl der maximal möglichen Benutzungsvorgänge zu verstehen. Jedesmal, wenn ein Produkt in Gebrauch genommen wird, nutzt es sich ein klein wenig ab, und die verbleibende Haltbarkeit vermindert sich. Bei einem Wert von Null ist das Produkt defekt und kann nicht mehr benutzt werden. Das Modell geht davon aus, dass der Defekt eines Produktes in jedem Fall einen Ersatzbedarf nach sich zieht, der so schnell wie möglich befriedigt werden will.

```
function TProdukt.SichAbnutzen : boolean;
begin
  Dec(Haltbarkeit);
  if Haltbarkeit = 0
  then
    Result := FALSE;
  end;
```

Wie viele andere Modellvariablen, so ist auch die Haltbarkeit als normalverteilte Zufallsvariable modelliert. Zusätzlich ist berücksichtigt, dass die Qualität einen Einfluss auf die Lebensdauer eines Produktes nehmen kann. Es ist unterstellt, dass die Haltbarkeit mit zunehmend schlechter werdender Qualität sinkt.

Der Preis ist eine Produkteigenschaft, die auch für konkurrierende Produkte relativ einfach und objektiv ermittelt werden kann. Im Modell ist der Hersteller die preisbestimmende Instanz; die Anbieter haben keine eigenständige Preissetzungskompetenz, so dass ein Markt mit Preisbindung der zweiten Hand abgebildet ist. Für einen Konsumenten ist der Preis eines Produktes eine wichtige Determinante für Nutzen und Kaufabsicht.

Abbildung 92 zeigt, wie die Klasse Produkt in das objektorientierte Strukturmodell eines Innovationsmarktes einzuordnen ist. Um das Besitzverhältnis zum Ausdruck zu bringen, wird eine Aggregationsstruktur verwendet, die physisch zu interpretieren ist. Unmittelbar nach der Herstellung befindet sich ein Produkt zunächst in jedem Fall beim Produzenten. Wenn der Hersteller einen Anbieter beliefert, wechselt das Besitzverhältnis, und sobald ein Kunde ein Produkt kauft, findet erneut ein Eigentumsübergang statt. Aus der Perspektive eines einzelnen Produktes kann in einem bestimmten Zeitpunkt immer nur eine der Aggregationsbeziehungen Produzent-Produkt, Anbieter-Produkt oder Konsument-Produkt Gültigkeit haben: Es ist nicht möglich, dass sich ein Produkt an mehr als einem Ort zugleich befindet. Wenn Lagerhaltung möglich ist, dann kann es aus der Perspektive des Herstellers oder Anbieters jedoch sehr wohl so

sein, dass sich mehrere Produkte am Lager befinden. Selbst die Annahme, dass ein Verbraucher entweder kein oder nur ein Produkt besitzt, vereinfacht die Wirklichkeit. Viele Konsumenten besitzen beispielsweise zwei Fernseher oder zwei Fotoapparate. Es ist jedoch kaum gravierend, davon zunächst zu abstrahieren.

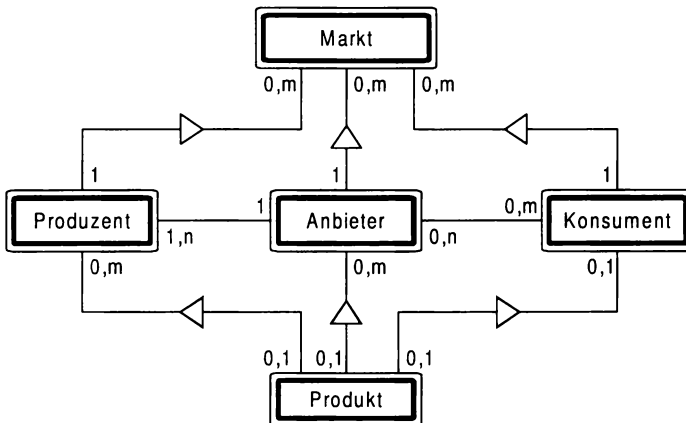


Abbildung 92: Objektorientiertes Marktmodell mit Produktklasse

3. Der Adoptionsprozess eines Konsumenten

Die Entscheidung eines Konsumenten für oder gegen den Kauf eines neuen Produktes ist häufig und insbesondere dann, wenn es sich um teurere, technisch anspruchsvolle Güter handelt, kein zeitpunktbezogener, spontaner Akt, sondern ein Prozess, der sich über eine mehr oder weniger lange Zeitspanne hinzieht und aus mehreren Einzelentscheidungen zusammensetzt. Adoptionsprozesse sind direkt oder indirekt Gegenstand zahlloser, interdisziplinär verwobener Forschungsbemühungen und -bereiche. Natürlich interessiert sich die Diffusionsforschung dafür; denn ein Diffusionsprozess konstituiert sich erst damit, dass die individuellen Übernahmen von Innovationen zeitlich verteilt auftreten.⁵¹⁶ Jede einzelne Adoption ist daher als Baustein des Aggregates Diffusion zu werten und somit als erklärende Grundlage von Interesse.⁵¹⁷ Da Adoptionen

⁵¹⁶ Vgl. Helmut Schmalen: Diffusionsprozesse und Diffusionstheorie, 1993, Sp. 776.

⁵¹⁷ Rogers etwa gehört zu den Diffusionsforschern, die einen relativ großen Teil ihrer Untersuchungen der individuellen Adoption widmen. Vgl. Everett M. Rogers: Diffusion of Innovations, 1983, S. 163 ff.

Entscheidungen darstellen, vermag auch die Entscheidungsforschung in ihrem ganzen Spektrum einen Beitrag zur Untersuchung und Erklärung von Adoptionsprozessen zu leisten. Mehr in die psychologische Richtung geht die Kaufverhaltensforschung, die über das Marketing einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Betriebswirtschaftslehre nimmt.⁵¹⁸ Und ohne mit dieser Aufzählung Anspruch auf Vollständigkeit erheben zu wollen, muss schließlich auch die mikroökonomische Theorie des Konsumenten erwähnt werden, die sich die Ableitung der Marktnachfrage zum Ziel setzt.

Es ist nicht Aufgabe dieses Abschnitts, die Erkenntnisse der unterschiedlichen Richtungen zusammenzuführen und ein theoretisch bis ins Detail abgesichertes Modell des Adoptionsprozesses zu entwickeln. Das Erklärungsmuster ist grob, muss so grob sein, dass es im Rahmen dieser Beispielanwendung noch umsetzbar bleibt. Abbildung 93 stellt den Adoptionsvorgang eines Individuums als teilweise rekursives Durchlaufen von maximal sieben Zuständen dar.⁵¹⁹

Am Anfang befindet sich der Konsument im Stadium der Unkenntnis; er weiß zunächst nicht, dass ein neues Produkt am Markt angeboten wird. Erst durch das Wahrnehmen der Innovation in den Geschäften oder Schaufenstern der Anbieter oder durch die Empfehlung eines anderen Konsumenten, der das neue Produkt bereits kennt, erfährt er überhaupt von der Innovation. Die Voraussetzungen für die Informationsübertragung zwischen Konsumenten sind dabei dieselben wie in Abschnitt E.II.4. beschrieben. Wenn ein Anbieter als Informant fungiert, kommt es demgegenüber immer zu einer Informationsübertragung. Im Modell ist unterstellt, dass Kontaktfreudigkeit, soziale Distanz und Glaubwürdigkeit die Wahrscheinlichkeit eines Informationsübergangs vom Anbieter auf den Konsumenten nicht absenken. Im Kern vollzieht sich die Verbreitung von Informationen über die Existenz eines neuen Produktes genau so wie im erweiterten Informationsdiffusionsmodell aus Abschnitt E.II.4.: Konsumenten bewegen sich im Marktraum, treffen auf andere Verbraucher und Anbieter und tauschen Informationen aus. Triebfeder des Diffusionsprozesses ist nach wie vor die persönliche Kontaktaufnahme.

⁵¹⁸ Ein prominenter Vertreter dieser Richtung in der deutschen Forschung ist Kroeber-Riel. Siehe Werner Kroeber-Riel: Konsumentenverhalten, 1990.

⁵¹⁹ Urban unterscheidet zwischen fünf, zum Teil ähnlichen, elementaren Zuständen: „(1) awareness, (2) intent, (3) search, (4) choice, (5) post-purchase behavior“. Glen L. Urban: *Sprinter Mod III*, 1969, S. 809. Ein deutlich komplexeres, auf dem Informationsverarbeitungsansatz basierendes Modell der Kaufentscheidung von Konsumenten präsentiert James R. Bettmann: In *Information Processing Theory of Consumer Choice*, 1979, S. 16 ff. Auch bei Rogers findet sich ein detailliert ausgearbeitetes Phasenkonzept für den Innovations-Entscheidungsprozess: Everett M. Rogers: *Diffusion of Innovations*, 1983, S. 163 ff.

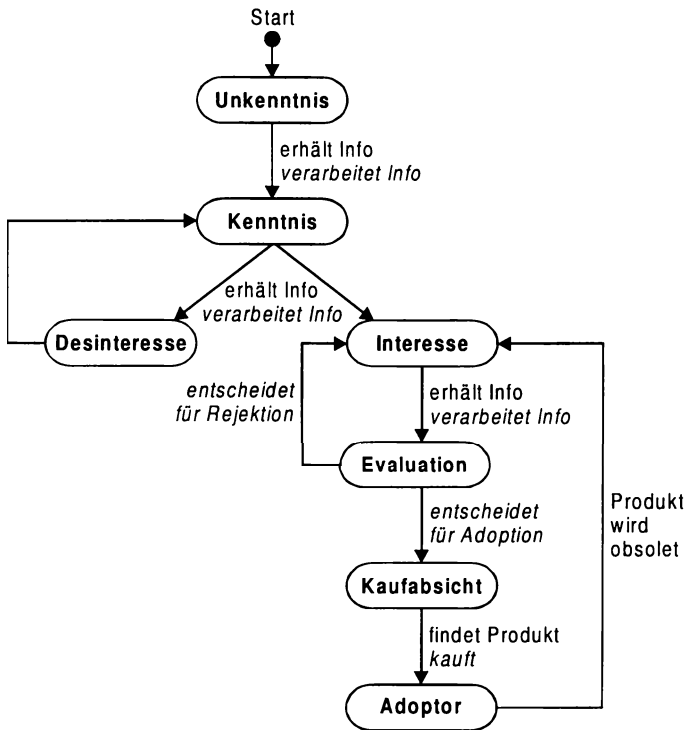


Abbildung 93: Zustände im Adoptionsprozess eines Konsumenten

Ist eine Information bei einem Konsumenten eingegangen, wird diese verarbeitet. In einem ersten Schritt wird geprüft, ob die Kontaktperson vertrauenswürdig ist und dem Wahrheitsgehalt Glauben geschenkt werden kann. Ist diese Voraussetzung erfüllt, wird die eingetroffene Produktinformation im Gedächtnis abgespeichert, wobei gleichzeitig das Eingangsdatum vermerkt wird. Das ist wichtig für die Modellierung eines Aktualitätsempfindens. Der erste Kontakt mit einer Information über das neue Produkt mündet normalerweise nicht in sofortige Kaufabsicht. Nur bei extremen Innovatoren wird die Kaufschwelle so niedrig sein, dass schon die erstmalige Information ausreicht, um Kaufinteresse hervorzurufen. Der Durchschnittskonsument muss erst allmählich Interesse an der Innovation aufbauen, bevor er dann das neue Produkt einer bewussten Evaluation unterzieht. Dieses Interesse wird über weitere Informationen, die von anderen Personen oder den Anbietern kommen, mehr und mehr verstärkt. Gleichzeitig geht die Kaufzurückhaltung Schritt um Schritt zurück, weil die Hürde für den Kauf sinkt. Dabei hängt es von der Innovativität des potenziellen Käufers ab, wie häufig die Innovation empfohlen werden muss, bevor er sich

ernsthaft mit ihr befassen wird und dabei den wahrscheinlichen Nutzen evaluiert. Bei Innovatoren werden relativ wenige Kontakte reichen; bei Imitatoren hingegen kann die Phase des Interessenaufbaus langwierig sein. Die Anzahl der für die Entstehung des Kaufwunsches notwendigen Informationskontakte wird als normalverteilte Zufallsvariable modelliert, deren Mittelwert und Standardabweichung eingestellt werden können.

Wird die Kaufschwelle schließlich überschritten und die Evaluierungsphase eingeläutet, bewertet der Verbraucher die an ihn herangetragenen Informationen über Leistungsfähigkeit und Kosten des neuen Produktes individuell anhand seiner Nutzenfunktion⁵²⁰. Bietet ihm das neue Produkt eine Chance zur Lösung eines bestehenden Problems oder die Möglichkeit, seine Situation in irgendeiner Weise zu verbessern,⁵²¹ entsteht ein Bedarf. Wenn im Rahmen der Evaluation der Innovation der erwartete Nutzen des neuen Produktes das Anspruchsniveau übertrifft, fällt die Entscheidung zugunsten der Adoption, und es entsteht konkrete Kaufabsicht; andernfalls kommt es zur Rejektion. Die Evaluation des Produktangebots führt in der diesem Abschnitt zugrunde liegenden Modellversion ohne Einschränkung zu einer positiven Kaufentscheidung. Der Fall der Rejektion tritt nie ein. Ist die Kaufschwelle erst einmal überschritten, dann ist der Wunsch, das neue Produkt zu besitzen und zu nutzen, dominant. Es ist allerdings kein Problem, in einer Modellerweiterung restriktivere Nutzenfunktionen für die Konsumentenobjekte zu unterstellen und damit die Realitätsentsprechung des Modells weiter zu verbessern. Genügte beispielsweise das neue Produkt den Wünschen des Konsumenten nicht, weil es zu teuer oder qualitativ zu schlecht ist, dann würde die Adoption verweigert; der Verbraucher befände sich in einer Endlosschleife, aus der es nur dann ein Entrinnen gäbe, sofern billigere oder bessere Produkte verfügbar würden. Geschähe weder das eine noch das andere, würde die Adoption nie vollzogen und das Marktpotenzial bliebe unausgeschöpft.

Im Falle einer positiven Adoptionsentscheidung – wie sie in dieser Modellversion immer gefällt wird – beginnt die Phase der Umsetzung: Der Konsument ist kaufwillig und trachtet danach, das gewünschte Produkt bei einem Anbieter zu erwerben. Da er – so ist es im Modell angenommen – zugleich mit der Pro-

⁵²⁰ Nutzenfunktionen sind in der volkswirtschaftlichen, mikroökonomischen Theorie weit verbreitet. Vgl. beispielsweise James M. Henderson/Richard E. Quandt: Mikroökonomische Theorie, 1983, S.5 ff. oder Hal R. Varian: Intermediate Microeconomics, 1986, S.56 ff. In der Diffusionsforschung arbeiten etwa Oren/Schwarz mit Nutzenfunktionen für die Ableitung der Auswahlentscheidung. Vgl. Shmuel S. Oren/Rick G. Schwartz: Diffusion of New Products in Risk-sensitive Markets, 1988, S. 277.

⁵²¹ Eine Verbesserung der Situation wird der potenzielle Käufer dann erreichen, wenn er mit dem neuen Produkt einen echten Mangel beseitigen, ein Bedürfnis befriedigen kann oder sich mit der Adoptionsentscheidung der soziale Druck mildern lässt, dem er sich als Nichtverwender der Innovation ausgesetzt fühlt.

duktinformation auch über den Anbieter und den Ort seines Ladens informiert wird, kann er sich dann unmittelbar dorthin begeben und seinen Bedarf decken. Mit dem Kauf geht ein Produkt in Besitz und Eigentum des Konsumenten über. An den Kauf schließt sich die Gebrauchsphase an. Mehr oder weniger oft wird der Verbraucher das Produkt benutzen, wobei im Modell eine zufallsgesteuerte Nutzung unterstellt ist. Der Einsatz des Produktes ist dabei mit einer jeweils gleichbleibenden Abnutzung verbunden, so dass die verbleibende Haltbarkeit mit jedem Gebrauch geringer wird. Aus diesem Grund ist ein Adoptionszyklus mit Eintritt in die Gebrauchsphase auch noch nicht abgeschlossen; denn wenn das Produkt infolge unabänderlichen Verschleißes irgendwann schadhaft geworden ist, wechselt der Adopter wieder in den interessierten Zustand und der Adoptionsprozess wird erneut durchlaufen.

4. Simulationsergebnisse

Die Simulation des in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen objektorientierten Konsumgüterdiffusionsmodells erfordert über die bereits getroffenen Annahmen hinaus noch die Festlegung einiger weiterer Simulationsparameter. Diese können über die nachstehend wiedergegebenen Registerdialoge bedienungsfreundlich eingestellt werden.

The image shows a software dialog box titled "Parametrisierung" with a close button (X) in the top right corner. It has four tabs: "Simulationszeit", "Markt", "Konsument" (which is selected), and "Produkt". Inside the "Konsument" tab, there is a section titled "Persönlichkeitseigenschaften". This section contains three columns of input fields. The first column is for "Kontaktfreudigkeit", the second for "Glaubwürdigkeit", and the third for "Kaufzurückhaltung". Each column has two rows of input: "Mittelwert" and "Standardabweichung". The values entered are: Kontaktfreudigkeit (Mittelwert: 0,50, Standardabweichung: 0,20), Glaubwürdigkeit (Mittelwert: 0,80, Standardabweichung: 0,10), and Kaufzurückhaltung (Mittelwert: 25, Standardabweichung: 5). The "Kaufzurückhaltung" field has a spinner control. At the bottom of the dialog are two buttons: "OK" and "Abbrechen".

	Kontaktfreudigkeit	Glaubwürdigkeit	Kaufzurückhaltung
Mittelwert:	0,50	0,80	25
Standardabweichung:	0,20	0,10	5

Abbildung 94: Dialog zur Konsumentenparametrisierung

Für die Kontaktfreudigkeit eines Verbrauchers wird ein Mittelwert von 0,5 bei einer Standardabweichung von 0,2 gewählt. Die Normalverteilung für die Glaubwürdigkeit wird mit (0,8; 0,1) parametrisiert, und für die Kaufhürde, die

durch wiederholtes Informieren zunehmend geringer wird, ist ein Mittelwert von 25 und eine Streuung von 5 unterstellt.

Die auf dem Markt feilgebotenen Produkte sollen eine durchschnittliche Qualität von 0,9 bei einer Standardabweichung von 0,1 haben. Die Haltbarkeit soll im Mittel 9999 Anwendungen betragen. Produktobsoleszenzen treten daher erst jenseits des Betrachtungshorizontes auf, so dass zunächst keine Wiederholungskäufe vorkommen. Der Preis wird auf DM 1.000 gesetzt, hat jedoch in der vorliegenden Modellversion noch keinen Einfluss auf den Diffusionsverlauf.

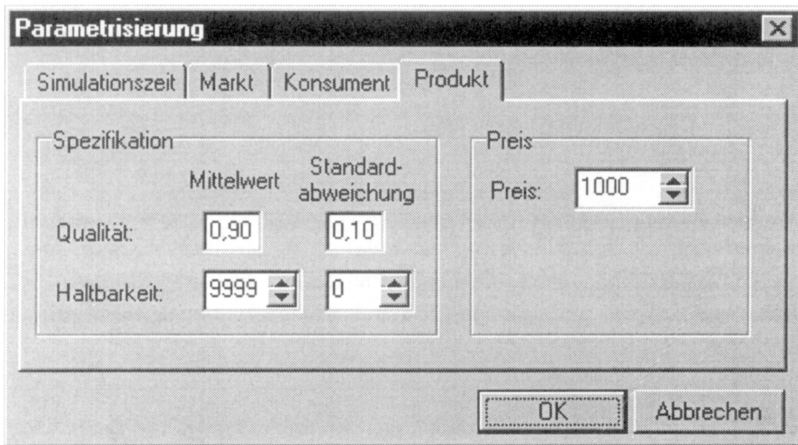


Abbildung 95: Dialog zur Produktparametrisierung

Mit der Initialisierung eines Simulationslaufes wird die vorgegebene Anzahl von Konsumenten – für die folgenden Simulationsexperimente 250, sofern nichts anderes angegeben ist – erzeugt und zufallsgesteuert im simulierten Marktgebiet verteilt. Ein mögliches Initialisierungsergebnis zeigt Abbildung 96. Im Ausgangszustand befindet sich jeder Konsument zu Hause. Keiner der Verbraucher weiß etwas von dem neuen Produkt; alle Kästchen sind transparent mit schwarzem Rahmen. Wenn der betreffende Konsument informiert ist, erhält das ihn symbolisierende Quadrat eine graue Füllung, und wer schließlich ein Produkt gekauft hat, wird mit einem schwarz gefüllten Kästchen dargestellt.

Es wird davon ausgegangen, dass nur ein Anbieter existiert, der exakt die Mittelposition des Marktraumes besetzt. Die Position des Anbieters ist hellgrau markiert, dabei aber so groß eingezeichnet, dass der gesamte Kontaktbereich abgedeckt wird. Bevor nun das Modellverhalten quasi aus der Vogelperspektive betrachtet und analysiert werden soll, erscheint es empfehlenswert, einen um den Anbieter ziemlich eng abgegrenzten Bereich etwas genauer unter die Lupe

zu nehmen und die Simulation für einen kleinen Zeitraum Schritt für Schritt auszuführen. Die Schritt-für-Schritt-Betrachtung vermag insbesondere auch der Modellüberprüfung dienen, kann sie doch aufdecken, ob sich die Marktobjekte auch tatsächlich so verhalten, wie es den getroffenen Annahmen entspricht.

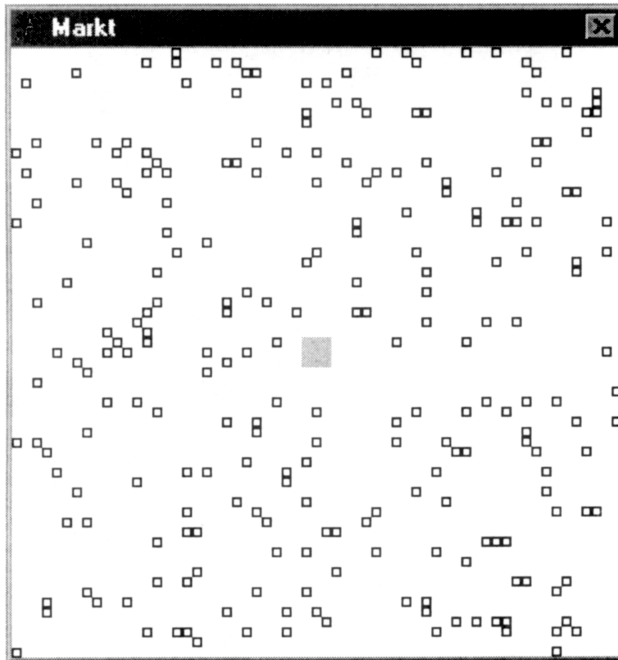


Abbildung 96: Marktgebiet nach der Initialisierung

Der beobachtete Ausschnitt umfasst in horizontaler wie vertikaler Richtung 15 Felder. Er enthält außer dem Anbieterobjekt, das mit einem großen A gekennzeichnet ist, fünf Konsumenten, die der einfacheren Identifizierbarkeit wegen von eins bis fünf durchnummeriert sind. Die Ausgangssituation in $t=0$ ist in Abbildung 97 links oben dargestellt. Damit ist zugleich auch das Zuhause des Verbrauchers festgelegt, das in den weiteren Ausschnittabbildungen durch ein hellgraues, gestricheltes und entsprechend nummeriertes Quadrat gekennzeichnet ist. Wie in Abbildung 71 auf S. 239 veranschaulicht, kann ein Verbraucher seine Position im Marktraum in einer Periode maximal um ein Feld horizontal, vertikal oder diagonal verändern. Nach vier Simulationsschritten können sich die Verbraucher daher maximal um vier Felder bewegt haben. Wie sich die Ortsveränderungen im Einzelnen vollzogen haben, ist in Abbildung 97 durch Pfeile dokumentiert. Die Position, von der die Bewegung ursprünglich ausging,

ist gestrichelt eingezeichnet. Dadurch lassen sich die „Wanderungen“ der Konsumenten gut rekonstruieren.

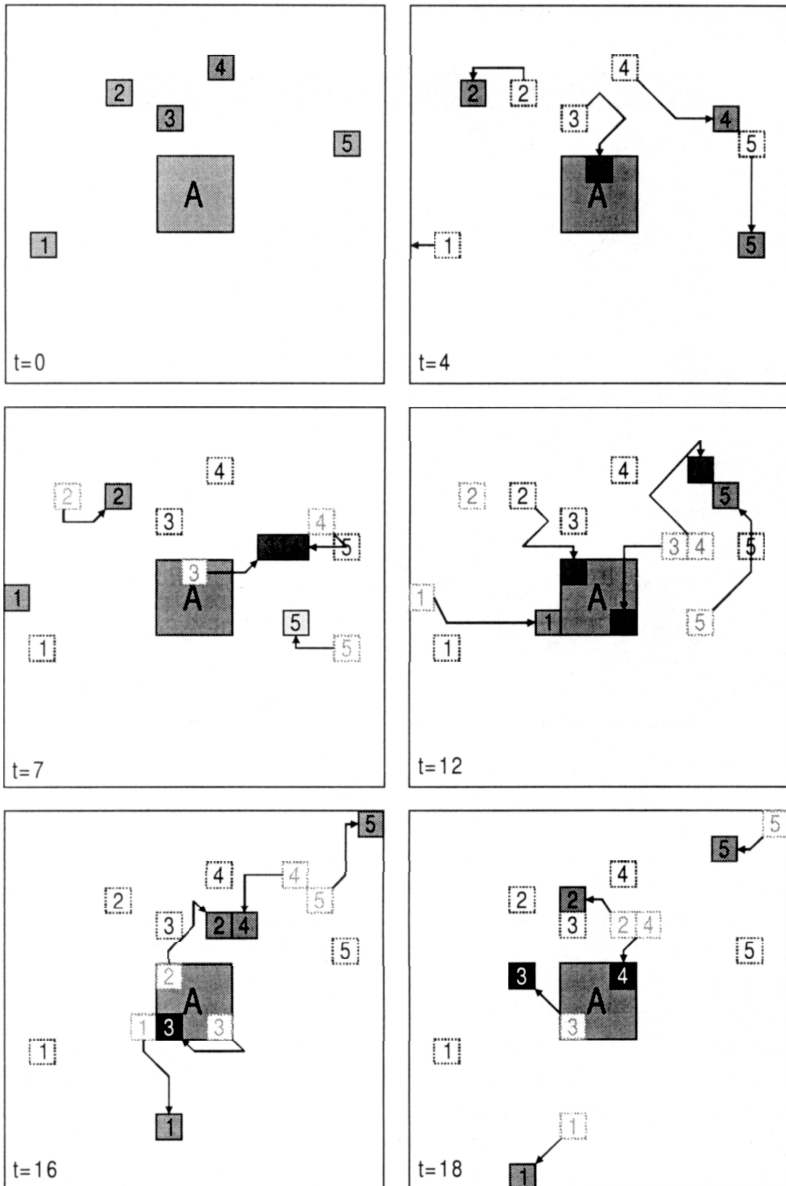


Abbildung 97: Individuenorientierte Betrachtung des Marktgeschehens

Aus der Ausschnittsdarstellung für den Zeitpunkt $t=4$ lässt sich ersehen, dass Konsument 2 zunächst ein Feld nach oben, dann zwei Felder nach links und wieder eins nach unten gegangen ist. Verbraucher Nummer 4 hat sich drei Felder diagonal nach links unten und dann noch zwei Felder waagerecht nach links bewegt. Konsument 5 ist geradewegs 5 Felder nach unten vorangekommen. Bei Verbraucher 1 und 3 haben sich in $t=4$ Sondersituationen ergeben. Während Verbraucher 1 den in die Analyse einbezogenen Marktausschnitt verlassen hat und erst ab Periode 7 wieder auftaucht, hat sich Konsument 3 in den Verkaufsraum des Anbieters begeben und über die Innovation informieren lassen. Die Kästchenfüllung ist aus diesem Grund nach dunkelgrau gewechselt. Noch ist allerdings das Interesse von Konsument 3 an dem angebotenen Gut nicht so groß, dass dieser kauft. Weitere Stimuli sind notwendig, um die verbleibende Kaufhürde zu senken. Keine Auswirkungen hat, dass Verbraucher 4 in $t=4$ am Zuhause von 5 vorbeikommt.

Im Zeitpunkt $t=7$ kommt es zum Kontakt zwischen Konsument 3 und 4. Weil offenbar alle Voraussetzungen erfüllt sind, ist der Kontakt insofern fruchtbar, als die Information über das neue Produkt von 3 an 4 weitergegeben wird. Das Konsument 4 repräsentierende Quadrat ist jetzt ebenfalls dunkelgrau gefüllt. Damit wissen im Zeitpunkt $t=7$ bereits zwei Verbraucher um die Existenz des neuen Produktes.

Der nächste Schnappschuss rechts in der Mitte von Abbildung 97 zeigt den Marktausschnitt am Ende von Periode 12. Konsument 2 hat sich jetzt ebenfalls in den Verkaufsraum des Anbieters begeben und weiß als dritter um das angebotene Gut. Auch Konsument 3 hat mit dem Anbieter wiederholt Kontakt aufgenommen. Die erneuten Informationsgespräche haben seine Kaufzurückhaltung zwar gesenkt, aber noch ist die Hürde nicht überwunden. Bei Verbraucher 5 ist in Periode 8 der Wunsch oder die Notwendigkeit entstanden, nach Hause zurückzukehren. Aus diesem Grund ist die Bewegung der Zeitschritte 8 bis 10 zielgerichtet. Erst ab Periode 11 wandert Konsument 5 wieder zufallsgesteuert im Marktraum umher. In $t=12$ trifft er Verbraucher 4. Allerdings scheint sich aus dem Treffen kein Gespräch zu entwickeln, oder die Glaubwürdigkeit von 4 reicht nicht aus; denn eine Informationsübertragung erfolgt nicht.

Im Zeitpunkt $t=16$ nimmt Verbraucher 3 zum insgesamt sechsten Mal mit dem Anbieter Kontakt auf, und jetzt zeigt die häufige Information Wirkung: Die Kaufhürde ist überwunden. Konsument 3 ist von den Vorzügen des angebotenen Produktes überzeugt und entschließt sich zum Kauf. Mit dem Erwerb des Produktes wechselt die Farbe des ihn symbolisierenden Kästchens von grau nach schwarz. Zu einem wechselseitigen Informationsaustausch kommt es in derselben Periode zwischen den Verbrauchern 2 und 4. Bei Konsument 4 ruft dieser Stimulus einen Kaufwunsch hervor, so dass dieser sich in den beiden Folgetakten auf direktem Wege zum Anbieter begibt und in Periode 18 kauft.

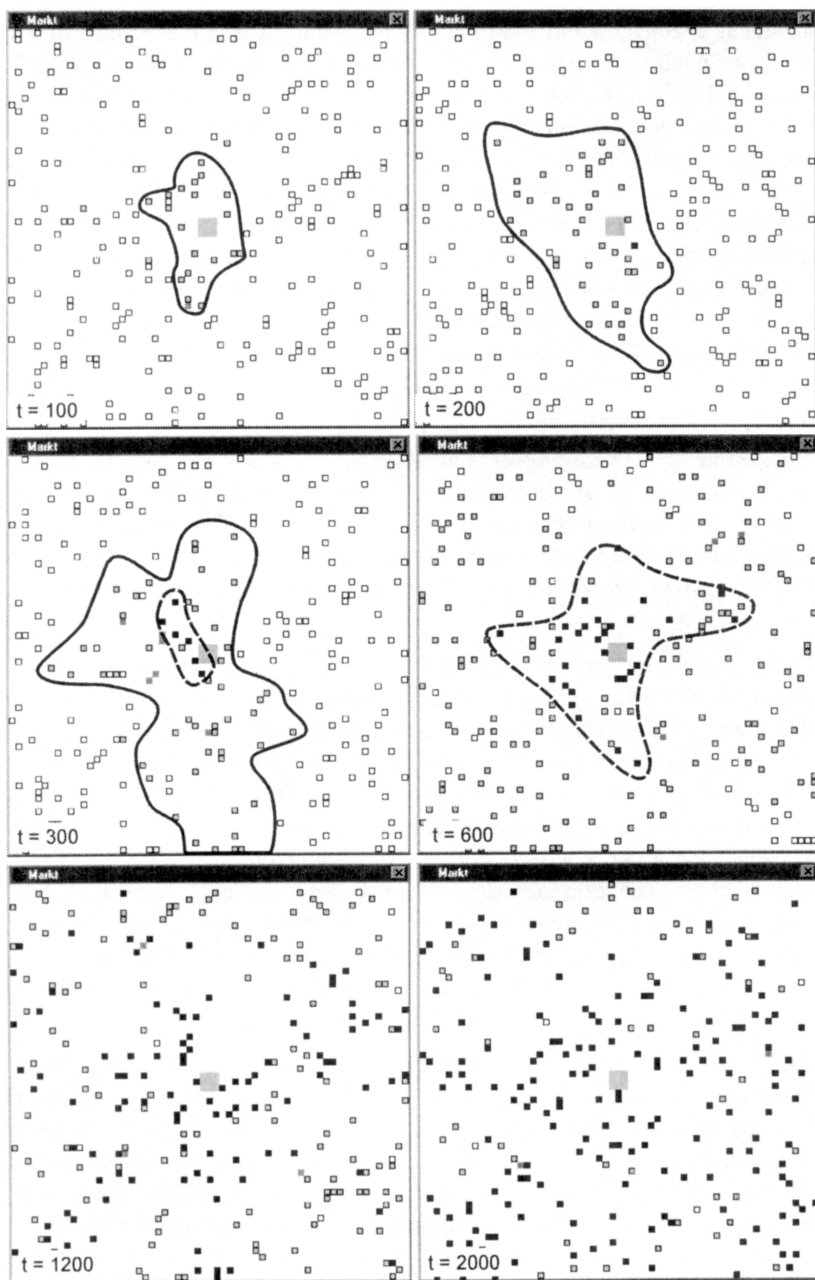


Abbildung 98: Räumliche Informations- und Produktdiffusion im Marktgebiet

Mit Abbildung 98 betrachten wir den Markt wieder aus der Vogelperspektive. Für die räumliche Diffusion der Information über das innovative Gut finden sich ähnliche Muster, wie sie bei der Simulation der reinen Informationsdiffusionsmodelle in den Abschnitten E.II.3. und E.II.4. beobachtet werden konnten. Die durchgezogene schwarze Linie in Abbildung 98 markiert, wie weit sich die Neuigkeit bis zu dem jeweils angegebenen Zeitpunkt verbreitet hat. Von Bild zu Bild wird der informierte Bereich größer. Nach etwa 600 Simulationstakten hat sich die Neuigkeit, dass ein innovatives Produkt angeboten wird, dann im ganzen Marktgebiet herumgesprochen. Nur noch ganz wenige Konsumenten sind nicht informiert, was mit hoher Wahrscheinlichkeit daran liegt, dass sie sich extrem kontaktscheu verhalten.

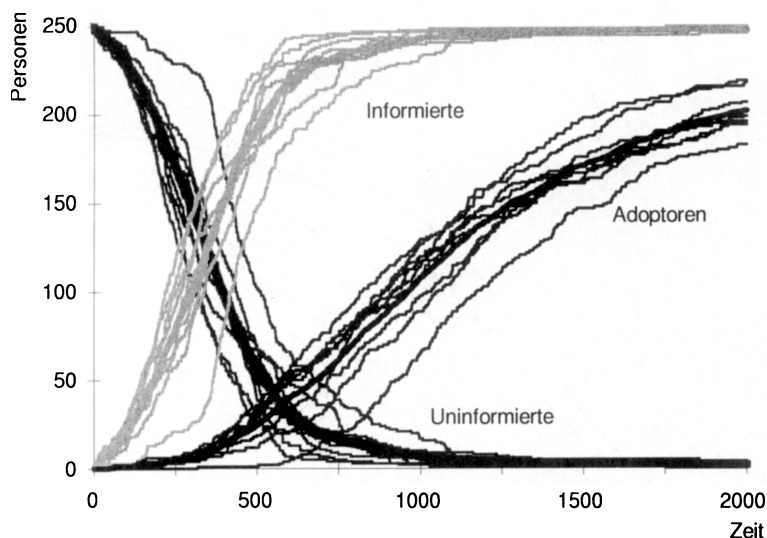


Abbildung 99: Zeitlicher Ablauf des Informations- und Produktdiffusionsprozesses ohne Wiederholungskäufe⁵²²

Die gestrichelt gezeichnete Linie markiert den Aufenthaltsbereich der Adoptoren. Wie zu erwarten ist, vollzieht sich der Produktdiffusionsprozess mit gegenüber der Informationsverbreitung deutlicher zeitlicher Verzögerung. Nach 200 Simulationstakten gibt es noch immer nur zwei Käufer. Erst ab Periode 300

⁵²² Die Simulation wurde insgesamt zehnmal mit jeweils unterschiedlichen Zufallszahlenfolgen wiederholt (Monte-Carlo-Simulation). Die sich aus den einzelnen Kurven ergebenden Durchschnitte sind als dicke, durchgezogene Linien eingezeichnet.

findet das angebotene Produkt zunehmend Verbreitung. Dabei fällt auf, dass sich nur schwer Gebiete mit relativ homogener Adoptionsstruktur abgrenzen lassen. Adoptoren und Nichtkäufer sind fast gleichmäßig über das Marktgebiet verteilt. Ein Grund dafür ist, dass die Hürden, die vor dem Kauf des Produktes stehen, je nach persönlicher Innovationsneigung individuell sehr verschieden sind. Wo der eine Verbraucher bereits nach fünfmaligem Informationsgespräch von der Neuigkeit überzeugt ist und kauft, braucht sein Nachbar womöglich 30 oder 40 Stimuli, bis er sich zum Erwerb des Produktes durchringen kann. So ist auch zu erklären, dass von der ersten Information bis zur Adoption eine doch relativ lange Zeitspanne vergeht. Während – wie Abbildung 99 zeigt – nach durchschnittlich ungefähr 1.000 Simulationstakten alle potenziellen Käufer von der Innovation erfahren haben, ist zum selben Zeitpunkt noch nicht einmal die Hälfte des Marktpotenzials ausgeschöpft. Sogar nach 2.000 Perioden benutzen erst etwa vier Fünftel aller Verbraucher das neue Produkt.

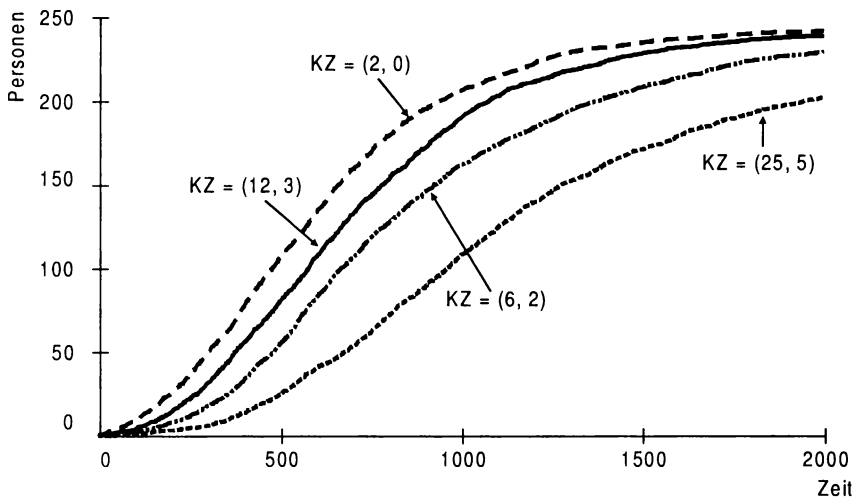


Abbildung 100: Durchschnittliche Adoptorenzahlen bei jeweils unterschiedlicher Innovationsneigung⁵²³

Dass die Innovationsneigung den maßgeblichen Einflussfaktor für die Steigung der Adoptionskurve darstellt, zeigt Abbildung 100. Je geringer die Kaufzurückhaltung der Verbraucher ist, d. h. je weniger Informationskontakte sie bis

⁵²³ Jede der dargestellten Kurven wurde durch Mittelwertbildung aus insgesamt 10 Monte-Carlo-Simulationen ermittelt. Für die Kaufzurückhaltung KZ wurden dabei die folgenden Mittelwerte und Standardabweichungen vorgegeben: (25, 5) für KZ = 25, (12, 3) für KZ = 12, (6, 2) für KZ = 6 und (2, 0) für KZ = 2.

zur Entwicklung eines Kaufwunsches benötigen, desto schneller durchdringt das neue Produkt den Markt. Dieser Zusammenhang ist augenscheinlich hochsignifikant, allerdings auch kaum überraschend.

Zwar spielt bei der Marktpenetration auch eine Rolle, dass für ein doch relativ großes Marktgebiet nur ein Anbieter zur Verfügung steht; der zum Erwerb des gewünschten Produktes zurückzulegende Weg ist für die vom Anbieter entfernt wohnenden Verbraucher daher sehr lang. Es kann aus diesem Grund einige Zeit dauern, bis es kaufwilligen Konsumenten gelingt, den Bedarf auch tatsächlich zu decken. Zwar werden sie sich annahmegemäß zielstrebig auf den Anbieter zubewegen, wenn sie sich erst einmal zum Kauf entschlossen haben; aber je nachdem wie der Zufall es will, müssen sie ihren Weg unter Umständen mehrmals unterbrechen und nach Hause zurückkehren. Bei einem vom Anbieter entfernt wohnenden Verbraucher wird somit die Zeitspanne vom Entschluss bis zur Realisierung im Durchschnitt deutlich länger ausfallen als bei jemandem, der sein Zuhause unmittelbar neben dem Verkaufsraum hat. Insgesamt ist dieser Effekt auf die Marktpenetration jedoch ziemlich gering.

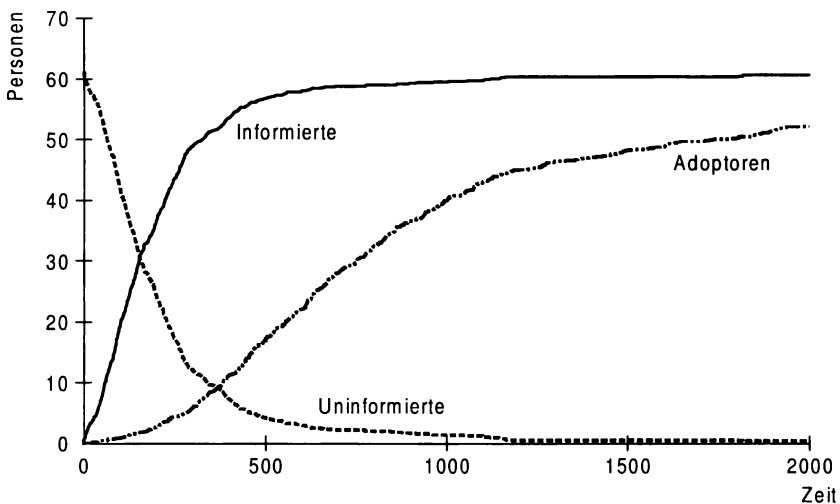


Abbildung 101: Durchschnittlicher Diffusionsverlauf bei kleinerem Marktgebiet, jedoch unveränderter Bevölkerungsdichte

Abbildung 101 zeigt den Diffusionsverlauf für ein nur halb so großes Marktgebiet mit gleicher Bevölkerungsdichte. Am Ende des Betrachtungszeitraumes sind in diesem Szenario rund 86 % der Verbraucher zu Adoptoren geworden, nur 6 % mehr als in der ursprünglichen Konstellation. Es wäre jedoch ein Fehlschluss, daraus die Erkenntnis ableiten zu wollen, dass die Anzahl der Anbieter

für die Diffusion nur von nachrangiger Bedeutung ist. Gäbe es im Ausgangsszenario zwei oder mehr Verkaufspunkte, würde natürlich auch die Informationsdiffusion beschleunigt, so dass sich die Marktpenetration insgesamt mit deutlich größerer Geschwindigkeit vollzöge.

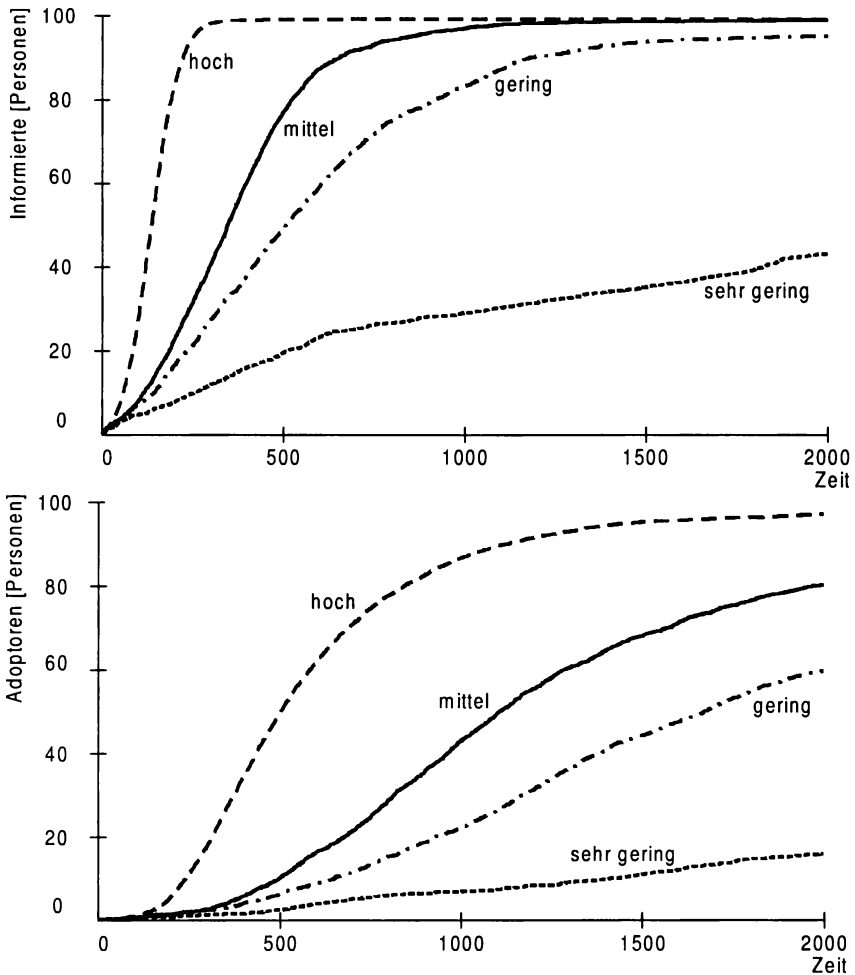


Abbildung 102: Informations- und Diffusionsverlauf in Abhängigkeit von der Bevölkerungsdichte

Ein weiterer untersuchenswerter Einflussfaktor auf das Diffusionstempo ist die Bevölkerungsdichte. Zu vermuten steht, dass die Schnelligkeit, mit der sich Informationen und Produkte verbreiten, positiv mit der Bevölkerungsdichte kor-

reliert. Je mehr Personen *ceteris paribus* auf einer gegebenen Fläche leben, desto größer müsste die Wahrscheinlichkeit sein, dass zwei sich treffen. Und je öfter es zwischen zwei Individuen zu Kontakten kommt, desto schneller müssten sich Neuigkeiten in der Bevölkerung verbreiten und desto rascher müsste die Marktpenetration voranschreiten. Die in Abbildung 102 dargestellten Simulationsergebnisse untermauern diese Vermutung. Bezogen auf ein in allen Fällen gleich großes Marktgebiet ist eine hohe Bevölkerungsdichte mit einer Population von 500 Personen, eine mittlere mit 250, eine geringe mit 187 und eine sehr geringe mit 125 assoziiert. Die Kurven der Abbildung 102 sind jedoch der Vergleichbarkeit wegen auf jeweils 100 Einwohner normiert.

Bei den bisher durchgeführten Simulationsexperimenten war die Haltbarkeit der verkauften Produkte immer so groß gewählt, dass ein Defekt vor Simulationseende nicht auftreten konnte. Wiederholungskäufe waren aus diesem Grund ausgeschlossen. Abbildung 103 stellt die Diffusionsverläufe mit und ohne Produktobsoleszenz gegenüber und verdeutlicht, wie sich das Bild verändert, wenn Produkte ausfallen können. Die mit Strich-Punkt-Punkt-Strich-Muster eingezeichneten Kurven dienen als Vergleichsmaßstab; sie geben das Szenario ohne Wiederholungskäufe wieder. Die gestrichelten und durchgezogenen Kurven markieren beide den Fall mit Wiederholungskäufen; sie unterscheiden sich allerdings durch die unterstellte Produkthaltbarkeit. Während für das gestrichelt eingezeichnete Szenario eine durchschnittliche Haltbarkeit von 150 Anwendungen mit einer Streuung von 15 unterstellt ist, liegt diese im anderen Fall – gekennzeichnet durch die durchgezogene Linie – bei nur (50; 5).

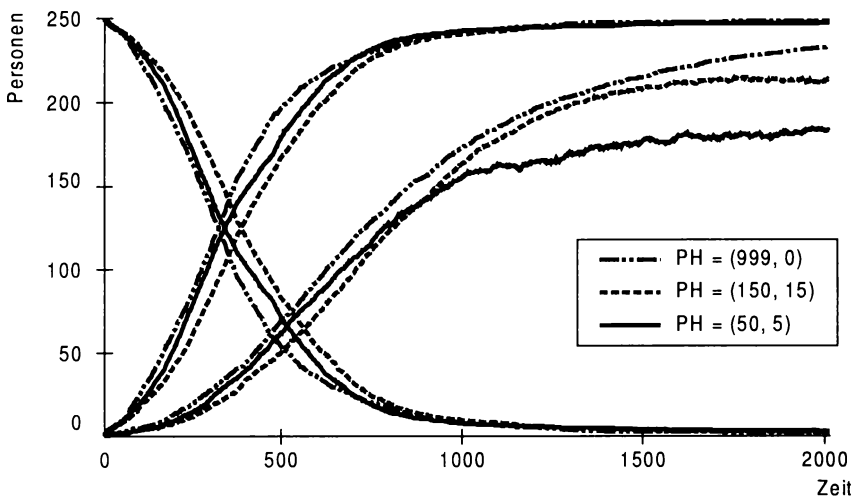


Abbildung 103: Zeitlicher Ablauf des Informations- und Produktdiffusionsprozesses bei unterschiedlicher Produkthaltbarkeit

Die relativ geringfügigen Unterschiede im Ablauf der Informationsverbreitung haben ihre Ursachen in unterschiedlichen Zufallszahlenfolgen. Das Vorhandensein oder Fehlen von Produktdefekten ist dafür nicht verantwortlich. Signifikante Unterschiede zwischen den Szenarien mit und ohne Wiederholungskäufe ergeben sich erst in den späten Phasen des Diffusionsprozesses und ausschließlich bei den Adoptorenzahlen. Mit Obsoleszenz liegt die Zahl der Adoptoren ab etwa Periode 1000 bzw. 1500 deutlich unter dem Vergleichswert. Weil immer wieder Produkte defekt werden, geht der Periodenabsatz im Durchschnitt nicht auf Null zurück, sondern verbleibt – wie Abbildung 104 zeigt – unter Schwankungen auf einem positiven Niveau.

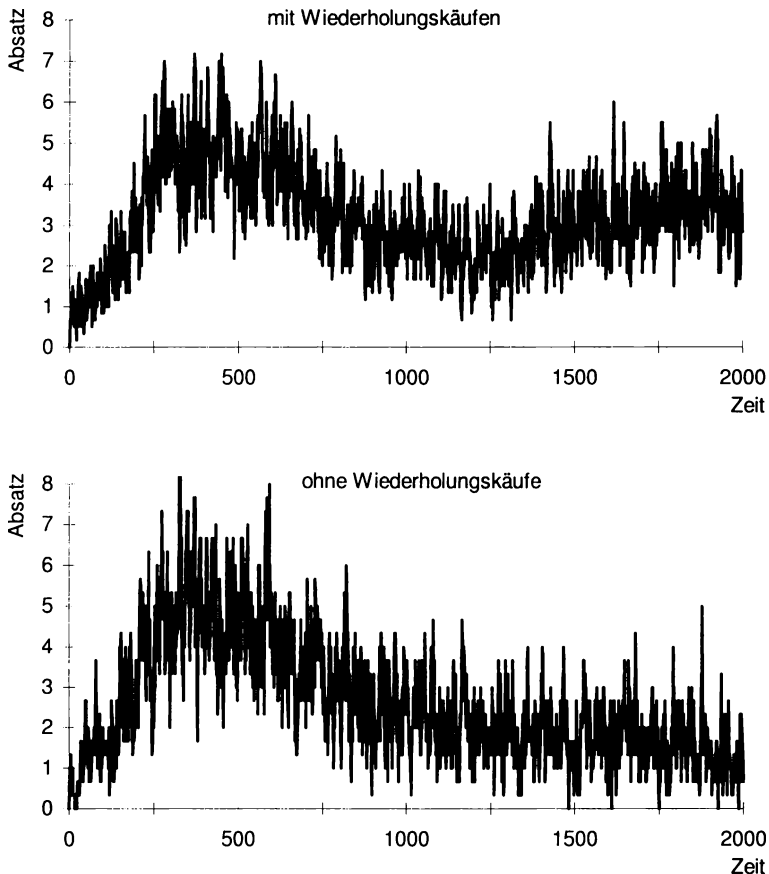


Abbildung 104: Einfluss von Wiederholungskäufen auf den Absatzverlauf –
Durchschnittswerte aus 10 Simulationsläufen

Wie von einem Demonstrationsbeispiel letztlich auch gar nicht anders erwartet werden kann, verbleibt ein praktisch unbegrenzt großes Erweiterungs- und Verbesserungspotenzial. Einige Möglichkeiten, wie die Modellierung von konsumentenindividuellen Nutzenfunktionen oder Bestell- und Lieferbeziehungen zwischen Produzenten und Anbietern, wurden bereits angesprochen. Weitere Möglichkeiten wären, das Konzept der Meinungsführerschaft zu integrieren, die Kommunikation bewerteter Informationen zuzulassen und Werbemaßnahmen abzubilden. Der Phantasie sind praktisch keine Grenzen gesetzt. Die einzigen wirklich ernst zu nehmenden Restriktionen sind der für die Modellierung anzusetzende Entwicklungsaufwand und die Leistungsfähigkeit der zur Simulation eingesetzten Computer.

F. Anwendungs- und Erfolgspotenzial des OOSMS-Ansatzes

Eingangs wurde die möglicherweise provokant anmutende Behauptung aufgestellt, dass die objektorientierte Modellierungstechnik und Modellspezifikation in besonderem Maße geeignet ist, für alle Arten und Ebenen betriebswirtschaftlichen Entscheidens problemadäquate, formale Simulationsmodelle zu erzeugen. Auch wenn im Rahmen dieser Arbeit objektorientierte Modellierung nur am Beispiel der Diffusion von Informationen und Gütern demonstriert wurde, so kann doch – auch vor dem Hintergrund anderer Arbeiten⁵²⁴ – die Universalität von OOSMS mit einigem Recht postuliert werden. Die formalen, für die Modellkonstruktion verwendeten Elemente sind abstrakt und allgemein genug, um die konkreten Inhalte jeder denkbaren betriebswirtschaftlichen Problemsituation aufnehmen zu können. Der konsequent hierarchische Modellierungsansatz macht es überdies möglich, einen exakt zum Problem passenden Auflösungsgrad zu verwenden – einer der gegenüber anderen Modellierungs- und Simulationsmethoden ganz grundlegenden Vorzüge. Anders als im System-Dynamics-Ansatz macht es keine Schwierigkeiten, einen zunächst als einzelne Bestandsgröße betrachteten Lagerbestand weiter in die einzelnen Produkte aufzulösen, sofern das notwendig ist oder gewünscht wird.

Der objektorientierte Ansatz ist mit allen Varianten diskreter und kontinuierlicher Simulation vereinbar. Er eignet sich für stochastische wie deterministische Modelle gleichermaßen. Sein Anwendungsbereich ist daher sehr breit. Wenngleich bis heute Objektorientierung überwiegend in operativ ausgerichteten Fabrikmodellen, bei Werkstatt- und Warteschlangensimulationen Einsatz findet, ist sie ebenso gut für langfristig ausgerichtete, auf unternehmenspolitischer Ebene anzusiedelnde Strategiesimulationen einsetzbar. Als geradezu maßgeschneidert erweist sich die objektorientierte Modellspezifikation für das zukunftssträchtige Anwendungsgebiet der individuenbasierten Simulation mit intelligenten Agenten. Die Beispielmodelle in Kapitel E. zur Informations- und Konsumgüterdiffusion weisen einen Weg, wie im Computer Städte, Regionen,

⁵²⁴ Vgl. Bernd Schmidt: *SIMPLEX II – Ein integriertes Simulationssystem*, 1995; Bernd Schmidt: *Intelligente Agenten und objektorientierte Modellspezifikation*, 1996; Ralf Meyer: *Computergestützte Simulation von Steuerbelastungen*, 1996; Ralf Klotzbücher: *Objektorientierte Planspielentwicklung*, 1996.

ja ganze Staaten entstehen könnten; wie virtuelle Märkte, bevölkert mit virtuellen Verbrauchern, zu realistischen unternehmerischen Experimentierfeldern für Produkt-, Preis- und Kommunikationspolitiken avancieren. Das Besondere und Innovative der objektorientierten Simulation ist die Möglichkeit, die Akteure als Individuen zu konzipieren. Anders als bei traditionellen betriebswirtschaftlichen Modellen braucht kein Verbraucher so zu sein wie der andere: Der sonst so allgegenwärtige, imaginäre Durchschnittsmensch ist überholt; denn die objektorientierte Modellierung erlaubt trotz genereller Festlegung von Eigenschaften und Verhaltensweisen die numerische Einzigartigkeit jedes einzelnen instanziierten Objektes. Individuenbasierte Simulationsmodelle haben so das Potenzial zu sozialen Versuchslabors, die der Realität wesentlich ähnlicher sind als jedes konventionelle ökonomische Theoriegebilde.

Zwei Voraussetzungen müssen für die weitere Verbreitung objektorientierter, mikroanalytischer Modelle gegeben sein: es muss Theorien geben, die als strukturelles Skelett fungieren können, und Daten, welche gleichsam das Skelett mit Fleisch zu füllen in der Lage sind. Kaum ein Mangel besteht an theoretischen Konzepten, Hypothesen und Modellen. Wer über den Mut und das Know-how verfügt, andere Wissenschaftszweige zu konsultieren, der wird mit hoher Wahrscheinlichkeit fündig werden können. Die Literatur über Informationsverarbeitungsprozesse beispielsweise ist eher zu umfangreich als zu knapp. Auf deutlich größere Schwierigkeiten wird der Modellentwickler jedoch stoßen, wenn er nach Daten für die Parametrisierung sucht. Die in vielen Bereichen unbefriedigende Datenlage zwingt zu teilweise problematischen Ad-hoc-Annahmen und verlangt nach intensiver empirischer Forschung.⁵²⁵

Weiterer Fortschritt bedarf es ebenso in der Computertechnik und der Programmierung: Die Leistungsfähigkeit selbst moderner Hochleistungscomputer ist immer noch viel zu gering, um größere und komplexere virtuelle Gesellschaften in angemessener Zeit durchrechnen zu können. Zwar besteht bei den im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Modellen noch erhebliches Potenzial zur Steigerung der Simulationsgeschwindigkeit – die verwendeten Algorithmen sind vor dem Hintergrund des Beispielcharakters und der Machbarkeitsdemonstration mehr mit dem Ziel der Einfachheit denn der Effizienz ausgewählt. Dennoch wird sich der mit der Populationsgröße überproportional ansteigende Simulationszeitbedarf durch bekannte Konzepte nur mildern, kaum aber entkoppeln lassen. Innovative Ideen sind daher unabdingbar. Ein erfolgversprechender Ansatzpunkt besteht möglicherweise in der Integration von Multiagentenmo-

⁵²⁵ Diese Situation sollte allerdings nicht dazu verleiten, das Modellieren und Simulieren mit dem Hinweis auf den Mangel an Daten von vornherein aufzugeben. Eine Ad-hoc-Annahme über bestimmte Modellparameter ist in den meisten Fällen den intuitionsgetriebenen Entscheidungen heraus immer noch vorzuziehen. Und nicht selten gibt erst ein Modell überhaupt Anhaltspunkte für Art und Umfang noch benötigter Daten.

dellierung und verteilter Simulation: Die konzeptionell in jedem Multiagentenmodell vorhandene Parallelität spricht mit einigem Nachdruck für Mehrprozessorsysteme als Zielplattform.⁵²⁶

Für einen breiten Erfolg des OOSMS-Ansatzes unverzichtbar wäre darüber hinaus auch die Bereitstellung einer integrierten Modellentwicklungs-, Simulations- und Experimentierumgebung. Das für die Programmierung der Beispielm Modelle verwendete Borland Delphi ist zwar eine leistungsfähige Softwareentwicklungsumgebung, aber die Integration der verschiedenen in Kapitel D. beschriebenen grafischen Modelle und eine Überprüfung deren Konsistenz leistet es nicht. Die Entwicklung großer objektorientierter Modelle für komplexe Probleme wird dadurch aufwendiger als sie sein müsste.

⁵²⁶ Siehe Stefan Baldi/Peter Gmilkowski: Multiagenten-Systeme und verteilte Simulation, 1996, S. 458 ff.

Anhang

Räuber-Beute-Simulationsmodell

Eine kleine Insel wird in der Ausgangssituation bewohnt von 20 Füchsen und 500 Hasen. Jeder Fuchs muss im Jahr 25 Hasen fressen, um seinen Nahrungsbedarf zu decken; bei solchermaßen ausreichender Nahrungsversorgung erreicht er ein durchschnittliches Alter von 4 Jahren; muss er hingegen hungern, wird er nicht so alt. Wie groß die Erfolgsquote der Füchse bei der Hasenjagd ist, hängt von der Populationsdichte bei Hasen ab: Je mehr Hasen es auf der Insel gibt, desto leichter fällt naturgemäß den Füchsen die Jagd und desto besser ist ihre Nahrungsversorgung.

Das Nahrungs- und Platzangebot der Insel ist für bis zu 500 Hasen ausreichend. Steigt die Anzahl der Hasen über 500, kommt es zur Überbevölkerung und die durchschnittliche natürliche Lebenserwartung sinkt unter den Normalwert von 2 Jahren. Je 100 Hasen werden im Jahr durchschnittlich 200 junge Häschen geboren. Füchse vermehren sich langsamer – auf 100 Alttiere kommen im Jahr 25 Junge.

Die mathematischen Zusammenhänge sind im Folgenden angegeben. Die Formulierung richtet sich nach den Regeln der Simulationssprache Vensim®.

Integrationsgleichungen:

Fuchspopulation = INTEG(neugeborene Füchse – Todesfälle Füchse,
STARTWERT FUCHSPOPULATION)

Units: Füchse

Hasenpopulation = INTEG(neugeborene Hasen – Todesfälle bei Hasen,
STARTWERT HASENPOPULATION)

Units: Hasen

Flussgrößen- und Hilfsgrößengleichungen:

Jagderfolgsquote Füchse = Populationsdichte bei Hasen

Units: Dmnl

Nahrungsversorgung Füchse = von Füchsen gefressene Hasen
 / (Fuchspopulation * Ø NAHRUNGSBEDARF JE FUCHS)

Units: Dmnl

natürliche Todesfälle bei Hasen =

natürliche Todesfälle bei Hasen ohne Füchse * EXP(-1 *
 von Füchsen gefressene Hasen /
 natürliche Todesfälle bei Hasen ohne Füchse)

Units: Hasen/Jahr

natürliche Todesfälle bei Hasen ohne Füchse =

Hasenpopulation / Ø LEBENSDAUER HASEN *
 EXP(Populationsdichte bei Hasen - 1)

Units: Hasen/Jahr

neugeborene Füchse = Fuchspopulation * GEBURTENRATE FÜCHSE

Units: Füchse/Jahr

neugeborene Hasen = Hasenpopulation * GEBURTENRATE HASEN

Units: Hasen/Jahr

Populationsdichte bei Hasen =

Hasenpopulation/TRAGBARE HASENPOPULATION

Units: Dmnl

Todesfälle bei Hasen =

von Füchsen gefressene Hasen
 + natürliche Todesfälle bei Hasen

Units: Hasen/Jahr

Todesfälle Füchse = Fuchspopulation / Ø LEBENSDAUER FÜCHSE *
 EXP(-3 * Nahrungsversorgung Füchse +3)

Units: Füchse/Jahr

von Füchsen gefressene Hasen = Fuchspopulation
 * Ø NAHRUNGSBEDARF JE FUCHS
 * Jagderfolgsquote Füchse

Units: Hasen/Jahr

Modellparameter:

GEBURTENRATE FÜCHSE = 0.25

Units: 1/Jahr

GEBURTENRATE HASEN = 2

Units: 1/Jahr

Jahr = TIME BASE(0, 1.33333)

Units: Dmnl [0,1.33333]

Monate pro Jahr = 1/TIME STEP * 0.0833333

Units: Dmnl

Ø LEBENSDAUER FÜCHSE = 4

Units: Jahr

Ø LEBENSDAUER HASEN = 2

Units: Jahr

Ø NAHRUNGSBEDARF JE FUCHS = 25

Units: Hasen/(Fuchs*Jahr)

STARTWERT FUCHSPOPULATION = 20

Units: Füchse

STARTWERT HASENPOPULATION = 500

Units: Hasen

TRAGBARE HASENPOPULATION = 500

Units: Hasen

Simulationsparameter:

FINAL TIME = 50

Units: Jahr

INITIAL TIME = 0

Units: Jahr

SAVEPER = 0.25

Units: Jahr

TIME STEP = 0.0625

Units: Jahr

Objektorientierte Diffusionsmodelle – Quellcode

Der interessierte Leser kann die compilierten Modelle und den kompletten Quellcode über das Internet beziehen. Die WWW-Adresse ist:

<http://www.bwl.uni-mannheim.de/strohhecker/>

Literaturverzeichnis

- Albert, Hans*: Kritik der reinen Erkenntnislehre – Das Erkenntnisproblem in realistischer Perspektive, Tübingen: Mohr, 1987.
- Traktat über kritische Vernunft, 5., verbesserte und erweiterte Auflage, Tübingen: Mohr (UTB), 1991.
- Anderson, John R.*: Kognitive Psychologie, 2. Auflage, Heidelberg: Spektrum, Akademie Verlag, 1996.
- Apsalons, Edmunds*: Das Problem der Letztbegründung und die Rationalität der Philosophie – Kritischer Rationalismus versus Transzendentalpragmatik: zum Begründungsstreit in der deutschen Philosophie, Bremen [Druckort]: Milde Druck [Druckerei], 1995.
- Argyris, Chris/Schoen, Donald*: Organizational Learning II – Theory, Method, and Practice, Reading, Mass. u. a.: Addison-Wesley, 1996.
- Baldi Stefan/Gmilkowski Peter*: Multiagenten-Systeme und verteilte Simulation, in: Willfried Krug (Hrsg.): Simulationstechnik – 10. Symposium in Dresden, September 1996, Tagungsband, Wiesbaden: Vieweg, 1996, S. 457–460.
- Balzert, Heide/Stein, Wolfgang*: Wodurch unterscheiden sich die objektorientierten Methoden?, in: Objekt Spektrum, Heft Mai/Juni, Jahrgang 1, 1994, S. 23–28.
- Bamberg, Günter/Coenenberg, Gerhard*: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre, 9., überarbeitete Auflage, München: Vahlen, 1996.
- Barlas, Yaman*: Formal Aspects of Model Validity and Validation, in: System Dynamics Review, Jahrgang 12, Heft 3, Herbst, 1996, S. 183–210.
- Barlas, Yaman/Carpenter, Stanley*: Philosophical Roots of Model Validation: Two Paradigms, in: System Dynamics Review, Jahrgang 6, Heft 2, Sommer, 1996, S. 148–166.
- Bass, Frank M.*: A New Product Growth Model for Consumer Durables, in: Management Science, Jahrgang 15, Heft 5, Januar, 1969, S. 215–227.
- Bauer, Hans H.*: Marktabgrenzung – Konzeption und Problematik von Ansätzen und Methoden zur Abgrenzung und Strukturierung von Märkten unter besonderer Berücksichtigung marketingtheoretischer Verfahren, Berlin: Duncker & Humblot, 1989.
- Baumgarten, Steven A.*: The Innovative Communicator in the Diffusion Process, in: Journal of Marketing Research, Jahrgang 12, Heft Februar, 1975, S. 12–18.
- Beer, Stafford*: Kybernetik und Management, 4. Auflage, Frankfurt am Main: Fischer, 1970.
- Kybernetische Führungslehre, Frankfurt am Main: Herder, 1973.
- Bertalanffy, Ludwig von*: Vorläufer und Begründer der Systemtheorie, in: Ruprecht Kurzrock (Hrsg.): Systemtheorie, Berlin: Colloquium Verlag, 1972.

- Bettmann, James R.*: An Information Processing Theory of Consumer Choice, Reading, Mass. u. a.: Addison-Wesley, 1979.
- Blair, Gordon/Gallagher, John J./Malk, Javad*: Genericity vs. Inheritance vs. Delegation vs. Conformance vs. ..., in: JOOP, Jahrgang 2, Heft September/Oktober, 1989, S. 11–17.
- Böcker, Franz/Gierl, Heribert*: Die Diffusion neuer Produkte – Eine kritische Bestandsaufnahme, in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Jahrgang 40, Heft 1, 1988, S. 32–48.
- Borland International (Hrsg.): Handbuch Bibliothekenreferenz – Band 2, ohne Ort: ohne Verlag, 1995.
- Handbuch Komponentenentwicklung, ohne Ort: ohne Verlag, 1995.
 - Object Pascal Sprachreferenz, ohne Ort: ohne Verlag, 1995.
- Boulding, Kenneth E.*: The Image, Michigan: Ann Arbor, 1956.
- Brander, Sylvia/Kompa, Ain/Peltzer, Ulf*: Denken und Problemlösen – Einführung in die kognitive Psychologie, 2. durchgesehene Auflage, Opladen: Westdeutscher Verlag, 1989.
- Bretzke, Wolf-Rüdiger*: Der Problembezug von Entscheidungsmodellen, Tübingen: Mohr, 1980.
- Brim, Orville G./Class, David C./Lavin, David E./Goodman, Norman E.*: Personality and Decision Process – Studies in the Social Psychology of Thinking, Stanford, California: Stanford University Press, 1962.
- Bronstein, Ilja N./Semedjajew, Konstantin A./Musiol Gerhard/Mühlig, Heiner*: Taschenbuch der Mathematik, Thun/Frankfurt am Main: Verlag Harri Deutsch, 1993.
- Bugdahl, Volker*: Kreatives Problemlösen, Würzburg: Vogel, 1991.
- Casti, John L.*: On System Complexity: Identification, Measurement, and Management, in: John L. Casti/A. Karqvist: Complexity, Language and Life: Mathematical Approaches, New York u. a.: Springer, 1986.
- Chatterjee, Rabikar/Eliashberg, Jehoshua*: The Innovation Diffusion Process in a Heterogeneous Population, in: Management Science, Jahrgang 36, 1990, S. 1057–1079.
- Churchman, C. West*: Einführung in die Systemanalyse, 2. Auflage, München: Verlag Moderne Industrie, 1971.
- Coad, Peter/Nicola, Jill*: Object-Oriented Programming, Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1993.
- Coad, Peter/Yourdon, Edward*: Object-Oriented Analysis, Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1991.
- Cohen, Kalman J./Cyert, Richard M.*: Simulation of Organizational Behavior, in: James G. March (Hrsg.) Handbook of Organizations, Chicago: Rand McNally & Company, 1965, S. 305–334.
- Conway, R. W.*: Some Tactical Problems in Digital Simulation, in: Management Science, Jahrgang 10, Heft 1, 1963, S. 92–110.
- Denert, Ernst*: Objektorientierung – Weg aus der Softwarekrise, in: Online, Heft 10, 1992, S. 50–52.
- Descartes, René*: Regulae ad directionem ingenii, Lateinisch-Deutsch, Meiner-Ausgabe, Hamburg: Felix Meiner Verlag, 1973.

- Dörner, Dietrich et alii* (Hrsg.): Lohhausen – Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität, (DFG-Projekt DO 200/4 „Systemdenken“, unveränderter Nachdruck der Ausgabe von 1983, Bern u. a.: Huber, 1994.
- Dörner, Dietrich*: Die Logik des Mißlingens – Strategisches Denken in komplexen Situationen, Reinbeck bei Hamburg: Rowohlt, 1989.
- Drenick, R. F.*: An Appraisal of the Status and Future of System Theory, in: Jerome Fox (Hrsg.): System Theory, Brooklyn: Polytechnic Press, 1965.
- Duden – Rechtschreibung der deutschen Sprache, 21., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Mannheim u. a.: Dudenverlag, 1996.
- Eisenführ, Franz/Weber, Martin*: Rationales Entscheiden, 2. Auflage, Berlin u. a.: Springer, 1994.
- Entsminger, Gary*: The Tao of Objects – A Beginner's Guide to Object-Oriented Programming, Redwood City: M&T Publishing, 1991.
- Enzyklopädie Naturwissenschaft und Technik, Band 2: E–J, München: Verlag Moderne Industrie, 1980.
- Band 5: Str–Z, München: Verlag Moderne Industrie, 1981.
- Flechtner, Hans-Joachim*: Grundbegriffe der Kybernetik – Eine Einführung, Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, 1966.
- Forrester, Jay W.*: Industrial Dynamics, Cambridge, Mass.: The M.I.T. Press, 1961.
- Principles of Systems, Second Preliminary Edition, Fifth Printing, Cambridge, Mass.: Wright-Allen Press, 1971.
 - Counterintuitive Behavior of Social Systems, in: Collected Papers of Jay W. Forrester, Cambridge, Mass.: Wright-Allen Press, 1975, S. 211–244.
 - Industrial Dynamics – After the first Decade, in: Collected Papers of Jay W. Forrester, Cambridge, Mass.: Wright-Allen Press, 1975, S. 133–150.
 - Policies, Decisions, and Information Sources for Modeling, in: John D. W. Morecroft/John D. Sterman (Hrsg.): Modeling for Learning Organizations, Portland, Oregon: Productivity Press, 1994, S. 51–84.
 - Systems Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR, in: System Dynamics Review, Jahrgang 10, Heft 2-3, 1994, S. 245–256.
- Forrester, Jay W./Senge, Peter M.*: Tests for Building Confidence in System Dynamics Models, in: Angusto Legasto (Hrsg.): System Dynamics, Amsterdam: North-Holland, 1980, S. 209–228.
- Frauenstein, Thomas/Pape, Uwe/Wagner, Olaf*: Objektorientierte Sprachkonzepte und diskrete Simulation – Klassifikation, Vergleich und Bewertung von Konzepten der Programmiersprachen Simula 67, Modula 2, Pascal, Smalltalk 80 und Beta aus objektorientierter Sicht vor dem Hintergrund des Anwendungsgebietes der diskreten Simulation, Berlin/Heidelberg: Springer, 1990.
- Gaines, Brian R.*: General Systems Research: Quo Vadis? General Systems Yearbook, Jahrgang 24, 1979, 1–9.
- Gal, Thomas/Gehring, Hermann*: Betriebswirtschaftliche Planungs- und Entscheidungstechniken, Berlin: de Gruyter, 1981.
- Gerster, Hans-Dieter*: Aussagenlogik, Mengen, Relationen, Freiburg/Basel/Wien: Herder, 1972, S. 124.

- Geus, Arie P. de*: Modeling to Predict or to Learn?, in: John D. W. Morcroft/John D. Serman (Hrsg.): Modeling for Learning Organizations, Portland, Oregon: Productivity Press, 1994, S. xiii–xvi.
- Glaserfeld, Ernst von*: Konstruktion der Wirklichkeit und des Begriffs der Objektivität, in: Heinz Gumin/Heinrich Meier (Hrsg.): Einführung in den Konstruktivismus – Mit Beiträgen von Heinz von Foerster, Ernst von Glasersfeld, Peter M. Hejl, Siegfried J. Schmidt und Paul Watzlawick, München/Zürich: Piper, 1992.
- Einführung in den radikalen Konstruktivismus, in: Paul Watzlawick (Hrsg.): Die erfundene Wirklichkeit – Wie wissen wir, was wir zu wissen glauben? – Beiträge zum Konstruktivismus, 8. Auflage der Neuausgabe von 1985, München/Zürich: Piper, 1994.
- Gosepath, Stefan*: Aufgeklärtes Eigeninteresse – Eine Theorie theoretischer und praktischer Rationalität, Frankfurt am Main: Surkhamp, 1992.
- Gothein, Werner*: Evaluation von Anlagestrategien, Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl., 1995.
- Gräffen, Gérard*: Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung, Tübingen: Mohr, 1963.
- Grams, Timm*: Simulation – Strukturiert und objektorientiert programmiert, Mannheim u. a.: BI-Wissenschaftsverlag, 1992.
- Greinke, Helmut*: Entscheidungsverlauf und Entscheidungseffizienz – Eine Experimentaluntersuchung, Krefeld: M+M, 1986.
- Grundmann, Thomas/Stüber, Karsten* (Hrsg.): Philosophie der Skepsis, Paderborn: Schöningh (UTB), 1996.
- Guntram, Ulrich*: Die Allgemeine Systemtheorie, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 55. Jahrgang, Heft 3, 1985, S. 306–323.
- Gutenberg, Erich*: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, Wiesbaden: Gabler, 1958.
- Hägerstrand, Torsten*: A Monte Carlo Approach to Diffusion, in: Archives Européennes de Sociologie, Jahrgang 6, Heft 1, 1965, S. 43–67.
- Hanssmann, Friedrich*: Einführung in die Systemforschung – Methodik der modellgestützten Entscheidungsvorbereitung, 3., völlig überarbeitete Auflage, München: Oldenburg, 1987.
- Harbort, Steffen*: Computersimulation in den Sozialwissenschaften, Band 1: Einführung und Anleitung, Reinbeck bei Hamburg: Rowohlt, 1974.
- Computersimulation in den Sozialwissenschaften, Band 2: Beurteilung und Modellbeispiele, Reinbeck bei Hamburg: Rowohlt, 1974.
- Hauschildt, Jürgen*: Alternativenzahl und Effizienz von Entscheidungen, in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 35. Jahrgang, 1983, Heft 2, S. 94–112.
- Heeler, Roger M./Hustad, Thomas P.*: Problems in Predicting New Product Growth for Consumer Durables, in: Management Science, Jahrgang 26, Heft 10, 1980, S. 1007–1020.
- Heinen, Edmund*: Grundfragen der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre, München: Goldmann, 1976.
- Industriebetriebslehre als entscheidungsorientierte Unternehmensführung, in: Edmund Heinen (Hrsg.): Industriebetriebslehre – Entscheidungen im Industriebetrieb, 9., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Wiesbaden: Gabler, 1991, S. 1–71.

- Entscheidungstheorie, in: Gabler Wirtschaftslexikon, 14. Auflage, Wiesbaden: Gabler, 1997, S. 1132–1136.
- Heirs, Ben/Farrell, Peter*: Entscheidungsmanagement, München: Langen Müller, Herbig, 1989.
- Henderson, James M./Quandt, Richard E.*: Mikroökonomische Theorie – Eine mathematische Darstellung, 5. überarbeitete Auflage, München: Vahlen, 1983.
- Hesse, Hans-Werner*: Kommunikation und Diffusion von Produktinnovationen im Konsumgüterbereich – Prognose der Erstkäufe bei kauffördernder und kaufhemmender Kommunikation mit Diffusionsmodellen, Berlin: Duncker u. Humblot, 1987.
- Higgins, James M./ Wiese, Gerold G.*: Innovationsmanagement – Kreativitätstechniken für den unternehmerischen Erfolg, Berlin/Heidelberg/New York: Springer, 1996.
- Hilgendorf, Eric*: Hans Albers zur Einführung, Hamburg: Junius, 1997.
- Hilke, Wolfgang*: Markt, Marktformen und Marktverhaltensweisen, in: Handwörterbuch der Betriebswirtschaft, Teilband I–Q, 5., völlig neu gestaltete Auflage, Stuttgart: Poeschel, 1993, Sp. 2769–2782.
- Hinterhuber, Hans H.*: Strategische Unternehmensführung – 1. Strategisches Denken: Vision, Unternehmenspolitik, Strategie, Berlin/New York: de Gruyter, 1996.
- Hoffmann, Heinz*: Kreativitätstechniken für Manager, 2. Auflage, Landsberg am Lech: Verlag Moderne Industrie, 1987.
- Hruschka, Peter*: Objektorientierte Analyse- und Designprinzipien, in: Objektspektrum Heft Mai/Juni, Jahrgang 1, 1994, S. 16–22.
- Hyman, Michael R.*: The Timeliness Problem in Application of Bass-Type New Product-Growth Models to Durable Sales Forecasting, in: Journal of Business Research, Jahrgang 16, Heft 1, 1988, S. 31–47.
- Irle, Martin*: Lehrbuch der Sozialpsychologie, Göttingen: Hogrefe, 1975.
- Kaas, Klaus P.*: Diffusion und Marketing – Das Konsumentenverhalten bei der Einführung neuer Produkte, Stuttgart: Poeschel, 1973.
- Kappel, Gerti/Schrefl, Michael*: Objektorientierte Informationssysteme – Konzepte, Darstellungsmittel, Methoden, Wien/New York: Springer, 1996.
- Karlsson, Georg*: Ein mathematisches Modell der Nachrichtenverbreitung, in: Renate Mayntz (Hrsg.): Formalisierte Modelle in der Soziologie, Neuwied am Rhein/Berlin: Luchterhand, 1967, S. 73–82.
- Kirsch, Werner*: Einführung in die Theorie der Entscheidungsprozesse, 2., durchgesehene und ergänzte Auflage der Bände I bis III als Gesamtausgabe, Wiesbaden: Gabler, 1977.
- Klir, George J.*: An Approach to General Systems Theory, New York u. a.: Van Nostrand Reinhold, 1969.
- Klir, George J.*: Facets of Systems Science, New York/London: Plenum Press, 1991.
- Klophaus, Richard*: Anwendungsprobleme bei der Diffusionsprognose und -steuerung – Das Ende der klassischen Diffusionsmodellierung? in: Marketing ZFP, Heft 2, 1995, S. 89–98.
- Klotzbücher, Ralf*: Objektorientierte Planspielentwicklung – Konzept für den Versicherungssektor, Wiesbaden: Gabler, 1996.

- Köhler*, Rudolf: Theoretische Systeme der Betriebswirtschaftslehre im Lichte der neueren Wissenschaftslogik, Stuttgart: Poeschel, 1966.
- Kortzfleisch*, Gert von: Wissenschaftstheoretische und wissenschaftspolitische Gedanken zum Thema: Betriebswirtschaftslehre als Wissenschaft, in: Gert von Kortzfleisch (Hrsg.): Wissenschaftsprogramm und Ausbildungsziele der Betriebswirtschaftslehre, Berlin: Duncker & Humblot, 1971, S. 1–20.
- Kotler*, Philip/*Bliemel*, Friedhelm: Marketing-Management – Analyse, Planung, Umsetzung und Steuerung, 7., vollständig neu bearbeitet und für den deutschen Sprachraum erweiterte Auflage, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1992.
- Kreimendahl*, Lothar: Hauptwerke der Philosophie – Rationalismus und Empirismus, Stuttgart: Reclam, 1994.
- Kroeber-Riel*, Werner: Konsumentenverhalten, 4., verbesserte und erneuerte Auflage, München: Vahlen, 1990.
- Kuhn*, Thomas S.: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen, 2., revidierte und um das Postskriptum von 1969 ergänzte Auflage, Frankfurt am Main: Surkhamp, 1976.
- Lamprecht*, Günther: Einführung in die Programmiersprache SIMULA – Anleitung zum Selbststudium, 3., neubearbeitete Auflage, Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg, 1988.
- Lane*, David C.: Modeling als Learning – A Consultancy Methodology for Enhancing Learning in Management Teams, in: John D. W. Morcroft/John D. Sterman (Hrsg.): Modeling for Learning Organizations, Portland, Oregon: Productivity Press, 1994, S. 85–117.
- The Folding Star: A Comparative Reframing and Extension of Validity Concepts in System Dynamics, in: Proceedings of the 1995 International System Dynamics Conference, Band I – Plenary Program, Tokyo: ohne Verlag, 1995, S. 111–130.
- Lange*, Oskar: Wholes and Parts – A General Theory of System Behaviour, Oxford u. a.: Pergamon Press, 1965.
- Leibniz*, Gottfried Wilhelm: Kleine Schriften zur Metaphysik, Hrsg. und übers. von Hans Heinz Holz, 1. Auflage, Frankfurt am Main: Surkhamp, 1996.
- Lenk*, Hans: Wissenschaftstheorie und Systemtheorie, in: Hans Lenk/Günter Ropohl (Hrsg.): Systemtheorie als Wissenschaftsprogramm, Königstein: Athenäum Verlag, 1978, S. 239–269.
- Loomis*, Mary E. S.: OODMS – Dichtung und Wahrheit, in: ObjektSpektrum, Heft 4, September/Okttober, Jahrgang 1, 1994, S. 18–24.
- Lüscher*, Andreas/*Straubinger*, Andreas: Objektorientierte Technologien, Zürich: vdf Hochschulverlag, 1996.
- Mahajan*, Vijay/*Muller*, Eitan/*Bass*, Frank M.: New Product Diffusion Models in Marketing – A Review and Directions for Research, in: Journal of Marketing, Jahrgang 54, 1990, S. 1–26.
- Mahajan*, Vijay/*Muller*, Eitan: Innovation Diffusion and New Product Growth Models in Marketing, in: Journal of Marketing, Jahrgang 43, 1979, S. 55–68.
- Mahajan*, Vijay/*Muller*, Eitan/*Srivastava*, Rajendra K.: Determination of Adopter Categories by Using Innovation Diffusion Models, in: Journal of Marketing Research, Jahrgang 27, Heft Februar, 1990, S. 38–50.
- Mahajan*, Vijay/*Peterson*, Robert A.: Models for Innovation Diffusion, Newbury Park, Calif.: Sage, 1994.

- Mahajan, Vijay/Sharma, Subash*: Simple Algebraic Estimation Procedure for Innovation Diffusion Models of New Product Acceptance, in: *Technological Forecasting and Social Change*, Jahrgang 30, Heft 4, 1986, S. 331–346.
- Maier, Frank*: Die Integration wissens- und modellbasierter Konzepte zur Entscheidungsunterstützung im Innovationsmanagement, Berlin: Duncker & Humblot, 1995.
- Mansfield, Edwin*: The Diffusion of Flexible Manufacturing Systems in Japan, Europe and the United States, in: *Management Science*, Jahrgang 39, Heft 2, 1993, S. 149–159.
- March, James G./Simon, Herbert A.*: Kognitive Grenzen der Rationalität, in: Eberhard Witte/Alfred L. Thimm (Hrsg.): *Entscheidungstheorie – Texte und Analysen*, Wiesbaden: Gabler, 1977, S. 41–75.
- Marr, Rainer/Picot, Arnold*: Absatzwirtschaft in: Edmund Heinen(Hrsg.): *Industriebetriebslehre – Entscheidungen im Industriebetrieb*, Wiesbaden: Gabler, 1991, S. 623–728.
- Mertens, Peter*: *Simulation*, 2., neu bearbeitete Auflage, Stuttgart: Poeschel, 1982.
- Mesarovic, Mihajilo D./Takahara, Yasuhiko*: *General Systems Theory: Mathematical Foundations*, New York: Academic Press, 1975.
- Meyer, Bertrand*: *Object-oriented Software Construction*, 2. Auflage, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, 1997.
- *Objektorientierte Softwareentwicklung*, München: Hanser/London: Prentice-Hall Internat., 1990.
- Meyer, Ralf*: Computergestützte Simulation von Steuerbelastungen – Ein objektorientiertes EDV-Modell für Deutschland, Frankreich und Großbritannien, Baden-Baden: Nomos-Verl.-Ges., 1996.
- Miller, George A.*: The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information, in: *The Psychological Review*, Jahrgang 63, 1956, S. 81–97.
- Milling, Peter*: *Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik*, Berlin: Duncker & Humblot, 1981.
- *Leitmotive des System-Dynamics-Ansatzes*, in: *WiSt*, Heft 10, 1984, S. 507.
 - *Diffusionstheorie und Innovationsmanagement*, in: Erich Zahn (Hrsg.): *Technologie- und Innovationsmanagement*, Berlin: Duncker & Humblot, 1986, S. 49–70.
 - *Organisationales Lernen und seine Unterstützung durch Managementsimulatoren*, in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft-Ergänzungsheft* 3, 1995, S. 93–112.
 - *Simulationen in der Produktion*, in: *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft*, 2. völlig neu gestaltete Auflage, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1996, Sp. 1840–1852.
- Milling, Peter/Maier, Frank*: *Invention, Innovation, Diffusion*, Berlin: Duncker & Humblot, 1996.
- Mintzberg, Henry/Raisinghani, Duru/Théorêt, André*: The Structure of „Unstructured“ Decision Processes, in: *Administrative Science Quarterly*, Jahrgang 21, 1976, S. 246–275.
- Möller, Dietmar*: *Modellbildung, Simulation und Identifikation dynamischer Systeme*, Berlin u. a.: Springer, 1992.

- Morris*, William T.: On the Art of Modeling, in: *Management Science*, Jahrgang 13, Heft 12, S. B-707–B-717, 1967.
- Müller*, Jürgen (Hrsg.): *Verteilte Künstliche Intelligenz – Methoden und Anwendungen*, Mannheim u. a.: BI-Wissenschaftsverlag, 1993.
- Müller-Merbach*, Heiner: Informationssysteme, in: Hauschildt, Jürgen/Grün, Oskar (Hrsg.): *Ergebnisse empirischer betriebswirtschaftlicher Forschung – Zu einer Realtheorie der Unternehmung*, Stuttgart: Poeschel, 1993, S. 813–837.
- Naylor*, Thomas H./*Balintfy*, J. L./*Burdick*, D. S./*Chu*, K.: *Computer Simulation Techniques*, New York u. a.: Wiley, 1966.
- Newell*, Allen/*Simon*, Herbert A.: *Human Problem Solving*, Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1972.
- Nieschlag*, Robert/*Dichtl*, Erwin/*Hörschgen*, Hans: *Marketing*, 18., durchgesehene Auflage, Berlin: Duncker & Humblot, 1997.
- Oestereich*, Bernd: *Objektorientierte Softwareentwicklung – Von der Analyse bis zur Spezifikation*, München/Wien: Oldenbourg, 1995.
- Ogger*, Günter: *Nieten in Nadelstreifen – Deutschlands Manager im Zwielficht*, mit einem aktuellen Vorwort versehen, Taschenbuchausgabe, München: Knauer, 1995.
- Oren*, Shmuel S./*Schwartz* Rick G.: Diffusion of New Products in Risk-sensitive Markets, in: *Journal of Forecasting*, Jahrgang 7, Heft 4, 1988, S. 273–287.
- Pagé*, Peter: *Objektorientierte Software in der kommerziellen Anwendung*, Berlin/Heidelberg: Springer, 1996.
- Patzig*, Günter: *Aspekte der Rationalität*, Erlangen/Jena: Palm & Enke, 1994.
- Pidd*, Michael: *Computer Simulation in Management Science*, 3. Auflage, Chichester u. a.: John Wiley & Sons, 1992.
- Pokropp*, Fritz: *Lineare Regression und Varianzanalyse*, München/Wien: Oldenburg, 1994.
- Popper*, Karl R.: *Das Elend des Historizismus*, 4. Auflage, Tübingen: Mohr, 1974.
- *Die offene Gesellschaft und ihre Feinde*, Band 1 – *Der Zauber Platons*, 7. Auflage mit weitgehenden Verbesserungen und neuen Anhängen, Tübingen: Mohr (UTB), 1992.
 - *Die offene Gesellschaft und ihre Feinde*, Band 2 – *Falsche Propheten: Hegel, Marx und die Folgen*, 7. Auflage mit weitgehenden Verbesserungen und neuen Anhängen, Tübingen: Mohr (UTB), 1992.
 - *Alles Leben ist Problemlösen – über Erkenntnis, Geschichte und Politik*, München: Piper, 1994.
- Popper*, Karl R.: *Ausgangspunkte – Meine intellektuelle Entwicklung*, Hamburg: Hoffmann und Campe, 1994.
- *Logik der Forschung*, 10. verbesserte u. vermehrte Aufl., Tübingen: Mohr, 1994.
 - *Objektive Erkenntnis – Ein evolutionärer Entwurf*, 2. Auflage, Hamburg: Hoffmann und Campe, 1994.
- Pugh-Roberts Associates* (Hrsg.): *Professional DYNAMO Plus – Reference Manual*, Cambridge, Mass.: o. V., 1986.

- Pritzl, Magdalena*: Die Bedeutung der Zielklarheit für die Führungskräfte des Unternehmens – Eine empirische Analyse, München: GBI-Verlag, 1987.
- Quibeldey-Cirkel, Klaus*: Das Objekt-Paradigma in der Informatik, Stuttgart: Teubner, 1994.
- Rational Software Corporation (Hrsg.): UML Notation Guide, ohne Ort: ohne Verlag, 1997.
- Rational Software Corporation (Hrsg.): UML Summary, ohne Ort: ohne Verlag, 1997.
- Reichwald, Ralf/Dietel, Bernhard*: Produktionswirtschaft, in: Edmund Heinen (Hrsg.): Industriebetriebslehre – Entscheidungen im Industriebetrieb, 9., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Wiesbaden: Gabler, 1991, S. 395–622.
- Rentsch, Tim*: Object Oriented Programming, in: SIGPLAN Notices, Jahrgang 17, Heft 9, 1982, S. 51–57.
- Rescher, Nicholas*: Rationalität – Eine philosophische Untersuchung über das Wesen und die Begründung der Vernunft, Würzburg: Königshausen und Neumann, 1993.
- Richardson, George P./Pough, Alexander L.*: Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO, Cambridge/London: The MIT Press, 1981.
- Ricken, Friedo*: Antike Skeptiker, München: Beck, 1994.
- Roberts, John H./Urban, Glen L.*: Modeling Multiattribute Utility, Risk, and Belief Dynamics for new Consumer Durable Brand Choice, in: Management Science, Jahrgang 31, 1988, S. 167–185.
- Röd, Wolfgang*: Descartes – Die Genese des Cartesianischen Rationalismus, München: Beck, 1995.
- Rogers, Everett M.*: Diffusion of Innovations, 3. Auflage, New York: The Free Press, 1983.
- Ropohl, Günter*: Einführung in die allgemeine Systemtheorie, in: Hans Lenk/Günter Ropohl (Hrsg.): Systemtheorie als Wissenschaftsprogramm, Königstein: Athenäum Verlag, 1978, S. 9–49.
- Eine Systemtheorie der Technik – Zur Grundlegung der Allgemeinen Technologie, München/Wien: Hanser, 1979.
- Rumbaugh, James/Blaha, Michael/Premarlani, William/Eddy, Frederick/Lorensen, William*: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen, München/Wien: Hanser, London: Prentice-Hall Internat., 1993.
- Schader, Martin*: Objektorientierte Datenbanken – Die C++-Anbindung des ODMG-Standards, Berlin u. a.: Springer, 1997.
- Schader, Martin/Rundshagen, Michael*: Objektorientierte Systemanalyse – Eine Einführung, 2., neubearbeitete und erweiterte Auflage, Berlin u. a.: Springer, 1996.
- Schanz, Günther*: Einführung in die Methodologie der Betriebswirtschaftslehre, Köln: Kiepenheuer & Witsch, 1975.
- Schaub, Harald/Strohschneider, Stefan*: Die Rolle heuristischen Wissens beim Umgang mit einem komplexen Problem oder: Können Manager wirklich besser managen?, Memorandum, erschienen am Lehrstuhl Psychologie II der Universität Bamberg, DFG-Projekt 200/7-1 des Leibniz-Programms, 1989, S. 3 ff.

- Schildbach*, Thomas: Entscheidung, in: Vahlens Kompendium der Betriebswirtschaftslehre, Band 2, 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, München: Vahlen, 1990, S. 57–97.
- Schmalen*, Helmut: Modelle der absatzwirtschaftlichen Diffusionsforschung – Darstellung und computergestützte Analyse, Vortrag vor der Kommission „Marketing“ im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft, Passau: Universität Passau, 1987.
- Schmalen*, Helmut: Das Bass-Modell zur Diffusionsforschung – Darstellung, Kritik und Modifikation, in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 41. Jahrgang, 1989.
- Diffusionsprozesse und Diffusionstheorie, in: Handwörterbuch der Betriebswirtschaft, Teilband 1, A–H, 5., völlig neu gestaltete Auflage, Stuttgart: Poeschel, 1993, Sp. 776–787.
- Schmalen*, Helmut/*Binner*, Franz-Michael/*Pechtl*, Hans: Diffusionsmodelle als Entscheidungshilfe zur Planung absatzpolitischer Maßnahmen bei Neuprodukteinführungen – Modelltheoretische Implikationen einer empirischen Untersuchung, in: DBW, Jahrgang 53, Heft Juli-August 1993, S. 513–527.
- Schmalenbach*, Eugen: Kostenrechnung und Preispolitik, 8., erweiterte und verbesserte Auflage, bearbeitet von Richard Bauer, Köln: Westdeutscher Verlag, 1963.
- Schmidt*, Bernd: Systemanalyse und Modellaufbau – Grundlagen der Simulationstechnik, Berlin u. a.: Springer, 1985.
- Die Modellerstellungsumgebung und die Experimentbeschreibungssprache EDL, in: SiP – Simulationen in Passau, Heft 1, 1994, S. 6–10.
 - SIMPLEX II – Ein integriertes Simulationssystem, San Diego u. a.: SCS, 1995.
 - Die objektorientierte Modellspezifikation, in: SiP – Simulation in Passau, Heft 1, 1996, S. 4–17.
 - Braucht die Systemsimulation philosophische Grundlagen, in: in: SiP – Simulation in Passau, Heft 3, 1996, S. 2–6.
 - Intelligente Agenten und objektorientierte Modellspezifikation, in: Wilfried Krug (Hrsg.): Simulationstechnik – 10. Symposium in Dresden, September 1996, Tagungsband, Wiesbaden: Vieweg, 1996.
- Senge*, Peter M.: The Fifth Discipline – The Art and Practice of the Learning Organization, New York: Doubleday Currency, 1990.
- Shiffrin*, Richard M./*Nosofsky*, Robert M.: Seven Plus or Minus Two – A Commentary on Capacity Limitations, in: Psychological Review, Jahrgang 101, Heft April, 1994, S. 357–361.
- Shlear*, Sally/*Mellor*, Stephen J.: Objektorientierte Systemanalyse – Ein Modell der Welt in Daten, München/Wien: Hanser, London: Prentice Hall International, 1996.
- Simon*, Herbert A.: Administrative Behavior – A Study of Decision-Making Process in Administrative Organization, 2. Auflage, New York: Macmillan, 1957.
- The New Science of Management Decision, New York/Evanston: Harper, 1960.
- Stacey*, Ralph D.: Unternehmen am Rande des Chaos – Komplexität und Kreativität in Organisationen, Stuttgart: Poeschel, 1997.
- Stachowiak*, Herbert: Allgemeine Modelltheorie, Wien/New York: Springer, 1973.

- Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Statistisches Jahrbuch 1996 für die Bundesrepublik Deutschland, Stuttgart: Metzler-Poeschel, 1996.
- Stein, Friedrich A.: Betriebliche Entscheidungs-Situationen im Laborexperiment – die Abbildung von Aufgaben- und Struktur-Merkmalen als Validitätsbedingung, Frankfurt am Main u. A.: Peter Lang, 1990.
- Stein, Wolfgang: Objektorientierte Analysemethoden – ein Vergleich, in: Informatik Spektrum, Band 16, Heft 6, Dezember 1993, S. 319–332.
- Objektorientierte Analysemethoden – Vergleich, Bewertung, Auswahl, Mannheim u. a.: BI-Wissenschaftsverlag, 1994.
- Sundermeyer, Kurt: Modellierung von Agentensystemen, in: Jürgen Müller (Hrsg.): Verteilte Künstliche Intelligenz, Mannheim u. a.: BI-Wissenschaftsverlag, 1993, S. 22–44.
- Taylor, David A.: Objektorientierte Technologien, Bonn u. a.: Addison-Wesley, 1992.
- Das Aufspüren geeigneter Objekte, in: ObjektSpektrum, Heft März/April, Jahrgang 1, 1994, S. 50–51.
- Ulrich, Hans: Die Unternehmung als produktives soziales System, 2. Auflage, Bern/Stuttgart: Paul Haupt, 1968.
- Urban, Glen L.: Sprinter Mod III – A Model for the Analysis of New Frequently Purchased Consumer Products, in: Operations Research, Jahrgang 18, Heft 5, September/Oktober, 1970, S. 805–854.
- Varian, Hal R.: Intermediate Microeconomics – A Modern Approach, New York/London: Norton, 1987.
- Vennix, Jac A. M.: Mental Models and Computer Models – Design and Evaluation of a Computer-Based Learning Environment for Policy-Making, Nijmegen: Krips Repro, 1990.
- Ventana Systems, Inc. (Hrsg.): Vensim® Version 1.62 – User's Guide, ohne Ort: ohne Verlag, 1995.
- Vensim® Version 3.0 – Reference Manual, ohne Ort: ohne Verlag, 1997.
 - Vensim® Version 3.0 – Tutorial, ohne Ort: ohne Verlag, 1997.
- Wegner, Peter: Dimensions of Object-Based Language Design, in: SIGPLAN Notices, Jahrgang 22, Heft 10, 1987, S. 168–182.
- Wild, Jürgen: Probleme der theoretischen Deduktion von Prognosen, in: Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft, Band 126, 1970, S. 553–576.
- Witte, Eberhard: Das Informationsverhalten in Entscheidungsprozessen, in: Eberhard Witte (Hrsg.): Das Informationsverhalten in Entscheidungsprozessen, Tübingen: Mohr, 1972, S. 1–88.
- Witte, Eberhard: Phasen-Theorem und Organisation komplexer Entscheidungsverläufe, in: Witte, Eberhard/Hauschildt, Jürgen/Grün, Oskar (Hrsg.): Innovative Entscheidungsprozesse – Die Ergebnisse des Projektes „Columbus“, Tübingen: Mohr, 1988, S. 202–226.
- Entscheidungsprozesse, in: Handwörterbuch der Betriebswirtschaft, Teilband 1, A–H, 5., völlig neu gestaltete Auflage, Stuttgart: Poeschel, 1993, Sp. 910–920.
- Witte, Eberhard/Hauschildt, Jürgen/Grün, Oskar (Hrsg.): Innovative Entscheidungsprozesse – Die Ergebnisse des Projektes „Columbus“, Tübingen: Mohr, 1988.

- Wolf, Michael*: Die Leistungsfähigkeit des systemorientierten Ansatzes für die Modellbildung, in: *Bea, Franz Xaver/Bohnet, Armin/Klimesch, Herbert*: Systemmodelle – Anwendungsmöglichkeiten des systemtheoretischen Ansatzes, München/Wien: Oldenbourg, 1979
- Wolpert Julian*: A Regional Simulation Model of Information Diffusion, in: *The Public Opinion Quarterly*, Jahrgang 30, Heft 1, 1966, S. 597–608.
- Zwicker, Eckart*: Simulation und Analyse dynamischer Systeme in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Berlin/New York: de Gruyter, 1981.

Sachwortverzeichnis

- Ablaufstruktur 30; 108; 182
- Abnutzung 271
- Absatzmittler 259; 260; 261
- Absatzwirtschaft 36
- Abstraktion 134; 139; 162
 - mengenbezogene 132
- Ad-hoc-Annahme 76; 285
- Adoption 225; 267; 270; 278
- Adoptionsdruck 232
- Adoptionsprozess 222; 232; 233; 262; 267–71
- Adoptionszyklus 271
- Adoptor 223; 224; 226; 230; 277; 278
- Aggregation 111; 179; 234; siehe auch Aggregationsstruktur
- Aggregationsstruktur 132; 138; 165–68; 240; 266
 - konzeptionelle 166
 - physische 166
 - Programmierung 167
 - Typen 166
- Allgemeine Systemtheorie 105; 121; 122; 125; 129; 136
- Alternativenbewertung 33; 88; 92
- Alternativendarstellung 89–91
- Alternativenfeld 68; 87
- Alternativenkreation 61; 68–72; 71
- Alternativenraum 69; 72; siehe auch Alternativenfeld
- Anbieter 232; 258; 259; 260; 261; 262; 263; 266; 268; 269; 271; 272; 273; 275; 279
- Angebot 258; 259; 262
- Array 168
- Assoziation 100; 159; siehe auch Assoziationsstruktur
- Assoziationsstruktur 138; 161–64; 165; 188; 192; 205; 259
 - binäre 162; 167
 - Programmierung 167
 - Symboldarstellung 161
 - trinäre 164
- Attribut 117; 119; 154; 157; 158; 167; 173; 204; 206; 253; siehe auch Systemattribut; siehe auch Objektattribut
- Attributausprägung 117; 157; 160; 175; 182; 187; 189; 200
- Attributdeklaration 158; 167
- Attributwert siehe Attributausprägung
- Aufbaustruktur 108
- Basisklasse** siehe Klasse, abstrakte
- Bass-Modell 222; 224; 226–30; 232; 249; siehe auch Mixed-Influence-Modell
- Erklärungspotenzial 231
- Prognosekraft 230–31
- Begründungsrationalität siehe Rationalität
- Beschaffungswesen 35
- Bestandsgröße 124; 127; 128; 135; 226; 284
- Bevölkerungsdichte 246; 279; 280
- Bewährung 49; 58; 76; 80; 93; 195; 202
- Black-Box siehe Schwarzer Kasten
- Borland Delphi 129; 148; 158; 167; 168; 286
- C++ 129; 130
- Chaos 20
- Checkliste 151; 152; 153; 204
- class 156; siehe auch Klasse
- Columbus-Projekt 30
- Compiler 129; 148
- Computersimulation 87; 128; 208–12; 215; siehe auch Simulation
- Container-Inhalt-Struktur 166
- Datenkapselung** 132

- Datentyp 130; 132; 157; 158
- Destruktor 179
- Differenzengleichung 172; 174; 221
- Differenzialgleichung 138; 172; 175; 222; 226; siehe auch Integrationsgleichung
- Diffusionsgebiet 239; 240; 241; 242; 243; 244; 245
- Diffusionsmodell
 - mikroanalytisches 223; 233; 248; 257; 259
- Diffusionsprozess 224; 229; 231; 244; 267
 - unvollständiger 255
- Dogma 48; 52
- Dogmatismus 48; 52
- Dominanz 92
- Dominanzanalyse 91–92
- dynamisches Binden 132

- Eigendynamik 23; 104; 224; 235
- Einheitentest 206
- Element 34; 39; 65; 105; 106; 107; 108; 109; 111; 112; 113; 115; 117; 118; 126; 143; 284
- Elimination 57; 59; 61; 71; 79; 81; 83; 88; 91
- Entscheidung
 - Bedeutung 19
 - Begriff 19; 26; 27–33
 - betriebswirtschaftliche 33–38
 - innovative 42
 - kritisch-rationale 24; 56–60; 102; 104; 196
 - moralische 54
 - nicht-programmiert 42
 - programmiert 41
 - Ursache 26; 60
 - Wiederholungshäufigkeit 41
 - Zeitbezug 42
 - Zielorientierung 27
 - Zukunftsbezug 27
- Entscheidungkompliziertheit 20
- Entscheidungsgüte 69; 70
- Entscheidungskomplexität 21–22; 40; 69
- Entscheidungskompliziertheit 26; 38; 104
- Entscheidungskubus 82; 89; 91; 92
- Entscheidungslogik 56
- Entscheidungsprozess 29; 30–33; 41; 58; 60; 61; 66; 88; 97; 104; 233
 - kritisch-rationaler 59; 61
 - Phasenmodell 30; 33
- Entscheidungsregel 23; 37; 128; 216
- Entscheidungssystematik 44
- Entscheidungstheorie 56; 68; 72; 73; 74; 83; 217; 218
- Entscheidungsunterstützung 24; 87; 98; 193; 196; 213
- Entschluss 19; 47; 58; 59; 60; 279
- Entwicklungserwartung 73; 74–75
- Ereignis 74; 108; 135; 151; 152; 173; 177; 185; 186; 187; 188; 189; 191; 207; 249; 252
 - Definition 174
 - externes 182
 - kausales 183; 185
 - zeitabhängiges 185
- Ereignisfolge 142
- Ereignisfolgediagramm 142; 183–84; 186; 187; 192
- Ereignisfolgeszenario 182–87
- Ergebnisart 89; 90; 91; 92
- Ergebnisartenprüfung 91
- Ergebnisdatenbank 89
- Ergebniskubus 219
- Ergebnismatrix 89; 90; 218; 219
- Ergebnisvektor 82
- Erkundungsexperiment 217
- Erwartung 26; 28–29; 28; 73; 74; 75; 78; 95
- Erwartungsbildung 61; 72–79; 96
- Experiment 22; 57; 79; 80; 86; 87; 144; 193; 212; 214; 216; 218
 - Faktor 216
 - Reaktion 216
 - Stufe 216
- Experimentaldesign 214
- External-Influence-Modell 222; 223; 224
- Extremwerttest 207

- Faktor 214; 216; 219
- Faktorraum 216; 217
- Faktorstufen 216; 217
- Fallibilismus 50; 70
- Falsifikation 33; 57; 79–81; 195; 199

- Falsifikationismus 195; 197
 Fertigungsqualität 265
 Flussgröße 115; 117; 124; 127; 134; 135; 206; 226
 – Substruktur 127
 Flussvariable siehe Flussgröße
 Funktion (Mathematik) 115; 116; 118; 138; 209

Gaming-Simulation 185
Ganzheit-Teil-Struktur siehe Aggregationsstruktur
Gebrauchsphase 266; 271
Gedächtnis 99–100; 236; 269
Gedächtnishierarchie 101
Gedankenexperiment 103
Geheimnisprinzip 132; 180; 181; 182
Generalisierungs-Spezialisierungs-Struktur 169
Glaubwürdigkeit 251; 252; 253; 254; 255; 256; 268; 271; 275

Handlungsalternative 27; 28; 30; 59; 68; 69; 71; 80; 85; 89; 92; 103; 217
Homomorphie siehe Strukturähnlichkeit
Hybridsprache 130; 213

Idee, regulative 58
Identität; siehe auch Objektidentität
Imitationskoeffizient 225; 227; 228
Imitator 225; 226; 270
Implementierung 144; 169; 178; 213
Induktionsprinzip 194
Induktionsproblem 194
Industrial Dynamics 120; 122
Information Hiding siehe Geheimnisprinzip
Informationsasymmetrie 239
Informationsdiffusion 233; 238; 258; 277; 280
 – räumliche 245–48
 – zeitliche 248–50
Informationsdiffusionsmodell 238–44; 242; 268
Informationskapselung 180; siehe auch Datenkapselung
Informationsverarbeitung 98; 223; 262; 269

Informationsverarbeitungsansatz 99
Informationswirtschaft 36
Innersystemische Relation 117; 119; 137
Innovationskoeffizient 225; 227; 229
Innovationsneigung 278
Innovationswirtschaft 36
Innovator 225; 226; 269; 270
Input 34; 100; 106; 113; 117; 126; 186; 235
Input-Output-Modell 114
Instanzt 140; 156; 157; 254; 264; 285
Instanziierung 140; 260
Integration 127; 226
Integrationsgleichung 172; 174; 287; siehe auch Differenzialgleichung
intelligenter Agent 234–38; 259; 266
Interaktion 135; 142; 152; 178; 182; 183; 234; 237; siehe auch Objektinteraktion
Interaktionsobjekt 152
Internal-Influence-Modell 222; 223; 224
Intuition 24; 44; 52; 67; 77; 87; 216
 – klare und evidente 48
Irrationalismus 50; 51–52; 53; 54
 – Konsequenzen 54–56
Isomorphie 95; 193; 195
Ist-Analyse 62

Kardinalität 162; 163; 165
kartesische Produkt 109; 117
Kaufakt 233; 270
Käuferpotenzial 222
Kaufhürde 262; 269; 271; 275; 278
Kaufschwelle 269; 270; 275; siehe auch Kaufhürde
Kausalgesetz 75; 83
Kausalitätsdiagramm 97; 126
Kausalitätstest 207
Klasse 132; 137; 139–41; 163
 – abstrakte 141; 155; 211; 259
 – Benennung 151; 155–56
 – Deklaration 156
 – Identifikation 150–53
 – Kategorien 151–53
 – Prüfkriterien 153–55
Klassenmodell siehe objektorientiertes Strukturmodell der Systemstatik
Klassensymbol 155; 157
Kollektion 168

- Komplexität 20; 26; 39; 85; 100; 103;
 120; 195; 216
 – Begriff 39–40
 – betriebswirtschaftlicher Entscheidungen
 40
 – Dreidimensionalität 39
 – Welt 20–21
 Komponentenorientierung 143
 Konfliktauflösung 91; 92
 Konsequenzenanalyse 56; 81; 82–87;
 214
 – Experiment als Mittel 87
 Konstante siehe Parameter
 Konstruktor 179
 Konsument (Modell) 261–62; 267–71
 Konsumgüterdiffusion 222–26; 258–83;
 284
 Kontaktfreudigkeit 252; 253; 254; 255;
 256; 257; 268; 271
 Kopplung 85; 119; siehe auch
 Rückkopplung
 Kreativitätstechniken 70; 71
 Kritikrationalität 49–50
 kritischer Rationalismus 24; 49; 79
 Kurzzeitgedächtnis 99; 101
 Kybernetik 34
- Laborexperiment 76; 86
 Langzeitgedächtnis 99; 100; 101; 102
 Level siehe Bestandsgröße
 Liniengrafik 90–91; 244
 Logik 198
 Logik der Forschung 59
 Logik des Entscheidens 56
 logischer Zirkel siehe Zirkel, logischer
 Logistik 146
- Makromodell 228; 232; 244–50
 Management 19; 23; 42; 55; 93; 231;
 232; siehe auch Unternehmensführung
 – Kompliziertheit 19
 Markt 36; 66; 114; 258; 263
 – objektorientiertes Strukturmodell 260
 – relevanter 263
 Charakteristik 258–60
 Marktabgrenzung 263; 264
 Marktgebiet 259; 268; 273; 275; 276;
 277
- Marktpotenzial 225; 227; 228; 231; 270;
 278
 Marktraum siehe Marktgebiet
 Massenkommunikation 222; 224
 Mentalmodell siehe Modell, mentales
 Methode 121 siehe Objektmethode
 Methodenlehre 56; 59; 105; 120; siehe
 auch Methodologie
 Methodenplatonismus 221
 Methodologie 59; 121; 123; siehe auch
 Methodenlehre
 Mikromodell 232; 244–50
 Mindestanforderungstest 92
 Mischadaptor 226
 Mixed-Influence-Modell 222; 224
 Modell
 – Begriff 93–94
 – disaggregiertes 234; siehe auch Modell,
 mikroanalytisches
 – explizites 96
 – formales 67; 71; 102–4; 128; 141; 212
 – Funktion im Entscheidungsprozess 94;
 96
 – körperliches 212
 – mentales 61; 66; 94–96; 94; 95; 97–
 102; 141; 194; 235; 236
 – mikroanalytisches 228; 244; 249; 285
 – objektorientiertes 134; 142; 144; 149–
 69; 170–92; 228; 240
 – stochastisches 209; 219; 284
 – verbales 142
 – zeitdiskretes 172–73
 – zeitkontinuierliches 172; 173; 182
 – zustandsdiskret 175
 – zustandskontinuierliche 175
 Modellbildung 60; 61; 66–67
 Modellentwicklung 67; 104; 121; 129;
 162; 195; 197; 214
 Modellentwicklungsprozess 72; 124;
 141–43
 Modellexperiment 67; 86; 210; 215; 216
 Modellkomponente 143
 Modelllösung 209
 – analytische 209
 – simulative 210
 Modelloutput 199; 217; 218
 Modellspezifikation 144; 147; 169; 181;
 213; 221; 284

- Modellstruktur 141; 142; 198; 202; 216
- Modelltypologie 97
- Modellvalidierung siehe Validierung
- Multiagentenmodell 259; 286
- Multiplizität siehe Kardinalität
- Münchhausen-Trilemma 47; 48; 52

- Nachrichtentransfer 239
- Nachrichtenverbindung 152; 180; siehe auch Interaktionsweg
- Namensattribut 159
- Netzdiagramm 90
- Nutzenfunktion 88; 270; 283

- Object Pascal 130; 148; 156; 158
- Objekt 130; 132; 134; 136; 137–38; 140; 154
 - Benennung 155–56
- Objektaktion siehe Objektoperation
- Objektattribut 134; 135; 136; 139; 154; 157–61; 167; 189; 200; 205; 206; 253
- Objektattribute, Kategorisierung 158
- Objektbeziehung 134; 135; 161
- Objekthierarchie 138
- Objektidentität 132; 139; 159
- Objektinteraktion 180–82; 205
- Objektivierung 62; 104
- Objektmethode 136; 155; 158; 169; 170; 177–80; 178; 183; 206; 211; 228; 242; 262; siehe auch Objektoperation
- Objektmodell siehe objektorientiertes Strukturmodell der Systemstatik
- Objektoperation 135; 139; 142; 154; 177–80
 - Symboldarstellung 178
- objektorientierte Modellspezifikation 144; 213; 221; 284
- objektorientierte Programmierung 130; 131; 139; 157; 213
- objektorientierte Simulation 213 siehe Simulation, objektorientierte
- objektorientierte Systemanalyse 149; 153; 182; 183
- objektorientiertes Denken 133–34
- objektorientiertes Informationsdiffusionsmodell 238–44
- objektorientiertes Modell siehe Modell, objektorientiertes
- objektorientiertes Modell der Systemdynamik 142; 170–92
- objektorientiertes Modellieren 143; 144
- objektorientiertes Strukturmodell 142
- objektorientiertes Strukturmodell der Systemstatik 142; 149–69; 179; 182
- objektorientiertes Strukturmodell Innovationsmarkt 266
- Objektorientierung 129–35; 284
- Objektparametertest 205
- Objektsymbol 155
- Objektzustand 187–92; 189; 205
- OOA 149; 155
- OOP 131
- OOSE 149
- OOSMS 129; 135; 136; 141; 142; 147; 149; 170; 213; 215; 216; 217; 284; 286
- Optimierung 27; 70; 146; 217
- Optimierungsexperiment 217
- Output 34; 106; 113; 114; 115; 117; 119; 126; 138

- Paradigma 33; 129; 132; 133; 135
- Parameter 136; 148; 159; 205; 213; 216; 230; 231; 232; 288; 289
- Parameterschätzung 230
- Parametrisierung 147; 215; 240; 243; 249; 271; 285
- Phasenmodell 30; 32; 33
- Pointer siehe Zeiger
- Polarachse 90
- Polylemma 19; 21; 23; 24
- Polymorphie 132
- Positivismus 194
- Prädikat 45; 93; 117; 146; 226
- Präferenz 88; 223
- Preis 19; 28; 80; 84; 93; 135; 194; 208; 216; 218; 219; 228; 232; 233; 265; 266; 272
- Problem 20; 22; 23; 26; 27; 29; 32; 40; 54; 55; 57; 58; 59; 60; 65; 66; 69; 79; 119; 123; 218
- Problembeschreibung 62–66; 151
 - dynamische 63
 - Elemente 62
 - grafische 64
 - statische 63
 - unvollständige 66

- Problemdomäne 140; 150; 151; 153;
 161; 162; 204; 205; 212
 Problemlösung 27; 41; 58; 60; 62; 72;
 102; 196; 208
 Problemlösung, inkrementalistische 102
 Produkt 183; 223; 260; 263; 264–67;
 265; 266
 Produktdiffusion 212; 258; 276; 277
 Produktevaluation 269
 Produkthaltbarkeit 266; 281
 Produktinformation 261; 263; 269; 271
 Produktion 34; 36; 146; 181; 192; 260
 Produktionswirtschaft 36
 Produktlebenszyklus 71; 221
 Produktobsoleszenz 272; 281
 Produktpreis 266
 Produktqualität 265
 Produzent 259; 260; 261; 263
 Prognose 43; 47; 73; 74–79; 83; 95; 103;
 230; 263
 – aktionsabhängig 83; 84
 – aktionsbedingt 83
 – deduktive 75
 – konditionale 76; 78; 83
 – sichere 75
 Prognosesicherheit 78; 84
 Prognoseverfahren 73
 Programmierung 41; 129; 144; 147; 148;
 siehe auch objektorientierte
 Programmierung
 Properties 158
 prozedurale Programmierung 133; 144;
 213

 Qualität 265; 272

 Rate siehe Flussgröße
 Rationalität 51; 52; 61; 93; 97; 105; 141
 – Begriff 45
 – Begründungsrationalität 46
 – klassische Auffassung 46–47
 – Kriterien 46
 kritische Auffassung 49–50
 Räuber-Beute-System 77; 287
 Reaktion 216
 Realexperiment 86; 212; 216
 Realismus, alltäglicher 134
 Realismus, naiver 95; 193

 Recodierung 100; 101
 referenzielles Attribut 159
 Regelkreis 125; 126; 128
 Regress, infiniter 48; 75; 118
 Reihenfolgeunabhängigkeit 143
 Rejektion 225; 270
 Relation 39; 106; 109–11; 115; 116; 161;
 166; 172
 Relationsvorschrift 109; 111
 Replikation 214
 Reproduktion 199; 214; 215
 Rolle 151; 152; 163
 Rückkopplung 85; 125; 127; 128

 Schocktest 207; 208
 schwarzer Kasten 113
 Selektion 81; 83; 88; 91; 160; siehe auch
 Elimination
 Selektionsprozess 80; 88; 92
 Sequenzdiagramm siehe
 Ereignisfolgediagramm
 SIMPLEX-II 146; 147
 SIMPLEX-III 147
 SIMPLEX-MDL 147; 159
 SIMULA 129; 130
 Simulation 24; 71; 77; 78; 87; 93; 104;
 121; 124; 126; 128; 129; 130; 131;
 141; 146; 176; 182; 184; 185; 204;
 207; 210; 211; 213; 228
 – diskrete 131; 284
 – ereignisorientierte 143
 – individuenbasierte 246; 284; 285
 – kontinuierliche 143; 146; 174; 284
 – objektorientierte 130; 140; 144; 208–
 13
 – stochastische 246
 Simulationsbegriff 208; 212
 Simulationsexperiment 22; 103; 144;
 208; 212; 213; 215–20; 255
 Simulationssoftware 146–48; 226
 Simulationsuhr 185; 186; 241
 Skala 117
 Skeptizismus 95; 194
 Smalltalk 130
 Solipsismus 96
 soziale Distanz 252; 254; 268
 Speicherkapazität
 – Kurzzeitgedächtnis 100

- Langzeitgedächtnis 99
- statisches Systemmodell siehe
 - objektorientiertes Strukturmodell der Systemstatik
- Strukturähnlichkeit 134; 135; 195; 196; 233; 237
- Strukturdynamik 177
- Strukturexistenztest 205
- Strukturhierarchie (System Dynamics) 124; 127
- Strukturtheorie (System Dynamics) 123; 128
- Strukturvalidierung 203; 205–7
- Stückwerk-Entscheidungstechnik 102
- Stufe 216; 220
- Substitution 263
- Subsystem 115; 118–19; 138; 177; 219
- System
 - Attribut 116–18
- System
 - allgemeines 105; 111; 116; 120
 - Begriff 105; 119; 122
 - Definition 105; 115–20; 116
 - dynamisches 117; 122
 - funktionales Systemkonzept 113–15; 117
 - geschlossenes 125; 126
 - hierarchisches Systemkonzept 113–15; 118; 147
 - statisches 108; 170–71
 - Struktur 107; 108; 110–11
 - strukturelles Systemkonzept 106–11; 119
- dynamisches 170; 171
- zeitkontinuierliches siehe Modell, zeitkontinuierliches
- System Dynamics 120–28; 134; 135; 143; 284
- Systemabbildung 62
- System-Dynamics 160; 171; 174; 226
- System-Dynamics-Prozess 123
- Systemgrenze 124–26; 127; 153
- Systemtheorie 34; 105–20; 139; 171
- Systemzustand 117; 127; 170; 172; 173
- Szenariobeschreibung 182; 183
- Textanalyse 150–51
- Theorie 57; 76; 79–81; 80; 121; 122; 195; 285
- Transferrate 222; 223; 224; 226
- Transition siehe Zustandsübergang
- Transitivität 165
- UML 149; 150
- Unified Method 149
- Unified Modeling Language 149
- Unternehmensführung 35; 36
- Unternehmenspolitik 37
- Validierung 62; 68; 142; 193–208
 - logische 198
 - wertende 198; 202
- Validierungstests 204–8
- Varietät 110; 111; 114
- Verbindungsoperation 179
- Vererbung 132; 168–69
- Verhaltensdynamik 177
- Verhaltenssensitivitätstest 207
- Verhaltensvalidierung 199; 200
- Verifikation 79; 193; 194; 195
- verkettete Liste 168
- Versuchsplanung 214; 217
- Verteilte Künstliche Intelligenz 234
- verteilte Simulation 286
- Wahrheit 48; 50; 57; 58; 96; 193; 195; 197
- Wahrnehmung 93; 194; 235
- Wenn-Dann-Hypothese 74; 76; 83; 84
- Whole-Part-Struktur siehe Aggregationsstruktur
- Wiederholungskäufe 222; 272; 281; 282
- Wiederverwendung 161; 169
- Wirklichkeit 24; 57; 66; 79; 81; 95; 96; 135; 193; 194; 198; 205
- Wissenschaft
 - kritisch-rationale 57
 - Prozess kritisch-rationaler 57
- Zeiger 101; 167; 168
- Zeitreihe 199; 209
- Ziel, Zeitbezug 65
- Zielausmaß 65
- Zielbegriff 65
- Zielbeziehungen (Typen) 65

- Zielbildung 36; 65; 88
Zielerreichung 73; 81; 88; 237
Zielformulierung 64–66
Zielfunktion 88
Zielinhalt 65
Zielppluralität 65
Zielsystem 36; 62; 65; 66; 81
Zirkel, logischer 48
Zuordnungsstruktur 108; 119
Zustand 27; 28; 64; 74; 108; 117; 127;
135; 136; 170; 179; 180; 187; 188
Zustandsbegriff 188
Zustandserwartungen 73
Zustandsgleichung 172; 173
Zustandsübergang 136; 137; 142; 172;
192; 240
Zustandsübergangsdiagramm 143; 190–
92; 241; 269
Zustandsübergangsgleichung 172
Zustandsvariable 127; 159; 173; 177;
siehe auch Bestandsgröße
Zwei-Seile-Problem 133
Zwischensystemische Relation 119; 138;
161; 177