

kassel
university



press

Zur Diffusions- und Wettbewerbsdynamik ökologischer Produktinnovationen

- Eine Untersuchung am Beispiel des Hypercars -

Carsten Polenz

Die vorliegende Arbeit wurde vom Fachbereich Wirtschaftswissenschaften - der Universität Kassel als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Dr. rer. pol. angenommen.

Erster Gutachter: Prof. Dr. Frank Beckenbach

Zweiter Gutachter: Prof. Dr. Peter Weise

Tag der mündlichen Prüfung

9. Juli 2003

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar

Zugl.: Kassel, Univ., Diss. 2003

ISBN 3-89958-059-1

© 2004, kassel university press GmbH, Kassel

www.upress.uni-kassel.de

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsschutzgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Umschlaggestaltung: 5 Büro für Gestaltung, Kassel

Druck und Verarbeitung: Unidruckerei der Universität Kassel

Printed in Germany

Vorwort

In der Nischendiskussion um den Aufbau eines nachhaltigen Energiesystems ist die Frage der Energieeffizienz heutiger Kraftfahrzeuge schon länger ein Kernbestandteil. Diese Diskussion hat sich aber mehr mit der technischen Machbarkeit und der notwendigen politischen Forschungsunterstützung als mit der Wirtschaftlichkeit und der volkswirtschaftlichen Effizienz solcher Innovationen befasst. Die Lücke will diese Arbeit schließen, indem sie ein Konzept für die ökonomische Beschreibung der Erzeugung und Diffusion von Produktinnovationen in einem Wettbewerbsmarkt (das natürlich auch ökologische Innovationen umfaßt) vorlegt.

Die Bedeutung einer fundierten Beschreibung der Entstehung und Wirkung von Innovationen für die Realwirtschaft kann nicht überschätzt werden, insbesondere nach Jahren der kontinuierlichen Steigerung der Prozeßeffizienz (Prozeßinnovationen) schauen mehr und mehr Unternehmen, aber auch die politischen Entscheidungsträger, auf die Steigerung des eigenen Umsatzes bzw. der Wirtschaftsleistung. Diese kann in einem globalisierten Wettbewerb mit signifikanten Differenzen der Lohnkosten zwischen den industrialisierten Regionen nur über kontinuierliche Innovationen der Produkte eines Unternehmens bzw. einer Volkswirtschaft erreicht werden kann. Gerade die Bundesrepublik Deutschland mit ihrer auf Basistechnologien des 19. Jahrhunderts aufbauenden Industrielandschaft und ihren (relativ) hohen Lohnkosten hat hier erheblichen Nachholbedarf.

Ein deutlich verbessertes Verständnis der Marktdynamik von Produktinnovationen kann helfen, die Erfolgswahrscheinlichkeit individueller Produktinnovationen weitaus besser abzuschätzen und somit zur Optimierung des Portfolios von Innovationen beitragen. Als besonderes Beispiel ist hier die Automobilindustrie anzuführen, die sich nach Jahren anhaltenden Wachstums, beruhend auf der Devise des "größer, stärker, schneller", mittlerweile einer deutlichen Nachfrageschwäche gegenübersteht, deren deutlichster Indikator der ruinöse Preiswettbewerb insbesondere in den Vereinigten Staaten von Amerika ist. Auf der Suche nach dem nächsten Trend gewinnt die Frage der Energieeffizienz, auch vor dem Hintergrund der politischen Instabilitäten in den Hauptförderregionen für Rohöl, mehr und mehr an Bedeutung. Im Zuge dieser Entwicklung gewinnt das Konzept des Hybridantriebs, das ich als Beispiel für diese Arbeit vor ca. 4 Jahren gewählt habe, an Bedeutung, wie es die Produktankündigungen der Fahrzeughersteller in den letzten Monaten vermuten lassen. So hat diese Arbeit nicht nur konzeptionell, das hier vorgestellte Konzept der Modellierung von Produktinnovationen unter Zuhilfenahme von Monte-Carlo-Simulationen ist auf beliebige Industrien anzuwenden, sondern auch in dem gewählten Beispiel unerwartete Aktualität erhalten.

Ganz herzlich möchte ich meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Frank Beckenbach für die Betreuung dieses Dissertationsvorhabens danken. Seine inspirierenden Verbesserungsvorschläge haben diese Arbeit in vielfältiger Weise bereichert und waren für ihr Gelingen von entscheidender Bedeutung. Für die Aufnahme in seine Arbeitsgruppe und sein Engagement danke ich ihm sehr. Bei meinem Gutachter Herrn Prof. Dr. Peter Weise möchte ich mich für die Unterstützung dieser Arbeit ganz herzlich bedanken. Seine wertvollen Hinweise haben mich bei der Anfertigung dieser Dissertation auf interessante Aspekte aufmerksam gemacht, die ohne seine Übersicht nicht in dieser Arbeit ihren Platz gefunden hätten.

Ein großer Dank gilt den anderen Mitarbeitern und Doktoranden am Lehrstuhl für Ressourcenökonomie und Theorie der Unternehmung. Ihre unterstützende Kritik im Rahmen der Doktorandenseminare haben den Fortschritt dieser Arbeit immer wieder beschleunigt. Ganz besonders möchte ich hierbei Herrn Ramón Briegel danken, dessen Gastfreundschaft es mir wesentlich erleichtert hat, die Distanz zwischen Kassel und Wiesloch zu überwinden.

Hervorgegangen ist die Idee für diese Arbeit aus meiner Arbeit am Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Die dortige Zusammenarbeit mit den Herren Dr. Dirk Assmann und Dr. Stefan Pfahl hat den Grundstein für diese Dissertation gelegt. Für die vielen fachlichen, aber auch privaten Gespräche und Aktivitäten und die ungewöhnlich gute und freundschaftliche Zusammenarbeit bedanke ich mich herzlich.

Ganz besonders möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mir meine Ausbildung ermöglicht und meinen akademischen Weg trotz mancher Abzweigung jederzeit generös unterstützt haben. Hierbei danke ich meinem Vater ganz besonders dafür, daß er mir gerade in der Endphase der Arbeit durch das Übernehmen des Korrekturlesens eine große Hilfestellung geleistet hat. Vielen Dank!

Zum Schluß möchte ich meiner Frau Verena Polenz für ihre weitreichende Geduld danken. Sie erst hat es möglich gemacht, daß ich diese Arbeit neben meiner regulären Beschäftigung in vielen Abend- und Nachtstunden angefertigen konnte. An vielen Wochenenden hat sie meine schlechte Laune erduldet und es ertragen, ihren Mitbewohner nur selten zu Gesicht zu bekommen.

Wiesloch, den 4. Januar 2004

Carsten Polenz

Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung	1
1. Problemaufriß	3
II. Ökologische Produktinnovationen und ihre Marktdiffusion	7
2. Hypercar-Konzept des Rocky Mountains Institute	9
2.1. Einleitung	9
2.2. Physikalische Gesetzmäßigkeiten	11
2.3. Hypercar-Konzept: Produkteigenschaften	13
2.3.1. Kohlenfaserkarosserie	14
2.3.2. Hybridmotor	16
2.3.3. Closed-Loop Design	18
2.4. Hypercar-Konzept: Produktionsprozeß	20
2.5. Ökonomische und technische Fragestellungen	21
3. Diffusion in der ökonomischen Theorie	23
3.1. Einleitung	23
3.2. Diffusionsmodell Typ I	26
3.2.1. Beispiel	28
3.2.2. Kritik des Modells	30
3.3. Diffusionsmodell Typ II	31
3.3.1. Modelldynamik	32
3.3.2. Beispiel	33
3.3.3. Kritik des Modells	38
3.4. Diffusionsmodell Typ III	39
3.4.1. Beispiel: Das Diffusionsmodell von Nelson/Winter	41

3.4.2. Kritik des Modells	47
3.5. Folgerungen	51
4. Nachfrageverhalten für Produktinnovationen	53
4.1. Traditionelle Haushaltstheorie	53
4.2. Haushaltstheorie von Lancaster	56
4.3. Merkmale beschränkter Rationalität	61
4.3.1. Informations- und Kompetenzbeschränkungen von Individuen	62
4.3.2. Eingeschränkte Bildung von Präferenzen	65
4.3.3. Andere Arten der Handlungsorientierung: Routinen	67
4.3.4. Schlußevaluation	69
4.4. Typen des ökonomischen Lernens	71
4.4.1. Nicht-Kognitives Lernen	75
4.4.2. Routinen-basiertes Lernen	79
4.4.3. Assoziatives Lernen	84
4.5. Soziale Milieus und Kaufentscheidungen	85
4.5.1. Soziale Milieus in Deutschland	86
4.5.2. Milieuabhängige Konsumptionseffekte	89
5. Angebotsverhalten innovativer Unternehmer	93
5.1. Einleitung	93
5.2. Routinen als Handlungsmodi	93
5.3. Wissenskapital und Forschungsbudgets	98
5.4. Prozeß- und Produktinnovationen	101
6. Multi-Agenten-Systeme und die Modellierung ökonomischer Fragestellungen	107
6.1. Multi-Agenten-Systeme als Untersuchungsmethode	108
6.1.1. Anforderungen	108
6.1.2. Simulationen als Untersuchungsmethode	109
6.1.3. Was sind MAS?	110
6.1.4. Was leisten MAS?	113
6.1.5. Verwendungsmöglichkeiten von Multi-Agenten-Systemen	115
6.1.6. Multi-Agenten-Simulationen	116
6.1.7. Bedeutung von MAS für die Ökonomik	117
6.2. Beispiele für MAS in der Ökonomie	119
 III. Die evolutorische Modellierung der Diffusion ökologischer Pro-	
duktinnovationen	125

7. Simulationsmodell für die Marktdiffusion	127
7.1. Einleitung	127
7.2. Produzenten	129
7.2.1. Ausgangszustand	129
7.2.2. Marktoperationen	133
7.2.3. Investitionen	137
7.2.4. Suchprozesse der Produzenten	145
7.2.5. Technischer Wandel bei den Produzenten	160
7.2.6. Strategiefestlegung der Produzenten	169
7.2.7. Populationseffekte	175
7.3. Konsumentenmilieus	175
7.3.1. Milieueinteilung der Konsumenten	175
7.3.2. Einkommen der Konsumenten	179
7.3.3. Sparkapital der Konsumenten	180
7.4. Kaufentscheidung der Konsumenten	181
7.4.1. Einflußfaktor - Gütereigenschaften	182
7.4.2. Einflußfaktor - Kaufentscheidung der anderen Konsumenten	187
7.4.3. Gesamtbewertung	190
7.4.4. Auswahlentscheidung der Haushalte - Selektion	192
7.5. Ressourcenmodul	193
7.5.1. Ressourcenbestand	193
7.5.2. Ressourcenverbrauch	194
7.5.3. Ressourcenpreis	194
8. Szenarien der Diffusion ökologischer Produktinnovationen	195
8.1. Stochastische Prozesse	195
8.1.1. Zufallsprozesse und zeitabhängige Zufallsvariablen	196
8.1.2. Weißes Rauschen	196
8.1.3. Markov-Prozesse und Chapman-Kolmogorov-Gleichung	197
8.1.4. Mastergleichung	197
8.1.5. Analyse der Mastergleichung	200
8.2. Parameter für das Basis-Szenario	202
8.2.1. Konsumenten	202
8.2.2. Produzenten	205
8.3. Basis-Szenario	215
8.3.1. Mengengerüst	215
8.3.2. Kapitalsituation der Produzenten	222
8.3.3. Forschungsleistungen der Produzenten	231

8.3.4. Produzentenstrategien	239
8.3.5. Konsumentennachfrage	243
8.4. Monte-Carlo Simulationen	258
8.4.1. Einleitung	258
8.4.2. Produzententyp I	262
8.4.3. Produzententyp II	275
8.4.4. Kombination der Einzelszenarien	286
8.4.5. Bereitstellung externen Wissens	297
8.4.6. Flottenverbrauch	299
8.5. Zusammenfassung	300
9. Schlußbemerkung	315
 IV. Anhang	 321
A. Variablen - Simulationsmodell	323
A.1. Zustandsvariablen	323
A.2. Marktoperationen	324
A.3. Investitionsmodul	324
A.4. Teilmodul - Suchprozeß	325
A.5. Teilmodul - Technischer Wandel	326
A.6. Strategiewahl	328
A.7. Konsumentenmilieus	328
A.8. Kaufentscheidung und Konsumentenlernen	329
A.9. Ressourcenmodul	330
 B. Pseudo-Code - Simulationsmodell	 331
B.1. Klassendiagramm	331
B.2. Simulationsklassen	331
B.2.1. Experiment-Agent	331
B.2.2. Modell-Agent	333
B.3. Produzenten	337
B.3.1. Produzenten-Agent	337
B.3.2. Produzenten-Lern-Agent	342
B.3.3. Produzenten-Verhaltensregeln-Agent	345
B.3.4. Forschungs-Agent	346
B.3.5. Fahrzeug-Agent	353
B.3.6. Kapital-Agent	354

B.4. Konsumenten	358
B.4.1. Konsumenten-Agent	358
B.4.2. Konsumentenlernen-Agent	360
B.4.3. Konsumenten-Milieu-Agent	366
B.5. Ressourcen	369
B.5.1. Ressourcen-Agent	369
Abbildungsverzeichnis	371
Tabellenverzeichnis	379
Literaturverzeichnis	381

Teil I.

Einleitung

1. Problemaufriß

In der Diskussion ökologischer Problemlagen wird immer wieder die Bedeutung von Produktinnovationen herausgestrichen, ohne daß diese durch eine tiefgehende Diskussion der zugrundeliegenden Wirkungsmechanismen begründet wird [Weizsäcker 1995, BUND/Misereor 1996, Hennicke 1999].

Unter Ökologen und Ökonomen ist unumstritten, daß vor dem Hintergrund der Einbringung von CO₂-Emissionen in die Erdatmosphäre und der sich mehr und mehr verknappenden Reserven der nicht-erneuerbaren fossilen Ressourcen die Frage der sparsamen bzw. effizienten Nutzung dieser Ressourcen von dringlichster Bedeutung ist [Enquete 1995]. Die Frage der richtigen Umsetzung ist allerdings so vielfältig wie die diskutierten Entwicklungspfade und den Instrumenten mit denen diese Pfade gesteuert werden sollen. Einerseits wird der effiziente Umgang mit den nicht-erneuerbaren Ressourcen propagiert, andere Diskussions Teilnehmer wiederum fokussieren einzig auf die Nutzung erneuerbarer Energien und anderer CO₂-freier Energieträger wie z.B. der Kernenergie. Genausogut befürworten einige Diskussionsteilnehmer eine präziale Steuerung der Innovationstätigkeit und die initiale Subvention erneuerbarer Energieträger, während deren Opponenten die Entwicklung den Kräften des freien Marktes vollständig überlassen wollen. Einig sind sich die Experten aber ob der zentralen Bedeutung des Verkehrssystems für die Erreichung nachhaltiger Entwicklungsziele. Von besonderer Bedeutung wird in diesem Zusammenhang die zukünftige Entwicklung des motorisierten Individualverkehrs angesehen, da diesem große Steigerungsraten beim Energieverbrauch und den CO₂-Emissionen prognostiziert werden [Hennicke 1999, Enquete 1995].

Diese dynamische Entwicklung des Verbrauches zusammen mit der großen volkswirtschaftlichen Bedeutung der Automobilindustrie hat eine Vielzahl unterschiedlichster Forschungsaktivitäten zur Reduktion des Energieverbrauches von Personenkraftwagen initiiert [Diaz 1998]. Einerseits versuchen die Automobilhersteller die Effizienz konventioneller Antriebe zu verbessern; als Beispiele hierfür gelten sowohl die Diesel- als auch die Benzin-direkteinspritzung. Andererseits werden von den Unternehmen aber auch neuartige Antriebskonzepte entwickelt. Hersteller wie Toyota oder Honda haben in den letzten Jahren sogenannte Hybridfahrzeuge entwickelt, die Verbrennungs- und Elektromotoren auf intelligente Weise miteinander kombinieren und so die Energieeffizienz der Fahrzeuge deutlich

erhöhen. Andere Hersteller wie zum Beispiel Daimler-Chrysler oder Ford konzentrieren ihre Forschungsanstrengungen auf die Brennstoffzelle, die emissionsfrei Wasserstoff und Sauerstoff in elektrische Energie und Wasserdampf umwandeln [TAB 1999]¹. Alle diese Verbesserungen konzentrieren sich aber bislang allein auf den Fahrzeugmotor. Kritiker bemängeln, daß diese Optimierungsversuche aber das Gesamtsystem Personenkraftwagen außer acht lassen; in den letzten Jahren sind die Effizienzgewinne hinsichtlich der Energieumwandlung z.B. durch die Gewichtszunahme der Fahrzeuge zunichte gemacht worden [Diaz 1998]. Diese Kritiker schlagen deshalb vor, daß zukünftig das Gesamtsystem PKW betrachtet werden sollte um so auf der Basis eines geänderten Fahrzeugkonzeptes den absoluten Energieverbrauch der Kraftfahrzeuge drastisch zu reduzieren [Lovins 1995a]; diese Reduktion würde dann auch den Einstieg in eine solare Wasserstoffwirtschaft im Laufe der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts erleichtern [Hennicke 1999].

Diese technischen Neuerungen müssen sich aber auch auf dem Automobilmarkt durchsetzen, damit die anvisierten Reduktionsziele für die Treibhausgasemissionen erreicht werden können [Enquete 1995]. Hierzu ist eine ökonomische Betrachtung solcher Produktinnovationen notwendig, die die Diffusionsdynamik des Wettbewerbsmarktes für Kraftfahrzeuge untersucht.

Betrachtet man den ökonomischen Diskussionsstand im Hinblick auf die theoretische Beschreibung von Produktinnovationen, so muß man konstatieren, daß die Frage des technischen Wandels im Gegensatz zu der gleichgewichtigen Behandlung ökonomischer Phänomene im Sinne einer neoklassischen Formulierung vernachlässigt wurde. Erst in den letzten 2 Jahrzehnten hat sich das Interesse an Phänomenen des wirtschaftlichen Wandels von neuem entwickelt [Nelson 1995]. Bislang existiert aber noch keine befriedigende Formulierung von Produktinnovationen aus einer ökonomischen Sicht. Differenziert man noch etwas stärker zwischen inkrementellen und nicht-inkrementellen Produktinnovationen, so beschränken sich die bisherigen Untersuchungen vollständig auf inkrementelle Veränderungen mit einem optimierenden Duktus [Andersen 1994, Meyer 1996, Vosskamp 2002]; die Frage von Sprunginnovationen oder eines Wechsels des Produkttyps im Sinne eines neuen Paradigmas [Dosi 1988] ist bislang nicht formal adressiert worden.

Will man diese Problemstellungen untersuchen, so stellt sich die Frage einer adäquaten Untersuchungsmethodik. Offensichtlich reichen die mechanistischen Werkzeuge linearer Differentialgleichungssysteme nicht aus, um solche Ungleichgewichtsprozesse zu analysieren [Erdmann 1993]. In dieser Arbeit wollen wir uns des Konzeptes der Multi-Agenten-

¹Die Brennstoffzelle wird mittlerweile nicht nur für Kraftfahrzeuge entwickelt; Experten sehen vielmehr den stationären Einsatz zur kombinierten Erzeugung von Wärme- und elektrischer Energie aber auch den mobilen Einsatz in elektronischen Kleingeräten wie z.B. Notebooks als die größten Wachstumsfelder für die Brennstoffzelle in der nahen Zukunft an [TAB 1999]

Systeme (MAS) bedienen, das es erstmalig erlaubt, komplexe Wirkungszusammenhänge auf Makroebene mit den individuellen Mechanismen auf der Mikroebene in Beziehung zu setzen, um somit einen Beitrag zur Mikrofundierung von Makrophänomenen zu leisten [Miller 1991, Lane 1996, Bonabeau 2002, Beckenbach 2001b, Ferber 1999].

Aus den oben gemachten Bemerkungen lassen sich eine Reihe forschungsleitender Fragen ableiten, die wir im Verlauf dieser Arbeit beleuchten wollen. Wie können Produktinnovationen, denen im Gegensatz zu Prozeßinnovationen ein eindeutiges Ordnungskriterium fehlt, ökonomisch modelliert werden? Welche Bedeutung besitzen ökologische Produktinnovationen im Wettbewerb mit anderen Produktinnovationen? Wie kann man darüberhinaus sowohl inkrementelle als auch nicht-inkrementelle Produktinnovationen beschreiben? Welches Zusammenspiel existiert zwischen diffusionalen und wettbewerbsrelevanten Mechanismen in einem Markt für Produktinnovationen? Welchen Einfluß haben Elemente beschränkter Rationalität wie zum Beispiel Informationsbeschränkungen, Routinen und Lernen auf die Wettbewerbsdynamik in solch einem Markt für Produktinnovationen? Welche Möglichkeiten bieten Multi-Agenten-Systeme als Methodik für die Analyse komplexer, adaptiver ökonomischer Systeme, und können wir mit diesen eine Mikrofundierung von Makrophänomenen erreichen? Wie eindeutig sind die Steuerungsmöglichkeiten prästalteter Instrumente (‘‘Ökosteu-er’’) für die Diffusion von ökologischen Produktinnovationen in einem kompetitiven Markt?

Die in den vorherigen Absätzen skizzierten Diskussionsstränge begründen die Gliederung der vorliegenden Arbeit. Im Kapitel 2 beginnen wir mit der Vorstellung der technischen Rahmenbedingungen für die Entwicklung energiesparender Kraftfahrzeuge, an die sich die Beschreibung eines innovativen und besonders energiesparenden Fahrzeugtyps anschließt. Dieses Fahrzeug unterscheidet sich aus technischer Sicht grundlegend von dem aktuellen Fahrzeugkonzept, sodaß dessen Umsetzung als ein Beispiel für eine nicht-inkrementelle Produktinnovation angesehen werden kann. Wir ergänzen die technische Betrachtung des Status-quo mit einer Untersuchung der bisherigen theoretischen, ökonomischen Literatur zu Innovationen vor dem Hintergrund der Anforderungen an die Modellierung ökologischer Produktinnovationen in Kapitel 3. Hierbei identifizieren wir die notwendigen Elemente einer diffusionstheoretischen Behandlung von Produktinnovationen.

Die Ergebnisse der Literaturdiskussion legen die Notwendigkeit einer detaillierten Diskussion der unterschiedlichen Akteure nahe. Diese beginnen wir in Kapitel 4 mit einer Betrachtung der Konsumenten, wobei wir insbesondere auf die Theorie von Lancaster und die Milieuforschung eingehen. Zentraler Aspekt dieser Betrachtung ist allerdings eine Analyse der verschiedenen Elemente beschränkter Rationalität der Akteure auf der Nachfrageseite. Die Betrachtung der Produzenten in Kapitel 5 beginnen wir mit einer Betrachtung von Routinen als Element beschränkter Rationalität. Anschließend gehen wir detailliert auf die Bedeutung von Wissen als Ressource für die Unternehmen ein und beschließen dieses Kapi-

tel mit einer Analyse von Produktinnovationen aus der Sicht der Einzelunternehmung. Den zweiten Teil der Arbeit schließen wir in Kapitel 6 mit einer Vorstellung der Methodik der Multi-Agenten-Systeme (MAS) ab. Wir beschreiben kurz die verschiedenen Einsatzgebiete von MAS und stellen dann aktuelle Arbeiten aus dem Bereich der Ökonomie die MAS nutzen vor.

Den dritten Teil der vorliegenden Arbeit beginnen wir in Kapitel 7 mit der detaillierten Vorstellung des in diesem Forschungsvorhaben entworfenen Simulationsmodells. Hierbei beschreiben wir ausführlich die verschiedenen Zustands- und Flußgleichungen sowohl für die Produzenten als auch für die Konsumenten. Daran schließt sich das Kapitel 8 an, in dem wir die Ergebnisse der verschiedenen Simulationen vorstellen. Dieses Kapitel beginnen wir mit einem kurzen Exkurs über stochastische, dynamische Systeme, der dem Leser einen Eindruck vermitteln soll, warum wir unterschiedliche Untersuchungsmethoden für unsere Experimente genutzt haben. An diesen Exkurs schließt sich eine Vorstellung der Simulationsparameter an. Die Diskussion der Ergebnisse mündet in die Vorstellung einer Einzelsimulation, bei der wir die beobachtbaren Phänomene sowohl auf der Mikro- als auch der Makroebene vorstellen. Dieser Einzelsimulation haben wir im weiteren Verlauf des Kapitels 8 eine statistische Betrachtung mit der Hilfe einer Monte-Carlo-Simulationen gegenübergestellt. Um den Einfluß der verschiedenen Simulationsparameter analysieren zu können, haben wir dieser Monte-Carlo-Simulation des Ausgangsszenarios mehrere Sensitivitätsanalysen gegenübergestellt. Einige ausgewählte Sensitivitätsanalysen haben wir dann herangezogen, um den Flottenverbrauch in diesen Szenarien miteinander zu vergleichen; anhand des Flottenverbrauches läßt sich abschätzen, inwieweit sich der durchschnittliche Verbrauch der Gesamtindustrie verändert hat. Den Abschluß der Arbeit bildet die Zusammenfassung und Interpretation der Simulationsergebnisse.

Teil II.

Ökologische Produktinnovationen und ihre Marktdiffusion

2. Hypercar-Konzept des Rocky Mountains Institute

In diesem Kapitel werden wir das Hypercar-Konzept eines energieeffizienten Personenkraftwagens vorstellen. Zu Beginn wollen wir kurz die große Bedeutung des Motorisierten Individual Verkehrs (MIV) für die zukünftige Entwicklung des Energieverbrauchs bzw. der damit zusammenhängenden CO₂-Emissionen diskutieren. Bevor wir dann auf das Konzept eines solchen Fahrzeugs näher eingehen, werden wir die physikalischen Gesetzmäßigkeiten, die den Energieverbrauch eines Kraftfahrzeuges bestimmen, beschreiben, um daraus die Kriterien für ein energieeffizientes Automobil herauszuarbeiten. Nach den physikalischen Gesetzmäßigkeiten wollen wir dann das Hypercar-Konzept im Detail vorstellen und beschreiben, inwieweit dieser Vorschlag die oben identifizierten Kriterien erfüllt und welche Konsequenzen im Hinblick auf die Produkteigenschaften und den Produktionsprozeß dieses Konzept mit sich bringt. Nachdem wir die technische Spezifikation dargestellt haben, wollen wir herausarbeiten, welche ökonomischen Fragestellungen für den Diffusions- und Wettbewerbsprozeß dieses neue Produkt aufwirft.

2.1. Einleitung

Der Autoverkehr (motorisierte Individualverkehr “MIV”) ist einer der größten Energieverbraucher und damit einer der größten CO₂-Emittenten in den westlichen Industrienationen [Hennicke 1999, Enquete 1995a, WEC 1998].

Besondere Bedeutung kommt dem MIV zu, da sich in den letzten Jahrzehnten sowohl sein Anteil am Gesamtenergieverbrauch als auch sein absoluter Verbrauch gesteigert hat. Bei den anderen großen Energieverbrauchern, dem Haushaltsenergieverbrauch und dem industriellen Energieverbrauch, konnte hingegen ein leichtes Absenken des absoluten Energieverbrauchs beobachtet werden [Pfahl 2002]. Diese Situation soll sich in Zukunft weiter verschärfen, eine Vielzahl von Experten prognostiziert in der nahen und

mittleren Zukunft einen weiteren Anstieg des Energieverbrauchs des Individualverkehrs [WEC 1998, Prognos 1996, Enquete 1995a, Enquete 1995b].

Der Automobilverkehr basiert fast vollständig auf der Nutzung von Rohöl als fossilem Energieträger. Vor dem Hintergrund der Endlichkeit dieses Energieträgers [Hennicke 1999] ist speziell für den Individualverkehr mit seinen hohen Anforderungen an die Mobilität durch den Endkonsumenten die Frage der Substituierbarkeit durch andere Energieträger besonders wichtig. Im Gegensatz zum Schienenverkehr oder stationären Energieumwandlungsanlagen wie sie in den Haushalten oder der Industrie verwendet werden, muß im Individualverkehr der Energieträger mitgeführt werden. Dieser Umstand bedingt, daß potentielle Substitute eine möglichst hohe Energiedichte in Bezug auf Transportvolumen und Gewicht aufweisen, was die Zahl der Alternativen stark einschränkt. Durch eine massive Senkung des spezifischen Energieverbrauchs kann diese Randbedingung aber entschärft werden, sodaß unter Experten die Energieeffizienz als ein zentraler Baustein für eine zukünftige integrierte Energie- und Verkehrsstrategie angesehen wird [Diaz 1998, Pfahl 2002, Hennicke 1999].

Zusätzliche Brisanz erhält die Frage z.B. nach dem Energieverbrauch der Kraftfahrzeuge je nach Höhe und Steigerungsrate der Kraftstoffpreise. Betrachtet man z.B. die letzte Dekade, so erkennt man die Dynamik bei den Benzinpreisen [Erdmann 1996, Lovins 1997, DOE 2002a, DOE 2002b, WRI 2002]

- 90er Jahre: eine Phase relativer Ruhe auf einem sehr niedrigen Niveau. Zeitweise sind die Rohölpreise auf unter 10\$/Barrel Rohöl gesunken, nachdem sie in den Jahren 1986/87 ihren historischen Rekord mit über 40\$/Barrel¹ erreicht hatten.
- 99/2000: Nahezu sprunghaftes Ansteigen der Rohöl- und damit auch der Benzinpreise auf zeitweilig über 30\$/Barrel in einem Zeitraum von wenigen Monaten.

Zwar hat es in den letzten Jahrzehnten seit der Ölkrise von 1973 eine Vielzahl von Verbesserungen in der Motorentwicklung und damit im spezifischen Verbrauch gegeben; man muß allerdings konstatieren, daß diese Fortschritte durch Weiterentwicklungen an anderer Stelle, z.B. einer komfortableren Ausstattung oder einer erhöhten Lärmdämmung, die ein höheres Leergewicht zur Folge hatten, wieder kompensiert wurden, sodaß nur der Status-quo mit einem Flottenverbrauch von ca. 9 Liter/100km erhalten blieb [Pfahl 2002].

In den letzten Jahren gab es immer wieder Diskussion um das sogenannte 3-Liter-Auto (3 Liter Kraftstoffverbrauch im Euro-Mix für ein 4-5 sitziges Fahrzeug) [Diaz 1998]. In den letzten drei Jahren sind mittlerweile zwei Beispiele solcher Fahrzeuge auf den Markt

¹Nominale Preise

gebracht worden (VW Lupo, Audi A2) [Volkswagen 2002b, AUDI AG 2002]. Allerdings ist deren Marktanteil, auch innerhalb der eigenen Produktgruppe, recht bescheiden geblieben [Stuttgart Zeitung 2002]. Im Hinblick auf die oben angesprochene Ressourcenproblematik sind diese Vorstöße aber besonders zu begrüßen.

Langfristiges Ziel sollte es sein, den Flottenverbrauch der Fahrzeuge von heutzutage 9 Litern/100km auf 1 - 2 Liter/100 km zu reduzieren [Diaz 1998]. Das Erreichen dieses Zieles vergrößert den zukünftigen Handlungsspielraum vor dem Hintergrund sinkender Vorräte nicht-erneuerbarer Ressourcen wesentlich. Diesen Handlungsspielraum kann man wiederum nutzen, um erneuerbare Energieträger wettbewerbsfähig zu machen und z.B. für den mobilen Betrieb in Kraftfahrzeugen zur Serienreife zu entwickeln [Hennicke 1999].

2.2. Physikalische Gesetzmäßigkeiten

Der Energieverbrauch eines Kraftfahrzeuges wird maßgeblich durch die vier Faktoren Beschleunigungsenergie, Luftwiderstand, Rollwiderstand und Wirkungsgrad der Energieumwandlung, z.B. bei dem Verbrennungsprozeß im Motor, bestimmt. Der Energiebedarf eines PKW setzt sich aus der Summe der einzelnen Fahrtwiderstände entlang eines zurückgelegten Weges zusammen.

$$\begin{aligned} \text{Energiebedarf} &= \sum \text{Fahrtwiderstand} * \text{Weg} \\ &= \sum \text{Kraft} * \text{Weg} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Für die Betrachtung der physikalischen Gesetzmäßigkeiten gelten die folgenden Notationen:

c_w	:	Luftwiderstandsbeiwert des Fahrzeuges
A_L	:	Stirnfläche des Fahrzeuges
v	:	Fahrzeuggeschwindigkeit
m	:	Fahrzeugmasse
g	:	Erdbeschleunigung
f_R	:	Rollwiderstandskoeffizient
α	:	Steigungswinkel der Fahrbahn
m_{ROT}	:	Rotationsmasse der Reifen
a	:	Fahrzeugbeschleunigung

Betrachten wir die einzelnen Fahrtwiderstände nun etwas genauer [Gerthsen 1991]:

- Luftwiderstand:

$$F_L \sim c_w * A_L * v^2 \quad (2.2)$$

- Rollwiderstand:

$$F_R \sim m * g * f_R * \cos \alpha \quad (2.3)$$

- Beschleunigung:

$$F_A \sim \pm(m_g * \sum m_{ROT}) * a \quad (2.4)$$

- Steigungen:

$$F_S \sim \pm m * g * \sin \alpha \quad (2.5)$$

Die beiden bestimmenden Fahrtwiderstände von Fahrzeugen sind bei konstanter Geschwindigkeit der Luft- und der Rollwiderstand. Die Fahrsituation konstanter Geschwindigkeit auf ebener Strecke nimmt aber in einem durchschnittlichen Fahrzyklus nur einen geringen Anteil ein. Vielmehr bestimmen Brems- und Beschleunigungsvorgänge insbesondere im Stadtverkehr und auf der Landstraße den Fahrzyklus. In solchen Fahrsituationen dominiert die Beschleunigungsenergie den Energieverbrauch. In hügeligem Gelände addiert sich darüberhinaus der Energieeinsatz, der zur Überwindung der Steigungen aufgewandt werden muß, hinzu.

In der Auflistung der verschiedenen Fahrwiderstände erkennt man die unterschiedlichen Einflußfaktoren. Das sind beim Luftwiderstand insbesondere der konstante Luftwiderstandsbeiwert, der von der Aerodynamik der Karosserie abhängt und die konstante Stirnfläche der Karosserie. Der Energieverbrauch des Fahrzeugs steigt kubisch mit der Geschwindigkeit², d.h. eine Steigerung der Fahrtgeschwindigkeit von 50 km/h auf 100 km/h verachtfacht den Energieverbrauch, der zur Überwindung des Luftwiderstandes aufgebracht werden muß. Der Rollwiderstand wird durch den Rollwiderstandsbeiwert und das Gewicht des Fahrzeuges beeinflusst. Bei Beschleunigungsvorgängen wird der Energieaufwand einerseits durch die Masse des Fahrzeuges bestimmt, darüberhinaus beeinflusst aber auch das Fahrverhalten den Energieverbrauch bei Beschleunigungen, da die physikalische Beschleunigung der andere

²Der Energiebedarf für die Überwindung des Luftwiderstandes beträgt: $E_L = F_L * s \sim c_w * A_L * v^2 * s \sim c_w * A_L * v^3 * t$

bestimmende Faktor für die Beschleunigungsenergie ist. Beim Überwinden von Steigungen wird der Energieverbrauch durch die Masse des Fahrzeuges und durch den Winkel der zu überwindenden Steigung bestimmt.

An die Konstruktion eines energiesparenden Fahrzeuges leiten sich aus diesen physikalischen Gegebenheiten die folgenden Anforderungen ab [Vinzens 1998, Lovins 1995a]:

- ein niedriges Gewicht,
- ein geringer Luftwiderstand und
- ein geringer Rollwiderstand.

Diese drei Einflußfaktoren bestimmen die notwendige "Netto"-energie, die zur Überwindung der physikalischen Kräfte benötigt wird. Darüberhinaus muß noch eine hohe Effizienz der Energieumwandlung von der im Kraftstoff gespeicherten chemischen Energie in mechanische Energie gefordert werden.

2.3. Hypercar-Konzept: Produkteigenschaften

Anfang der 90er Jahre stellte das Rocky Mountains Institute (RMI) eine Studie für einen PKW vor, die versucht, alle vier Einflußgrößen integriert in der Konzeption zu berücksichtigen [Lovins 1995a]. Das Ziel dieser Studie war es, das Konzept einer vollwertigen 4 - 5 sitzigen Limousine aufzuzeigen, die [Vinzens 1998, Lovins 1995a, Lovins 1997, Lovins 1999, Diaz 1998, Weizsäcker 1995] folgenden Anforderungen gerecht wird:

- Leergewicht von 500 - 600 kg, das durch die Nutzung einer Leichtgewichtskarosserie aus Kohlenfaserverbundwerkstoff und die konsequente Nutzung aller Synergien zur Gewichtseinsparung erreicht wird. Zum Vergleich: Kraftfahrzeuge dieser Größenordnung erreichen heutzutage ein Leergewicht von 1300 - 1700 kg.
- sehr niedriger Luftwiderstand durch eine verkleinerte Stirnfläche und einen niedrigen Luftwiderstandsbeiwert ($c_w \leq 0,20$).
- sehr geringer Rollwiderstand. Hier erreicht man eine Verbesserung um den Faktor 50 (!), indem man die seit Jahrzehnten genutzten Konzepte von LKW-Reifen auf die PKW-Bereifung anwendet.

- serieller Hybridmotor mit hohem Wirkungsgrad durch Rückgewinnung der Beschleunigungsenergie. Bei einem normalen Verbrennungsmotor geht die aufgewandte Beschleunigungsenergie beim Bremsvorgang verloren (physikalisch korrekt wird sie in Wärmeenergie umgewandelt, die an die Umgebung abgegeben wird).
- Produktion auf der Basis bekannter Werkstoffe und Produktionsverfahren.
- Kostenrahmen, der es erlaubt, im Rahmen der industrieeüblichen Kostendegression in absehbarer Zeit wettbewerbsfähig zu sein.

Während die Senkung des Luftwiderstandes in den letzten beiden Jahrzehnten die Fahrzeugentwicklung schon bedeutend beeinflusst hat und somit das Hypercar-Konzept nur eine quantitative Änderung in Form eines ambitionierten, aber kurzfristig erreichbaren Zieles darstellt³, sind die neue Karosserie und der Hybridmotor doch wesentliche qualitative Änderungen der Produktkonzeption [Vinzens 1998, Diaz 1998]. Wir wollen diese beiden Aspekte noch im Detail beleuchten.

2.3.1. Kohlenfaserkarosserie

Für die Karosserie des Hypercar wird vom RMI ein selbsttragendes Monocoque aus Kohlenfaserverstärktem Kunststoff ohne Hilfsrahmen vorgeschlagen. Das Gesamtgewicht der kompletten Karosserie inklusive Türen und Hauben soll sich damit auf 123,0 kg⁴ für die vorgeschlagene 4 - 5 sitzige Limousine reduzieren [Lovins 1995b].

Unter der Bezeichnung “Faserverstärkte Verbundwerkstoffe” versteht man Materialien, die aus verstärkenden Fasern und einer die Fasern umschließenden aushärtenden Harzmasse, der sogenannten Matrix, zusammengesetzt werden. Das Fasermaterial kann entweder aus natürlichen Fasern, synthetischen Fasern oder Kohlenstofffasern bestehen. Zu den synthetischen Fasern gehören zum Beispiel Glasfasern, die dem entsprechenden Kunststoff seinen Namen geben. Die Matrix kann neben Polymeren auch aus Metallen, Metalllegierungen oder Keramik bestehen. Besteht die Matrix aus Polymeren, so handelt es sich bei dem Werkstoff um einen faserverstärkten Kunststoff [Vinzens 1998]. Die beiden prominentesten Vertreter sind der Glasfaserverstärkte Kunststoff (GFK) und der Kohlenfaserverstärkte Kunststoff (CFK).

Faserverstärkte Kunststoffe (FVK) und insbesondere auch kohlenfaserverstärkte Kunststoffe werden heutzutage schon in einigen Branchen vorwiegend benutzt und bieten gerade

³Heutzutage erreichen handelsübliche Fahrzeuge einen c_w -Wert von unter 0,28 [Diaz 1998].

⁴Eine vergleichbare Stahlkarosserie wiegt zwischen 500 und 600 kg.

in technologisch anspruchsvollen Anwendungen wie dem Werkzeugmaschinenbau aufgrund der Materialhärte, dem Anlagenbau aufgrund der chemischen Beständigkeit, der Verkehrstechnik (Luft- und Raumfahrt) und der Medizintechnik in der Orthopädie unübertroffene Produkteigenschaften [Vinzens 1998, Ifo 1994].

Faserverstärkte Kunststoffe werden schon seit langem im Fahrzeugbau hauptsächlich bei Kleinseriensportwagen eingesetzt. Hierbei werden vorwiegend glasfaserverstärkte Kunststoffe benutzt, mittlerweile kommen aber auch immer mehr CFK-Werkstoffe zum Einsatz. Wesentlicher Grund für den Einsatz der FVK bei den Kleinseriensportwagen ist neben Gewichtsersparnis und der Rostfreiheit die deutliche Kostenersparnis gegenüber der aufwendigen Stahlverarbeitung aufgrund der einfachen und relativ preiswerten Werkzeuge bei der Verarbeitung in der Kleinserie bzw. durch die Möglichkeit der handwerklichen Fertigung.

Die höheren Materialkosten der FVK werden bei einem Jahresvolumen von einigen tausend Fahrzeugen kompensiert [Vinzens 1998]. Der konsequenteste Schritt in Richtung Leichtbau stellt die Nutzung von Kohlenfaserverstärktem Kunststoff in der sogenannten Monocoque-Bauweise dar. Bei dieser Konstruktionsart stellt die Karosserie sowohl die äußere Hülle als auch die tragende Struktur des Fahrzeuges dar. Auch bei konventionellen Karosserien aus Stahl hat sich die Monocoque-Bauweise durchgesetzt; hier wird aus einer Vielzahl von Stahlblechen die tragende Struktur zusammengeschweißt, die anschließend mit Hauben und Türen komplettiert wird. Abschließend wird dann die Karosserie lackiert und der Innenausbau durchgeführt [Vinzens 1998].

Die ersten Prototypen für eine Leichtbaukarosserie wurden in den letzten Jahren im Rahmen der PNGV-Initiative der amerikanischen Regierung vorgestellt [PNGV 2000]⁵. Ein Beispiel hierfür ist der Dodge Intrepid ESX3, der aus dem normalen Dodge Intrepid abgeleitet wurde. Beim Dodge Intrepid ESX3 handelt es sich um eine fünfsitzige Limousine, deren Kunststoffkarosserie mit einem Aluminiumrahmen verstärkt wurde und die durch einen seriellen Hybridmotor angetrieben wird. Das Gesamtgewicht des Intrepid ESX3 beträgt 1012 kg und der Benzinverbrauch wird für den Intrepid ESX3 mit 3,4 l/100km angegeben. An dem Beispiel Dodge Intrepid ESX3 lassen sich einige Vorteile der Verwendung einer Kunststoffkarosserie veranschaulichen [Handelsblatt 2000a, PNGV 2000]:

- Gewichtsersparnis von 37 % gegenüber der konventionellen Stahlkarosserie.
- Verringerung der Teilezahl der Karosserie um 70 %.

⁵Die Initiative “Partnership for a new Generation of Vehicles” (PNGV) wurde von dem ehemaligen Vizepräsidenten der Vereinigten Staaten von Amerika Al Gore ins Leben gerufen. Das Ziel dieser gemeinsamen Forschungsinitiative staatlicher Institutionen und Industrieunternehmen war der Bau einer leichtgewichtigen, fünfsitzigen Limousine mit einem Verbrauch unter 3 l/100km.

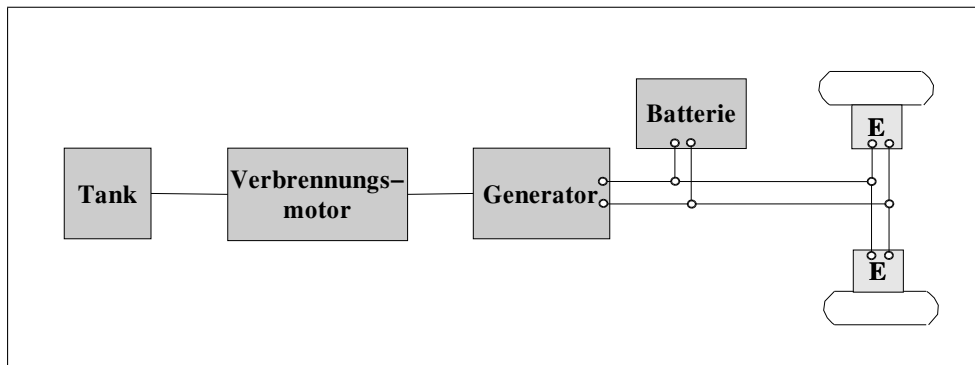


Abbildung 2.1.: Die Abbildung zeigt eine schematische Darstellung des Konzeptes des seriellen Hybridmotors. Quelle:[Lovins 1995a, Maume 2002].

- Senken der Montagezeit durch den Einsatz von wenigen großen Teilen für die Karosserie.
- Verringerung der Produktionsfläche auf $\frac{1}{6}$ auf Grund der geringen Zahl an Produktionsschritten (konventionelles Fahrzeug > 100).
- Da der Kunststoff des Fahrzeuges durchgefärbt ist, entfällt die komplette Lackieranlage, d.h. eine Investition von ungefähr 350 Mio. US\$.
- Die Technik für die Fertigung ist im wesentlichen großserientauglich, da sie den Prozessen bei der Herstellung von handelsüblichen Kunststoffgetränkeflaschen entspricht.

Allerdings wurde beim Intrepid ESX3 nur eine konventionelle Kunststoffkarosserie aus PET (Polyethylenterephthalat) verwendet, die bei weitem nicht die Sicherheits- und Festigkeitsmerkmale besitzt wie Kohlenfaserverbundwerkstoffe. Das verhindert eine weitere Senkung des Leergewichtes in die angestrebte Größenordnung von 500 - 600 kg (s. Abschnitt 2.3.3).

2.3.2. Hybridmotor

Als Antrieb wird vom Rocky Mountains Institute ein serieller Hybridmotor vorgeschlagen. Die Abbildung 2.1 stellt die wichtigen Elemente dieses Konzeptes dar.

Ein kleinvolumiger Verbrennungsmotor wird bei konstanter Drehzahl im Punkt des höchsten Drehmomentes, an dem der Verbrennungsmotor den höchsten thermischen Wirkungsgrad hat, betrieben. Der Verbrennungsmotor treibt wiederum einen elektrischen Generator an, der die mechanische Energie in elektrische Energie umwandelt. Diese elektrische

Energie wird nun an Nabenmotoren (“E”) weitergegeben, die direkt in die Radnaben eingebaut sind. Diese Konfiguration erspart den kompletten mechanischen Antriebsstrang inklusive Getriebe. Das letzte Element der Antriebsanheit “serieller Hybridmotor” ist die Batterie, die bei Bedarf entweder elektrische Energie liefert oder überschüssige elektrische Energie speichert [Maume 2002].

Der Verbrennungsmotor wird wie oben beschrieben genau mit der Drehzahl betrieben, bei der der thermodynamische Wirkungsgrad sein Maximum erreicht. Üblicherweise ist das für Verbrennungsmotoren die Drehzahl des höchsten Drehmomentes. Nun ist die so abgegebene Leistung des Motors nur in den seltensten Verkehrssituationen optimal, meistens ist die vom Verbrennungsmotor gelieferte Leistung zu hoch oder zu niedrig. Diese Schwankungen sollen jetzt von der Lastverteilungseinheit ausgeglichen werden. Zentrales Element ist eine Speichereinheit für elektrische Energie, in den meisten Fällen eine Batterie, die entweder die überschüssige Energie speichern kann oder die aufgrund der Verkehrssituation benötigte Mehrleistung kurzfristig bereitstellt. Durch diese Pufferung der elektrischen Energie kann der Verbrennungsmotor eine weitaus kleinere Leistung aufweisen, ohne daß man auf die Beschleunigungsdynamik verzichten muß. Bei konventionellen Verbrennungsmotoren wird ein großer Teil der Leistung vorgehalten, einzig um in Beschleunigungssituationen genügend Leistung zur Verfügung zu haben⁶. Da die Elektromotoren im Gegensatz zu Verbrennungsmotoren keine Lastwechseleffekte zeigen, treten auch keine Verzögerungszeiten bei plötzlich angeforderter Beschleunigung auf. Dieses ist gerade für Überholmanöver von Bedeutung. In Summe erhält man einen Antrieb, der aufgrund der geringeren Maximalleistung nicht eine besonders große Höchstgeschwindigkeit ermöglicht, dafür aber in Beschleunigungssituationen leistungsfähiger als ein weitaus größerer Verbrennungsmotor ist.

Der serielle Hybridmotor ist für ein energiesparendes Fahrzeug aber aus einem anderen Grunde höchst interessant. Kehrt man die Polung der Elektromotoren um, so wirken diese als Generator, der bis zu 90% der Bremsenergie in elektrische Energie umwandelt, die dann in der Batterie gespeichert werden kann [Maume 2002]. Darüberhinaus wird durch den Wirbelstromeffekt das Fahrzeug zusätzlich abgebremst [Gerthsen 1991]. Zwar benötigt man immer noch ein konventionelles Bremssystem für die niedrigen Geschwindigkeiten, aber dieses kann weitaus kleiner dimensioniert werden⁷ und der mittlerweile durchgängig benutzte Bremskraftverstärker kann entfallen. Durch die Rückgewinnung der Bremsenergie steigt der

⁶An dieser Stelle weisen wir auf das Prinzip des integrierten Designs hin (s. Abschnitt 2.3.3). Die benötigte Beschleunigungsenergie und damit die Leistung wird auch durch die Fahrzeugmasse bestimmt; sinkt diese, so verringert sich die benötigte Leistung. Ein kleiner dimensionierter Motor ist wiederum leichter, was die benötigte Leistung weiter verringert.

⁷Die sogenannte Wirbelstrombremse wird heutzutage schon in allen modernen Zügen und bei allen modernen Reisebussen eingesetzt, da sie weitaus effektiver und sicherer bremst als eine mechanische Bremsanlage und sich darüberhinaus viel genauer dosieren läßt.

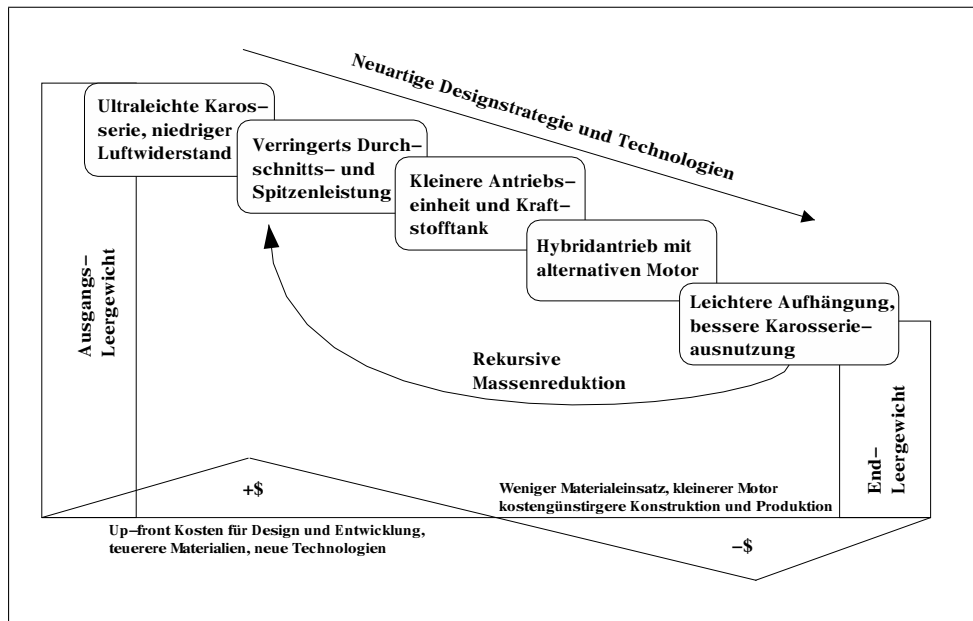


Abbildung 2.2.: Die Abbildung zeigt das grundlegende Design-Prinzip des Hypercar-Konzeptes in der Form von selbstverstärkenden Rückkopplungsschleifen dar. Quelle:[Lovins 1995a, Lovins 1995b, Lovins 1997, Lovins 1999].

Gesamtwirkungsgrad des Fahrzeugantriebs beträchtlich, da nun fast die gesamte Beschleunigungsenergie wieder in elektrische Energie umgewandelt wird und wiederverwendet werden kann. Modellrechnungen zeigen, daß der Gesamtwirkungsgrad der Antriebskette auf der Basis eines Opel-Corsa-Aggregates auf ungefähr 40 - 45% gesteigert werden kann gegenüber 17% (Benzinmotor) bzw. 25% (Dieselmotor) heutiger Fahrzeuge [Diaz 1998].

Durch die gleichbleibende Drehzahl erhöht sich nicht nur der Wirkungsgrad des Antriebes, sondern auch dessen Lebensdauer. Die Motoren von Block-Heizkraftwerken (BHKW), die unter ähnlichen Bedingungen laufen, sind so modifiziert, daß sie reine Laufzeiten zwischen 30.000 und 100.000 Stunden erreichen. PKW-Motoren hingegen erreichen üblicherweise nur Betriebsstandzeiten von 3.000 bis 4.000 Stunden [Vinzens 1998].

2.3.3. Closed-Loop Design

Das Rocky Mountains Institute war bei dem Entwurf des Hypercardesigns von der Maxime geleitet, alle möglichen Synergieeffekte über Rückkopplungsschleifen (Closed-Loops) zu nutzen. Die Abbildung 2.2 soll das Prinzip verdeutlichen.

Durch den Einsatz einer ultraleichten Karosserie und einen sehr geringen Luft- und Rollwi-

derstand⁸ ist es möglich, die gleichen Fahrleistungen mit weitaus geringeren Motorleistungen zu erreichen. Nutzt man einen seriellen Hybridmotor, so kann der Verbrennungsmotor kleiner dimensioniert werden, da kurzfristige Spitzenleistungen aus der Batterie als Speicher abgerufen werden können. Zusammen mit dem kleineren Tank, der aufgrund des höheren Wirkungsgrades des Hybridmotors benötigt wird, sinkt das Gesamtgewicht des Fahrzeuges weiter gegenüber einer konventionellen Limousine. Aufgrund der einfacheren Konstruktion des Hybridmotors fallen einige Teile der Fahrzeuges, wie z.B. der komplette Antriebsstrang, der durch leichte, leistungsfähige Nebenmotoren ersetzt wird, fort. Die einzelnen Schritte werden, wie in der Abbildung oben dargestellt, wiederholt durchlaufen, bis die Reihe konvergiert. Das Ergebnis dieser mehrfachen Optimierungsschleife kann ein Leergewicht von 500 - 600 kg für eine fünfsitzige Limousine sein⁹.

Interessant ist aber ein zweiter Aspekt der Gewichtseinsparungen durch die Ultraleichtkarosserien und den kleineren Motor. In den letzten Jahren hat das Gewicht der Fahrzeuge kontinuierlich zugenommen, je "erwachsener" die Fahrzeuge geworden sind. Ein VW Golf der ersten Generation hat 750 kg gewogen, während das aktuelle Modell ungefähr 1200 kg wiegt [Volkswagen 2002a]. Sicherlich hat die größere Karosserie einiges an Gewichtszunahme verursacht, der Hauptbeitrag dieser Steigerung ist aber auf die immer komfortablere Ausstattung der Fahrzeuge (Schalldämpfung, Fensterheber etc.) zurückzuführen.

Der Umstieg auf eine Ultraleichtkarosserie aus Kohlenfasern macht nun einige dieser "Speckringe" des Autos überflüssig. Bei einem Fahrzeug mit 500 kg Leergewicht ist die Servolenkung unnötig. Die CFK-Karosserie besitzt ein anderes Resonanzverhalten als eine Stahlkarosserie, sie dämpft die Eigenschwingungen des Fahrzeugs und vermeidet aufwendige Dämmvorkehrungen. Die weitaus höhere Crashsicherheit durch das Kohlenfasermonocoque erhöht die passive Sicherheit des Fahrzeugs deutlich, nicht zuletzt durch eine bessere Energieabsorption, die die Vielzahl an Airbags¹⁰ überflüssig macht. Die hier aufgeführten Einsparmöglichkeiten wirken über die Rückkopplungsschleifen zurück auf die Dimensionierung des Antriebs und den Verbrauch. Das Rocky Mountains Institute hat, auch auf der Basis der Fortschritte, die bei den Dodge Intrepid-Modellen gemacht wurden (s. Seite 15), ermittelt, daß das Leergewicht einer solchen Limousine auf 500 kg vermindert werden könnte – gegenüber 1300 - 1500 kg bei dem gleichen Modell in konventioneller Ausführung [Lovins 1995b, Lovins 1999].

⁸Für die Reifen nennt das RMI einen Zielwert von 0,006 gegenüber 0,15 heutzutage für den Rollwiderstandsbeiwert (s.o.), was allerdings dem Kennwert heutiger LKW-Reifen entspricht, also technisch umsetzbar ist [Diaz 1998, Vinzens 1998].

⁹Ein VW Golf in der Standardausführung wiegt heutzutage 1.200 kg [Volkswagen 2002a].

¹⁰Die aktuellen S-Klasse-Fahrzeuge von Daimler-Benz verfügen mittlerweile über 10 Airbags, die natürlich alle zu Lasten des Leergewichtes des Fahrzeuges gehen [Neue Zürcher Zeitung 1998].

Unter Experten ist allgemein akzeptiert, daß jede Verringerung der Fahrzeugmasse um 100 kg eine Senkung des Kraftstoffverbrauches um 0,5 l/100 km ermöglicht, optimistische Schätzung gehen sogar von bis zu 0,7 l/100 km aus. Überträgt man diese Zahlen jetzt auf das oben beschriebene Konzept so ermöglichte die Gewichtsreduktion allein eine Einsparung von 4 - 5 l/100 km [Diaz 1998].

2.4. Hypercar-Konzept: Produktionsprozeß

Wie wir oben schon angedeutet haben, wirken sich die veränderten Produkteigenschaften auch auf die Produktionsprozesse aus. Im Gegensatz zur Herstellung konventioneller Fahrzeuge ergeben sich einige Besonderheiten bei der Verarbeitung von Kohlenfaserverbundwerkstoffen, die auch die Kostensituation der Produktion erheblich verändern [Vinzens 1998, Lovins 1995b]:

- Ein schlanker Produktionsprozeß, der nur noch 8-10 Teilschritte umfaßt, im Gegensatz zu 100-150 Produktionsschritten einer herkömmlichen Stahl- oder Aluminiumkarosserie.
- Daraus ergibt sich ein weitaus geringerer Flächenbedarf für die Produktionsstätten, was sich auf die Gemeinkosten der Produktion positiv auswirkt.
- Aufgrund der veränderten Taktzeiten ist eine Parallelisierung der Fertigung notwendig, was andererseits die Ausfallsicherheit bei Störungen erhöht. Die Investitionskosten halten sich trotzdem aufgrund der geringeren Fertigungstiefe im vergleichbaren Rahmen.
- Wegfall kompletter Fertigungsabschnitte, wie z.B. der Lackiererei oder der Versiegelung zum Rostschutz. Der Wegfall der Lackiererei senkt neben den reinen Investitionskosten auch die Kosten für den Gesundheitsschutz (Lösungsmittel).
- Kleinere, optimale Losgrößen erlauben eine feinere Steuerung des Produktionsbetriebes.

Die Umstellung auf einen vollständig veränderten Produktionsprozeß bringt andererseits aber auch eine Reihe von Unsicherheiten und Nachteilen mit sich.

- Kohlenfaserkunststoffe werden bislang nur in Kleinserien produziert, es existieren noch kaum Erfahrungen mit größeren Produktionseinheiten, insbesondere die Standzeiten

der Werkzeuge bergen noch eine Menge an unbeantworteten Fragen [Vinzens 1998, Ifo 1994].

- Mit der Massennutzung des seriellen Hybridmotors gibt es noch wenige Erfahrungen, einzig Toyota und Honda verkaufen seit dem Jahr 2000 Serienfahrzeuge mit einem seriellen Hybridmotor [Süddeutsche Zeitung 2002c].

2.5. **Ökonomische und technische Fragestellungen**

So vielversprechend das Konzept des Hypercars auf den ersten Blick erscheint, so läßt sich aus der vorangegangenen Diskussion erschließen, daß eine Vielzahl technischer Fragestellungen noch nicht zufriedenstellend geklärt ist. Während bei den Eigenschaften des Produktes der Großteil der technischen Fragen geklärt ist, verbleiben insbesondere auf Seiten des Produktionsprozesses in der Massenfertigung noch eine Vielzahl von Problemen bislang ungelöst [Vinzens 1998].

Von der ökonomischen Seite sind bislang noch nicht alle Fragen der betriebswirtschaftlichen Kostenrechnung beantwortet worden [Lovins 1995a, Vinzens 1998]. Die Vielzahl an technischen und technologischen Innovationen, die mit dem Produkt Hypercar allerdings verbunden sind, stoßen wiederum eine Reihe von ökonomischen Fragen an, die ein derartiges Produkt zu einem interessanten Untersuchungsgegenstand der Behandlung von Diffusionsprozessen bei Produkt- und Prozeßinnovationen werden lassen.

Im nächsten Kapitel werden wir zunächst den aktuellen Stand der Diffusionsforschung aufarbeiten und die Anwendbarkeit der existierenden Modelle auf unsere Problemstellung anhand einer Reihe von forschungsleitenden Fragen untersuchen. Wie ist die Änderung der Produkteigenschaften modelliert? Welche Produkteigenschaften werden in den vorliegenden Arbeiten berücksichtigt? Gibt es fixe Produktalternativen, zwischen denen die Produzenten entscheiden können oder können die Hersteller die verschiedenen Eigenschaften endogen verändern? Wie ist der eigentliche Innovationsprozeß modelliert? Können sich die Produzenten auf bestimmte Produkteigenschaften wie z.B. den Energieverbrauch spezialisieren und spezifisches Forschungswissen aufbauen? Das Prinzip des Closed-Loop-Designs legt die Vermutung nahe, daß die Struktur des Raumes der Produkteigenschaften nicht zusammenhängend ist. Wie wird diese Struktur in den bisherigen Arbeiten berücksichtigt? Werden in den Arbeiten die Kaufentscheidungen der Konsumenten endogen modelliert oder als ad-hoc-Annahme berücksichtigt? Wie bewerten die Konsumenten die verschiedenen Produktalternativen im Falle der Existenz mehrerer Produkteigenschaften? Verändern sich die

Präferenzen der Konsumenten im Laufe der Zeit (learning-by-consuming)? Berücksichtigen die Konsumenten in ihrer eigenen Kaufentscheidung die ihrer Mitkonsumenten? Gibt es eine Differenzierung oder Spezialisierung auch auf Seiten der Konsumenten? Wie wird die Wettbewerbsdynamik und die Unsicherheit des Markterfolges einer Produktinnovation modelliert?

3. Diffusion in der ökonomischen Theorie

3.1. Einleitung

In empirischen Untersuchungen, insbesondere seit 1945, hat man einen “charakteristischen” S-förmigen Verlauf der Marktanteils- oder Umsatzkurve erfolgreicher Produktinnovationen beobachtet [Rogers 1983]. Da die Diffusion von neuen Produkten und neuen Produktionsprozessen einer der fundamentalen Aspekte für das Wachstum und den Wandel heutiger Volkswirtschaften ist [Solow 1957, Schumpeter 1934], gab es in den letzten Jahrzehnten eine Vielzahl an Untersuchungen, die die empirischen Beobachtungen theoretisch zu untermauern versuchten.

Als zentrale Fragestellungen für die Analyse ökonomischer Diffusionsprozesse wurden dabei von den verschiedenen Autoren die folgenden Punkte herausgearbeitet [Silverberg 1988]:

- Warum wird eine neue Technologie nicht instantan von allen potentiellen Nutzern adoptiert? Es ist eine wohlbekannte Beobachtung¹, daß die Diffusion neuer Produkte und Prozesse unterschiedlich lange Zeit benötigt; einige Akteure adoptieren sehr früh nach der Entwicklung einer technischen Neuerung, während andere Akteure erst sehr spät adoptieren.
- Wie können die dynamischen Pfade der Diffusion beschrieben werden?
- Welche relevanten Variablen treiben den Diffusionsprozeß?

¹Schumpeter hat hierzu angemerkt: “we see all around us in real life faulty ropes instead of steel hawsers, defective draught animals instead of show breed, the most primitive hand labor instead of perfect machines . . . economic logic prevails over the technological” ([Schumpeter 1934], S.14-15). Die Verzögerung bei der Adoption einer neuen Technologie wird durch eine Vielzahl empirischer Studien berichtet (für einen Überblick s. [Stoneman 1995]).

Zur Beantwortung dieser Fragen, und um uns einen Überblick über die gegebene Literatur zur Diffusionstheorie zu verschaffen, wollen wir im folgenden eine Klassifikation der Modelle vorstellen. Anhand dieser Klassifikation wollen wir die einzelnen Modellklassen vorstellen und im Hinblick auf unsere Fragestellung beurteilen. Basierend auf den Arbeiten von Silverberg et.al. [Silverberg 1988] und Dosi [Dosi 1991] haben wir die folgenden Kriterien für die Klassifikation der Modelle identifiziert:

- **Informationen der Akteure:** Man kann die Modelle dahingehend unterscheiden, ob sie vollständige Informationen der Akteure voraussetzen oder nicht. Im Falle vollständiger Information besitzt der Akteur das notwendige Wissen, um den optimalen Adoptionszeitpunkt zu bestimmen. Im entgegengesetzten Fall ist dieses Wissen nicht notwendigerweise vorausgesetzt.
- **Rationalität der Akteure:** Zusätzlich zum Informationsstand der Akteure muß man auch das unterstellte Rationalitätspostulat untersuchen. Ist die Rationalität der Akteure perfekt, so sind sie immer in der Lage, die optimale Entscheidung für die Adoption der Innovation zu treffen. Bei imperfekter Rationalität hingegen wird diese Annahme nicht aufrechterhalten.
- **Akteurspopulation:** Bei der Untersuchung der Modelle muß man die Unterscheidung treffen, ob die Akteurspopulation homogen oder heterogen ist. Im Falle der Heterogenität können sich die Akteure in bezug auf eine oder mehrere der treibenden Variablen unterscheiden.
- **Skaleneffekte:** Das letzte Klassifikationsmerkmal beschreibt, ob dem Modell sinkende oder steigende Erträge in Bezug auf die Diskriminierungsfunktion (Gewinn- oder Nutzenfunktion) unterstellt wurde.

Anhand dieser Merkmale lassen sich 3 Modellklassen identifizieren, die wir mittels der folgenden Tabelle kurz vorstellen wollen; sie werden in den nachfolgenden Abschnitten ausführlich dargestellt.

Im Gegensatz zu Silverberg [Silverberg 1988] haben wir die epidemischen Modelle nicht in unsere Aufstellung miteinbezogen, vielmehr haben wir den Gleichgewichtsmodellen noch die Ungleichgewichtsmodelle mit steigenden Skaleneffekten gegenübergestellt, die Dosi [Dosi 1991] identifiziert hat. Der Vollständigkeit halber wollen wir aber kurz noch auf die epidemischen Modelle eingehen.

Ausgangspunkt der Diffusionstheorie waren die sogenannten epidemischen Modelle, die in den 50er Jahren entwickelt wurden [Grilliches 1957]. Inspiriert durch die medizinische Forschung (Epidemiologie) betrachtete man die Diffusion als dynamischen Prozeß der Infektion

Modellklasse	Information	Rationalität	Population	Skaleneffekte
I (Gleichgewicht)	vollständig	perfekt	homogen	sinkend/konstant
II (Ungleichgewicht)	“	“	“	steigend
III (Evolutorisch)	unvollständig	imperfekt	heterogen	steigend

Tabelle 3.1.: Die Tabelle faßt die Klassifizierung der Modelle ökonomischer Diffusionstheorie anhand der identifizierten Kriterien zusammen. Quelle: eigene.

von Adoptoren mit dem neuen Produkt. Zentrale Annahme dieser Modelle ist die instantane Infizierung der Zielperson mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit, sobald diese mit dem Krankheitserreger in Berührung kommt.

Grundlage der epidemischen Modelle ist die logistische Differentialgleichung, deren Lösung die aus den empirischen Untersuchungen bekannte S-Kurve oder auch logistische Funktion ist [Polster 1994, Rogers 1983]. Diese Modelle wurden in den 50er Jahren von Ökonomen zur Beschreibung von Diffusionsprozessen in der Ökonomie übernommen (z.B. [Grilliches 1957]). Mit der Hilfe dieser Modelle konnte eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den empirischen Beobachtungen (S-förmiger Diffusionsverlauf) und den theoretischen Vorhersagen, die durch diese Modelle getroffen wurden, hergestellt werden. Aufgrund ihrer Vorgeschichte in der Epidemiologie werden diese Modelle auch als epidemische Modelle bezeichnet. Es gelten folgende Notationen:

N	:	Anzahl der Akteure
$x_A(t)$	:	Anzahl der Adoptoren
$x_{NA}(t)$	:	Anzahl der Nicht-Adoptoren
$f(x_A(t), n)$	:	Funktion der Adoptionswahrscheinlichkeit
b	:	Parameter für die Adoptionsswahrscheinlichkeit

Bei der Beschreibung der Modelldynamik beginnen wir mit der zeitlich konstanten Population aus N Akteuren. Die Anzahl der Adoptoren der neuen Technik bzw. des neuen Produktes wird durch die Variable $x_A(t)$ bestimmt. Die strenge Dichotomie zwischen Infizierten und Nichtinfizierten ergibt dann für die Anzahl der Nicht-Adoptoren (Nicht-Infizierten) den Wert:

$$x_{NA}(t) = N - x_A(t) \quad (3.1)$$

Die Infektionswahrscheinlichkeit wird nun in der allgemeinen Form durch die Funktion $f(x_A(t), N)$ beschrieben. Bei der logistischen Differentialgleichung nimmt man an, daß die Wahrscheinlichkeit einer Infektion proportional zur Anzahl der Infizierten steigt.

Aufgrund der begrenzten Anzahl an Akteuren, die Population N ist konstant, ist die Änderungsrate der Infizierten aber auch proportional zu der Anzahl der Nichtinfizierten, d.h.

$$\dot{x}_A(t) \propto x_{NA}(t) \quad (3.2)$$

Die logistische Differentialgleichung läßt sich nun unter Berücksichtigung des Parameters der Infektionswahrscheinlichkeit b mathematisch wie folgt ausdrücken [Rogers 1983, Polster 1994]:

$$\dot{x}_A(t) = b * x_A(t) * (N - x_A(t)) \quad (3.3)$$

Aus der mathematischen Beschreibung mittels der logistischen Gleichung läßt sich ableiten, daß die epidemischen Modelle die Diffusion als einen Anpassungsprozeß an ein langfristiges Gleichgewicht, dargestellt mittels der logistischen Funktion, beschreiben.

Im Laufe der Zeit wurde eine Reihe von Erweiterungen an den epidemischen Modellen vorgenommen, die insbesondere die Annahmen zur Infektionswahrscheinlichkeit verfeinert haben. Mansfield [Mansfield 1968] hat aber schließlich herausgestellt, daß die Diffusion nicht einfach eine Infizierung mit dem neuen Produkt ist; vielmehr wird der Prozeß durch den erwarteten Profit der Innovation und die Verbreitung der Informationen über die technischen und ökonomischen Eigenschaften getrieben. Diese Arbeit von Mansfield war dann der Auslöser für die Entwicklung einer neuen Klasse ökonomischer Diffusionsmodelle, die diese Aspekte in den Mittelpunkt der Analyse stellen.

3.2. Diffusionsmodell Typ I

Ausgehend von der Arbeit von Mansfield manifestiert sich die Kritik an der Anwendung von epidemiologischen Methoden auf ökonomische Problemstellungen an den folgenden Punkten [Mansfield 1968]:

- Die ökonomischen Akteure treffen keine deliberative Wahlentscheidung für die Adoption. Den epidemischen Modellen liegt ein zufälliges, dichteabhängiges Zusammentreffen

von Infizierten und Nicht-Infizierten Akteuren zugrunde. Die Adoption (oder Infektion) durch den betreffenden Akteur wird mittels einer Wahrscheinlichkeit beschrieben. Dieses steht aber im Widerspruch zu der Erkenntnis, daß ökonomische Akteure eine eigenständige Entscheidung auf der Basis einer von ihnen gewählten Diskriminierung zwischen den verfügbaren Entscheidungs-Alternativen fällen.

- In den epidemischen Modellen fehlt aber genau diese ökonomisch begründete Diskriminierungsfunktion zwischen den Alternativen. Ein Nicht-Adopter stellt in diesen Modellen kein “Ranking” zwischen den beiden Alternativen Adoption/Nicht-Adoption auf; eine exogen vorgegebene Konstante bzw. Funktion bestimmt die Wahrscheinlichkeit der Adoption der neuen Technologie durch den Akteur.

Diese Kritik gab Anlaß zu der Entwicklung der ersten ökonomisch motivierten Diffusions-Modelle, die als “Gleichgewichts-Diffusions-Modelle” bezeichnet werden können. In diesen Modellen wird der Diffusionsprozeß als Sequenz von aufeinanderfolgenden Gleichgewichten beschrieben. Die Abfolge der erreichten Gleichgewichte wird durch die Änderung in den ökonomischen Eigenschaften der Innovation und der Umwelt der Akteure gesteuert [Silverberg 1988, Metcalfe 1988].

Im Gegensatz zu den epidemischen Akteuren diskriminieren bei diesen Modellen die Akteure die Wahlalternativen auf der Basis ökonomischer Faktoren; sie besitzen dabei (in neoklassischer Manier) vollständige Informationen über die ihnen zur Verfügung stehenden Alternativen und deren Kosten und Gewinn bzw. Nutzen über den gesamten Adoptionszeitraum.

Die Akteure können somit den optimalen Zeitpunkt der Adoption ex-ante bestimmen. Bedingung für dieses Maximierungskalkül ist die Eindeutigkeit des Maximums der postulierten Diskriminierungsfunktion². Dieses wird in der Problemdefinition durch das Postulat konstanter bzw. sinkender Skalenerträge sichergestellt.

Wären nun in diesen Modellen alle Akteure gleich (repräsentativer Akteur), so wäre auch der individuelle Adoptionszeitpunkt für alle Akteure gleich. Die aggregierte Kurve der Adoption der Alternative entspräche einer Sprungfunktion.

Um die empirische Beobachtung einer logistischen Funktion darstellen zu können - die Sprungfunktion stellt bekanntlich einen Grenzfall der logistischen Funktion dar - läßt man für die Akteure in diesen Modellen eine begrenzte Heterogenität zu. Es wird die Annahme getroffen, daß sich die Adoptoren in Bezug auf ein Merkmal unterscheiden. Je nach

²Bei der Diskriminierungsfunktion unterscheidet man zwischen Anbietern und Nachfragern. Während Anbieter, üblicherweise Unternehmen, die Alternativen mittels des erwarteten Gewinns in eine Rangfolge einordnen, verwendet man bei der Betrachtung von Konsumenten eine Nutzenfunktion.

Untersuchungsgegenstand, der der Arbeit zugrunde liegt, kann es sich dabei z.B. um die Firmengröße oder die Profitabilität in Abhängigkeit von der Firmengröße etc. handeln [Dosi 1991, Metcalfe 1988]:

- Die sogenannten Probit-Modelle z.B. geben exogen eine Verteilung der Firmengröße vor.
- Rank-Modelle hingegen ordnen die einzelnen Marktakteure z.B. hinsichtlich ihrer Profitabilität in eine Rangfolge.
- Andere Modelltypen geben z.B. exogen eine Kurve für den zeitlichen Verlauf des Erlangens der für die Adoption benötigten Informationen vor.

Jetzt beantwortet sich auch die Frage, wie der Wandel durch die Abfolge von (stabilen) Gleichgewichtspunkten beschrieben werden kann: Jeder Akteur trifft die individuell optimale und rationale Adoptionsentscheidung. Durch die Heterogenität, z.B. in Bezug auf die Firmengröße, unterscheiden sich die individuellen Zeitpunkte für die Adoption von Akteur zu Akteur. Zu jedem dieser Zeitpunkte befindet sich das Gesamtsystem aber im Optimum (Gleichgewicht), da das Marktgleichgewicht durch die vollständige Rationalität sowohl im Hinblick auf den Informationsstand als auch der der Adoptionsentscheidung sichergestellt ist. Der Diffusionsprozeß stellt sich dann als eine Abfolge von (Markt-)Gleichgewichten dar.

3.2.1. Beispiel

Zur Veranschaulichung wollen wir in den folgenden Absätzen ein Modell [Stoneman 1995] exemplarisch vorstellen, an dem wir sowohl die Spezifikation der Modellannahmen als auch die Methodik der Analyse kurz vorstellen wollen. Es gelten folgende Notationen:

$G_i(t)$	:	Gewinnfunktion
$C_i(t)$	:	Kapitalstock des Produzenten
$P_i(t)$	:	Kosten der neuen Technologie und ihrer Einführung
$\Gamma_i(t)$	:	Profitabilität des Unternehmens
$y_i(t)$	:	Gegenwartswert der Einführung der Innovation
r	:	Diskontrate

1. Ausgangspunkt der Analyse ist eine Gewinnfunktion für die Unternehmen der betrachteten Industrie.

$$G_i = G(C_i), \text{ mit } \frac{\partial G_i}{\partial C_i} > 0, \frac{\partial^2 G_i}{\partial C_i^2} < 0 \quad (3.4)$$

Der Grenzprofit der Firmen ist positiv, der Gewinn steigt also mit der Größe der Firma. Die zweite Ableitung der Gewinnfunktion ist negativ. Diese individuelle, kapitalstockabhängige Gewinnfunktion stellt das Heterogenitätsmerkmal zwischen den einzelnen Firmen dar.

2. Die Kosten der neuen Technologie und ihrer Einführung beträgt P_t .
3. Die Rationalitätsbedingung fordert jetzt, daß die einzelnen Firmen den Gegenwartswert der Gewinnsteigerung durch die Einführung der Innovation zum Zeitpunkt t zu maximieren versuchen.

$$G_{it} = \int_t^\infty G(C_i) \exp^{r(\tau-t)} d\tau \rightarrow \max. \quad (3.5)$$

4. Diese Maximierung wird von den Akteuren unter den beiden folgenden Nebenbedingungen betrieben:
 - a) Unter der sogenannten Profitabilitätsbedingung, wonach die Akteure nur dann die Innovation einführen, wenn der Gewinn hieraus abzüglich der Kosten positiv ist:

$$\Gamma_{it} = -P_{it} + G_{it} \geq 0 \quad (3.6)$$

- b) Desweiteren werden die Firmen zum Zeitpunkt t die Innovation nur dann einführen, wenn zu jedem späteren Zeitpunkt $t^* > t$ der Gegenwartswert der Einführung der Innovation kleiner ist als zum Zeitpunkt t .

$$y_{it} = \frac{d(\Gamma_{it} \exp^{-rt})}{dt} \leq 0 \quad (3.7)$$

Diese Bedingung wird auch als Arbitragebedingung bezeichnet.

5. Desweiteren wird angenommen, daß die Arbitragebedingung die Profitabilitätsbedingung dominiert, d.h. unter dieser Nebenbedingung maximieren die Akteure ihr Verhalten in dem Verhaltensraum, der durch die Profitabilitätsbedingung gegeben ist. Die Nebenbedingung lautet dann:

$$r\Gamma_{it} = \frac{d\Gamma_{it}}{dt} \quad (3.8)$$

6. So läßt sich im nächsten Schritt die Lagrangefunktion für die einzelnen Akteure aufstellen, die die Firmen maximieren und deren Lösung die Gleichgewichtslösung des neoklassischen Diffusionsmodells darstellt.

$$\mathcal{L} = G_{it} - \lambda \left(\frac{d\Gamma_{it}}{dt} - r \gamma_{it} \right) \rightarrow \max. \quad (3.9)$$

In diesem Modell ist die Gleichgewichtslösung das globale Minimum im N-dimensionalen Raum der Adoptionszeitpunkte der N Firmen in dieser Industrie. Aus diesem Gleichgewichtspunkt läßt sich dann unter Einbeziehung der Ausbringungsmenge der zum jeweiligen Zeitpunkt gerade adoptierenden Firma die zeitliche Diffusionskurve mit dem Marktanteil der Innovation an der Gesamtausbringung der Industrie auf der Abzisse ermitteln und auftragen.

7. Um diese Lösung der Maximierungsaufgabe zu erhalten, bedarf es aber noch einer weiteren Annahme, der sog. Cournot-Bedingung. Diese besagt, daß das individuelle Verhalten der einzelnen Firmen, die Entscheidung der anderen Firmen nicht beeinflußt. Strategische Interaktionen werden in diesem Modell also ausgeschlossen.

Diese letzte Annahme muß nicht zwingend sein, es gibt auch eine Klasse von Diffusionsmodellen, die strategisches Verhalten der Marktakteure zulassen und sich zu ihrer Analyse spieltheoretischer Methoden bedienen [Reinganum 1981, Reinganum 1985]. Auf diese Modelle wollen wir hier nicht weiter eingehen, da sie zwar eine Erweiterung der hier vorgestellten, einfachen Gleichgewichts-Diffusionsmodelle darstellen, sich aber weiterhin in der oben beschriebenen Taxonomie den neoklassischen Modellen zuordnen lassen, die den gleichgewichtigen Diffusionsprozeß in Systemen mit sich rational verhaltenden Akteuren untersuchen.

3.2.2. Kritik des Modells

Trotz aller Verbesserungen und einer weitaus größeren Realitätsnähe als bei den epidemischen Modellen wurde auch an den Vertretern dieser Modellklasse Kritik geübt:

- Die Wahl der Heterogenitätsmerkmale erscheint willkürlich und exogen.
- Die Modelle sind explizite Gleichgewichtsmodelle; das temporäre Ungleichgewicht und damit der wirtschaftliche Wandel zieht sozusagen durch die Hintertür ein, es wird exogen bestimmt. Trifft man die Annahme der Heterogenität der Akteure hingegen nicht, so bestände der Lösungsraum der Modelle dieser Klasse nur aus der Sprungfunktion, die in der Realität höchst selten zu beobachten ist [Stoneman 1995].

- Das Rationalitätspostulat, das für die Agenten sowohl vollständige Informationen als auch einen maximierenden Entscheidungsprozeß vorsieht, erscheint in Anbetracht der Unsicherheiten, die mit Neuerungen einhergehen, nicht realitätsnah [Dosi 1991, Silverberg 1988].
- Die Gleichgewichts-Diffusionsmodelle beschränken sich auf sinkende oder konstante Erträge der Adoption. Durch die Annahmen über die Eigenschaften der Gewinnfunktion wird die Singularität des Maximums sichergestellt. Seit Mitte der 80er Jahre haben aber eine Reihe von Autoren auf die Bedeutung von steigenden Erträgen hingewiesen [David 1985, Arthur 1989, Arthur 1994a, Dosi 1991]. Prominente Beispiele für steigende Erträge sind zum Beispiel sog. “increasing returns of adoption” [Arthur 1989] oder Netzwerkeffekte [Woeckener 1995]. Steigende Erträge in Differentialgleichungen können zur Existenz von multiplen Gleichgewichten führen (vgl. [Bronstein 1990],[Zhang 1991]). Multiple Gleichgewichte bedingen wiederum die Existenz lokaler Optima [Zhang 1991, Haken 1990, Weidlich 1983, Schnakenberg 1995, Erdmann 1993]. Diese lokalen Optima können wiederum zu Pfadabhängigkeiten oder Lock-in-Effekten in der Dynamik des betrachteten Systems führen [Haken 1990, Erdmann 1993].
- Die Darstellung des Diffusionsprozesses als Abfolge von Gleichgewichtspunkten und damit implizit die Forderung nach der Zeitsymmetrie der Problemstellung erscheint künstlich.

3.3. Diffusionsmodell Typ II

Im den letzten beiden Jahrzehnten ist in der ökonomischen Wissenschaft das Phänomen steigender Erträge in Bezug auf einen Parameter (z.B. Betriebsgröße, aber auch Adoptorenzahl) immer mehr ins Blickfeld gerückt [David 1985, Arthur 1989, Arthur 1990, Arthur 1994a]. Gerade bei modernen Technologien (Computer, Software etc.) spielen diese steigenden Erträge eine entscheidende Rolle und beeinflussen die Marktdynamik nachhaltig. Solche positiven Netzwerkeffekte können zu natürlichen Monopolen (s. Microsoft-Prozeß [Arthur 1996]) führen. Die Existenz solcher positiver Externalitäten aber widerspricht der in den Gleichgewichts-Diffusionsmodellen getroffenen Annahme der Konvexität der Gewinnfunktion, die ja zentral für die Existenz eines globalen und eindeutigen Optimums der Gewinnfunktion und damit der Wahlentscheidung ist.

Diese Tatsache hat zu der Einführung einer neuen Klasse von Diffusionsmodellen geführt, die explizit die Existenz von Netzwerkexternalitäten oder steigenden Erträgen einbeziehen. Ziel dieser Modelle ist es, optimale Entscheidungsstrategien für die Akteure zu finden.

Aufgrund ihrer Bedeutung für die Marktdynamik und die Pfadabhängigkeit zeitlicher Entwicklungen rückten diese steigenden Erträge auch in den Fokus der Diffusionstheorie. In einer Reihe von Untersuchungen wurde daraufhin die Bedeutung dieser Effekte auf den Diffusionsprozeß analysiert³. Ziel dieser Modelle ist es, optimale Entscheidungsstrategien für die Akteure zu finden. Ausgangspunkt für die Modelle dieses Typs sind auch weiterhin ökonomische Akteure, die vollständige Informationen über das Entscheidungsproblem besitzen und ihre Entscheidung maximierend bzw. vollständig rational treffen. Die Analyse der optimalen Strategie im Rahmen des Diffusionsprozesses wird in diesen Modellen mittels spieltheoretischer Methoden ermittelt.

In diesen Modellen ist die Akteurspopulation vollständig homogen, gerade die exogen postulierte Heterogenität in Bezug auf ein Akteursmerkmal bei den Typ-I Modellen wird hier nicht aufrechterhalten. Die Existenz steigender (Skalen-)Erträge führt allerdings in diesen Modellen zu neuen Effekten, die die Dynamik des Diffusionsprozesses bestimmen.

3.3.1. Modelldynamik

Ziel der Untersuchungen mit Modellen dieser Klasse ist es nicht, den zeitlichen Verlauf der Marktanteile zweier konkurrierender Produkte zu ermitteln, sondern die optimalen Strategien der Akteure und die Bedingungen für deren Existenz zu bestimmen. Gleichwohl kann in diesen Modellen auf der Basis der getroffenen Annahmen ein dynamisches Verhalten in Form eines Diffusionsprozesses auftreten; wir wollen versuchen, dieses anhand eines kleinen Gedankenexperimentes zu erläutern.

Angenommen die Akteure sehen sich mit steigenden Erträgen bei der Adoption konfrontiert, der Gewinn bei der Adoption der neuen Technologie steigt zum Beispiel im Quadrat mit der Anzahl der anderen Adoptoren. Das hat zur Folge, daß sich bei der Wahl zwischen den Alternativen die Gewinnfunktion jedes einzelnen Akteurs ändert, sobald sich einer der Akteure für die Adoption der neuen Technologie entscheidet. Das hat aber im Umkehrschluß zur Folge, daß sich z.B. der optimale Zeitpunkt für den Wechsel zwischen den Alternativen ändert. So kann jetzt aber die Situation auftreten, daß der optimale Zeitpunkt, der vor dieser Entscheidung des anderen Akteurs in der Zukunft gelegen hat, mit einem Mal schon in der Vergangenheit liegt, der betrachtete Akteur also schon im Kontext den neuen Situation hätte adoptieren sollen.

Solange man die Annahme einer homogenen Population aufrecht erhält, steht z.B. jeder einzelne Akteur vor der Situation, daß sich der Wechsel lohnte, gesetzt den Fall, daß andere

³Einen Überblick hierzu geben: Dosi [Dosi 1991] oder Stoneman [Stoneman 1995]

Akteure auch wechseln. Der Wechsel als erster aber ist mit einem geringeren Gewinn als zu einem späteren Zeitpunkt bei einer höheren Anzahl anderer Adoptoren verbunden. Der Status quo ist für den einzelnen Akteur vorteilhaft. Da bei einer homogenen Population diese Situation für alle Akteure so besteht, ergibt sich eine strategische Pattsituation, die dazu führt, daß nicht das globale Optimum, d.h. die gemeinsame Nutzung der neuen Technologie gewählt wird, sondern der Status quo erhalten bleibt.

3.3.2. Beispiel

Zur Veranschaulichung wollen wir die Besonderheiten dieses Modelltyps an einer Arbeit von Beath darstellen [Beath 1995]. Andere Arbeiten dieser Modellklasse sind zum Beispiel von Katz/Shapiro [Katz 1985a, Katz 1985b] und Farrell/Saloner [Farrell 1982].

Der Einfachheit halber betrachten wir eine Industrie, die aus zwei Firmen besteht. Diese Annahme beschränkt nicht die Allgemeingültigkeit der Ergebnisse, erhöht aber die Übersicht der mathematischen Formulierung. Gegeben ist eine Industrie, die aus zwei Firmen besteht, denen zur Produktion des homogenen Gutes zwei Technologien, eine alte und eine neue, zur Verfügung stehen. Zur Zeit $t = 0$ nutzen beide Firmen die alte Technologie um ihr Produkt herzustellen. In dem folgenden Prozeß haben beide Firmen zur gleichen Zeit ihre Entscheidung zu treffen, ob sie von der alten Technologie zu der neuen wechseln. Nun läßt sich der Nutzen sowohl für die Nutzung der alten als auch der neuen Technik spezifizieren. Es gelten folgende Notationen:

$u(j)$	:	Nutzen der alten Technik
$v(j)$	:	Nutzen der neuen Technik
j	:	Index j beschreibt die Netzwerkgröße, hier: $j = 1, 2$

Nutzt eine Firma die neue Technik, so notieren wir das mit $u(1)$, die Nutzung durch beide Firmen wird dann mit $u(2)$ bezeichnet. Die Annahme einer positiven Netzwerkexternalität geht wie folgt in das Modell ein. Wenn beide Firmen die alte Technologie benutzen, so ist der Nutzen für beide Firmen jeweils größer, als wenn sie nur alleine die alte Technik nutzte, d.h.:

$$u(2) > u(1) \tag{3.10}$$

		Spieler 2	
		Nicht wechseln	wechseln
Spieler 1	Nicht wechseln	$((u(2), u(2)))$	$((u(1), u(1)))$
	wechseln	$((v(1), v(1)))$	$((v(2), v(2)))$

Abbildung 3.1.: Die Abbildung zeigt die Pay-off-Matrix für das vorgestellte Beispielmodell.
Quelle: eigene.

Genauso gilt dann auch, daß für beide Firmen der Nutzen der gemeinsamen Benutzung der neuen Technik jeweils größer ist, als wenn die Firma nur alleine die neue Technik benutzt:

$$v(2) > v(1) \quad (3.11)$$

Die Netzwerkannahme impliziert aber noch einen zweiten Satz an Bedingungen. Für die beiden Firmen ist es weiterhin individuell vorteilhaft, wenn sie beide die alte Technik nutzen, als für die Firma, die alleine die neue Technik nutzt.

$$u(2) > v(1) \quad (3.12)$$

Genau symmetrisch dazu ist die zweite Bedingung, die besagt, daß der Nutzen beiderseitiger Nutzung der neuen Technik höher ist als der individuelle Nutzen der alleinigen Nutzung der alten Technik.

$$v(2) > u(1) \quad (3.13)$$

Diese Bedingungen ermöglichen es, im Rahmen einer spieltheoretischen Beschreibung eine sogenannte “Pay-off-Matrix” aufzustellen, die das Spiel bzw. das Modell beschreibt. Diese Pay-off-Matrix ist symmetrisch und besitzt zwei Nash-Gleichgewichte.

Bei diesem einfachen Modell handelt es sich um ein 2x2-Koordinationsspiel, das zwei Nash-Gleichgewichte besitzt⁴. Rieck [Rieck 1993] gibt einen Überblick über die verschiedenen

⁴In einem Nash-Gleichgewicht hat keiner der Spieler einen Anreiz, als einziger von der Gleichgewichtskombination abzuweichen; die Spieler spielen wechselweise beste Erwidierungen. Formal läßt sich das

Formen der Koordinationsspiele⁵.

Dieses einfache Modell trägt nicht der Tatsache Rechnung, daß miteinander in Konflikt stehende Präferenzen über die Technikauswahl bestehen können. Aus diesem Grunde wollen wir einen Parameter einführen, der die Bevorzugung eines Produktes durch den Käufer, in diesem Fall die adoptierende Firma, beschreibt. Der Parameter k ist der sog. Vorzugsparameter, der Werte zwischen null und eins annehmen kann.

$$v_k \text{ mit } k \in [0, 1] \quad (3.14)$$

$$u_k \text{ mit } k \in [0, 1] \quad (3.15)$$

Wenn $k = 1$ ist, so bevorzugt die Firma einzig die neue Technologie, d.h. völlig unabhängig vom Preis oder anderen Faktoren wählt die Firma die neue Technik, so diese zur Verfügung steht. Wenn hingegen $k = 0$ ist, dann nutzt die Firma solange die alte Technik, wie diese noch zur Auswahl steht. Da wir in diesem Beispiel unterstellen, daß für die gesamte Dauer der zeitlichen Untersuchung des Modells beide Techniken zur Verfügung stehen, stellen diese beiden Randwerte die jeweiligen Extrempositionen im Verhalten der Firmen dar, d.h. sofortige Adoption und keine Adoption.

Die Bereitschaft der potentiellen Nutzer der neuen Technologie bezeichnen wir mit $v_k(2) - u_k(1)$. Diese Bereitschaft muß der Bedingung genügen, mit steigendem k anzuwachsen:

$$\frac{d[v_k(2) - u_k(1)]}{dk} > 0 \quad (3.16)$$

Desweiteren implizieren die obigen Annahmen, daß diejenigen Nutzer mit einer sehr starken Präferenz für eine bestimmte Technologie (z.B. $k = 1$) diese Technologie anwenden, unabhängig von den anderen Nutzern. Daraus folgt dann:

$$v_1(1) > u_1(2) \quad (3.17)$$

Nash-Gleichgewicht wie folgt beschreiben[Rieck 1993, Güth 1999]:

Ein Strategievektor $\hat{S} = (\hat{s}_1, \dots, \hat{s}_I)$ heißt **Nash-Gleichgewicht**, wenn gilt: $u_i(\hat{s}) \geq u_i(s_i, \hat{s}_{-i})$ für alle Spieler i und für alle Strategien $s_i \in S_i$. Das heißt: Eine Strategiekombination befindet sich im Gleichgewicht, wenn alle Spieler wechselseitig beste Antworten spielen.

Ein Strategievektor $\hat{S} = (\hat{s}_1, \dots, \hat{s}_I)$ heißt **striktes Nash-Gleichgewicht**, wenn gilt: $u_i(\hat{s}) > u_i(s_i, \hat{s}_{-i})$ für alle Spieler i und für alle Strategien $s_i \in S_i, s_i \neq \hat{s}_i$.

⁵Rieck [Rieck 1993] unterscheidet zwischen "Reiner Koordination", "Win-Win-Game", "Battle-of-the-Sexes" oder Spielen mit Netzwerkexternalitäten, deren jeweilige Auszahlungsfunktionen für die beiden Spieler unterschiedlicher Form sind.

Solche Nutzer bevorzugen es, die einzigen Nutzer der neuen Technologie zu sein, anstatt die alte Technologie innerhalb eines Netzwerkes zu nutzen.

Andererseits gibt es Firmen, die die alleinige Nutzung der alten Technologie trotz aller Netzwerkeffekte der Nutzung der neuen Technologie vorziehen.

$$u_0(1) > v_0(2) \tag{3.18}$$

Bei dem obigen Modell handelt es sich um ein 2-Runden Spiel, bei dem zu jedem der beiden Zeitpunkte die Firmen eine Wahl zu treffen haben, und bei dem die Pay-offs am Ende der zweiten Runde aufgerechnet werden. Das spiegelt ein der Cournot-Annahme ähnliches Verhalten wider, wobei die beiden Akteure unter dem Gesichtspunkt der Rationalität die für sie auf der Mikroebene optimale Entscheidung treffen. Für die beiden Firmen bestehen in diesem Modell drei Strategien, zwischen denen sie zu wählen haben.

1. Niemals wechseln
2. Zum Zeitpunkt t_2 wechseln, wenn die andere Firma zum Zeitpunkt t_1 mit $t = 2 > t = 1$ gewechselt hat (Auf den “Bandwagon” springen).
3. Zum Zeitpunkt $t = 1$ wechseln (Den “Bandwagon” starten).⁶

Diese drei Strategien führen zu zwei kritischen Werten von k , die jeweils den Übergang zwischen den einzelnen Strategien markieren, wie wir es in der Abbildung 3.2 dargestellt haben.

- Zum Zeitpunkt $k = k^*$ wird die Bereitschaft des jeweiligen Akteurs positiv, d.h.

$$[v_{k^*}(2) - u_{k^*}(1)] = 0 \tag{3.19}$$

$$\Rightarrow u_{k^*}(1) = v_{k^*}(2) \tag{3.20}$$

Der zweite kritische Wert existiert an der Grenze zwischen der Strategie (2) und der Strategie (3).

⁶Beath et.al. merken an, daß es noch eine vierte Strategie gibt. Zum Zeitpunkt 2 zur neuen Technologie zu wechseln, auch wenn der Konkurrent nicht gewechselt hat. Allerdings wird diese Strategie laut Beath von der Strategie 3 dominiert, da es für den Akteur vorteilhafter wäre, wenn der andere Akteur auch wechselt. Es besteht für die Firma sogar der Anreiz, den Konkurrenten zum Wechsel zu überzeugen [Beath 1995].

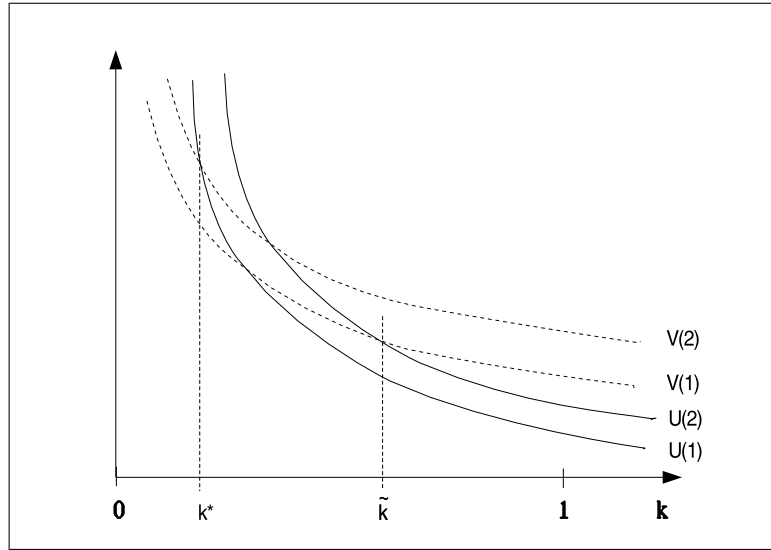


Abbildung 3.2.: Die Abbildung zeigt die Aufteilung des Parameterraums in die drei Domänen. Quelle: [Beath 1995], eigene.

- Betrachten wir nun die Strategie (3): die Wahrscheinlichkeit, daß der Konkurrent wechselt ist $(1 - k^*)$, und die, daß er nicht wechselt ist (k^*) . Der erwartete Nutzen dieser Strategie ist dann gleich

$$(1 - k^*) * v_k(2) + k^* * v_k(1). \quad (3.21)$$

- Betrachten wir im Gegensatz dazu die Strategie (2), so ist die Wahrscheinlichkeit, daß der Konkurrent die Technologie wechselt $(1 - \tilde{k})$, dessen Wert $(v_k(2))$ beträgt. Analog zu der Bewertung in der Strategie (3) ist die Wahrscheinlichkeit, daß der Konkurrent nicht wechselt, gleich $(\tilde{k})$ mit einem Wert für diesen von $u_k(2)$. Damit beträgt der Nutzen der Strategie (2):

$$(1 - \tilde{k}) * v_k(2) + \tilde{k} * v_k(1). \quad (3.22)$$

Für den kritischen Punkt kann man annehmen, daß die erwarteten Nutzen beider Strategien genau gleich sind, d.h. es gilt:

$$(1 - k^*) * v_k(2) + k^* * v_k(1) = (1 - \tilde{k}) * v_k(2) + \tilde{k} * v_k(1) \quad (3.23)$$

Diese beiden kritischen Werte teilen den Parameterraum in drei Bereiche: die Firmen die nicht wechseln $([0, k^*))$, die Firmen, die auf jeden Fall wechseln $([\tilde{k}, 1])$ und diejenigen, die den möglichen Wechsel des Konkurrenten abwarten $([k^*, \tilde{k}))$.

Aus diesen Bedingungen lassen sich die folgenden Implikationen ableiten:

- Eine Firma mit der Präferenz $\tilde{k}$ bevorzugt das Verbleiben bei der alten Technologie gegenüber dem alleinigen Wechseln zu der neuen Technologie.

$$[v_{\tilde{k}}(2) - v_{\tilde{k}}(1)](\tilde{k} - k^*) = [u_{\tilde{k}}(2) - v_{\tilde{k}}(1)]\tilde{k} \quad (3.24)$$

- Eine Firma mit der gleichen Präferenz $\tilde{k}$ bevorzugt es möglicherweise aber auch, einem Netzwerk mit der neuen Technologie anzugehören, als in einem Netzwerk mit der alten Technologie zu verbleiben.

$$[v_{\tilde{k}}(2) - v_{\tilde{k}}(2)](\tilde{k} - k^*) = [u_{\tilde{k}}(2) - v_{\tilde{k}}(1)]k^* \quad (3.25)$$

Dieses hat einen interessanten Effekt: angenommen wir befinden uns mit den Präferenzen der beiden Akteure gerade unterhalb des kritischen Wertes ($\tilde{k}$) (s. Abb. 3.2), dann hat das zur Folge, daß die beiden Firmen aufgrund der zweiten Implikation ($[v_{\tilde{k}}(2) - u_{\tilde{k}}(2)] > 0$) zwar gerne ihre Aktionen koordinieren würden, aber jeder für sich auf der Basis seiner rationalen Entscheidung das für ihn optimale Verhalten wählt. In diesem Fall heißt das, der Akteur wartet auf den Konkurrenten, er will auf den Bandwagon aufspringen.

Die steigenden Skalenerträge in Bezug auf die Adoption führen in diesem Modell zu sogenannten “Bandwagon-Effekten”, d.h. die Adoption durch einen Akteur erhöht den Nutzen der sukzessiven Adoption durch die anderen Akteure. Der erste Akteur stellt somit einen “Bandwagon” als öffentliches Gut für die anderen Akteure zur Verfügung.

Für diesen Erstadoptor hängt wiederum aber sein Nutzen der Adoption von der Adoption der anderen Akteure positiv ab. Folgen diese nun nicht nach, so steht er in der Gefahr des Scheiterns. Wartet ein potentieller Erstadoptor hingegen ab und beobachtet seine Konkurrenten, so verringert er sein eigenes Risiko. Solche Anreizstrukturen unter steigenden Skalenerträgen können leicht zu Pattsituationen führen, da es individuell sinnvoll und nutzenmaximierend ist abzuwarten, gesamtwirtschaftlich aber sinnvoll und wünschenswert, wenn einer der Akteure den “Frontrunner” spielt, was letztendlich alle Akteure besser als vorher stellt. Dieses erinnert an die vieldiskutierten Free-Rider Probleme, die insbesondere in der Diskussion um öffentliche Güter eine Rolle spielen [Rieck 1993].

3.3.3. Kritik des Modells

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Ungleichgewichtsmodelle mit steigenden Skalenerträgen stellen eine signifikante Verbesserung gegenüber den sogenannten neoklassischen Modellen der Diffusion dar, da in ihnen ohne explizite, exogene Vorgabe, z.B. einer Schwellfunktion für den Entscheidungswechsel für ein neues Produkt, durch die Berücksichtigung

steigender Erträge oder Netzwerkexternalitäten die Möglichkeit zu einem dynamischen Diffusionsprozeß gegeben ist.

Dieser Prozeß kann aber solange nicht in Gang kommen, solange die beiden Annahmen der vollständigen Rationalität der Akteure und die der Homogenität der Population aufrecht erhalten wird. Gelten beide Annahmen in einem Modell dieser Klasse, so ist es für alle Akteure sinnvoll, sich gleich zu verhalten, was aber die Ausnutzung der steigenden Erträge ausschließt. Für jeden einzelnen Akteur ist es z.B. sinnvoll nicht als erster die neue Technologie zu nutzen, und da er optimierend handelt, wird er dieses auch nicht tun. Da aber alle Akteure in ihren Eigenschaften und Verhalten gleich sind, stellt sich für alle die Situation gleich dar, und sie werden auch gleich handeln. Konsequenz dieser Situation ist ein sogenannter Lock-in in die augenblickliche, für alle Akteure vielleicht suboptimale Situation. Es kommt somit zu keinem Diffusionsprozeß. Vielmehr wäre eine endogene Begründung für die Heterogenität zu suchen. Erdmann kritisiert, daß bei diesen Modellen offengelassen wird, warum und unter welchen Bedingungen sich Unternehmer als Trittbrettfahrer oder als Schumpeter'sche Pioniere verhalten [Erdmann 1993].

In vielen dieser Modelle steht der Prozeß der Diffusion und die Erklärung seiner Mechanismen auch gar nicht im Fokus der Analyse, vielmehr befassen sich diese mit den optimalen Strategien, die ein Akteur in einem solchen strategischen Spiel spielen kann.

Hebt man eine oder beide der oben angesprochenen Annahmen allerdings auf, so wäre es möglich, einen dynamischen Diffusionsprozeß zu betrachten und den ihm zugrunde liegenden Mechanismus zu analysieren.

Weiterhin erhöht die mögliche Existenz multipler Gleichgewichte und nur lokal optimaler Systemzustände die Realitätsnähe dieser Modelle, da sie auch in der Lage sind, Pattsituationen im Sinne von Allmende-Problemen zu beschreiben, die ja insbesondere in Bezug auf ökologische Problemlagen immer wieder auftauchen [Pfahl 2002].

Es bleibt aber auch für diese Modellklasse die Kritik an den Annahmen für das individuelle Verhalten der Akteure wie auch bei den Gleichgewichts-Diffusionsmodellen bestehen.

- Die Akteure besitzen vollständige und objektive Informationen.
- Die Akteure nutzen ein rationales, maximierendes Entscheidungskalkül.

3.4. Diffusionsmodell Typ III

Die Kritik an den bisher vorgestellten Diffusionsmodellen manifestiert sich an der Annahme einer homogenen Population, an dem Postulat der vollständigen Information und an dem

optimierenden Entscheidungskalkül.

Wie wir schon bei dem “Gleichgewichts-Diffusions-Modell” des Typs I gesehen haben, mußten die Autoren bei diesem Modell die Homogenitätsannahme für die Population mittels einer ad-hoc Annahme aufgegeben, um den Diffusionsprozeß beschreiben zu können. Sofern die Akteure nämlich die gleiche Erstaustattung, die gleichen Handlungsrestriktionen und identische Präferenzen besitzen, können sie sich auch bei diesen Diffusionsmodellen nur identisch zur Adoption entschließen [Erdmann 1993].

Das Postulat der Homogenität der Akteure in Form eines repräsentativen Akteurs erlaubt den Modellen des Typs I und II nur eine sehr eingeschränkte Innovationsdynamik. Ist eine Innovationsrichtung eingeschlagen, so ist diese definitiv und unumkehrbar, es sei denn, die erwarteten Preise oder andere exogen vorgegebenen ökonomischen Größen ändern sich. Mit diesen Modellen ist es gerade nicht möglich, einen endogenen Wechsel der Innovationstrajektorie im Sinne von Dosi [Dosi 1982, Dosi 1988] oder die Übergänge zu neuen F&E-Paradigmen und Handlungsstrategien zu modellieren.

In den beschriebenen Modellen fehlt die Möglichkeit, daß einzelne Akteure sich individuell abweichend verhalten. Die findigen Pioniere, die kreativen Innovatoren, die schöpferischen Unternehmer und die risikofreudigen Finanziers kommen nicht in den Modellen mit einer homogenen Akteurspopulation zum Zuge, da sie sich vor dem Hintergrund der Annahme der vollständigen Rationalität unter identischen Bedingungen identisch verhalten müssen [Erdmann 1993]. Die Annahme einer homogenen Population und der darauf aufbauende Rückgriff auf den repräsentativen Akteur ist für die Modellierung ökonomischer Innovationsprozesse unangebracht.

Entgegen dem Konzept der homogenen Population, das bei den Modellen Typ I und II postuliert wird, gibt es sowohl theoretische als auch empirische Anhaltspunkte, daß sich Wirtschaftssubjekte in identischen Handlungssituationen und mit gleichen Handlungsrestriktionen verschiedenartig verhalten [Erdmann 1993]. Erdmann identifiziert einerseits Übergangsphänomene, die auf der unterschiedlichen Anpassungskapazität und -geschwindigkeit der Akteure beruhen. Andererseits gibt es aber auch dauerhafte Phänomene, worunter asymmetrische Informationen zwischen den Akteuren, unterschiedliche Kapazitäten der Informationsverarbeitung sowie behavioristische und psychologische Gründe fallen.

Die Behaviouristische Schule hat sich seit Mitte der 50er Jahre mit den Schwächen der beiden anderen Konzepte, die in die Modelle der Modelltypen I bzw. II eingehen, der “vollkommenen Information” und dem “rationalen Entscheidungskalkül” der Akteure, auseinandergesetzt [Simon 1955, Simon 1959]. Die Autoren haben darauf hingewiesen, daß die Akteure nur beschränkte Informationen besitzen können, sie sind nicht allwissend und nicht

unendlich vorausschauend. Daneben sind sie aufgrund der begrenzten Verarbeitungskapazität des Gehirns nicht in der Lage, die Informationen hinreichend schnell zu verarbeiten, selbst wenn sie theoretisch alle benötigten Informationen besäßen.

Aus der Beschränktheit der Informationsaufnahme und der Informationsverarbeitungskapazität ergibt sich der zweite Kritikpunkt an den bisherigen Modellen, an dem Postulat der vollständigen Entscheidungsrationalt t (Maximierungskalkül). Simon [Simon 1996] spricht unter den Rahmenbedingungen beschränkter Informationen vielmehr von einem Akteursverhalten, daß nach der Befriedigung eines Anspruchsniveaus strebt [Witt 1987]. Ist sich dann das Individuum seines individuell beschränkten Ausschnittes aller Handlungsmöglichkeiten bewußt, so steht es vor der Entscheidung: weitere Exploration des Raumes der Handlungsmöglichkeiten oder Stop [Witt 1987]? Die unbeschränkte Information und das Maximierungskalkül sind somit (in den meisten Fällen) nur ein fiktiver Grenzfall. Die Auswahlentscheidung besteht für den einzelnen Akteur vielmehr aus der Wahl der besten aller ihm bekannten Alternativen [Witt 1987, Simon 1996]. In Kapitel 4 wollen wir die Details dieser Erkenntnisse eingehender beleuchten, da sie die Dynamik von Innovationsprozessen signifikant verändern und für das in dieser Arbeit entworfene Diffusionsmodell von zentraler Bedeutung sind.

Diese Kritikpunkte wurden von einigen Ökonomen aufgenommen und in einer Reihe von Diffusionsmodellen berücksichtigt. In diese Modelle wurde explizit die Modellierung begrenzter Informationsbestände und -verarbeitungskapazit ten, beschränkter Rationalität (kein maximierendes Entscheidungskalkül), heterogener Populationen von Akteuren und steigender Skalenerträge der Innovationen aufgenommen. Einige prominente Vertreter dieser Kategorie von Diffusionsmodellen sind zum Beispiel die Arbeiten von Nelson und Winter [Nelson 1982], Silverberg [Silverberg 1988] oder Iwai [Iwai 1984a]. Die Mehrzahl der Modelle findet sich in der Nachfolge des Diffusionsmodells von Nelson/Winter, sodaß wir es an dieser Stelle vorstellen wollen.

3.4.1. Beispiel: Das Diffusionsmodell von Nelson/Winter

Die Simulationsmodelle, die von Nelson und Winter in einer Reihe von Arbeiten vorgestellt wurden⁷, stellen eine Synthese der individuellen Arbeiten beider Autoren vor ihrer Zusammenarbeit dar. Sidney Winter hat sich dabei mit der Untersuchung der Selektionsargumente von Alchian [Alchian 1950] und Friedman [Friedman 1953] beschäftigt (für eine detaillierte Diskussion der Arbeiten von Winter s. Witt [Witt 1987]), während Richard Nelson an den

⁷Einen Überblick ihrer Arbeiten bietet das Buch “An Evolutionary Theory of Economic Change” [Nelson 1982], das viele dieser Arbeiten versammelt.

Fragen der Invention, Innovation und des technischen Wandels gearbeitet hat. Ihre gemeinsamen Arbeiten integrieren nun drei Aspekte wissenschaftlicher Untersuchungsgegenstände in einen evolutionsökonomischen Rahmen [Andersen 1994, Witt 1987].

- Arbeiten zu Verhaltensregeln und “Satisficing Behaviour” von Simon.
- Arbeiten zu Inventionen und Innovationen in Firmen und Industrien von Schumpeter und Nelson.
- Arbeiten zur “natürlichen Selektion” von Alchian und Winter.

Die neoklassische, komparativ-statische Analyse von Diffusionsvorgängen ist an den Übergang von einem simultanen Optimum (Gleichgewicht) an das nachfolgende gebunden. Da die Modelle von Nelson und Winter nicht an Gleichgewichtsbetrachtungen gebunden sind, können die Autoren von beliebigen Marktzuständen zu zwei beliebigen Zeitpunkten ausgehen, zwischen denen sich Veränderungen (relative Preise, komparative Kosten, Prozeßtechnologie etc.) innerhalb der Industrie abspielen.

Auch ohne genaue Spezifikation kann man einige Annahmen herausarbeiten, die die Grundlage aller ihrer Arbeiten darstellen. So ist in ihren Modellen der Suchraum für die Innovationen und der tatsächliche Suchprozeß genau festgelegt. Die Wahrscheinlichkeiten der Innovationsaktivitäten ist im vorhinein festgelegt und erlaubt die Definition von Verhaltensregeln für die Suche und die Entscheidungsfindung der Firmen. Die einzelne Suchaktivität wird durch eine “Unzufriedenheit” des Akteurs mit dem Ergebnis der aktuellen Routine ausgelöst, und das Suchergebnis wird mit diesen Routinen verglichen. Aufgrund der begrenzten Rationalität der Akteure und ihres Routineverhaltens ist das Suchen im Alternativenraum immer lokal, wobei selbst relativ stabile Routinen immer nur ein temporär lokales Optimum darstellen [Andersen 1994].

Andersen mißt den Beitrag der beiden Autoren nicht so sehr an dem Erklärungswert der einzelnen Modelle, die sich mit speziellen Problemstellungen befassen, vielmehr betont er die Bedeutung der Arbeiten, indem sie einen allgemeinen Untersuchungsrahmen für die Analyse evolutionsökonomischer Prozesse bieten. Die Struktur der Simulationsmodelle läßt sich übersichtlich in einem sogenannten “Flow-Chart” darstellen (s. Abb.3.3), das die wesentlichen Elemente enthält.

In ihrer Arbeit zur sogenannten “Schumpeter-Hypothese” untersuchen die beiden Autoren die Diffusion von Prozeßinnovationen in einer Industrie, die ein homogenes Endprodukt herstellt. Anhand des Ablaufdiagrammes in Abbildung 3.3 wollen wir die einzelnen Bestandteile des Modells erläutern [Nelson 1982].

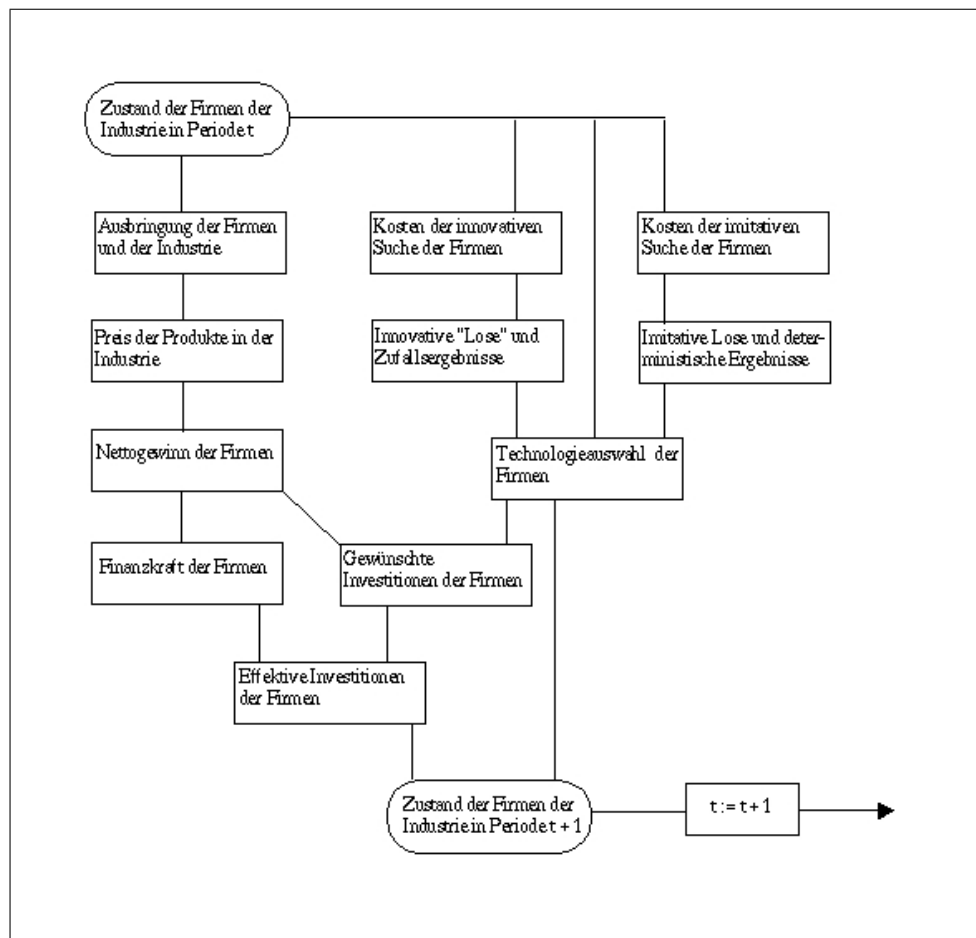


Abbildung 3.3.: Dieses Bild zeigt das allgemeine Ablaufdiagramm für die Modelle von Nelson und Winter. Quelle: [Andersen 1994].

Das Diagramm beschreibt die einzelnen Schritte, die für den Übergang von Simulationszeitpunkt t nach $t + 1$ zu durchlaufen sind. In der linken Spalte ist das kurzfristige Markt- und Firmenverhalten dargestellt. Ausgehend vom Zustand der Industrie zum Zeitpunkt t bestimmt sich die Ausbringungsmenge der einzelnen Firma anhand einer Routine, die die Kapitalauslastung beschreibt. In dem Modell von Nelson und Winter wird die vollständige Kapitalauslastung angenommen. Die Gesamtproduktion der betrachteten Industrie errechnet sich aus der Aggregation aller Firmen. Es gelten die folgenden Notationen:

$Q_i(t)$	:	Kapazität des Firma
$A_i(t)$	:	Produktionstechnologie (Produktivität)
$K_i(t)$	:	Kapitalstock der Firma
$D(Q(t))$	:	Gesamtnachfrage
$S_i(t)$	:	Umsatz der Firma
c	:	Stückkosten der Firma

$C_i(t)$	:	Produktionskosten der Firma
$I_i(t)$	:	Investitionen der Firma
r^m	:	Koeffizient für die Suchkosten bei Prozeßinnovationen
$R_i^m(t)$	:	Suchkosten für die Prozeßinnovationen
r^n	:	Koeffizient für die Suchkosten bei Prozeßimitationen
$R_i^n(t)$	:	Suchkosten für die Prozeßimitationen
$\Pi_i(t)$	:	Gewinn der Firma
$\gamma_i^n(t)$	:	Erfolgswahrscheinlichkeit der Imitationslotterie
d^n	:	Koeffizient für die Imitationslotterie
$\Theta_i^n(t)$	:	Los für die Imitationslotterie
$\gamma_i^m(t)$	:	Erfolgswahrscheinlichkeit der Innovationslotterie
d^m	:	Koeffizient für die Innovationslotterie
$\theta(t)$	:	Lognormalverteilung für den autonomen technischen Fortschritt
$\Theta_i^m(t)$	:	Los für die Innovationslotterie
$A_i^n(t)$	:	Produktionstechnologie aus erfolgreicher Imitation
$A_i^m(t)$	:	Produktionstechnologie aus erfolgreicher Innovation
$I_i^{max}(t)$	:	Maximale Investitionen
$I_i^{des}(t)$	:	Gewünschte Investitionen
$B_i(t)$	:	Bankkredit
δ	:	Kapitalabnutzung
$\mu_i(t)$	:	Marktanteil der Firma
$\rho_i(t)$	:	Wettbewerbsfähigkeit der Firma

Die Ausbringungsmenge bestimmt sich aus dem Produkt des verfügbaren Kapitals des Produzenten und der Kapitalproduktivität seiner Prozesse.

$$Q_i(t) = A_i(t) * K_i(t) \quad (3.26)$$

$$Q(t) = \sum_i Q_i(t) \quad (3.27)$$

Das Gesamtangebot der Industrie unterliegt in dem Modell einer exogen vorgegebenen Nachfrage, Nelson und Winter postulieren in ihrem Modell eine konventionelle, fallende Nachfragefunktion, aus der sich der markträumende Preis für das angebotene Produkt bestimmt.

$$P(t) = D(Q(t)) \quad (3.28)$$

$$P(t) = \frac{const.}{Q(t)} \quad (3.29)$$

Aus dem Preis und Ausbringungsmenge des Produzenten errechnet sich der einzelne Umsatz.

$$S_i(t) = P(t) * Q_i(t) \quad (3.30)$$

Die variablen Produktionskosten wie auch die Suchkosten für Innovationen und Imitationen sind über den Simulationszeitraum konstant und für alle Firmen identisch.

$$C_i(t) = c * K_i(t) \quad (3.31)$$

$$R_i^m(t) = r^m * K_i(t) \quad (3.32)$$

$$R_i^n(t) = r^n * K_i(t) \quad (3.33)$$

Der Gewinn der Firmen errechnet sich dann aus dem Umsatz der Firma abzüglich der Produktions- und Suchkosten.

$$\Pi_i(t) = S_i(t) - (C_i(t) + R_i^m(t) + R_i^n(t)) \quad (3.34)$$

Diese Gleichungen bestimmen zusammen das kurzfristige Marktgeschehen der Firmen.

In der rechten und der mittleren Spalte in der Abbildung 3.3 sind in der oberen Hälfte die Innovations- und Imitationsanstrengungen der Firmen dargestellt. Nachdem die Firmen die Höhe ihrer Suchbudgets anhand einer für alle Firmen identischen und zeitunabhängigen Regel festgelegt haben, versuchen sie, ihre Produktionstechnologie zu verbessern. Hierzu erkunden sie den Raum möglicher Produktionstechniken, die in Form von Kapitalproduktivitäten $A_i(t)$ beschrieben sind. Wie oben schon beschrieben, legen die Firmen zu Beginn der Simulationsperiode ihre Suchbudgets proportional zu ihrem Kapitalstock fest.

Aufgrund dieses Suchaufwandes erhält in dem Modell jede Firma nun den Zugang zu einer Suchlotterie, deren Erfolgswahrscheinlichkeit proportional zu dem aufgewandten Suchbudget der jeweiligen Firma ist. Der Koeffizient, der diese Wahrscheinlichkeit mitbestimmt, der sozusagen die Suchprobleme darstellt, ist für alle Firmen identisch. Betrachten wir zuerst die Imitationslotterie.

$$\gamma_i^n(t) = d^n * R_i^n(t) \quad (3.35)$$

$$\Theta_i^n(t) = \Theta^n(\gamma_i^n(t)) \quad (3.36)$$

Ausschlaggebend für die Modelldynamik ist der funktionale Zusammenhang der Wahrscheinlichkeitsverteilung Θ ; im Falle des Modells für die Schumpeter-Hypothese schlagen Nelson und Winter eine Gleichverteilung vor, andere Autoren favorisieren hingegen eine Poissonverteilung [Andersen 1994].

Im Falle eines Lotterieerfolges hat die erfolgreiche Firma Zugang zu den Produktionstechnologien aller Firmen und kann sich die “best-practice” Technologie umgehend für die nächste Periode aneignen.

$$A_i^n(t) = \max[A_1(t), \dots, A_i(t), \dots, A_n(t)] \quad (3.37)$$

Bei der Innovationslotterie gelten die gleichen funktionalen Zusammenhänge wie bei der Imitation.

$$\gamma_i^m(t) = d^m * R_i^m(t) \quad (3.38)$$

$$\Theta_i^m(t) = \Theta^m(\gamma_i^m(t)) \quad (3.39)$$

Im Falle eines Lotterieerfolges hingegen müssen die Firmen ein weiteres Los aus einer Lotterie ziehen. Dieses Los bestimmt die eigentliche Produktionstechnologie, mit anderen Worten die Kapitalproduktivität. Nelson und Winter nehmen in ihrem Modell für dieses Los eine Lognormalverteilung an, deren Mittelwert durch den technischen Fortschritt exogen bestimmt ist.

$$A_i^m(t) = \theta(0.16 + 0.01 * t, 0.05) \quad (3.40)$$

Zum Abschluß des Suchprozesses wählt die jeweilige Firma die Produktionstechnologie mit der höchsten Kapitalproduktivität aus.

$$A_i(t+1) = \max[A_i(t), A_i^n(t), A_i^m(t)] \quad (3.41)$$

Der untere Teil des Ablaufdiagramms beschreibt die Investitionsentscheidungen der Firmen. In dem Modell ist das aktive De-Investieren der Firmen nicht vorgesehen, der Kapitalstock verringert sich nur mittels Abnutzung.

$$K_i(t+1) = I_i(t) + (1 - \delta) * K_i(t) \quad (3.42)$$

Das maximale Investitionsvolumen der Firmen wird einerseits durch den aktuellen Gewinn und die externe Finanzierung in Abhängigkeit von diesem Gewinn bestimmt.

$$I_{max}(t) = G(\Pi_i(t), B) * K_i(t) \quad (3.43)$$

Andererseits bestimmt die jeweilige Firma aber auch die gewünschten Investitionen, die von dem Marktanteil der Firma und ihrer Investitionsstrategie abhängt. Diese Investitionsstrategie hängt von ihrer Wettbewerbsfähigkeit, d.h. der Kapitalproduktivität in der nächsten Periode ab.

$$\mu_i(t) = \frac{Q_i(t)}{Q(t)} \quad (3.44)$$

$$\rho_i(t) = \frac{P(t)}{\frac{c}{A_i(t+1)}} \quad (3.45)$$

Die gewünschten Investitionen bestimmen sich dann in Abhängigkeit von dem Kapitalstock der Firma wie folgt:

$$I_i^{des}(t) = H(\rho_i(t), \mu_i(t), \delta) * K_i(t) \quad (3.46)$$

Aus den gewünschten Investitionen und den maximal möglichen Investitionen bestimmen sich dann die tatsächlichen Investitionen in der Periode. Hierbei kommt die oben erwähnte Annahme zum Zuge, daß die Firmen keine aktive De-Investition in den eigenen Kapitalstock durchführen.

$$I_i(t) = \max[0, \min[I_i^{des}(t), I_i^{max}(t)]] \quad (3.47)$$

Nachdem sowohl die Technologie- als auch die Investitionsentscheidung der Firmen gefällt wurden, sind alle Teilsimulationsschritte zu dem aktuellen Simulationszeitpunkt ausgeführt, und der Zustand der Industrie zum Zeitpunkt $t + 1$ ist vollständig bestimmt.

3.4.2. Kritik des Modells

Aus der Sicht einer evolutorischen Theorie beschränken sich die Modelle von Nelson und Winter mit der Kreierung von Alternativen und der Selektion zwischen diesen Alternativen innerhalb eines technologischen Musters. Nelson und Winter betonen in ihren Modellen den

ökonomischen Wandel, der “neutralen Trajektorien” innerhalb eines technologischen Regimes folgt. Radikaler Wandel mit dem Wechsel des technologischen Paradigmas [Dosi 1982] wird gerade nicht durch die Arbeiten der beiden Autoren beschrieben. Witt kritisiert an der Modellierung durch Nelson und Winter, daß auf diese Weise unterstellt wird, daß sich die Auswirkungen von objektiven Neuerungen durch eine bestimmte, invariante (oder nach bekannten Gesetzen zeitlich ändernde) Wahrscheinlichkeitsverteilung über Kapitalproduktivitäten beschreiben lassen. Ein solches Vorgehen verletzt die Forderung einer evolutorischen Ökonomie, daß diese darauf verzichten muß, die Eigenschaften von Neuerungen festzulegen, die sie nicht ausschließt [Witt 1987].

In der obigen Formulierung der Innovationslotterie mit einer lognormalverteilten Lotterie entlang eines Pfades des technischen Fortschritts beschreibt das Modell von Nelson und Winter die langfristige Approximation der Kapitalproduktivität aller Akteure an diesen exogenen Gleichgewichtspfad. Gerybadze bemängelt, daß Nelson und Winter zwar in ihren Modellen eine Erklärung des technologischen Wandels anstreben, dadurch, daß sie aber die Wahrscheinlichkeitsverteilungen für den Erfolg technologischer Suchaktivitäten exogen vorgeben, sie gerade nicht die technologische Entwicklung sondern den Prozeß der Anpassung der Firmen an diese exogene Entwicklung der Technologie erklären [Gerybadze 1982]. Witt kritisiert, daß sich solch eine Konstruktion nur dahingehend von neoklassischen Modellen unterscheidet, daß explizit nichtoptimierendes Verhalten vorausgesetzt wird [Witt 1987].

Neben der Gleichgewichtsdynamik der Modelle manifestiert sich die Kritik desweiteren an der ausschließlichen Behandlung von Prozeßinnovationen und der Beschränkung auf die Theorie der Unternehmung. Bei der Betrachtung von Prozeßinnovationen lassen sich die Konsequenzen bei hinreichend allgemeiner Definition der Produktionsfaktoren als Variation der Faktorproduktivitäten ausdrücken, bei Produktinnovationen hingegen findet sich, ohne die explizite Einbindung der Nachfrageseite, kein solcher invarianter Raum zur Abbildung der Konsequenzen, weswegen laut Witt Nelson und Winter den Gedanken einer Ausdehnung ihres Modells auf Produktinnovationen haben fallen lassen [Witt 1987].

Offenbar bedarf es laut Witt [Witt 1987] einer umfassenderen Fundierung der evolutorischen Theorie, um dieses wesentlich vom Verhalten auf der Nachfrageseite abhängige Problem zu behandeln. Die Vernachlässigung der Nachfrageseite steht also in direkter Abhängigkeit zur Nichtmodellierung von Produktinnovationen in den Modellen von Nelson und Winter.

Trotz aller Kritik gebührt Nelson und Winter der Verdienst, ein Modellierungsparadigma für die Untersuchung von evolutorischen Prozessen entworfen zu haben [Andersen 1994]. Im Rahmen dieses Paradigmas gab es in der Nachfolge der Arbeiten der beiden Autoren eine Reihe von Arbeiten zur Diffusionstheorie, die die verschiedenen Aspekte, die bei Nelson und

Winter nicht behandelt wurden, untersucht haben. Wir wollen hier einige dieser Arbeiten, die teilweise in das in dieser Arbeit vorgeschlagene Modell eingegangen sind, kurz vorstellen.

Die Arbeit von Caccomo [Caccomo 1996] steht unter den hier vorgestellten Arbeiten in der größten Nähe zu der Arbeit von Nelson und Winter zur Untersuchung von Prozeßinnovationen. Der Autor hat dieses Modell weitgehend übernommen, die einzige Änderung besteht in der Modellierung des autonomen technischen Fortschritts. Auch in diesem Modell wird eine zweistufige Innovationslotterie benutzt, die zweite Lotterie basiert jetzt aber auf einer Normalverteilung, die sich als logistische Funktion zeitlich verändert.

Gerybadze [Gerybadze 1982] versucht in seiner Arbeit, der Frage von Produktinnovationen nachzugehen, und integriert hierzu auch die Nachfrageseite in das Ausgangsmodell von Nelson und Winter. Er integriert in das Modell zwei Industrien, wobei das Produkt der Industrie I in der Industrie II zur Produktion eines nicht näher spezifizierten Endproduktes benutzt wird. Um das von Witt identifizierte Problem der Vorteilhaftigkeit einer Produktinnovation aus der Sicht des Produzenten zu umgehen, trifft Gerybadze die Annahme einer eindeutigen Bewertungsfunktion der verschiedenen, ex-ante vorgegebenen Produktalternativen, was Witt zu der Kritik veranlaßt:

“Gerybadze(1982, S.160-169, S.185-189) ist deshalb bei seinem Vorhaben zu sehr restriktiven Annahmen gezwungen. Er unterstellt, daß verschiedene Produkte sich erstens stets in ihren Merkmalen technisch (objektiv) bewerten lassen. Zweitens sollen je zwei Produkte hinsichtlich dieses “objektiven technischen Bewertungsmaßstabes” entweder äquivalent sein oder das eine das andere eindeutig dominieren (d.h. das dominante Produkt ist in allen Merkmalen dem anderen mindestens gleichwertig)... Der Versuch von Gerybadze (1982, S.303-380), die Wirkung von Produktinnovationen auf den zwischenmarktlichen Koordinationsprozeß und induzierte Substitutionsvorgänge explizit einzubeziehen, wäre eine wichtige Erweiterung, kann aber auf der von ihm gewählten Basis nicht erreicht werden.” [Witt 1987](S.98)

Die Integration von Nachfrage- und Angebotsseite modelliert Gerybadze mittels eines Tatonnement-Prozesses, der zu markträumenden Preisen führt. Somit bleibt die Arbeit von Gerybadze in dem Gleichgewichtsparadigma der Arbeiten von Nelson und Winter verhaftet.

Yildizoglu [Yildizoglu 1998] wiederum hat das Modell von Nelson und Winter als Ausgangsbasis genommen. Seine Änderungen betreffen die Entscheidungen über das Forschungsbudget, die er nicht mehr als konstanten Anteil am Kapitalstock, sondern mittels eines genetischen Algorithmus in Abhängigkeit von dem Gewinn der Produzenten modelliert. Somit

sind die Produzenten in der Lage, in Abhängigkeit ihres bisherigen Erfolges andere Forschungsstrategien auszuprobieren und bei Erfolg wieder anzuwenden. Neben der veränderten Investitionsstrategie betrachtet Yildizoglu auch die Möglichkeit des Firmenaustritts aus dem Markt, den Firmeneintritt neuer Wettbewerber läßt er hingegen außeracht.

Andersen [Andersen 1994] hat in seinem Modell die Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die Innovations- und Imitationslotterie als Poissonverteilung im Gegensatz zu der Gleichverteilung bei Nelson und Winter beschrieben, die eine Verteilung der kleinen Zahlen ist. Darüberhinaus macht Andersen zwei Vorschläge zur Erweiterung des Grundmodells. In Anlehnung an die Untersuchungen von Simon schlägt er ein “satisficing” der Firmen im Hinblick auf die Forschungsaktivitäten vor. Darüberhinaus beschreibt er den Marktaustritt von insolventen Firmen und den Markteintritt in Form eines zweistufigen, stochastischen Prozesses aus einer Menge latenter Wettbewerber.

Beckenbach [Beckenbach 2001a] verfolgt bei den Forschungslosen den gleichen Zugang wie Andersen, indem der Autor für die Zugangslotterie die Poissonverteilung der Gleichverteilung vorzieht. Besonders interessant ist an diesem Modell aber der Versuch, die Ko-Evolution von ökonomischer und ökologischer Sphäre darzustellen. Eine erneuerbare Ressource stellt in diesem Modell den “Treibstoff” für die Ökonomie dar, deren Nutzungsgrad auf den Bestand und die Regeneration der Ressource rückwirkt.

Meyer et.al. [Meyer 1996] bauen das Grundmodell von Nelson und Winter sehr weitgehend zu dem Modell eines heterogenen Oligopols aus. Zentrales Element ist jetzt die Darstellung von Produktdifferenzierungen, die bei diesen Autoren in der Form eines eindeutigen, eindimensionalen Qualitätsindizes dargestellt ist. Die Produzenten sind in der Lage, mittels erfolgreicher Produktinnovationen diesen Qualitätsindex zu erhöhen. Desweiteren ist bei diesen Autoren die Erfolgswahrscheinlichkeit nicht mehr von dem aktuellen Kapitalstock abhängig, vielmehr können die Firmen Wissen akkumulieren. Das angesammelte Wissen bzw. dessen Höhe bestimmt die Erfolgswahrscheinlichkeit sowohl der Imitations- als auch der Innovationslotterien. Die Nachfrageseite modellieren die Autoren unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Produktalternativen als heterogenes Oligopol.

Auch Pyka [Pyka 1999] modelliert die Nachfrageseite mittels einer oligopolistischen Reaktionsfunktion über die verschiedenen Produktalternativen. Genauso wie bei Meyer et.al. [Meyer 1996] akkumulieren die Firmen bei Pyka ihr Innovations- und Imitationswissen im Laufe der Zeit. Bei den Anstrengungen zur Verbesserung der Wettbewerbsposition mit Hilfe von Produktinnovationen zeigen die Firmen im Sinne von Simon “Satisficing-behaviour”, d.h. bei überdurchschnittlichem Erfolg verringern die Firmen ihre zusätzlichen Anstrengungen. Das Hauptinteresse des Autors liegt in der Untersuchung von technologischen Spillover-Effekten. Hierzu betrachtet er in seinem Modell im Gegensatz zu Nelson und Winter insge-

samt drei Firmentypen, die unterschiedliche Innovationsstrategien verfolgen.

Die obige Aufzählung zeigt die Vielfalt an Erweiterungen, die das Modell von Nelson und Winter im Laufe der letzten beiden Jahrzehnte zum Teil erheblich erweitert haben. Allerdings gibt es bis dato noch keine befriedigende Behandlung von Produktinnovationen und damit einhergehend keine befriedigende Behandlung der Nachfrageseite.

3.5. Folgerungen

Die Untersuchung bisheriger Diffusionsmodelle hat ergeben, daß für die Darstellung von Diffusionsprozessen die individuelle Akteursbeschreibung von zentraler Bedeutung ist. Für unsere spezielle Fragestellung leiten sich für die individuelle Akteursbeschreibung eine Reihe von Aspekten ab, die in den verschiedenen, oben diskutierten Diffusionsmodellen gar nicht oder nur teilweise berücksichtigt werden.

Für die Modellierung des Diffusions- und Wettbewerbsprozesses für Produktinnovationen muß die Nachfrageseite in die Modellierung explizit einbezogen werden. Neben dem Preis sind für die Konsumenten gerade die Produkteigenschaften von Interesse, da diese durch die Innovationen der Produzenten ja verändert werden. Will man die Nachfrageseite endogen modellieren, so muß man zuerst untersuchen, wie die Konsumenten die verschiedenen Produktmerkmale wahrnehmen. Auf der Basis dieser Wahrnehmung werden die Konsumenten die verschiedenen Produktalternativen gegeneinander diskriminieren. Die Routinen anhand derer die Konsumenten diese Diskriminierung vornehmen, müssen für eine Modellierung genauer untersucht werden. Auf der Basis dieser Diskriminierung trifft der Konsument dann seine Auswahlentscheidung.

Die Produzenten sind im Fall der Produktinnovationen mit einem weitaus unsichereren Umfeld konfrontiert in dem sie handeln müssen. Im Gegensatz zu reinen Prozeßinnovationen fehlt bei den Produktinnovationen die mehrere Produktmerkmale berücksichtigen ein eindeutiger Diskriminierungsmechanismus für die verschiedenen Handlungsalternativen. Der Preis des Produktes ist also nicht länger das Alleinstellungsmerkmal der Produkte. Es ist für den Produzenten nicht mehr a priori eindeutig, ob eine bestimmte Innovation oder Preisänderung zu einem Wettbewerbsvorteil führt. Im Fall von Produktinnovationen existiert somit ein heterogenes Oligopol, bei dem die strategischen Handlungen der Produzenten mehrere Dimensionen haben können; die damit verbundenen Unsicherheiten muß der Produzent handhaben.

Für die Modellierung von Produktinnovationen muß desweiteren untersucht werden, inwieweit die einzelnen Innovationsschritte der Produzenten im Hinblick auf einzelne Eigen-

schaften kumulativ sind, folglich eine Spezialisierung der Produzenten auftreten kann. Diese Innovationen werden auch durch das Wissen des Unternehmens mitbestimmt, da für die Innovationen in Bezug auf die einzelnen Merkmale jeweils spezielles Wissen benötigt wird. Dieses spezielle Wissen ist kumulativ, da eine bestimmte Merkmalskonfiguration die Basis für weitere Innovationen bildet. Eng mit dem Wissen und den möglichen Innovationen ist die Struktur des Raumes der Merkmalseigenschaften verbunden. Dieser Struktur bestimmt die möglichen Eigenschaftskombinationen und die Entwicklungspfade zur Exploration des Raumes.

In den nächsten beiden Kapiteln werden wir uns im Detail mit den verschiedenen Aspekten der Akteursbeschreibung, sowohl der Konsumenten als auch die der Produzenten, befassen. Die Ergebnisse dieser beiden Kapitel bilden dann die Basis für die Definitionsgleichung des in dieser Arbeit entwickelten Diffusions- und Wettbewerbsmodells.

4. Nachfrageverhalten für Produktinnovationen

In dem vorangegangenen Kapitel haben wir die Bedeutung der Akteursbeschreibung für die Untersuchung des Diffusions- und Wettbewerbsprozesses im Falle von Produktinnovationen herausgearbeitet. In diesem Kapitel wenden wir uns zuerst der Nachfrageseite zu und wollen dabei die zentralen Aspekte der Konsumentenbeschreibung für die Untersuchung von Produktinnovationen analysieren. Zu Beginn vergleichen wir die traditionelle Haushaltstheorie [Henderson 1995] mit dem Vorschlag von Lancaster [Lancaster 1991b]. Hierbei konzentrieren wir uns auf die Anwendbarkeit beider Konzepte im Hinblick auf die Untersuchung von Produktinnovationen. Anschließend werden wir das Konzept der beschränkten Rationalität und deren Bedeutung für die Nachfrageseite diskutieren, was uns zum Konzept der Routinen führt. Mit dem Routineverhalten sind die Lernprozesse von Akteuren eng verbunden. Diese wollen wir in dem darauffolgenden Abschnitt beschreiben und zwei Lernalgorithmen diskutieren. Das Kapitel wird mit der Betrachtung von sozialen Milieus und ihrer Bedeutung für das Nachfrageverhalten der Konsumenten abgeschlossen. Diese milieuhabhängigen Konsumptionseffekte sind in der letzten Zeit mehr und mehr in das Licht des Interesses einiger Autoren gerückt [Windrum 1998, Weise 1993, Swann 2001, Saviotti 2001, Cowan 1998].

4.1. Traditionelle Haushaltstheorie

Unter der traditionellen Haushaltstheorie verstehen wir im folgenden die (mikroökonomische) Analyse des Konsumentenverhaltens unter der Maßgabe einer Budgetbeschränkung im Sinne der Analyse von Slutsky und Hicks [Lancaster 1971]. Die Konsumenten wählen zwischen verschiedenen Bündeln unterschiedlicher Güter die für sie optimale Kombination aus. Das Ziel dieser Analyse ist die Untersuchung der Änderungen in der Zusammensetzung der nachgefragten Güterkombination, wenn sich die Preise der einzelnen Güter oder das Einkommen der Konsumenten ändern [Herberg 1991, Henderson 1995].

Ausgangspunkt der traditionellen Analyse ist das Konzept der Präferenzordnung. Dahinter verbirgt sich die Annahme, daß der einzelne Konsument die Gesamtheit aller möglichen

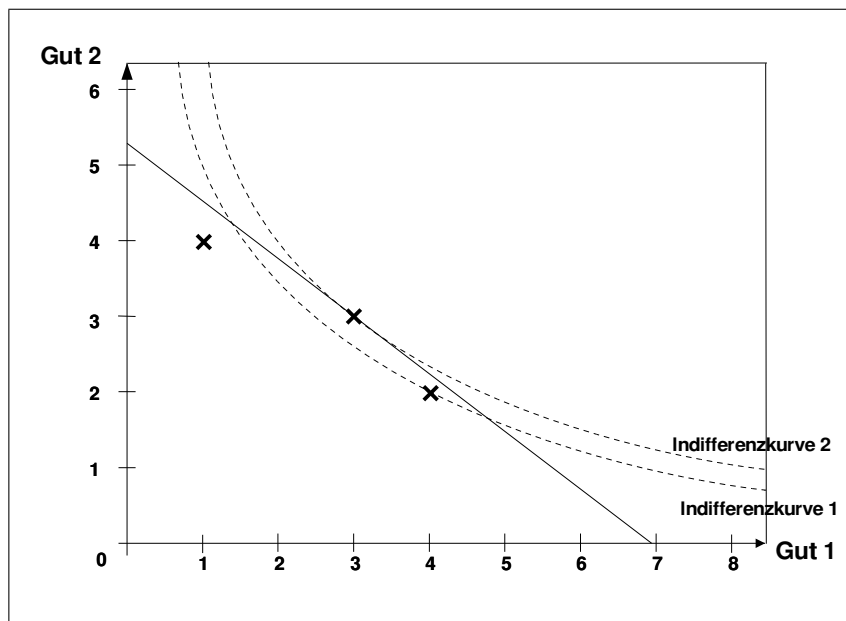


Abbildung 4.1.: Dieses Bild zeigt die Indifferenzkurven, Güterkombinationen und Budgetgeraden im Rahmen der traditionellen Haushaltstheorie. Quelle: [Henderson 1995, Herberg 1991].

Güterkombinationen in eine vollständige und eindeutige Ordnung einsortieren kann. Aus dieser Präferenzordnung lassen sich dann die sogenannten Indifferenzkurven ermitteln. Eine Indifferenzkurve umfaßt alle Güterkombinationen, zwischen denen der Konsument indifferent ist, d.h. er zieht keine der Kombinationen der anderen vor. In der Abbildung 4.1 ist der Raum der möglichen Kombinationen von zwei angebotenen Gütern aufgezeichnet. In dem Diagramm sind zwei Indifferenzkurven eingezeichnet. Daneben sind in dem Diagramm drei Güterkombinationen eingezeichnet. Die Güterkombination 1, die sich aus vier Einheiten des Gutes 1 und zwei Einheiten des Gutes 2 zusammensetzt, liegt auf der Indifferenzkurve 1. Alle anderen Güterkombinationen auf dieser Indifferenzkurve werden von dem Konsumenten als gleichwertig angesehen. Die Güterkombination 2 hingegen liegt auf der Indifferenzkurve 2, die weiter vom Ursprung entfernt ist als die Indifferenzkurve 1. Je weiter eine Indifferenzkurve vom Ursprung entfernt ist, desto höher ist der Nutzen, den Güterkombinationen, die auf dieser Kurve liegen, für den Konsumenten besitzen. Der Konsument wird also die Güterkombination 2 der Güterkombination 1 vorziehen, die er wiederum der Güterkombination 3 vorzieht, da diese auf einer Indifferenzkurve¹ liegt, die näher am Ursprung ist als die Indifferenzkurve 1.

Neben der Präferenzordnung ist der zweite wichtige Baustein der Theorie das Konzept der Budgetbeschränkung. Ein Konsument verfügt über ein bestimmtes, endliches Budget,

¹Diese Indifferenzkurve haben wir aus Gründen der Übersichtlichkeit aus dem Diagramm herausgelassen.

das er für den Kauf der Güterkombination verwenden kann. Dieses Budget schränkt den Raum der möglichen Güterkombinationen ein. In der Abbildung haben wir dieses Budget in der Form einer Budgetgeraden eingezeichnet. Für alle Güterkombinationen, die unter oder auf dieser Budgetgeraden liegen, besitzt der Konsument ein ausreichendes Budget. Güterkombinationen, die hingegen oberhalb dieser Budgetgeraden liegen, kann der Konsument nicht kaufen. Der Konsument wird versuchen, die Güterkombination zu ermitteln und zu kaufen, die auf der Indifferenzkurve liegt, die am weitesten vom Ursprung entfernt ist, und die gleichzeitig noch die Budgetbeschränkung erfüllt. In der Abbildung 4.1 ist das genau die Güterkombination 2. Die traditionelle Haushaltstheorie untersucht in der weiteren Analyse, wie sich die Zusammensetzung dieses optimalen Güterbündels ändert, sofern sich die relativen Preise der Güter oder das Haushaltseinkommen ändern. Mit anderen Worten: die traditionelle Haushaltstheorie hält die Präferenzordnung und damit die Indifferenzkurven konstant und verändert die Nebenbedingung der Budgetbeschränkung.

Wir wollen das Konzept der Präferenzordnung noch etwas genauer analysieren, es verbirgt einen komplexen Mechanismus. Ein Konsument besitzt bestimmte Bedürfnisse, die er durch den Kauf und die Nutzung bestimmter Güter befriedigen will. Jedes der einzelnen zur Auswahl stehende Güter besitzt in der Augen des einzelnen Konsumenten eine bestimmte Bedürfnisbefriedigungskapazität. Mit Hilfe dieser Bedürfnisbefriedigungskapazität der Einzelgüter kann der jeweilige Konsument ein Ranking der angebotenen Güter aufstellen. Diese Präferenzordnung ist also ein genialer Trick, sie stellt eine direkte Relation zwischen den Bedürfnissen des Konsumenten und den angebotenen Gütern her.

Will man jetzt aber die Variation bestehender Produkte oder das Hinzukommen neuer Produkte analysieren, so trifft man auf ein Problem. Die Variation eines Produktes ändert die Bedürfnisbefriedigungskapazität dieses Produktes und damit das Ranking der Produkte durch den Konsumenten. Wie genau das aber geschieht, ist in der traditionellen Theorie in der Präferenzordnung verborgen. Die traditionelle Haushaltstheorie kann keine direkte Aussage treffen, wie sich die Nachfrage der Konsumenten bei der Variation einer oder mehrerer Gütereigenschaften verändert. Jede Änderung der Gütereigenschaften muß also eine Änderung der Präferenzordnung nach sich ziehen [Lancaster 1971].

Lancaster [Lancaster 1966a, Lancaster 1966b, Lancaster 1971, Lancaster 1991a, Lancaster 1991b] nahm diese Kritikpunkte zum Anlaß, eine erweiterte Theorie der Haushaltsnachfrage zu entwerfen, die insbesondere die Behandlung neuer Güter und die Veränderung von technischen Gütereigenschaften mit in die Analyse einschließt. Im nächsten Abschnitt wollen wir den Vorschlag von Lancaster genauer vorstellen.

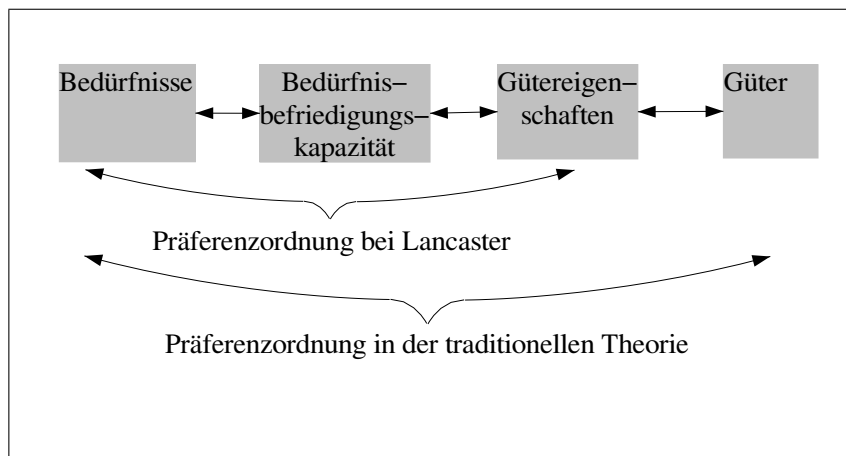


Abbildung 4.2.: In dieser Abbildung ist der Zusammenhang zwischen den Bedürfnissen der Konsumenten und den Eigenschaften der Güter dargestellt. Quelle: eigene.

4.2. Haushaltstheorie von Lancaster

Die Präferenzen in der traditionellen Haushaltstheorie spiegeln einen nicht-separablen Zusammenhang zwischen den Bedürfnissen der Konsumenten und den angebotenen Gütern wieder. In der Abbildung 4.2 haben wir diesen Zusammenhang noch etwas differenziert. Auf der rechten Seite finden wir die Güter aufgezeichnet, die bestimmte Eigenschaften besitzen. Diese Eigenschaften wiederum besitzen in den Augen der Konsumenten eine individuelle Bedürfnisbefriedigungskapazität für bestimmte Bedürfnisse des Konsumenten. In der traditionellen Theorie postuliert man für den nicht-separablen Zusammenhang zwischen den Gütern und den Bedürfnissen der Konsumenten die Existenz einer Präferenzordnung, wie es die untere Klammer in dem Diagramm 4.2 zeigt. Wie oben schon angedeutet, stellt uns dieses Postulat vor das Problem, wie wir im Rahmen der traditionellen Theorie die Variation der Gütereigenschaften, die ja den Kern einer Produktinnovation ausmacht (s. Kapitel 5.4), untersuchen wollen, da diese in den Präferenzen verborgen sind. Um dieses Problem zu lösen, hat Lancaster für seine Analyse zwei fundamentale Annahmen getroffen [Lancaster 1971, Lancaster 1991a]:

1. Alle Güter besitzen objektive Eigenschaften, die für die Wahlentscheidung der Konsumenten zwischen den verschiedenen Güterkombinationen relevant sind. Die Abhängigkeit zwischen einer gegebenen Menge eines Produktes (oder einer Produktkombination) und den Eigenschaften dieses Produktes wird durch eine üblicherweise technische Relation beschrieben, die von den Produkteigenschaften bestimmt wird.
2. Die einzelnen Konsumenten unterscheiden sich in ihrer Reaktion auf bestimmte Produkteigenschaften, nicht im Hinblick auf die Produkte selbst. Es sind die Produkteigen-

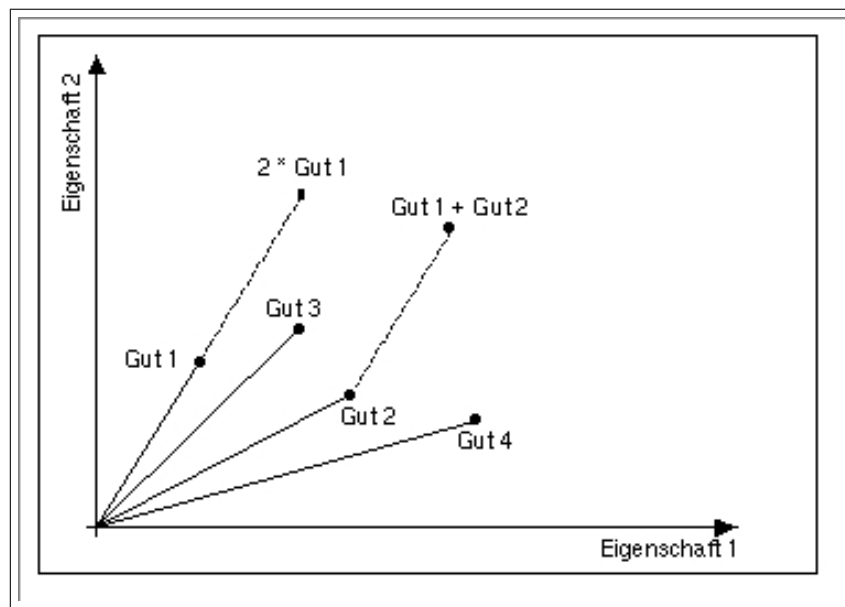


Abbildung 4.3.: Dieses Bild zeigt die Addition der Eigenschaftsausprägungen der verschiedenen Güter im Raum der Produkteigenschaften. Quelle: [Lancaster 1971].

schaften, die die Konsumenten interessieren. Die Konsumenten ordnen den einzelnen Produkteigenschaften eine Kapazität zur Befriedigung der individuellen Bedürfnisse zu. Die verschiedenen Bedürfnisbefriedigungskapazitäten ordnen die Konsumenten dann in einem Ranking zu einer Präferenzordnung².

In der Abbildung 4.2 haben wir versucht, diese Annahmen noch einmal graphisch darzustellen. Einerseits gibt es die technische Relation zwischen den Gütern und den Gütereigenschaften, andererseits besitzen die Konsumenten bei Lancaster eine Präferenzordnung für die Relation Bedürfnisse und Gütereigenschaften. Werden die Produkteigenschaften variiert, so unterteilt sich die Analyse in zwei Untersuchungsstränge: (i) die technische Relation und (ii) die Präferenzordnung.

Betrachten wir zuerst die Relation zwischen Gütern und deren Eigenschaften. Lancaster trifft in seiner Theorie die Annahme einer linearen Beziehung zwischen den Gütern und ihren Eigenschaften [Lancaster 1971]. Diese Beziehung kann man in einem Diagramm darstellen, dessen Achsen jetzt nicht die Gütermengen, sondern die Gütereigenschaften sind. In der Abbildung 4.3 haben wir einen Raum, der von zwei Eigenschaften aufgespannt wird, dargestellt. In dem Diagramm erkennt man die vier Güter (Gut 1 - Gut 4), die verschiedene Kombinationen von Eigenschaftsausprägungen besitzen. Zur mathematischen Beschreibung führen wir die folgenden Größen ein:

²Diese Annahme steht in enger Verwandtschaft zu der Theorie von Menger im Hinblick auf die Befriedigung von Konsumentenwünschen [Menger 1871].

z_i	:	Eigenschaft i
x_j	:	Produkt j
$b_{i,j}$	:	Eigenschafts-Produktkoeffizient für Eigenschaft i und Produkt j
$u(z_i)$	:	Nutzen der Eigenschaft i
p_j	:	Preis des Produktes j
r	:	Anzahl der Eigenschaften
n	:	Anzahl der Produkte

Die Ausprägung der einzelnen Gütereigenschaft des jeweiligen Gutes läßt sich mit der linearen Gleichung 4.1 beschreiben. Ein Gut x_j besitzt die Ausprägung z_i der i -ten Eigenschaft.

$$z_i = b_{i,j} * x_j \quad \text{mit} \quad i = 1, \dots, r \quad , \quad j = 1, \dots, n \quad (4.1)$$

Die Summe aller Eigenschaften eines Gutes läßt sich dann mit Hilfe des Vektors $\underline{z}$ beschreiben (s. Gleichung 4.2).

$$\underline{z} = \{z_1, \dots, z_r\} \quad (4.2)$$

Betrachtet man im Eigenschaftsraum ein Güterbündel, das aus mehreren Einheiten des gleichen Gutes besteht, so sichert die Linearität zwischen Eigenschafts- und Mengendarstellung (s. Gleichung 4.1) die Additivität der Eigenschaftsausprägungen. Die Additivität sichert aber auch, daß man den Eigenschaftsvektor einer Kombination unterschiedlicher Güter durch Addition ermitteln kann. In der Abbildung 4.3 haben wir diese beiden Fälle eingezeichnet, einerseits eine Güterkombination aus zwei Einheiten des Gutes 1 und andererseits die Güterkombination aus jeweils einer Einheit der Güter 1 und 2.

Lancaster trifft desweiteren in seinem Grundmodell die Annahme, daß die Eigenschaften immer positiv sind ($z_i \geq 0$). Die Relation zwischen Güter- und Eigenschaftsraum läßt sich dann in Matrixschreibweise wie folgt formulieren³:

$$z_i = \sum_{j=1} b_{i,j} * x_j \quad (4.3)$$

Diese Formulierung erlaubt es nun, Produktinnovationen zu untersuchen. Diese können in der Haushaltstheorie von Lancaster als Variation einer oder mehrerer Produkteigenschaften berücksichtigt und analysiert werden, mathematisch ausgedrückt in einer Veränderung des

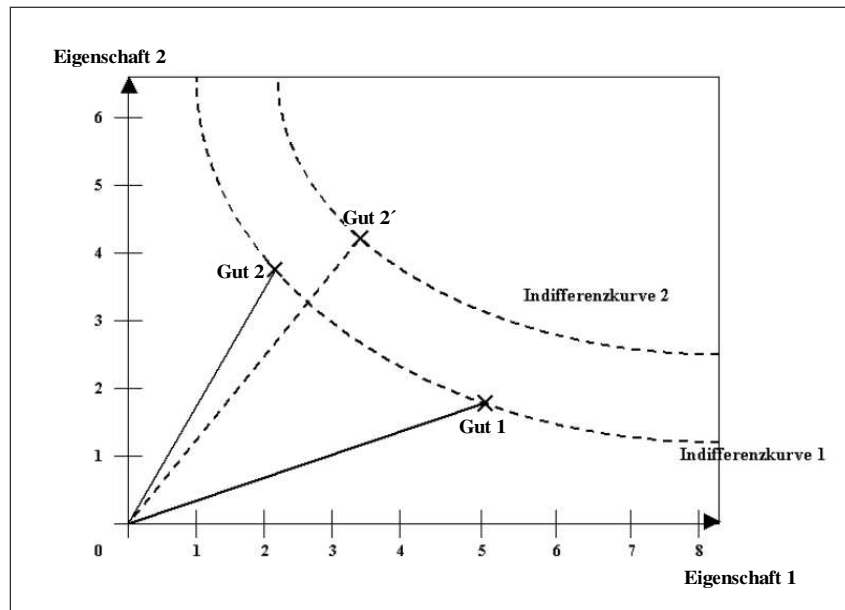


Abbildung 4.4.: Diese Abbildung verdeutlicht den Zusammenhang zwischen den Eigenschaftsausprägungen verschiedener Güter und den Indifferenzkurven der Konsumenten im Rahmen der Haushaltstheorie von Lancaster. Quelle: [Lancaster 1971], eigene.

entsprechenden Eintrages der Produkt-Eigenschaftsmatrix $b_{i,j}$. Diese Variation ist jetzt nicht mehr in der Präferenzordnung verborgen, sondern ist nunmehr Gegenstand der Analyse.

Wenden wir uns der Relation zwischen den Gütereigenschaften und den Bedürfnissen des Konsumenten zu. Die Konsumenten rechnen bestimmten Eigenschaften der angebotenen Güter eine Kapazität zur Befriedigung ihrer Bedürfnisse zu. Um dieses zu beschreiben, übernimmt Lancaster in seiner Analyse die Vorgehensweise der traditionellen Haushaltstheorie, die er aber jetzt auf die Eigenschaftsbündel der einzelnen Güter oder Güterkombinationen und nicht mehr auf die Güterbündel an sich anwendet [Lancaster 1991b]. Die Konsumenten besitzen bei Lancaster Präferenzen im Hinblick auf die Gütereigenschaften. Diese sind nunmehr das Ergebnis eines individuellen “Rankings”, das die Konsumenten für die angebotenen Güterbündel durchführen. Ausgehend von ihren individuellen Bedürfnissen ermitteln die Konsumenten die Bedürfnisbefriedigungskapazität der verschiedenen Güterbündel und bringen die Güterbündel in eine Rangordnung. Lancaster trifft dann weiterhin auch die Annahme, daß die Konsumenten basierend auf dieser Rangordnung eine maximierende Auswahlentscheidung treffen und das Eigenschaftsbündel mit der höchsten Kapazität zur Befriedigung der eigenen Bedürfnisse wählen.

³Die traditionelle Theorie stellt im Kontext der Arbeiten von Lancaster einen Spezialfall dar, die Matrix besteht nur aus Diagonalelementen. $z_i = b_{i,i} * x_i$

Dieses möchten wir kurz anhand der Abbildung 4.4 illustrieren. In dem Diagramm ist ein 2-dimensionaler Eigenschaftsraum dargestellt, es werden zwei Güter mit unterschiedlichen Eigenschaftsbündeln angeboten. Gut 1 besitzt fünf Einheiten der Eigenschaft 1 und 1,8 Einheiten der Eigenschaft 2, während das Gut 2 2,2 Einheiten der Eigenschaft 1 und 3,8 Einheiten der Eigenschaft 2 besitzt. Die Konsumenten rechnen den beiden Eigenschaften 1 und 2 bestimmte Bedürfnisbefriedigungskapazitäten zu, auf deren Basis sie eine Schar von Indifferenzkurven aufstellen. In dem Diagramm der Abbildung 4.4 liegen die beiden angebotenen Güter 1 und 2 auf der gleichen Indifferenzkurve 1, der Konsument zieht also kein Gut dem anderen vor⁴.

An diesem Beispiel läßt sich die Analyse von Produktinnovationen vervollständigen. Wie wir oben schon beschrieben haben, kann eine Produktinnovation als Variation der bestehenden Eigenschaften eines Produktes beschrieben werden⁵. Der Hersteller des Gutes 2 verändert das Eigenschaftsbündel seines Gutes, in dem Diagramm haben wir dieses veränderte Produkt als Gut 2' bezeichnet. Der Konsument stellt nach dieser Änderung erneut eine Rangordnung der angebotenen Güter 1 und 2' auf der Basis der Bedürfnisbefriedigungskapazität der jeweiligen Eigenschaftsbündel auf. Die Bewertung des Gutes 2' erhöht sich in diesem Beispiel, sodaß es jetzt auf der Indifferenzkurve 2 liegt. Lancaster übernimmt von der traditionellen Haushaltstheorie das Kriterium für die Auswahlentscheidung. Der Konsument wählt das Produkt, das auf der Indifferenzkurve am weitesten vom Ursprung entfernt ist, d.h. das seine Bedürfnisbefriedigung maximiert. Wie in der traditionellen Haushaltstheorie muß diese Auswahl der Gutes der Budgetbeschränkung des Konsumenten genügen. Mathematisch läßt sich das folgendermaßen zusammenfassen:

$$\begin{aligned}
 u(\underline{z}) &\longrightarrow \max. & (4.4) \\
 \underline{z} &= \underline{B} * \underline{x} \\
 \underline{x} &\geq 0 \\
 \underline{px} &\leq c
 \end{aligned}$$

Mit der Haushaltstheorie von Lancaster lassen sich Produktinnovationen in Form einer Variation der Produkteigenschaften beschreiben und analysieren. Bislang sind die Konsumenten aber vollständig informiert und diskriminieren die angebotenen Eigenschaftsbündel an-

⁴Das Kriterium der Eindeutigkeit der Präferenzordnung wird dadurch nicht verletzt. Dieses bezieht sich nicht auf die verschiedenen Güter, sondern auf die Bewertung. Die Existenz der Eindeutigkeit der Präferenzordnung hat zur Folge, daß sich die Indifferenzkurven nicht schneiden [Herberg 1991, Henderson 1995].

⁵Der andere Fall einer Produktinnovation wäre das Auftreten einer neuen Produkteigenschaft; diesen Fall wollen wir an dieser Stelle nicht weiter verfolgen, da wir eine detaillierte Analyse in Kapitel 5 durchführen.

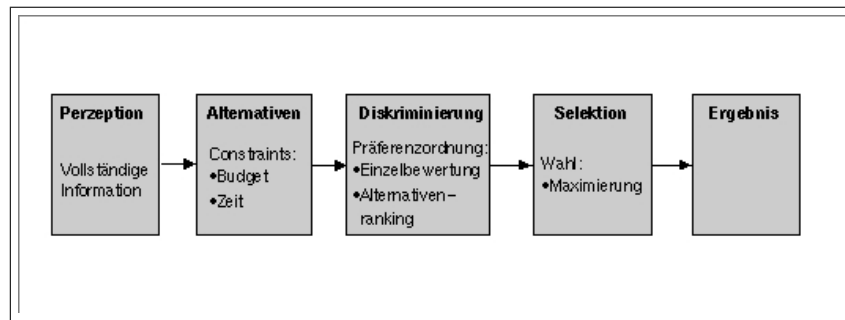


Abbildung 4.5.: Die Abbildung zeigt den sequentiellen Ablauf im Falle vollständiger Wahlrationalität. Quelle: [Beckenbach 2001d].

hand der Bedürfnisbefriedigungskapazität, sodaß sie in der Lage sind, eine vollständige und eindeutige Präferenzordnung aufzustellen.

Es gibt aber aus einem anderen Diskussionstrang der Ökonomie Hinweise [Simon 1955], daß das Verhalten von Individuen nicht vollständig rational ist. Die verschiedenen Aspekte dieser beschränkten Rationalität möchten wir im nächsten Abschnitt diskutieren.

4.3. Merkmale beschränkter Rationalität

In den letzten beiden Abschnitten haben wir herausgearbeitet, daß sowohl die traditionelle Haushaltstheorie als auch die Theorie von Lancaster das Konzept der Präferenzordnung benutzen. Während die traditionelle Theorie dieses Konzept auf die Relation zwischen den Gütern und den Bedürfnissen der Konsumenten anwendet, nutzt Lancaster es für den Zusammenhang zwischen Bedürfnissen und Gütereigenschaften.

In den vorhergehenden Abschnitten haben wir mehr oder weniger die Existenz solch einer Präferenzordnung konstatiert. Wir haben hierbei von der Kapazität der Bedürfnisbefriedigung, sei es durch Güter- oder Eigenschaftsbündel, und der Bildung einer Rangordnung auf Basis dieser zugerechneten Kapazität gesprochen, ohne auf die Details weiter einzugehen. Für die weiteren Diskussionen in dieser Arbeit sind diese Details aber unabdingbar, sodaß wir auf sie an dieser Stelle eingehen wollen.

Beckenbach schlägt ein Schema für die Handlungstheorie vor, daß es erlaubt, die einzelnen Bausteine der Entscheidungsfindung der Konsumenten zu untersuchen [Beckenbach 2001d]. Wir haben dieses Schema für den Handlungstypus der Wahlrationalität, wie sie sowohl für die traditionelle Haushaltstheorie als auch für die Vorgehensweise von Lancaster gilt, in der Abbildung 4.5 dargestellt. Die Handlung eines Individuums setzt sich demnach aus einer

Situationswahrnehmung, der Erschließung der Handlungsmöglichkeiten durch das Individuum, der Diskriminierung der Handlungsalternativen, der Selektion der Handlungsalternativen und dem Handeln selbst zusammen.

Wie in der Abbildung 4.5 dargestellt, besitzt ein Individuum im Fall der Wahlrationalität⁶ (tendenziell) vollständige Informationen und ihm sind im Rahmen seiner Zeit- und Budgetbeschränkungen alle Handlungsmöglichkeiten bekannt. Aus diesen Informationen leitet solch ein Individuum eine eindeutige und vollständige Rangordnung aller Alternativen ab. Im Falle eines Konsumenten ist das eine Präferenzordnung. Das Individuum wählt dann die Handlung aus, die den höchsten Platz in seiner Rangordnung einnimmt, es führt also einen bewußten Wahlakt in Form einer maximierenden Wahl durch. Die Abbildung 4.5 illustriert den sequentiellen Ablauf der Einzelschritte im Rahmen der Wahlrationalität.

Experimentelle Befunde und empirische Beobachtungen des Verhaltens von Individuen [Fehr 2002, Fehr 2001, Fehr 1999a, Fehr 1999b, Selten 2001a, Selten 2001b, Selten 2000, Selten 1998, Heinemann 2000, Simon 1982, McFadden, Kahneman 1986] legen allerdings den Schluß nahe, daß das Verhalten von Individuen nicht vollständig rational im Sinne der oben beschriebenen Wahlrationalität ist, und wie es sowohl in der traditionellen Haushaltstheorie als auch von Lancaster für die Bildung der Präferenzordnung verwendet wird. Vielmehr fehlen in diesem Modell wesentliche Elemente menschlichen Handelns: die begrenzte Möglichkeit, Informationen zu erhalten und zu verarbeiten, die Einschränkungen in der Bildung von Präferenzen, die Unterschiede in der Art der Handlungsorientierung (z.B. dem Verzicht auf die Bildung einer Präferenzordnung) und der Schlußevaluation. Diese verschiedenen Aspekte möchten wir in den nachfolgenden Abschnitten im Detail diskutieren.

4.3.1. Informations- und Kompetenzbeschränkungen von Individuen

Ausgehend von seinen Untersuchungen zum Verhalten von Organisationen [Simon 1947] entwickelte Simon zu Beginn der 50er Jahre des letzten Jahrhunderts das Konzept der "Beschränkten Rationalität", das er in zwei Artikeln [Simon 1955, Simon 1956] in die ökonomische Diskussion einführte. Zwei wesentliche Aspekte charakterisieren diesen Vorschlag von Simon [Witt 1987]:

1. Das Fehlen vollständiger Informationen für den einzelnen Akteur, d.h. die Individuen haben Schwierigkeiten, die Menge der von ihnen realisierbaren Alternativen zu überschauen und mit Wahrscheinlichkeitsvorstellungen in Verbindung zu bringen.

⁶Das Verhalten im Falle der vollständigen Wahlrationalität bei Beckenbach [Beckenbach 2001d] ist dem bekannten Bild des Homo Oeconomicus [Herberg 1991, Henderson 1995] gleichzusetzen.

2. Keine unbegrenzten Rechenfähigkeiten, d.h. die Individuen sind nicht mehr in der Lage, alle ihnen zur Verfügung stehenden Informationen zeitgerecht zu verarbeiten und in die Entscheidungsfindung eingehen zu lassen.

Die einzelnen ökonomischen Akteure sind also sowohl mit einem Informations- als auch einem Kompetenzdefizit konfrontiert [Heiner 1983, Heiner 1988], sie treffen laut Simon jetzt nicht mehr im Sinne des neoklassischen Rationalitätspostulats optimale Entscheidungen, vielmehr zeigen sie insbesondere in ungewissen Situationen nur beschränkt rationales Verhalten. Das Konzept von Simon grenzt sich somit von dem neoklassischen Rationalitätspostulat ab, allerdings verbindet er damit keineswegs vollständig irrationales Verhalten. Die Akteure versuchen auch in der Modellvorstellung von Simon logisch konsistent und rational zu entscheiden, jetzt aber innerhalb des Rahmens ihrer Fähigkeiten und ihres Informationsstandes [Pyka 1999].

Betrachtet man den Innovationsprozeß, so begründen insbesondere die mit der Innovation verbundenen Unsicherheiten die Beschränkung des Entscheidungskalküls der ökonomischen Akteure. Sei es bei den Haushalten das Wissen um die Eigenschaften und die Möglichkeiten der Bedürfnisbefriedigung durch das neue oder veränderte Produkt [Schnabl 1979] oder für die Produzenten Unsicherheiten in Bezug auf die Produkttechnik oder die Produktnachfrage. Allgemein sind die mit dem wirtschaftliche Prozeß verbundenen Unsicherheiten die wesentliche Ursache des Umstandes beschränkt rationalen Handelns [Pyka 1999].

Dosi et.al. [Dosi 1991] klassifizieren die den ökonomischen Akteur konfrontierenden Unsicherheiten entlang der beiden von Simon identifizierten Elemente beschränkt rationalen Verhaltens. Sie unterscheiden zwischen substantiellen und prozessualen Unsicherheiten.

Einerseits besitzen die Akteure keine vollkommene Vorausschau über ihre Entscheidungen, d.h. sie besitzen keine oder nur unvollständige Informationen über den zu entscheidenden Sachverhalt und die Konsequenzen ihrer Entscheidung (Informationslücke) [Dosi 1991]. Es kann aber trotz der Informationslücke sogenannte versicherbare Risiken geben, der einzelne Akteur kennt alle Handlungsalternativen und kann ihnen Eintrittswahrscheinlichkeiten zuordnen. Diese Art von unvollständigen Informationen sind im Kontext einer neoklassischen Analyse behandelbar. Sind diese Bedingungen aber nicht gegeben, kann der Akteur nicht die Wahrscheinlichkeiten zuordnen [Witt 1987], oder kennt er nicht alle Alternativen, so ist seine Situation von nicht eliminierbarer Unsicherheit gekennzeichnet. Dosi et.al. [Dosi 1991b] sprechen hier von "starker substantieller" Unsicherheit.

Andererseits besitzen die Akteure aber keine perfekten Fähigkeiten mehr. Diese fehlenden Fähigkeiten bzw. Fertigkeiten verursachen eine Kompetenzlücke bei den Akteuren. Die

einzelnen Akteure haben Schwierigkeiten, sämtliche Informationen wahrzunehmen, zu speichern und zu verarbeiten [Pyka 1999]. Simon [Simon 1991] konstatiert, daß die beschränkte Verarbeitungsfähigkeit der Akteure auch als eine Form der Unsicherheit aufgefaßt werden kann. Selbst wenn man ein exaktes Modell der Zukunft besäße, wäre man unsicher über die Zukunft, wenn der Zeitaufwand für die Einschätzung der Zukunft größer ist als der Zeitraum für die tatsächliche Zukunftsentwicklungsphase. Diese Form der Unsicherheit bezeichnen Dosi et.al. [Dosi 1991b] als prozessuale Unsicherheit, die auf die Fähigkeiten und Kompetenzen der Akteure abstellt. Die Berücksichtigung dieser nicht-perfekten Fähigkeiten bzw. prozessualen Unsicherheiten eröffnet die Perspektive, den Innovationsprozeß als Lern- und Experimentierprozeß zu beschreiben.

Witt [Witt 1987] untersucht die oben beschriebenen Unsicherheiten aus einer verhaltenswissenschaftlichen Sicht, um eine Ausgangsbasis für eine evolutorische Formulierung zu finden. Ausgangspunkt ist für ihn die begrenzte Informationsaufnahme und -verarbeitungsgeschwindigkeit des Menschen. Diese ist darin begründet, daß das Gehirn nicht alle Informationen verwerten kann. Kognitive Anregungen werden vom Gehirn selektiv und durch spontane Aufmerksamkeitsprozesse verarbeitet [Witt 1987]. Für eine affektive Anregung des Menschen ist laut Witt eine hinreichend starke Reizänderung notwendig, das Individuum besitzt also eine Reiz- und Reaktionsschwelle, die sein Handeln mitbestimmt. Besäße das Individuum diese Reizschwellen nicht, so käme es aufgrund der Beschränkung der Verarbeitungsfähigkeit des Gehirns zur Handlungsunfähigkeit des Individuums durch eine Reizüberflutung. Erst die Auswahl der Informationen nach bestimmten, erlernten kognitiven Mustern und dem damit verbundenen Abblocken der restlichen Informationen ermöglicht dem Individuum Stetigkeit im Handeln. Die Orientierung der Wachsamkeit an Reizdiskrepanzen ist dann ein wirksames Mittel, um die Aufmerksamkeit zu konzentrieren [Witt 1987].

Der Grund für die Beschränkung der Informationsverarbeitungsfähigkeit⁷ ist laut Witt [Witt 1987] in der beschränkten Gedächtniskapazität begründet. Die Aufnahmekapazität des Kurzzeitgedächtnisses ist sehr begrenzt, es erlaubt dafür aber eine schnelle Aufnahme und Verarbeitung der Informationen. Das Langzeitgedächtnis ist hingegen in seiner Aufnahmekapazität nahezu unbegrenzt. Das Individuum muß durch Lernen die Informationen aus dem Kurzzeitgedächtnis in das Langzeitgedächtnis überführen. Dieser Übergangsprozeß ist allerdings lernaufwendig und vermittelt sich über Assoziationen. Handlungsmuster, die im Langzeitgedächtnis abgespeichert sind, können dann aber schnell assoziativ und unterbewußt abgerufen werden. Neue Situationen hingegen, für die im Langzeitgedächtnis noch keine Verarbeitungsmuster abgelegt sind, können nur im Kurzzeitgedächtnis verarbeitet wer-

⁷Unter Informationsverarbeitungsfähigkeit verstehen wir die Schritte Informationsaufnahme, Informationsspeicherung und Informationsdeutung bzw. kognitive Informationsverarbeitung. Zusammengekommen bestimmen diese drei Teilschritte die Problemlösungsfähigkeit des Individuums.[Baynard 1995]

den; die Abrufung über das Langzeitgedächtnis ist nicht möglich [Witt 1987]. Aufgrund der Kapazitätsbeschränkung des Kurzzeitgedächtnisses sind dort aber nur sehr verkürzte und für die komplexen Wirkungszusammenhänge realer Entscheidungssituationen unvollkommene Wirkungsketten oder Entscheidungsbäume abgelegt. Das Individuum kann somit nur auf unvollkommene Such- und Entscheidungsmöglichkeiten zurückgreifen, die über Daumenregeln abgebildet sind.

Komplexe, neu auftretende Problemsituationen, die nicht im Ganzen im Bewußtsein (Langzeitgedächtnis) repräsentiert sind, können folglich durch das Individuum nicht vollständig bewertet werden; eine Charakterisierung, die insbesondere auf Innovationssituationen zutrifft. Das Individuum bedient sich in diesem Fall einer groben Vorstrukturierung des Problems und arbeitet die Alternativen schrittweise mit Hilfe von Heuristiken ab. Die Granularität dieses Verfahrens wird dabei inhärent von der Problemkomplexität und dem Zeitdruck, dem das Individuum ausgesetzt ist, bestimmt [Witt 1987]. Im nächsten Abschnitt möchten wir uns näher mit den Methoden der Vorstrukturierung der Problemsituationen durch die Individuen befassen.

4.3.2. Eingeschränkte Bildung von Präferenzen

In den Abschnitten 4.1 haben wir den Zusammenhang zwischen Bedürfnissen und Gütern diskutiert⁸. Dieser Zusammenhang wird in der traditionellen Theorie durch das Konzept der Präferenzordnung beschrieben. Das Aufstellen solch einer Präferenzordnung setzt sich aus zwei Teilschritten zusammen (s. Abbildung 4.5): einer Einzelbewertung und dem sich daran anschließenden Ranking aller Alternativen.

Die traditionelle Theorie wendet jetzt einen genialen Trick an. Sie fordert, daß sich die Präferenzordnung aus der Beobachtung der relativen Bevorzugung aller möglichen Güterkombinationen durch die Konsumenten bestimmen läßt. Hat man einen hinreichend große Zahl von Beobachtungen zusammengetragen, so kann eine Häufigkeitsverteilung der gewählten Güterkombinationen aufgestellt werden. Diese Verteilung spiegelt dann den subjektiven Wert der Güterkombinationen wieder, ohne daß man für jedes einzelne Produkt für den Konsumenten die Höhe der Bedürfnisbefriedigungskapazität explizit ermitteln muß, was beliebig schwierig sein kann. Das Konzept der Präferenzordnung ist also ein hilfreiches Konstrukt, das es vermeidet, für jedes Produkt eine kardinale Nutzenfunktion aus der jeweiligen Bedürfnisbefriedigungskapazität zu ermitteln. Einzig die Existenz einer eindeutigen Ordnung ist für die maximierende Kaufentscheidung notwendig. Die Präferenzordnung erlaubt es also, von den Schwierigkeiten der individuellen Nutzenbestimmung zu abstrahieren.

⁸In der Erweiterung der Haushaltstheorie durch Lancaster die wir in Kapitel 4.2 beschrieben haben, besteht dieser Zusammenhang zwischen den Bedürfnissen und den Gütereigenschaften (s. Abbildung 4.2)

Der Präferenzordnung liegt eine bewußte Abwägung von Güteralternativen zugrunde. Jetzt stellt sich aber die Frage, inwieweit man davon sprechen kann, daß auch im Sinne beschränkter Rationalität Präferenzen und eine wohlgestaltete Präferenzordnung existieren? Während im Handlungsmodus der vollständigen Wahlrationalität, die sowohl der traditionellen Theorie als auch den Arbeiten von Lancaster zugrundliegt, dieses sicherlich der Fall ist, legt die Diskussion in Abschnitt 4.3.1 eine genauere Diskussion für den Fall beschränkter Rationalität nahe.

Bestehen Informations- oder Kompetenzbeschränkungen bei den Individuen, so kann das dazu führen, daß die Einzelbewertung der Individuen unvollständig ist. Aufgrund einer Informationsbeschränkung kennen die Individuen vielleicht nicht alle Alternativen oder sie können die Bedürfnisbefriedigungskapazität nur eingeschränkt bestimmen. Kompetenzbeschränkungen hingegen verhindern es, daß die Individuen alle Informationen zu Bewertung aller Alternativen hinzuziehen können. Das Ergebnis ist in beiden Fällen eine unvollständige Einzelbewertung der Güteralternativen, die dann unter Zuhilfenahme einer Maximierungsentscheidung zu einem inkonsistenten Verhalten führen kann.

Die von der traditionellen Theorie genutzte Präferenzordnung nimmt implizit an, daß der einzelne Akteur seine Präferenzen kognitiv kennt, er sich also ihrer bewußt ist und sich bewußt anhand dieser auch entscheidet. Witt bezeichnet diese Form der Präferenzen als explizite Präferenzen [Witt 1989].

Neben dieser Klasse von Präferenzen existiert aber noch eine weitere. In der Realität lernen die Individuen oftmals anhand von Lernprozessen. Erlernen die Individuen aber ihr Verhalten, so ist es nicht mehr länger zwingend erforderlich, daß sie ihre Präferenzen in Bezug auf bestimmte Handlungen vorausszusehen haben. In solchen Fällen sind die Individuen nicht mehr notwendigerweise in der Lage, ihre Präferenzen zu artikulieren. Witt bezeichnet diese Klasse der Präferenzen als implizite Präferenzen [Witt 1989]. Kann das Individuum diese Präferenzen nicht mehr artikulieren, so wird es ihm erschwert, diese in die Einzelbewertung einfließen zu lassen⁹.

Ein weiteres Problem tritt für das Individuum beim Vergleich mehrerer Güter mit komplementären Eigenschaften auf. Diese Eigenschaften können zum Beispiel unterschiedliche Bedürfnisse befriedigen. Wie kann das Individuum diese Güter dann miteinander vergleichen, um daraus eine Rangordnung aufzustellen? Eine Möglichkeit wäre der Rückgriff auf ein kardinales Nutzenkonzept. Das mag als Rückschritt gegenüber dem eleganteren Konzept der Präferenzordnung angesehen werden, die Marketingforschung legt aber nahe, daß

⁹Wir referieren hier die Argumentation von Witt [Witt 1987, Witt 1989], aber es scheint dem Autor zweifelhaft zu sein, inwieweit der Begriff der Präferenzen in eine mehr behaviouristische Handlungsbeschreibung überführt werden kann.

Konsumenten mit Hilfe solch einer “kompensatorischen Entscheidungsregel” genau solch ein Vorgehen wählen [Wilkie 1996]. Die Konsumenten wählen dabei eine Routine, nach der sie die Alternativen eindeutig klassifizieren können, und entscheiden sich dann für die beste Alternative.

Das Konzept der Präferenzordnung scheint im Fall beschränkter Rationalität nur eingeschränkt als Diskriminierungsmechanismus nutzbar zu sein. Das Beispiel aus der Marketingforschung zeigt vielmehr, daß die Konsumenten auf andere Diskriminierungsmechanismen zurückgreifen. Im nächsten Kapitel wollen wir Routinen als solch einen Diskriminierungsmechanismus für die verschiedenen Handlungsalternativen genauer vorstellen.

4.3.3. Andere Arten der Handlungsorientierung: Routinen

Routinen sind im allgemeinen Verhaltensweisen, die sich in der Vergangenheit über einen längeren Zeitraum hinweg als erfolgreich erwiesen haben. Betrachten wir den Innovationskontext, so kann dort aber aufgrund der inhärenten Unsicherheiten erfolgreich immer nur als befriedigend und nicht als optimal verstanden werden (“Satisficing”). Solange diese Routinen aber ein befriedigendes Ergebnis erzielt haben, besteht für den Akteur kein Anreiz abzuweichen, es entsteht somit routinisiertes Verhalten, die Routinen selbst werden stabiler, sie verfestigen sich. Routinen sind also robust in ihrer Anwendung, sie werden nicht bei kleinsten Schwankungen verändert, gleichzeitig sind sie aber auch flexibel, da sie kontextabhängige Veränderungen ermöglichen [Cyert/March 1963]. Diese Veränderungen werden durch die eigenen Erfahrungen und die individuelle Vergangenheit beeinflusst, Routinen sind folglich pfadabhängig und kumulativ.

Routinen können sowohl in Situationen starker Intransparenz als auch solcher hoher Transparenz genutzt werden. Im ersten Fall nutzt ein Konsument zum Beispiel die Routine “Ich kaufe immer das gleich Produkt”, um den Grad der Unsicherheit soweit wie möglich zu verringern. Das allabendliche Zähneputzen ist ein Beispiel für den zweiten Fall, es besteht eine hohe Transparenz über den positiven Nutzen des Zähneputzens, aus diesem Grunde muß der einzelne Akteur nicht mehr über diesen Nutzen reflektieren, er befolgt diese Routine einfach. Beide Möglichkeiten sind bei der Betrachtung des Konsums wichtig, abhängig von dem jeweiligen Produkt treten sie auf.

Das Konzept der Routine ist somit ein Instrumentarium, das die Analyse des Verhaltens von Akteuren beschränkter Rationalität in Situationen echter Unsicherheit bei zufriedenstellender Zielerreichung ermöglicht. Wo tritt routinen-geleitetes Verhalten bei Konsumenten auf? Einerseits nutzen die Konsumenten Routinen für die eigentliche Kaufentscheidung, an-

dererseits gibt es aber auch Routinen, die die Konsumenten für die Diskriminierung der verschiedenen Produktalternativen nutzen.

Betrachten wir zuerst die Entscheidungsrouتين, so finden wir in der Marketing-Literatur eine Reihe von Basisstrategien für das Entscheidungsverhalten von Konsumenten [Wilkie 1996]. Diese Strategien sind als Entscheidungsheuristiken oder “Daumenregeln” bekannt, die Konsumenten im Allgemeinen benutzen, um zu ihrer Kaufentscheidung zu gelangen. Zwei der prominentesten Regeln sind zum Beispiel “Ich kaufe immer das Beste” und “Ich kaufe nur im Sonderangebot”.

Wilkie identifiziert vier grundlegende Entscheidungsregeln für Konsumenten, mit der sie die Kaufentscheidung für ein Produkt mit mehreren, differenzierenden Eigenschaften fällen.

1. Ein Teil der Konsumenten wird die verschiedenen Eigenschaftsausprägungen gewichtet aufsummieren und dann das Produkt mit der höchsten Bewertungssumme wählen (Kompensatorische Entscheidung).
2. Andere Konsumenten hingegen bedienen sich einer sogenannten lexikographischen Entscheidungsregel. Sie wählen anhand des für sie wichtigsten Attributes das Produkt aus. Führt dieses im ersten Schritt nicht zu einer eindeutigen Wahl, so ziehen sie das zweitwichtigste Attribut zur Wahlentscheidung hinzu.
3. Bei der konjunktiven Entscheidung eliminieren die Konsumenten diejenigen Produkte aus dem Satz der Alternativen, die in allen Produktattributen nicht ein Minimalniveau erreichen. Mit dieser Regel stellen die Konsumenten eine Minimalqualität des gewählten Produktes sicher.
4. Bei der disjunktiven Entscheidung hingegen suchen die Konsumenten ein wirklich herausragendes Produkt, indem sie das Produkt mit einer außergewöhnlichen Eigenschaft wählen.

Die beiden letzten Entscheidungsregeln stehen orthogonal zueinander. Die Konsumenten können diese vier Basisroutinen aber nicht nur einzeln nutzen, sondern sie auch in vielfältiger Form miteinander kombinieren. Zum Beispiel kann ein Konsument zuerst die konjunktive Entscheidungsroutine auf eine bestimmte Eigenschaft anwenden, um in Bezug auf diese Eigenschaft ein Minimalniveau sicherzustellen. Anschließend nutzt der Konsument die kompensatorische Regel für die Auswahl auf der Basis der verbliebenen Alternativen.

Neben den Entscheidungsrouتين nutzen die Konsumenten aber auch Routinen, um die verschiedenen Alternativen zu diskriminieren. Ein Beispiel hierfür sind milieuabhängige

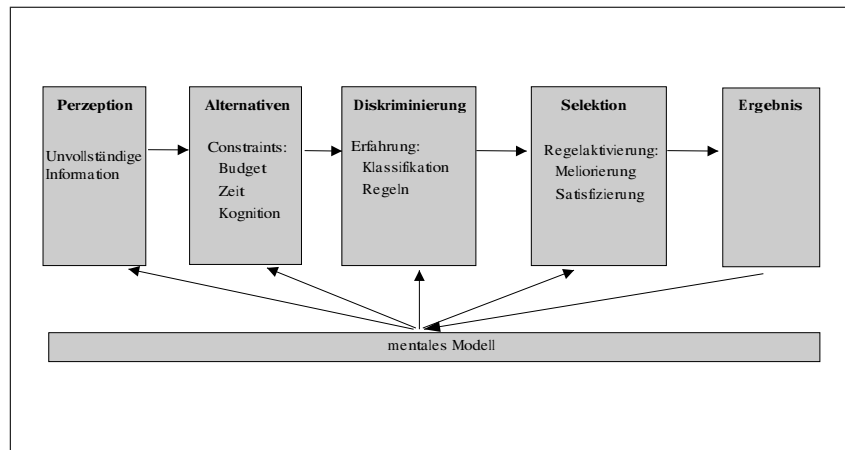


Abbildung 4.6.: Die Abbildung zeigt den Ablauf im Handlungsmodus der Regelrationalität. Quelle: [Beckenbach 2001d].

Konsumptionseffekte [Weise 1993]. Durch die Beobachtung des Kaufverhaltens der anderen Konsumenten gewinnen die verschiedenen Produkte eine positive oder negative Bewertung durch den jeweiligen Konsumenten. Die Orientierung an den anderen Konsumenten gibt dem Konsumenten eine Leitlinie für die Bewertung. In vielen Fällen kann der Konsument auch die einzelnen Produkteigenschaften bei technisch komplizierten Produkten wie Kraftfahrzeugen nicht objektiv bewerten. In diesen Fällen könnte er dann auf Routinen zurückgreifen, die ihm helfen, diese Eigenschaften zu bewerten, z.B. in dem er bei einer Verbraucherzentrale oder bei einem befreundeten Experten nachfragt. Diese milieuabhängigen Konsumptionseffekte stellen also ein häufigkeitsabhängiges Imitationsverhalten von Konsumenten dar.

In der Realität werden diese verschiedenen Routinen sowohl zur Diskriminierung als auch zur Entscheidung nicht in reiner Form auftreten, vielmehr bilden sie die Bausteine für das Kaufverhalten der Konsumenten. Viele Entscheidungen werden dann zum Beispiel mit Mischformen dieser Routinen getroffen.

4.3.4. Schlußevaluation

Nach der Diskriminierung der Alternativen folgt die Handlungsselektion und die Ergebnisbewertung. Im Falle der traditionellen Theorie haben wir gesehen, daß die Selektion anhand einer Maximierungsentscheidung stattfindet und das Ergebnis der Handlung schon vorher durch das Individuum im Zuge der Diskriminierung der Alternativen berechnet wurde.

Im Falle beschränkter Rationalität hingegen kann das Individuum nicht mehr kognitiv die Alternative mit dem maximalen Ergebnis wählen, da es aufgrund seiner Informations- und Kompetenzbeschränkungen nicht mehr notwendigerweise das Maximum bestimmen kann.

Wie wir in Abschnitt 4.3.3 gesehen haben, gibt es aber auch Diskriminierungsroutinen, mit Hilfe derer das Individuum gar nicht das Maximum bestimmt, sondern nur versucht, ein gewisses Qualitätsniveau sicherzustellen. Dieses Verhalten entspricht dem Konzept des “satisficing”, das Simon vorgeschlagen hat [Simon 1955, Simon 1996]. Simon postuliert, daß reale ökonomische Akteure in der Regel “Satisfizierer” sind, die Alternativen akzeptieren, die für sie gut genug sind [Simon 1996]. Die Messung, ob eine Alternative gut genug ist, leitet sich dabei von einem variablen Anspruchsniveau ab. Wenn eine Alternative diesem Anspruchsniveau genügt, wird es von dem Individuum ausgewählt.

Immer dann, wenn es zwischen der Zielrealisierung und dem Anspruchsniveau zu Diskrepanzen kommt, versucht der einzelne Akteur über die Veränderung der Verhaltensweise sein Anspruchsniveau zu befriedigen¹⁰. Das Handlungsergebnis koppelt in diesem Fall wieder zurück zur Handlungsselektion. Diese Rückkopplung kann sich aber nicht nur auf die Wahl der Verhaltensregel auswirken, sie kann auch das Anspruchsniveau selbst verändern. Genügt keine der Alternativen dem Anspruchsniveau des Individuums, so kann das Individuum entweder die Wahlentscheidung verschieben oder aber das eigene Anspruchsniveau herabsetzen. Auf den umgekehrten Fall eines andauernden Überschreitens des eigenen Anspruchsniveaus hingegen kann der einzelne Konsumente mit einer Anhebung reagieren.

Simon weist darauf hin, daß sich dieses Konzept ganz natürlich auf multidimensionale Entscheidungssituationen erweitern läßt, allerdings betont er, daß es keinen einfachen, besser gesagt, trivialen Mechanismus für den Vergleich zwischen einzelnen Dimensionen gibt. Es können natürlich auch Situationen auftreten, in denen es zu Konflikten zwischen den einzelnen Entscheidungsdimensionen kommt.

Multiple Ziele können zum Beispiel im Ansatz von Lancaster bei der Bedürfnisbefriedigung durch eine Mehrzahl von Gütereigenschaften auftreten. Die verschiedenen Gütereigenschaften können unterschiedliche Bedürfnisse befriedigen. Der Benzinverbrauch eines Kraftfahrzeuges befriedigt andere Bedürfnisse (Umweltschutz, Kostenbewußtsein) als die Fahrleistungen. Wie wir im Abschnitt 4.3.3 gesehen haben, existieren aber Diskriminierungs- und Auswahlroutinen von Konsumenten, die diese multiplen Zielfunktionen handhaben und das Prinzip der Satisfizierung anwenden. Bei der Anwendung der konjunktiven Regel legt der Konsument für eine oder mehrere Gütereigenschaften ein Mindestniveau fest, dem die Produkte zu genügen haben. Wenn eine Alternative die jeweiligen Anspruchsniveaus entlang aller Entscheidungsdimensionen erfüllt, kann man davon sprechen, daß es vollständig befriedigt. Endet die Suche hingegen erfolglos, findet sich also keine Alternative, die das Anspruchsniveau befriedigt, so wird in den meisten Fällen die Suche wiederholt. In deren Folge senken die Akteure das individuelle Anspruchsniveau entlang einer oder mehrerer

¹⁰Hier schließt sich wieder der Kreis zu der verhaltenswissenschaftlichen Erklärung beschränkter Rationalität bei Witt [Witt 1987].

Entscheidungsdimensionen solange ab, bis eine befriedigende Alternative gefunden ist. Das Anspruchsniveau kann sich aber auch in die entgegengesetzte Richtung entwickeln. Wenn über einen längeren Zeitraum das eigene Niveau deutlich überschritten wird, kann das Individuum das Anspruchsniveau anheben.

In dem Diagramm 4.6 ist das Ablaufschema für den Handlungsmodus der Regelrationalität, die eine Reihe der vorgestellten Merkmale beschränkter Rationalität aufweist, dargestellt. Das Handlungsergebnis wird im Gegensatz zur vollständigen Wahlrationalität an die verschiedenen Teilschritte über ein mentales Modell zurückgekoppelt, wie z.B. zur Veränderung des Anspruchsniveaus oder zur Änderung einer Diskriminierungsroutine. Die Art und Weise dieser Rückkopplung, die das Lernverhalten des Individuums darstellt, wird durch das mentale Modell des Handlungsmodus bestimmt. Im nächsten Abschnitt wollen wir uns deshalb mit den unterschiedlichen Typen des Lernens im ökonomischen Kontext näher beschäftigen.

4.4. Typen des ökonomischen Lernens

Aufgrund der besonderen Bedeutung des Lernens von Akteuren mit beschränkter Rationalität wollen wir in diesem Abschnitt näher auf das Akteurslernen in ökonomischen Situationen eingehen. Allgemein definiert Brenner als Lernen jegliche kognitiven oder nicht-kognitiven Erfahrungsprozesse, die zu einer direkten oder latenten Änderung des Verhaltens eines Individuums oder zu einer Änderung des kognitiven Musters führt, das zukünftige Lernprozesse beeinflusst [Brenner 1999a].

In der Geschichte der ökonomischen Forschung wurde dem Konzept des Lernens bislang nicht viel Aufmerksamkeit gewidmet. Will man das ökonomische Verhalten von einzelnen Akteuren untersuchen, so bieten sich zwei unterschiedliche Methoden an:

- **normativ:** In der normativen Methodologie, die sich in der Neoklassik begründet, betrachtet man ökonomische Individuen, die alle verfügbaren Informationen objektiv bewerten und darauf basierend die optimale Handlung realisieren. Für diese Individuen reduziert sich der Lernaspekt rein auf die Informationssammlung. Betrachtet man statische Situationen, so muß der ökonomische Akteur die Informationen analysieren und eine Gleichung lösen, im dynamischen Fall tritt für den Akteur noch die Möglichkeit neuer Informationsquellen hinzu.
- **phänomenologisch:** Der alternative Strang der Untersuchung ökonomischen Verhaltens versucht hingegen, empirische und experimentelle Ergebnisse in Theorien oder Mo-

delle zu kondensieren oder bestehende Theorien bzw. Modelle zu bestätigen oder falsifizieren. Hierbei wird mit Hilfe einer dynamischen Betrachtung versucht, die Gründe für Verhaltensänderungen zu analysieren. Diese Verhaltensänderungen betreffen auf der ökonomischen Makroebene institutionelle, soziale oder politische Veränderungen; auf der Mikroebene hingegen betreffen sie die individuellen Verhaltensänderungen. Folglich muß eine dynamisch-phänomenologische Betrachtung auf dem Verständnis der diesen Änderungen zugrundeliegenden Lernprozessen basieren.

Das Ziel des Verstehens und Modellierens von Lernprozessen kann in dem obigen Kontext somit nur die Entwicklung eines Werkzeuges sein, um eine phänomenologische Theorie des ökonomischen Verhaltens auf der Mikroebene zu konzipieren. In der Vergangenheit gab es verschiedene Vorgehensweisen, eine Theorie des ökonomischen Lernens zu entwerfen [Brenner 1999a].

1. **Ableitung eines Modells aus der eigenen Sicht des Lernens:** Ein typisches Beispiel für diese Strategie ist laut Brenner das Bayes'sche Lernen, für das es keine empirische oder experimentelle Rechtfertigung gibt. Diese Einschränkung gilt auch für eine Reihe anderer Modelle, die die Annahme treffen, daß die Individuen nur Informationen sammeln und sich optimal verhalten.
2. **Nutzung psychologischer Modelle des Lernens:** Die Anwendung psychologischer Modelle des Lernens auf ökonomische Fragestellungen erscheint vielversprechend, wobei beachtet werden sollte, daß die Psychologie andere Fragestellungen als die Ökonomie zu beantworten versucht.
3. **Entwicklung einer allgemeinen Theorie des Lernens:** Diese mathematischen Modelle erlauben aufgrund der geringen Einschränkungen die Modellierung nahezu jeder Modelldynamik. In vielen Fällen beruhen diese Modelle auf der Annahme, daß das Lernen der Individuen deren Handeln immer verbessert. Dieses führt einerseits zu einem Konvergieren gegen lokale Optima, andererseits können solche allgemeinen Lernprozesse, wie z.B. die ständige Imitation oder ein Trial-and-Error Prozeß, zu Katastrophen führen.
4. **Durchführung von ökonomischen Experimenten:** Diese Vorgehensweise erscheint vielversprechend, allerdings gibt es bis dato noch kein wohlbegründetes ökonomisches Konzept, das aus deren Ergebnissen entwickelt wurde.
5. **Übernahme von biologischen, mathematischen oder technischen Algorithmen:** Bei den biologischen Algorithmen wird häufig die Vermutung geäußert, daß

hinreichende Ähnlichkeiten zwischen der biologischen und der sozialen Evolution bestehen. Bei mathematischen oder physikalischen Algorithmen hingegen besteht in vielen Fällen die Gefahr mangelnder Validierung im ökonomischen Kontext.

Offensichtlich kann Lernen nicht in allen Situationen mit ein und demselben Modell beschrieben werden, vielmehr gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Modelle, die den unterschiedlichen Situationen angepaßt sind. Es bedarf folglich einer Klassifikation der verschiedenen Lernsituationen, will man die Vielzahl der Lernmodelle ordnen. Diese Klassifikation der Lernsituationen wird durch zwei Faktoren bestimmt, die interdependent sind.

- Den Eigenschaften der jeweiligen Situation.
- Dem individuellen Situationsbewußtsein der ökonomischen Akteure.

Das individuelle Situationsbewußtsein wird einerseits durch die Aufmerksamkeit¹¹, die die Individuen der jeweiligen Situation schenken, bestimmt. Andererseits wird das Bewußtsein aber auch durch das Situationswissen des einzelnen Akteurs bestimmt. Von den Eigenschaften der Handlungssituation hängt die Aufmerksamkeit ab, die die Individuen dieser Handlung entgegenbringen.

Betrachten wir das folgende Beispiel: Von der Vielzahl der Entscheidungen, die ein Mensch pro Tag trifft, werden die meisten unbewußt, d.h. ohne “kognitive Aufmerksamkeit” gefällt [Brenner 1999a]. Dieses “unbewußte” Entscheiden wird dem Einzelnen erst dann bewußt, wenn die gleiche Entscheidung auf einmal in einer veränderten Umgebung stattfindet. Ein Beispiel ist die Überquerung einer Straße. Ein Kontinentaleuropäer ist es gewohnt, an einem Fußgängerüberweg zuerst links und dann rechts zu schauen, bevor er die Straße überquert. Befindet er sich aber in Großbritannien, so gelten diese unterbewußt befolgten Regeln nicht, vielmehr muß der Akteur ganz bewußt zuerst rechts und dann links schauen. Die unbewußte Entscheidung wird jetzt zu einer bewußten Entscheidung.

Warum reflektieren Individuen nicht alle ihre Entscheidungen? Offensichtlich benötigen sie für die kognitive Bewertung von Handlungsmöglichkeiten Zeit und kognitive Kapazität. Beides sind aber für den Menschen knappe Ressourcen [Simon 1978]. Bedenkt man die enorme Vielfalt und Komplexität der Entscheidungen, die die Individuen Tag für Tag zu treffen haben, so muß man der These von Witt folgen [Witt 1987], daß die einzelnen Akteure gar nicht in der Lage sind, alle Entscheidungen bewußt zu fällen. Vielmehr müssen sie ihre

¹¹Unter “Aufmerksamkeit” versteht man, daß die Akteure sich ihrer Entscheidungssituation bewußt sind und dabei aktiv versuchen, das jeweils Beste aus dieser zu machen [Brenner 1999a].

beschränkten kognitiven Kapazitäten und ihr beschränktes Zeitbudget auf die entscheidenden Aufgaben konzentrieren, was zur Konsequenz hat, daß die (wichtigen) Entscheidungen kognitiv, alle anderen aber nicht-kognitiv gefällt werden.

In bekannten Situationen, die sich vielleicht schon oft so oder in ähnlicher Weise wiederholt haben, wird das Individuum überwiegend unbewußt entscheiden. An solchen Situationen wird das Individuum seine beschränkten kognitiven Kapazitäten nicht verschwenden. Diese Kapazitäten verwendet das Individuum vielmehr auf Situationen, in denen es die Anreize dazu hat [Brenner 1999a]: Dieses können zum Beispiel sein:

- **Neue Situationen:** In neuen Situationen, für die die Individuen noch kein routinisiertes Verhalten besitzen, kann willkürliches Entscheiden zu schlechten Ergebnissen führen. Behält man in Großbritannien bei der Straßenüberquerung sein Verhalten, das sich auf Rechtsverkehr gründet, bei, so kann das zu schlechten Ergebnissen für den Einzelnen führen. Dieses wird ein Akteur zu verhindern suchen. Neu ist an diesen Situationen, daß sich diese im Rahmen des kognitiven Verständnisses des Akteurs nicht mit anderen Situationen in Bezug setzen lassen.
- **Unzufriedenheit:** Wenn die Individuen schlechte Ergebnisse aus ihren Handlungen erzielen, werden sie versuchen, ihr Verhalten zu ändern. Sie beginnen komplizierte Situationen zu reflektieren und werden versuchen, die Ergebnisse ihrer Handlungen zu verbessern. Wichtig ist in diesem Fall das oben schon erwähnte Erwartungsniveau, das die Schwelle zur Änderung des Verhaltens bestimmt (s. [Cyert/March 1963]).
- **Persönliche Prioritäten:** In Entscheidungssituationen, die von Individuen aus persönlichen Gründen als wichtig erachtet werden, werden die Akteure kognitiv entscheiden. Beispiele hierfür können Stolz oder ästhetische Ansprüche sein. Die möglichen Ergebnisse sind in solchen Entscheidungssituationen üblicherweise sehr variabel, was wiederum für den einzelnen Akteur ein erhebliches Potential für Verbesserungen birgt. Dieses kann den Ressourceneinsatz in Form von Zeit und kognitiver Kapazität rechtfertigen.

Zwischen “bewußten” und “unbewußten” Entscheidungen gibt es auch Übergänge, d.h. vormals unbewußte Entscheidungen werden zu bewußten Entscheidungen, z.B. bei dem erwähnten Besuch in Großbritannien. Der umgekehrte Vorgang findet aber genauso statt: kognitive Entscheidungen werden bei konstanter Umwelt und wiederholter Ausführung in nicht-kognitive Entscheidungen übergehen. Nach einigen Tagen Übung wird man sich in Großbritannien bei der Straßenüberquerung mehr und mehr an den Linksverkehr gewöhnen.

Treffen Individuen bewußte Entscheidungen, so können unterschiedliche Grade des Situationsverständnisses auftreten, abhängig von den Eigenschaften der Situation und des Individuums. Einerseits können die Akteure vollständiges Situationswissen besitzen, und sie nehmen an, daß die eigene Einschätzung der Situation und die hierzu angestellten Überlegungen den besten Rat darstellen. Sie maximieren ihren jeweiligen entscheidungsrelevanten Erwartungsnutzen; mit anderen Worten, sie optimieren ihr Verhalten anhand ihres Situationsverständnisses. Komplizierter stellt sich die Situation allerdings dar, wenn die Individuen kein vollständiges Situationswissen besitzen. In einem solchen Fall werden sie versuchen, weitere Informationen zu beschaffen und diese für ihre Zwecke auszuwerten. Wodurch wird dieses Verhalten bestimmt?

Wenn Individuen sich wiederholenden Situationen gegenübersehen, in denen sie bewußt die Entscheidung treffen, um das Beste aus dieser Situation zu machen, so werden sie dynamische Regeln benutzen, die bestimmen, wie sie sich zu verhalten und auf die gemachten Erfahrungen zurückzugreifen haben. Diese Regeln bestimmen dann, wie die Informationsbeschaffung und -verarbeitung durchgeführt wird. Diese Regeln selbst basieren auf einem kognitiven Modell, das die Individuen von der Situation besitzen und das kognitive Verständnis des Akteurs für die einzelne Situation darstellt. Ohne solch ein kognitives Modell ist wiederum kein kognitives Lernen möglich.

Der einzelne Akteur kann immer das gleiche kognitive Modell für die auftretende Situation benutzen. Er ist aber auch in der Lage, das Modell im Laufe der Zeit und auf Basis der gemachten Erfahrungen zu modifizieren. Man kann also das kognitive Lernen in zwei Kategorien unterteilen: einerseits Situationen, in denen Akteure unter Nutzung von Regeln lernen, die auf einem fixen kognitiven Modell basieren, andererseits solche Situationen, in denen die Akteure zusätzlich ihre kognitiven Modelle ändern, wenn sie diese als inadäquat ansehen.

Die oben herausgearbeitete Unterscheidung zwischen kognitivem/nicht-kognitivem Lernen und fixen bzw. veränderlichen kognitiven Modellen führt uns zu einer Klassifizierung des ökonomischen Lernens. Insgesamt lassen sich drei Klassen von Lernmodellen identifizieren: Nicht-kognitives Lernen, Routinen-basiertes Lernen und Assoziatives Lernen.

4.4.1. Nicht-Kognitives Lernen

In nicht-kognitiven Lernprozessen sind sich die Individuen nicht des Lernprozesses bewußt. Sie reflektieren die Entscheidungssituation nicht und können sie deshalb auch nicht steuern, vielmehr läuft der Entscheidungsprozeß automatisch ab. Nicht-kognitive Lernprozesse zeichnen sich durch die häufigere Nutzung von in der Vergangenheit erfolgreichem Verhalten aus.

Allerdings führt dieses auch zu einer Kurzsichtigkeit des Lernprozesses. Es werden nur Handlungen ausgeführt, die in der nahen Vergangenheit erfolgreich waren. Weiter zurückliegende “Erfolge” werden schnell vergessen. In temporalen Dilemmasituationen führt dieser Prozeß zu schlechten Ergebnissen [Brenner 1997]. Nicht-kognitive Prozesse sind häufig auch von statistischen Schwankungen begleitet, einerseits durch ein statistisches “Grundrauschen”, hervorgerufen von alten Verhaltensweisen mit nahezu verschwindender Wahrscheinlichkeit, andererseits durch die Neugierde der Individuen. Zwei Prozeßtypen lassen sich auch in der Psychologie leicht identifizieren, klassische und operationale Konditionierung.

Ein prominentes Beispiel für nicht-kognitives Lernen ist das sogenannte “Reinforcement-Learning”¹². Zentraler Aspekt des Reinforcement-Learning ist die Verstärkung der Reiz-Reaktions-Assoziationen des jeweiligen Individuums als Folge der durch das Individuum beobachteten Ergebnisse der eigenen Reaktion. Handlungen mit erfolgreichem Ergebnis werden verstärkt, d.h. die endogene Bewertung dieser Reaktion durch den Akteur steigt an [Brenner 1999a, Brenner 1999b]. Der Akteur wird wie folgt verfahren: er bewertet direkt die Handlungsoptionen in Abhängigkeit von dem Ergebnis, das seine eigenen Handlungen in der Vergangenheit erbracht haben. Diese Bewertungskennziffern für die verschiedenen Optionen aktualisiert der Akteur dann in Abhängigkeit von der jeweils realisierten Auszahlung und der Lernrate, die bestimmt, wie schnell der Akteur vergangene Auszahlungen “vergißt”. Berühmte Beispiele für das Reinforcement-Learning sind die Melioration und der Bush-Mosteller Algorithmus¹³. Einen Überblick über die verschiedenen Formen des Reinforcement-Learning und deren Anwendung gibt Kaelbling [Kaelbling 1996].

Beispiel: Bush-Mosteller Algorithmus Der Bush-Mosteller Algorithmus ist ein prominenter Vertreter des Reinforcement-Learning. Es ist ein mathematisches Lernmodell, das auf psychologischen Erkenntnissen über das Lernen basiert [Bush/Mosteller 1955]. Wir benutzen für die Beschreibung dieses Algorithmus die folgenden Notationen:

$p_i(t)$	:	Bewertungsstärke der Verhaltensweise i in t
$\underline{p}(t)$	:	Vektor der Bewertungsstärken in t
$\mathcal{A}$	:	Menge der Verhaltensweisen
e	:	auftretendes Ereignis
$\mathcal{E}$	:	Menge der möglichen Ereignisse
$\underline{\underline{L}}_e$	:	Matrix der Verhaltensänderungen
$\underline{l}_e$	:	Vektor der Endzustände

¹²Da es sich um einen feststehenden Begriff handelt, behalten wir im weiteren Verlauf der Arbeit die Bezeichnung “Reinforcement-Learning” bei und verzichten auf eine Übersetzung, z.B. “Verstärkungslernen”.

¹³Neben der direkten Anwendung in Lernsituationen kann dieser Algorithmus aber auch Bestandteil komplexerer Lernmodelle sein. Beckenbach [Beckenbach 2001b] verweist zum Beispiel darauf, daß solch ein Verstärkungslernen in dem Klassifizierer-System von Holland [Holland 1992] als Element enthalten ist.

α_e	:	Lerngeschwindigkeit
$\Pi_i(t)$	:	Rückkopplungsstärke der Verhaltensweise i in t

Der Algorithmus fußt auf der Idee, daß man das Verhalten durch einen Bewertungvektor der Verhaltensmuster beschreiben kann; der lautet:

$$\underline{p}(t) = p_i(t)_{i \in \mathcal{A}} \quad (4.5)$$

Dieser Vektor ordnet jeder alternativen Verhaltensweise $i (i \in \mathcal{A})$ zu jedem Zeitpunkt eine Bewertungstärke $p_i(t)$ zu. Die Dynamik des Lernprozesses wird durch den Bewertungsvektor $\underline{p}(t)$ beschrieben, der sich im Laufe der Zeit anhand einer Rückkopplung (“Reinforcement”) verändert. Abhängig von dem auftretenden Ereignis $e (e \in \mathcal{E}$, wobei $\mathcal{E}$ die Menge aller möglichen Ereignisse ist) erhalten einige Verhaltensweisen eine positive Auszahlung, während andere mit einer negativen Auszahlung “bestraft” werden.

Bush und Mosteller haben postuliert, daß die resultierende Änderung des Bewertungsvektors $\underline{p}(t)$ linear ist. Diese Linearität in der Änderung erlaubt es dann, die Änderung des Vektor mit Hilfe der Matrixalgebra zu beschreiben:

$$\underline{p}(t+1) = \underline{\underline{L}}_e * \underline{p}(t) \quad (4.6)$$

Um den Lernprozeß jetzt dynamisch zu beschreiben, muß man nur noch die Matrix $\underline{\underline{L}}_e$, die die Verhaltensänderung repräsentiert, definieren. Definiert man die Lerngeschwindigkeit als α_e und den Vektor der (singulären) Endzustände¹⁴ als $\underline{l}_e$, so läßt sich diese Matrixgleichung umformen in:

$$\underline{\underline{L}}_e * \underline{p}(t) = \alpha_e * \underline{p}(t) + (1 + \alpha_e) \underline{l}_e \quad (4.7)$$

Der Bush-Mosteller Algorithmus ist soweit nur ein rein mathematisches Modell für einen Lernprozeß. Cross [Cross 1973] hat diesen Algorithmus in einen ökonomischen Kontext abgebildet und entsprechend die Parameter definiert. Die Rückkopplung eines Ereignisses wird hierbei mit dem ökonomischen Nutzen, den das Ereignis hervorruft, assoziiert. Im Folgenden werden wir diesen Nutzen im Rahmen des “Reinforcement Learning” als Rückkopplungsstärke $\Pi_i(t)$ bezeichnen. Cross [Cross 1973] leitet auf der Basis dieser Annahmen die

¹⁴Singuläre Endzustände sind die Zustände, gegen die jeweils der Lernprozeß konvergiert, wenn nur ein einzelnes Ereignis durchgehend gewählt wird.

Differenzengleichung ab, die die zeitliche Entwicklung des Vektors der Bewertung der Verhaltensweisen beschreibt, indem er den zuvor nicht näher definierten Parameter α_e als eine Funktion der Rückkopplungsstärke Π definiert [Brenner 1999a]:

$$p_i(t+1) = p_i(t) + \begin{cases} \alpha(\Pi(t)) * (1 - p_i(t)) & \text{wenn } i = i(t) \\ -\alpha(\Pi(t)) * p_i(t) & \text{wenn } i \neq i(t) \end{cases} \quad (4.8)$$

$\alpha(\Pi(t))$ ist eine monoton steigende Funktion der Rückkopplungsstärke. Da gefordert wird, daß die Bewertungsstärken $p_i(t)$ im Intervall $0 \leq \alpha(p_i(t)) \leq 1$ liegen müssen, ergibt sich aus der Gleichung zwingend, daß die $\alpha(\Pi(t))$ auch durch $0 \leq \alpha(\Pi(t)) \leq 1$ begrenzt sein muß [Brenner 1999a]. In den meisten Anwendungen wird $\alpha(\Pi(t))$ dann als lineare Funktion definiert:

$$\alpha(\Pi(t)) = \alpha * \Pi(t) \quad (4.9)$$

Brenner kritisiert an der Formulierung von Cross, daß dieser, im Gegensatz zu der ursprünglichen Version von Bush und Mosteller [Bush/Mosteller 1955], durch die Forderung der Positivität von $\alpha(\Pi(t))$ die "Bestrafung" von Verhaltensweisen, die verlustreich waren, aus dem Algorithmus eliminiert hat [Brenner 1999a] und damit an Allgemeingültigkeit aufgegeben hat.

Um diesen Mangel wieder zu beheben, wurde von einigen Autoren eine Modifikation der Cross'schen Formulierung des Bush-Mosteller Algorithmus vorgeschlagen [Brenner 1997, Börgers & Sarin 1997]. In der Modifikation wird die Rückkopplung der Auszahlung des gewählten Verhaltens (Ereignis) im Falle einer positiven Auszahlung ($\Pi(t) \geq 0$) als positive Rückkopplungsstärke modelliert. Negative Auszahlungen sind jetzt erlaubt ($\Pi(t) < 0$), sie werden als negative Rückkopplung dargestellt. Die Veränderung der Bewertungsstärke $p_i(t)$ für das gewählte Verhalten eines Individuums lautet im Falle einer positiven Auszahlung nun:

$$p_i(t+1) = p_i(t) + \begin{cases} \alpha(\Pi(t)) * (1 - p_i(t)) & \text{wenn } i = i(t) \\ -\alpha(\Pi(t)) * p_i(t) & \text{wenn } i \neq i(t) \end{cases} \quad (4.10)$$

Wenn die Auszahlung für ein Verhalten hingegen negativ ist, so lautet die Differenzengleichung:

$$p_i(t+1) = p_i(t) + \begin{cases} -\alpha(-\Pi(t)) * p_i(t) & \text{wenn } i = i(t) \\ \alpha(-\Pi(t)) * \frac{p_i(t) * p_i(t)}{1 - p_i(t)} & \text{wenn } i \neq i(t) \end{cases} \quad (4.11)$$

Wir werden in unserem Simulationsmodell (s. Kapitel 7) den modifizierten Bush-Mosteller Algorithmus für das Lernverhalten der Konsumenten benutzen. Dabei folgen wir der Formulierung von Brenner [Brenner 1999b, Brenner 1999a], in dem wir die vereinfachte, lineare Auszahlungsfunktion $\alpha(\Pi(t)) = \alpha * \Pi(t)$ benutzen. Zusammengefaßt läßt sich das Differenzgleichungssystem wie folgt beschreiben:

$$p_i(t+1) = p_i(t) + \begin{cases} \alpha * \Pi(t) * (1 - p_i(t)) & \text{wenn } i = i(t) \wedge \Pi(t) \geq 0 \\ \alpha * \Pi(t) * p_i(t) & \text{wenn } i = i(t) \wedge \Pi(t) < 0 \\ -\alpha * \Pi(t) * p_i(t) & \text{wenn } i \neq i(t) \wedge \Pi(t) \geq 0 \\ -\alpha * \Pi(t) * \frac{p_i(t) * p_i(t)}{1 - p_i(t)} & \text{wenn } i \neq i(t) \wedge \Pi(t) < 0 \end{cases} \quad (4.12)$$

Der Bush-Mosteller Algorithmus postuliert, daß die Auszahlung eines gewählten Verhaltens eine Wirkung auf die Bewertungsstärke für die Wahl der individuellen Verhalten immer nur in der aktuellen Periode für die Folgeperiode ausübt. Das Individuum erinnert sich nur indirekt über die aufsummierte Bewertungsstärke an vorhergehende Verhaltensweisen und deren Auszahlung; die Ereignisse und Ergebnisse der Handlungen sind implizit im Vektor der Bewertungsstärken enthalten [Brenner 1999a]. Diese Form des Reinforcement-Learning wird auf einfache Lernsituationen verwendet, bei denen nur zwischen verschiedenen Alternativen gewählt wird. Im Fall der Betrachtung von Konsumenten wird die Auszahlungsfunktion die Bedürfnisbefriedigungskapazität der Alternativen repräsentieren. Einige Autoren versuchen, das einfache Reinforcement-Learning zu erweitern, indem sie zum Beispiel multiple Ziele zulassen [Shelton 2001] oder mehrere Lernalgorithmen zu einem interagierenden Netzwerk kombinieren [Shelton 2001]. Einen Überblick über den Stand der Forschung in Bezug auf des Reinforcement-Learning gibt der Artikel von Kaelbling und Moore [Kaelbling 1996].

4.4.2. Routinen-basiertes Lernen

Mit Routinen-basiertes Lernen bezeichnen wir die Unterform des kognitiven Lernens, bei der der Akteur zwischen zwei oder mehreren festen Verhaltensregeln bewußt wählt, um seine Leistung in der Entscheidungssituation zu verbessern. Auf der Basis seines situativen Verständnisses (kognitives Modell) entwickelt das Individuum Verhaltensregeln, die es entsprechend des Erfolges der jeweiligen Regel anwendet. Diese Regeln können sowohl allgemeingültig als auch sehr speziell auf eine Situation zugeschnitten sein. Man spricht von routinengeleitetem Lernen, wenn die Regeln selbst fix sind und die Individuen diesen Regeln nach deren Aktivierung nahezu mechanisch folgen. Ein Beispiel für solch ein routinengeleitetes Lernen ist die observationale Imitation, bei der die Individuen ihre Mitstreiter beobachten und die erfolgreichste Strategie imitieren. Mittels der angewandten Regel versuchen

die Individuen das Ergebnis ihrer Handlungen zu verbessern. Es handelt sich dabei nicht um optimierendes Verhalten, da z.B. die Menge der vorhandenen Regeln nicht der Situation angepaßt ist und damit die Regeln nicht erfolgreich angewandt werden können. Ein anderes Beispiel für solch ein Lernmodell ist ein Algorithmus, der von Arthur vorgeschlagen wurde [Arthur 1993a]. Hierbei handelt es sich um ein Klassifizierersystem [Holland 1992], bei dem jede einzelne Verhaltensweise ein komplexes Geflecht von Routinen beinhalten kann. Diesen Algorithmus werden wir für die Modellierung der Strategiewahl der Produzenten in unserem Simulationsmodell verwenden (s. Abschnitt 7.2.6).

Beispiel: Der Lernalgorithmus von Arthur In dem Modell, das Nelson und Winter vorgestellt haben, befolgen die Produzenten eine Verhaltensregel, die abhängig von den Umfeldbedingungen und dem akteurseigenen Zustand die Handlungen der nächsten Simulationsrunde exakt festlegt. In dem von uns weiter unten vorgestellten Modell für den Diffusionsprozeß müssen die Produzenten hingegen in jedem Simulationsschritt zwischen mehreren, diskreten Handlungsalternativen wählen. Für die jeweilige Situation liegt ein bestimmtes situatives Verständnis in der Form von Wissen vor (s. Abschnitt 5.3). Das Ergebnis einer in der Vorperiode ausgewählten Handlung geht dann in die aktuelle Auswahlentscheidung mit ein. Dieses Ergebnis der Handlung ist den Akteuren nicht im vorhinein bekannt, es wird von dem interdependenten Netzwerk der anderen Akteure, sowohl der Konsumenten als auch der Produzenten, bestimmt. Beispiele für diese Verhaltensregeln sind bei den Produzenten unterschiedliche Investitions- oder Preissetzungsroutinen. Die Konsequenzen dieser Entscheidung sind im Augenblick der Wahl nicht oder nur teilweise bekannt, in der Regel unterscheiden sie sich von “Versuch” zu “Versuch”. Der einzelne Akteur wird die Konsequenzen aus der Anwendung der Routine ziehen und die Auswahl der entsprechenden Routine für die nächste Periode von den vorherigen Ergebnissen ableiten. Der Akteur versucht aus den Konsequenzen seines Handelns zu lernen. Wir betrachten diesen Lernprozeß im Zuge dieser iterierten Wahl zwischen Alternativen als ein ständiges Aktualisieren der Wahlwahrscheinlichkeit der einzelnen Alternativen auf der Basis der erzielten Ergebnisse. In der Literatur werden solche Lernprozesse auch als stochastisches Lernen bezeichnet.

Betrachten wir jetzt im Detail den Algorithmus, mit dem wir das stochastische Lernen der Akteure beschreiben wollen. Für diese Modellierung nutzen wir einen Algorithmus für ein einfaches Klassifizierersystem, der von Arthur [Arthur 1993a] vorgeschlagen wurde, um das Verhalten menschlicher Akteure zu beschreiben. Der einzelne Akteur besitzt eine Menge von N unterschiedlichen Verhaltensregeln, zwischen denen er zu jedem diskreten Zeitschritt eine auswählt. Auf der Basis der bisherigen Auszahlungen, die er für die einzelnen Verhaltensregeln ermittelt hat, aktualisiert er die Wahlwahrscheinlichkeit für die jeweilige Regel. Die zukünftige Auszahlung ist dem Akteur zum Zeitpunkt der Wahlentscheidung unbekannt und ergibt sich aus dem marktwirtschaftlichen Prozeß, der sich aus den Handlungen aller

Akteure speist. Es gelten die folgenden Notationen:

$\varphi_i(t)$	:	Auszahlung für den Produzenten i in t
$\underline{\varphi}(t)$	:	Vektor der Auszahlungen
$\Phi(t)$	:	Komponentensumme der Auszahlungen
$S_i(t)$	:	Bewertungsstärke der Routine i
$\underline{S}(t)$	:	Vektor der Bewertungsstärken
$C(t)$	:	Komponentensumme des Vektors der Bewertungsstärken
$p_i(t)$	:	Wahlwahrscheinlichkeit der Routine i
$\underline{p}(t)$	:	Vektor der Wahlwahrscheinlichkeiten
N	:	Anzahl der Verhaltensregeln
A	:	Lerngeschwindigkeit
ν	:	“Annealing-Faktor”

Wir assoziieren einen N-dimensionalen Vektor von Bewertungstärken mit den N Verhaltensregeln, die dem Akteur zur Auswahl stehen.

$$\underline{S}(t) = \{S_1, S_2, \dots, S_N\} \quad (4.13)$$

Die Summe des Vektors der Bewertungsstärken bezeichnen wir als Komponentensumme.

$$C(t) = \sum_{i=1}^N S_i(t) \quad (4.14)$$

Wir beschreiben die Wahlwahrscheinlichkeiten der Verhaltensregeln zum Zeitpunkt i als Vektor.

$$\underline{p}(t) = \left\{ \frac{S_1(t)}{C(t)}, \frac{S_2(t)}{C(t)}, \dots, \frac{S_N(t)}{C(t)} \right\} \quad (4.15)$$

In jeder Zeitperiode führen die Akteure die folgenden Schritte des Algorithmus aus:

1. Der Akteur berechnet den Vektor der eigenen Wahlwahrscheinlichkeiten der Verhaltensregeln.

$$p_i(t) = \frac{S_i(t)}{C_i(t)} \quad (4.16)$$

2. Der Akteur wählt eine der Alternativen gemäß der Wahrscheinlichkeit $p_i(t)$ mit Hilfe eines gewichteten Würfels aus und führt diese Strategie aus.
3. Der Akteur ermittelt das Ergebnis der ausgewählten Handlung $\varphi_i(t)$ und aktualisiert den Vektor der Bewertungsstärken, indem er das Ergebnis $\varphi_i(t)$ zu der bisherigen Bewertung hinzuaddiert. Für den Fall, daß Verhaltensregel i gewählt wurde, gilt:

$$S_i(t+1) = S_i(t) + \varphi_i(t) \quad (4.17)$$

4. Abschließend wird der Vektor der Bewertungsstärken mittels einer Renormalisierungs-Sequenz normalisiert, sodaß für die Komponentensumme $C(t)$ gilt:

$$C(t+1) = A * t^\nu \quad (4.18)$$

Die Konstante A variiert hierbei die Geschwindigkeit des Lernalgorithmus, während die Konstante ν einen sogenannten “annealing”-Faktor im Lernprozeß beschreibt [Arthur 1993a].

Wir wollen die Dynamik dieses Algorithmus noch etwas detaillierter untersuchen¹⁵. Wir erweitern die Gleichung 4.17:

$$S_i(t+1) = \frac{C(t+1)}{C(t+1)} * (S_i(t) + \varphi_i(t)) \quad (4.19)$$

Die Linearität der Gleichung 4.17 erlaubt zusammen mit der Gleichung 4.14 die Zerlegung der Komponentensumme:

$$\begin{aligned} C(t+1) &= \sum_{i=1}^N S_i(t+1) \\ \Leftrightarrow C(t+1) &= \sum_{i=1}^N (S_i(t) + \varphi_i(t)) \\ \Leftrightarrow C(t+1) &= C(t) + \Phi(t) \quad \text{mit} \quad \Phi(t) = \sum_{i=1}^N \phi_i(t) \end{aligned} \quad (4.20)$$

Setzt man diese Gleichung 4.20 in die Gleichung 4.19 ein, so erhält man:

$$S_i(t+1) = \frac{C(t+1)}{C(t) + \Phi(t)} * (S_i(t) + \varphi_i(t)) \quad (4.21)$$

¹⁵Eine ausführliche Diskussion findet sich sowohl in dem Artikel von Arthur [Arthur 1993a] als auch bei Beckenbach [Beckenbach 2001c, Beckenbach 2001b].

Unter Berücksichtigung von Gleichung 4.16 erhalten wir die Veränderung des Vektors der Wahrscheinlichkeit, eine Handlungsalternative zu wählen:

$$\begin{aligned}\underline{p}(t+1) &= \underline{p}(t) + g(t) * (\underline{\varphi}(t) - \Phi(t) * \underline{p}(t)) \text{ mit} \\ g(t) &= (C(t) + \Phi(t))^{-1}\end{aligned}\tag{4.22}$$

Definiert man eine Funktion $f(\underline{p})$ als eine Vektorfunktion, so wird bei gegebenem $\underline{p}$ die bedingte Erwartung (E) einer Veränderung der Stärkemeßzahlen ausgedrückt (“expected motion” [Arthur 1993a]):

$$f(\underline{p}) = E[\underline{\varphi}(\underline{p} - \Phi \underline{p} | \underline{p})]\tag{4.23}$$

Definiert man zusätzlich eine Zufallsfunktion mit:

$$z(\underline{p}(t)) = \underline{\varphi}(t) - \Phi(t)\underline{p}(t) - f(\underline{p}(t))\tag{4.24}$$

so kann man die Gleichung 4.22 wie folgt schreiben:

$$\underline{p}(t+1) = \underline{p}(t) + g(t)f(\underline{p}(t)) + g(t)z(\underline{p}(t))\tag{4.25}$$

Schreibt man für die erwartete Auszahlung (Erwartungswert) einer Alternative j die Funktion $pf_E(j)$, dann läßt sich die j -te Komponenten von $f(\underline{p})$ schreiben als:

$$p_j \left[pf_{E(j)} - \sum_{i=1}^N pf_{E(i)} p_i \right]\tag{4.26}$$

Damit läßt sich die Gleichung 4.22 umschreiben:

$$\frac{p_i(t+1) - p_i(t)}{p_i(t)} = g_t \left[pf_{E(j)} - \sum_{i=1}^N pf_{E(i)} p_i(t) + z_j(t) \right]\tag{4.27}$$

Damit haben wir zwei unterschiedliche Repräsentationen der Dynamik, d.h. des Übergangslernverhaltens (“transient learning behaviour”) dieses Algorithmus abgeleitet. Die Gleichung 4.22 beschreibt, daß der Wahrscheinlichkeitsvektor in jedem Zeitschritt durch die erwartete Auszahlung pf_E und einen Störterm $z_j(t)$ verändert wird. In der Formulierung

von Gleichung 4.22 zeigt die Differenzengleichung die Form einer “stochastischen Approximation” mit einem Zustandsvektor $\underline{p}(t)$, einer “driving function” f und einem Zufallsvektor $\underline{g}$, der die Schrittweite des Algorithmus bestimmt.

Die Formulierung aus Gleichung 4.27 beschreibt die Änderung des Wahrscheinlichkeitsvektors $\underline{p}$ durch die Differenz aus dem erwarteten Auszahlungswert und dem gewichteten Erwartungswert der Auszahlungen aller Handlungsalternativen, überlagert mit einem zusätzlichen Störterm. Die Differenzengleichung beschreibt jetzt ein “replicator system with noise” [Arthur 1993a].

Die Schrittweite des Algorithmus, beschrieben durch g , ist in beiden Fällen durch den Term $(C(t) + \Phi(t))^{-1}$ beschrieben; diese Schrittweite ist stochastisch und besitzt die Ordnung $O(t^{-\nu})$. Die Lerngeschwindigkeit steigt somit sowohl mit einer größeren Schrittweite als auch mit einer größeren Divergenz in den erwarteten Auszahlungen an.

Je nachdem in welchem Kontext man diesen Lernalgorithmus nutzt, muß er an die spezielle Modellsituation angepaßt werden. Zu Beginn muß man die verschiedenen Handlungsalternativen, die den Akteuren zur Verfügung stehen, identifizieren. Aus deren Gesamtheit bestimmt man dann den Vektor der Bewertungsstärken. Eine Handlungsalternative kann beliebig kompliziert sein. Weiter unten werden wir bei der Modellbeschreibung für die Produzenten diese Verhaltensregeln im Detail für unser Modell beschreiben. Neben den Handlungsalternativen muß man die Auszahlungsfunktion festlegen.

4.4.3. Assoziatives Lernen

Assoziatives Lernen gehört wie das routinen-geleitete Lernen zu den kognitiven Lernprozessen. Im Gegensatz dazu kann das Individuum sein kognitives Modell der Entscheidungssituation und damit seine Verhaltens- oder Lernregeln ändern. Assoziatives Lernen ermöglicht es dem Individuum, Assoziationen aufzubauen oder zu ändern und Beziehungen, Kausalitäten und wechselseitige Abhängigkeiten zu verstehen, was sich in dem kognitiven Modell widerspiegelt. Die einzelnen kognitiven Modelle stellen wiederum das individuelle (subjektive) Bild der Welt dar. Mittels assoziativem Lernen kann dieses Weltbild durch das Individuum verändert werden, wobei die einzelnen “Teil”-Weltbilder, die eine bestimmte Entscheidungssituation abbilden, das Gesamtbild konstituieren. Neue oder veränderte Teilmodelle müssen in dieses Gesamtbild mehr oder weniger passend eingeordnet werden. Da dieses zeitaufwendig ist, muß das Individuum entscheiden, welche Aspekte es in dieses Bild einordnen will. Diese Entscheidung wird durch zwei Faktoren beeinflusst: das Interesse des Individuums an der Entscheidung und der Grad der Übereinstimmung mit dem bisherigen Bild. Assoziatives Lernen, obwohl noch wenig in der ökonomischen Literatur berücksichtigt, ist wichtig für

die Individuen, da es ihnen erlaubt, Kausalzusammenhänge zu deuten, Beziehungen zu entdecken und strategisch zu denken. Die Individuen können in ihrem Rahmen Begründungen und Einflüsse auf Zusammenhänge entdecken, was es ihnen erlaubt, ihre Lernroutinen zu formulieren [Brenner 1999a].

In der Literatur lassen sich bislang keine gesicherten Modelle für assoziatives Lernen in ökonomischen Zusammenhängen finden. Zwar versucht man mit Hilfe von Neuronalen Netzen [Troitzsch 1996], assoziatives Lernen zu untersuchen, bislang aber ohne großen Erfolg.

4.5. Soziale Milieus und Kaufentscheidungen

In reifen Konsumgesellschaften beeinflußt immer mehr die soziokulturelle Identität des Konsumenten die Wahl von Marken, Produkten oder Dienstleistungen [Sozialordnung 1997]. Die Sozialwissenschaften haben in den 70er Jahren ein Segmentierungssystem auf der Basis des Konzeptes der sozialen Milieus entwickelt. Ziel dieser Segmentierung ist die Identifizierung einer Struktur der soziokulturellen Identität und - daraus entwickelt - eine Beschreibung der Konsummotive und des Konsumverhaltens der Verbraucher. Soziale Milieus beschreiben Menschen mit jeweils vergleichbaren Einstellungen und Lebensorientierungen. Sie fassen soziale Gruppen zusammen, deren Wertorientierungen, Lebensziele, Identitätsbindungen und Konsumverhalten ähnlich sind. Soziale Milieus formen kollektive, politische Akteure und soziale Bewegungen, wie Hradil die Bedeutung von Sozialen Milieus zusammenfaßt [Hradil 1997]. Sie stellen dabei vergleichsweise stabile, wenn auch veränderbare Strukturen dar, deren Grenzen allerdings fließend sind und die sich nicht exakt voneinander abgrenzen lassen¹⁶.

Im Sinne der beschränkten Rationalität stellen soziale Milieus einen Diskriminierungsmechanismus dar. Der einzelne Konsument nutzt die Kaufentscheidung der anderen Konsumenten, sowohl innerhalb als auch außerhalb seines eigenen Milieus, für die eigene Informationsverarbeitung. Diese Kaufentscheidungen erlauben es ihm zum Beispiel, auf die Beschaffung weiterer Informationen zu verzichten. Vielmehr zeigt er ein klassifikatorisches Verhalten (s. Kapitel 4.3), er wendet eine Verhaltensregel an, z.B. "kaufe das gleiche Produkt wie Dein Nachbar", die vielleicht schon früher erfolgreich gewesen ist.

¹⁶Andere Autoren bezeichnen diese soziokulturellen Identitäten auch als Lebensstile [Gillwald 1995]

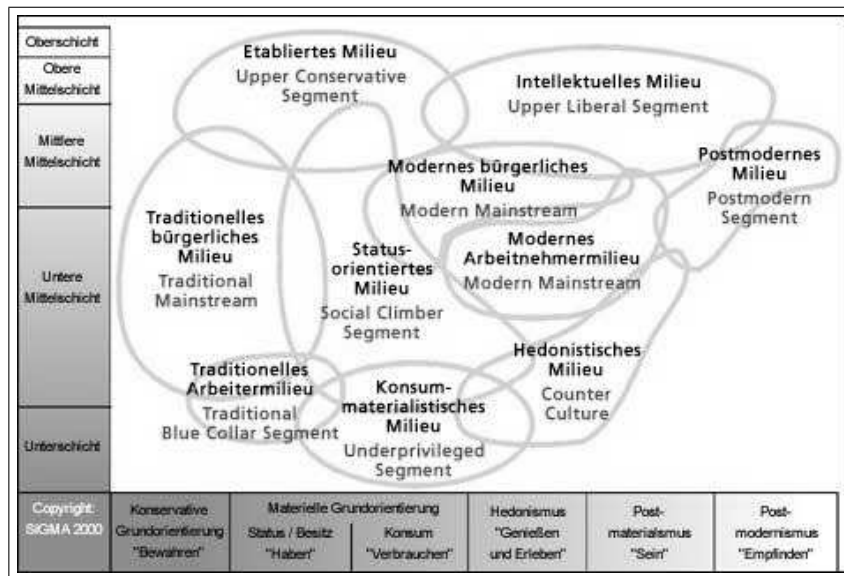


Abbildung 4.7.: Dieses Bild zeigt die verschiedenen Milieus in Deutschland. Die Abbildung zeigt die Diskriminierung der deutschen Gesellschaft nach den beiden Kriterien Schichtzugehörigkeit und Wertorientierung. Quelle: [Sozialordnung 1997].

4.5.1. Soziale Milieus in Deutschland

Das Sigma-Institut [Sozialordnung 1997] identifiziert für die Bundesrepublik insgesamt 10 verschiedene Soziale Milieus. Die Abbildung 4.7 gibt einen Überblick über diese Milieus; darin werden die Milieus einerseits nach der Schichtzugehörigkeit, andererseits nach der Wertorientierung eingeteilt. Im Einzelnen werden von SIGMA die folgenden Sozialen Milieus identifiziert [Sozialordnung 1997]:

- **Etabliertes Milieu:** Das Etablierte Milieu repräsentiert ungefähr 10% der Bevölkerung in Deutschland, es ist das konservativ orientierte Elite-Milieu mit traditioneller Lebensführung. Die meisten Angehörigen des Etablierten Milieus verfügen über eine überdurchschnittlich hohe Formalbildung. Im Vordergrund der Wertorientierungen stehen traditionelle Werte und eine meritokratische Lebensphilosophie: beruflicher und materieller Erfolg durch Leistung, Zielstrebigkeit und - wo nötig - Härte. Wichtig sind ein distinguierter Lebensstil, gute Umgangsformen, Understatement und Diskretion.
- **Traditionelles bürgerliches Milieu:** Das traditionell bürgerliche Milieu stellt heute rund 14% der Gesamtbevölkerung (im Gegensatz zu 30% noch vor 20 Jahren) mit niedriger bis mittlerer Formalbildung und klassischen Ausbildungsberufen (Facharbeiter, kleine und mittlere Beamte finden sich hier am häufigsten). Geregelte familiäre

und finanzielle Verhältnisse, die traditionellen (deutschen) Tugenden (Pflichterfüllung, Verlässlichkeit, Ordnung und Anstand, bleibende Werte schaffen, materielle Sicherheit, kurz: ein geordneter, bürgerlicher Lebensrahmen, den es zu bewahren gilt) stehen im Mittelpunkt der Wertorientierungen. Das Sicherheitsbedürfnis in allen Lebenslagen ist im Traditionellen bürgerliche Milieu besonders stark ausgeprägt.

- **Traditionelles Arbeitermilieu:** Das traditionelle Arbeitermilieu steht in einer ausgeprägten Verwandtschaft zum traditionell bürgerlichen Milieu und besitzt einen Anteil von 6% an der Gesamtbevölkerung. Typisch für dieses Milieu ist ein Volksschul- bzw. Hauptschulabschluß mit abgeschlossener Berufsausbildung bzw. Hausfrauentätigkeit. Hier ist der Facharbeiteranteil am höchsten im Milieuvergleich. Ein befriedigender Lebensstandard, ein gutes Auskommen, soziale und materielle Absicherung (sicherer Arbeitsplatz, gesicherte Altersversorgung) stehen ebenso im Mittelpunkt der Wertorientierungen und Lebensziele wie die “klassischen” Solidarwerte der gewerkschaftlich geprägten Arbeiterkultur des Industriezeitalters, Solidarität, soziale Integration, anerkannt sein bei Freunden, Kollegen und Nachbarn.
- **Status-orientiertes Milieu:** Das Status-orientierte Milieu, man kann es auch “Aufstiegsorientiertes Milieu” nennen, umfaßt jene Personen, die die wirtschaftliche Dynamik des Landes unter allen Umständen für den persönlichen finanziellen und sozialen Aufstieg nutzen wollen. Das Erreichen des Lebensstandards “gehobener Schichten” gilt den meisten Milieuangehörigen als Maßstab des persönlichen Erfolges. Andere Lebensansprüche treten zumeist hinter dieses primäre Ziel zurück. Prestige, Luxuskonsum und die Zugehörigkeit zur Welt der “Reichen und Schönen” stellen zentrale Werte dar. Mit etwa 16% ist dieses Milieu die zahlenmäßig bedeutendste Lebenswelt in Deutschland.
- **Konsum-materialistisches Milieu:** Dieses Milieu, das auch als traditionsloses Arbeitermilieu bezeichnet wird, ist mit 11% eines der zahlenmäßig stärksten Milieus in Deutschland. Man kann es als das Milieu der wirtschaftlich und sozial Randständigen mit vergleichsweise geringen Chancen am Arbeitsmarkt nachindustrieller Gesellschaften bezeichnen. Die Formalbildung ist in dieser Gruppe zumeist gering. Geld und Konsum spielen in diesem Milieu naturgemäß eine entscheidende Rolle. Entsprechend stark ausgeprägt ist die konsum-materialistische und konsum-hedonistische Grundorientierung.
- **Moderne bürgerliche Milieu:** Das Moderne bürgerliche Milieu kann als moderne Metamorphose des eher konservativen Traditionellen bürgerlichen Milieus bezeichnet werden. Für dieses Milieu besitzen eine ausgesprochen harmonieorientierte Lebenswelt, Innerlichkeitswerte und soziale Beziehungen einen hohen Stellenwert. Man strebt ein

harmonisches, angenehmes, behütetes Leben an, ohne Risiken und Extreme. Die innere Zufriedenheit, und nicht so sehr der äußere materielle Erfolg, gelten als Maßstab des Erreichten; dieses Sicherheitsdenken umfaßt daher materielles wie auch sozial und emotionales Wohlergehen. Es besitzt einen Anteil von 8% an der Gesamtbevölkerung.

- **Modernes Arbeitermilieu:** Zusammen mit dem Modernen bürgerlichen Milieu bildet das Moderne Arbeitermilieu die Moderne Mitte des Landes. “Moderne Arbeitnehmer” verfügen in der Regel über mittlere bis höhere Formalbildung. Vorrangiges Lebensziel ist für fast alle Milieugehörigen ein selbstbestimmtes, möglichst angenehmes und harmonisches Leben, Selbstverwirklichung ohne materiellen Verzicht. Dazu gehört eine Arbeit, die Spaß macht, die sinnvoll ist und angemessen bezahlt wird. Damit kann man sich leisten, was einem gefällt, man besitzt genügend Freizeit, um Spaß zu haben, aber auch um sich zurückzuziehen und zu erholen. Auch dieses Milieu besitzt einen Anteil von ungefähr 8% an der Gesamtbevölkerung.
- **Hedonistisches Milieu:** Das Hedonistische Milieu ist ein jugendkulturelles Milieu mit Altersschwerpunkt bis zu etwa 30 Jahren, das ca. 11% der Bevölkerung ausmacht. Eskapismus und Stilprotest gelten als Wege zur Identität. Freiheit, Ungebundenheit und Spontaneität (sich von niemandem etwas vorschreiben lassen) sind zentrale Werte. Man möchte das Leben genießen, intensiv leben und nach Möglichkeit aus den Zwängen des Alltags ausbrechen. Normen, Konventionen und Verhaltenserwartungen der Gesellschaft werden - teilweise aggressiv - zurückgewiesen. Die alternative, teilweise postmaterialistisch gefärbte Lebensphilosophie der “frühen Jahre” des Milieus ist heute aber einer recht unverkrampften Konsumbegeisterung gewichen.
- **Intellektuelles Milieu:** In diesem Milieu finden sich überdurchschnittlich viele Menschen mit hoher bis höchster Formalbildung, hier werden häufig “grüne”, im engeren Sinne postmaterialistische Überzeugungen und Lebensphilosophien gepflegt. Persönliche Selbstentfaltung und sinnstiftende Identität in Beruf und Freizeit bilden wichtige Lebensziele, ebenso ein verantwortungsbewußter Umgang mit sich und der Welt, soziale Gerechtigkeit, sowie ökologische und politische Korrektheit. Dieses Milieu besitzt einen Bevölkerungsanteil von ungefähr 10%.
- **Postmodernes Milieu:** Das Postmoderne Milieu ist ein junges, formal zumeist hochgebildetes Avantgarde-Milieu mit Schwerpunkt in den großen Metropolen, das ca. 6% der Gesamtbevölkerung auf sich vereint. Mit avantgardistischem Selbstbewußtsein scheinen die Angehörigen dieses Milieus in der Tat von den großen Sinnentwürfen der Moderne Abschied genommen zu haben, um ihre gesamte physische und soziale Umwelt aus der Sicht der Bedürfnisse des Selbst zu interpretieren. Multiple Identitäten gehören dabei ebenso zum Konstruktionsschema wie die beständige Wandelbarkeit

und Reversibilität der meisten seiner Einzelemente. Widersprüche in den eigenen Lebensentwürfen werden toleriert, ja lebensphilosophisch und alltagsästhetisch gepflegt. Man liebt es, mit unterschiedlichen Lebensstilen zu experimentieren, in verschiedenartigen Szenen, Welten und Kulturen zu leben.

Wie aus den Beschreibungen der einzelnen Milieus erkennbar ist, unterscheiden sich die Präferenzen für bestimmte Werte, aber auch für Produkte bzw. Produkteigenschaften zwischen den Milieus zum Teil deutlich. Innerhalb der Milieus sind die Unterschiede weitaus weniger ausgeprägt, vielmehr konstituieren die einzelnen Milieus geschlossene Präferenzmuster [Sozialordnung 1997]. Die Heterogenität der Konsumenten in Bezug auf ihre Präferenzen ist also nicht zufällig über die gesamte Population verteilt, vielmehr bilden sich Cluster ähnlicher Präferenzen, die sich entlang der sozialen Milieus identifizieren lassen.

In einer gemeinsamen Studie haben das Sigma-Institut und der Allgemeine Deutsche Automobilclub (ADAC) [Sigma 1999] untersucht, welche Fahrzeughersteller in der Bundesrepublik von den Mitgliedern der verschiedenen Milieus bevorzugt gekauft werden. Das Ziel der Studie war es herauszufinden, ob beobachtbare Veränderungen in der Zusammensetzung der Milieustruktur Aufschluß über die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit der verschiedenen Produzenten geben kann. Von besonderem Interesse sind dabei für die deutschen Fahrzeughersteller die kaufkräftigen Milieus der Gesellschaft. Die Autoren konnten im Zuge der Untersuchung eine deutliche Zielgruppenbindung der Fahrzeughersteller feststellen. Allerdings haben die Autoren das Thema Ökologie und Fahrzeugkauf nicht weiter detailliert.

4.5.2. Milieuabhängige Konsumtionseffekte

Neben der Bedeutung der sozialen Milieus für die Präferenzen der Konsumenten gegenüber den Produkteigenschaften der Alternativgüter erwächst der Identifizierung einer Milieubildung auch noch ein zweiter wichtiger Aspekt für eine dynamische Analyse des Konsumentenverhaltens vor dem Hintergrund der Diffusion von neuen Produkten. Das Konsumentenverhalten verändert sich im Laufe der Zeit nicht nur aufgrund des eigenen, vorangegangenen Konsumverhaltens und der dabei gemachten Erfahrungen, auch das Kaufverhalten der anderen Konsumenten beeinflusst die eigene Kaufentscheidung [Cowan 1998, Weise 1993]. Die Wahrnehmung, daß das Verhalten der Konsumenten von dem der anderen Konsumenten abhängt, fand schon sehr früh Einzug in die ökonomische Literatur.

Während Adam Smith die öffentliche Zurschaustellung des eigenen Reichtums hervorhebt [Smith 1999], findet sich bei Marshall die Idee der auffälligen ("conspicuous") Qualität von Produkten; er bemerkte, daß mit jedem Schritt des persönlichen Aufstiegs die Menschen nicht nur größere Mengen, sondern auch bessere Qualitäten eines Gutes verlangen.

Darüberhinaus identifizierte er den Wunsch der Konsumenten nach Distinktion von den anderen Konsumenten [Marshall 1920]. Veblen letztendlich war der erste, der eine Theorie des “auffälligen” Konsums entwickelte [Veblen 1899]. Konsum befriedigt laut Veblen nicht mehr nur Bedürfnisse, sondern dient auch dem Erwecken eines bestimmten Eindrucks. Die Geschmäcker, die solch einem Konsumverhalten zugrunde liegen, hängen dann notwendigerweise vom Konsum der anderen Teilnehmer ab: sowohl von der Zustimmung der eigenen Gruppe als auch offensichtlich durch den Wunsch nach Unterscheidung von normalen Leuten. Duesenberry wiederum beobachtete, daß Familien im Falle eines sinkenden Einkommens ihre Ersparnisse angreifen, nur um das gewohnte Konsumniveau aufrecht zu erhalten [Duesenberry 1950].

Cowan et.al. [Cowan 1998] kritisieren, daß es zwar eine Reihe empirischer Hinweise auf die Konsuminterdependenzen gibt, eine theoretische Aufarbeitung ist aber bisher noch nicht vorhanden. In ihrer Arbeit diskutieren sie drei unterschiedliche Konsuminterdependenzen, deren Eigenheiten und Auftreten sie an einigen Beispielen illustrieren [Cowan 1998].

Die Konsuminterdependenzen treten zum Beispiel auf dem Markt für Urlaubsziele auf. Einige Urlauber suchen Urlaubsziele aus, in die sie zusammen mit Freunden oder Gleichgestellten reisen können, ein Mitläufer- oder “peer”-Effekt. Andere Urlauber hingegen suchen sich die Reiseziele der “Reichen und Berühmten” aus, ein “aspiration”-Effekt. Die Reichen und Schönen hingegen versuchen gerade die Reiseziele der Status-orientierten Nachahmer zu vermeiden, ein Status- oder “distinction”-Effekt. Diese drei Effekte zusammen ergeben je nach individueller Stärke eine interessante Mischung an dynamischen Effekten bis hin zu zyklischen Mustern¹⁷. Eine große Vielfalt zyklischer und nicht-zyklischer Muster hat auch Weise in seiner Arbeit zur dynamischen Analyse von Konsumptionseffekten entdeckt. Weise identifiziert in dieser Arbeit insgesamt sechs Konsumptionseffekte, von denen vier Effekte die verschiedenen Interdependenzen zwischen den Konsumenten beschreiben¹⁸[Weise 1993].

1. **Bandwagon- oder Mitläufer-Effekt:** Der einzelne Konsument orientiert sich bei seiner Kaufentscheidung am Mehrheitsverhalten der Personen, die zu seiner Gruppe oder auch seinem sozialen Milieu gehören. (**Peer-Effekt**)

¹⁷Diese Muster können auch die zeitlich dynamische Popularität bestimmter Stadtviertel beschreiben und erklären. Heutzutage populäre Viertel waren in vorangegangenen Jahrzehnten zum Teil heruntergekommen, z.B. in Berlin der Prenzlauer Berg oder Kreuzberg. Nach und nach aber sind diese Viertel mehr und mehr in Mode gekommen, zuerst unter den Bohemiens (ein klassischer Distinktions-Effekt), und dann bei deren trendbewußten Nachahmern (ein Aspirations-Effekt). Genau umgekehrt kann solch ein Prozeß aber auch verlaufen, einstmals respektable Viertel verfallen mehr und mehr und Ghettos können entstehen.

¹⁸Die beiden anderen Effekte sind der Bevorzugungs- und der Gosseneffekt. Unter dem Bevorzugungseffekt versteht Weise die relative Bevorzugung eines Produktes vor den anderen Produkten durch den Konsumenten. Der Gosseneffekt hingegen beschreibt die Sättigung der Nachfrage nach einem Produkt [Weise 1993].

2. **Snob- oder Antikonformitätseffekt:** Gut abgesichert ist die Beobachtung eines Verhaltens, das sich statt an der Mehrheit an einer Minderheit orientiert. Dieses Antikonformitätsverhalten kann man auch unter der Suche nach Neuem oder nach Abwechslung subsumieren. Im Gegensatz zur reinen Sättigung aber (Gosseneffekt) basiert hier die Suche nach dem Neuen auf der Beobachtung eines einzigen Gutes bei vielen Konsumenten. Der Widerstand gegen den Konsum eines Gutes wächst also mit der Häufigkeit des Konsums dieses Gutes durch die anderen Konsumenten an. (**Snob-Effekt**)
3. **Status- oder Prestige-Effekt:** Psychologisch gut begründet und oftmals empirisch beobachtet ist ein Verhalten, bei dem der Einzelne sein Verhalten mit dem Verhalten von Menschen, die einer anderen als der eigenen Gruppe angehören, vergleicht. Von dem Verhalten dieser Gruppe möchte er sich absetzen; der Akteur möchte sich demnach durch den Konsum Status oder Prestige verschaffen. (**Distinktions-Effekt**)
4. **Imitations-Effekt:** Es ist auch der Effekt bekannt, daß die Orientierung an Menschen, die einer anderen Gruppe angehören, eine imitierende Tendenz entfaltet. Der Mensch möchte also andere Menschen oder eine Referenzgruppe imitieren. Er möchte durch sein Konsumverhalten dokumentieren, daß er zu dieser Gruppe gehört. (**Aspirations-Effekt**)

Cowan et.al. [Cowan 1998] weisen darauf hin, daß die Segmentierung in Konsumentengruppen insbesondere für die Realisierung sogenannter Netzwerkexternalitäten von besonderer Bedeutung sein können. In vielen theoretischen Studien [Arthur 1988, David 1985] werden diese Externalitäten mit der anonymen Masse aller Konsumenten identifiziert. Die Autoren [Cowan 1998] weisen aber darauf hin, daß z.B. für die modernen Kommunikationstechniken, mit denen diese Netzwerkexternalitäten identifiziert werden, jeder Konsument nur auf ein bestimmtes Netzwerk von Personen zurückgreift, mit dem der Einzelne kommunizieren will. Es ist aber genau die Diffusion der neuen Technologie unter den Mitgliedern dieses speziellen Netzwerkes, die die Externalität erzeugt, und gerade nicht die zufällige Diffusion in der anonymen Masse aller Nutzer.

Für andere Produkte existieren wiederum indirekte Externalitäten, z.B. stellt für den Käufer einer bestimmten Software die Existenz einer breiten Nutzerschicht die langfristige Wartung dieses Produktes durch den Produzenten sicher, unabhängig von der Identität der einzelnen Kunden. Zur gleichen Zeit können für dasselbe Produkt starke, direkte Konsumenteninterdependenzen existieren, da zum Beispiel die dominierende Quelle für die Unterstützung bei der Nutzung auf die anderen Nutzer des Produktes innerhalb dieses Netz-

werkes zurückgeht¹⁹. Der dabei auftretende Mitläufer- oder “peer-”Effekt beruht auf dieser Tatsache, und die daraus resultierenden Netzwerk-Externalitäten beruhen auf dem Fakt, welche Personen zu dem persönlichen Netzwerk des Einzelnen gehören. Bei den “richtigen” Leuten sind die Externalitäten riesig, bei den falschen Personen hingegen verschwindend oder in einigen Fällen sogar signifikant negativ.

Cowan et.al. [Cowan 1998] identifizieren in ihrer Arbeit ein interessantes Ergebnis, das besagt, daß ein Produkt, dessen Konsum ausschließlich auf Konsumenteninterdependenzen beruht, in eine Konsumentenpopulation einzieht, durch sie durch-diffundiert und anschließend die Population vollständig verläßt, also keinen absorptiven Zustand oder Attraktor erreicht. In Kapitel 7 werden wir die Milieueinteilung und die milieuabhängigen Konsumptionseffekte, die wir für das in dieser Arbeit vorgeschlagene Diffusions- und Wettbewerbsmodell benutzt haben, vorstellen.

¹⁹Nicht nur die technischen oder Nutzungsinformationen spielen hierbei eine Rolle, auch die Möglichkeit der illegalen, aber kaum verfolgten Nutzung von lizenzpflichtiger Software in Form von Raubkopien oder unlizenzierter Installationen dürfte für die Durchsetzung des einen oder anderen Produktes eine nicht zu vernachlässigende Bedeutung gehabt haben.

5. Angebotsverhalten innovativer Unternehmer

5.1. Einleitung

Nachdem wir uns im vorherigen Kapitel mit der Analyse der Konsumenten beschäftigt haben, wollen wir in diesem Kapitel die Akteure auf der Produzentenseite genauer betrachten. In der Literatur existiert eine Vielzahl von Diffusionsmodellen, die die Angebotsseite betrachten; das wichtigste im Sinne einer evolutorischen Formulierung ist sicherlich das von Nelson und Winter [Nelson 1982, Winter 1971]. An diesem Modell ist aber vielfältig Kritik geübt worden, die wir in Kapitel 3 bei der detaillierten Vorstellung des Modells aufgeführt haben.

In vorherigen Kapitel haben wir den Unterschied zwischen dem Handlungsmodus der vollständigen Wahlrationalität und dem Handeln unter beschränkter Rationalität für das Verhalten der Konsumenten herausgearbeitet. Empirische Erkenntnisse aus der Beobachtung des Verhaltens von Unternehmen legen die Vermutung nahe, daß auch Unternehmen beschränkt rationale Akteure auf dem Markt sind [Cyert/March 1963, Ramesohl 2001]. In diesem Sinne sind sie dann auch, wie in Kapitel 4 die Konsumenten, als beschränkt rationale Akteure zu behandeln. In diesem Kapitel wollen wir, ausgehend von dieser Hypothese, die einzelnen Komponenten des Verhaltens von Unternehmen im Sinne beschränkter Rationalität untersuchen. Dabei werden wir uns insbesondere auch auf die Besonderheiten im Fall der Produkt- und Prozeßinnovationen konzentrieren.

5.2. Routinen als Handlungsmodi

Während wir in Kapitel 4 Routinen aus der Sicht der Konsumenten betrachtet haben, diskutieren wir jetzt Routinen aus der Perspektive der Produzenten. Routinen sind für die Unternehmen ein Speichermedium für ihr eigenes organisationales Wissen. Sie stellen das

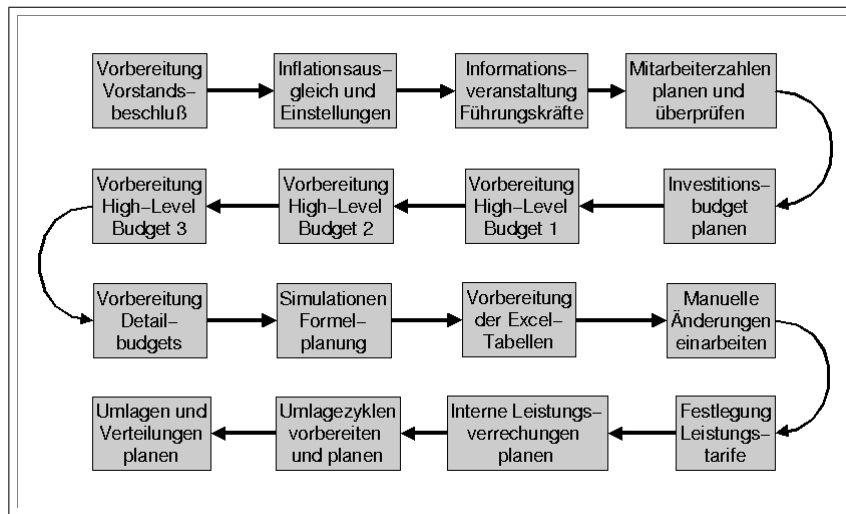


Abbildung 5.1.: Die Abbildung zeigt einen beispielhaften Budgetierungsprozeß in einem größeren Konzern. Quelle: eigene (in Anlehnung an [Dua 2002]).

Gedächtnis einer Firma im Hinblick auf ihre Produkte und Produktions- und Verwaltungsprozesse dar. Mit Hilfe dieses Gedächtnisses führen die Firmen dann durch ihre Mitarbeiter bestimmte Operationen aus. Behandelt man Unternehmen als beschränkt rationale Akteure kommen gegenüber Privatpersonen noch zwei Dimensionen des Handelns hinzu, einerseits die Konfliktregulierung und andererseits die Koordination.

Organisationen zeichnen sich durch eine arbeitsteilige Struktur aus, im Fall großer Konzerne besteht solch eine Organisation aus einer mehr oder minder großen Hierarchie von Untereinheiten. Diese Untereinheiten verfolgen neben den Zielen der Gesamtorganisation auch ihre individuellen Ziele. Die individuellen Ziele stehen des öfteren miteinander in Konflikt, und diese Konflikte werden häufig in der Form von bestimmten Routinen geregelt. Neben dem Aspekt des Konfliktes besteht in solch einer arbeitsteiligen Organisation aber auch der Bedarf der Koordination. In einer Produktionsstraße, in der sequentiell Teilarbeitsschritte durch unterschiedliche Teileinheiten verrichtet werden, müssen die Entscheidungen in Bezug auf die verarbeiteten Mengen miteinander koordiniert werden¹. Wir wollen diese beiden Aspekte an einem Beispiel genauer erläutern: einmal im Jahr wird in Organisationen das Budget für das nächste Geschäftsjahr geplant [Schreyögg 1997a, Schreyögg 1997b, Schreyögg 1998]. Diese Budgetplanung vollzieht sich nach einem Prozeß, den wir in der Abbildung 5.1 skizziert haben und der in dieser oder ähnlicher Form in einer Vielzahl von Konzernen zu finden ist. Zu Beginn wird durch die

¹Ein Beispiel ist zum Beispiel die Produktionsstraße für einen PKW, die aus über 100 Teilschritten besteht, die von einzelnen, autonomen Untereinheiten ausgeführt werden. Die Kunst der Produktionsplanung besteht darin, die Einzelentscheidungen so aufeinander abzustimmen, daß in einer bestimmten Zeit kosteneffizient eine möglichst große Produktionsmenge erreicht wird [Vinzens 1998].

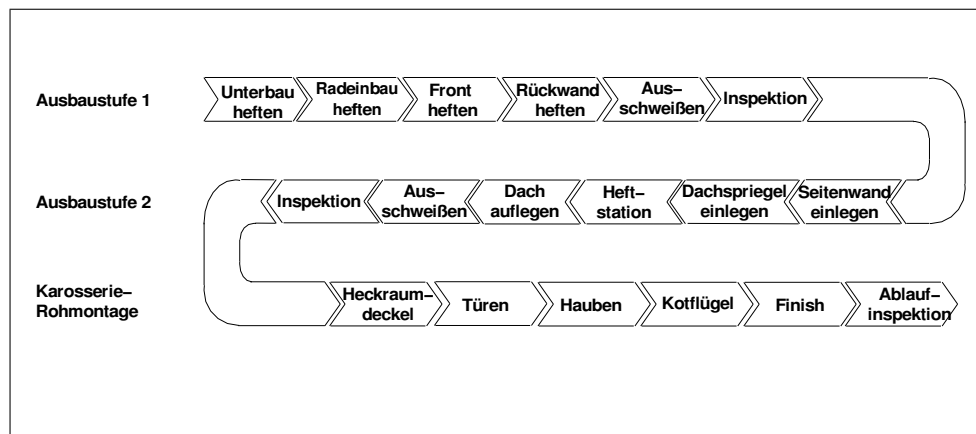


Abbildung 5.2.: Die Abbildung zeigt den Prozeß des Karosseriebaus in einer Automobilfabrik. Quelle: [Vinzens 1998].

Geschäftsleitung zusammen mit den Aufsichtsgremien eine Schätzung der Geschäftsentwicklung für das nächste Jahr aufgestellt, in der die erwarteten Umsatzzahlen und daraus resultierend die erwarteten Kosten festgelegt sind. Aufgrund dieser Kostenschätzung wird das Gesamtbudget festgelegt. Dieses Budget wird dann von der Geschäftsleitung auf die verschiedenen Teileinheiten des Konzerns nach einem vorher festgelegten Schlüssel verteilt. Die Teileinheiten planen ihrerseits ihr benötigtes Budget für das nächste Geschäftsjahr nach zum Teil eigenen und konzernweit festgelegten Regeln und Routinen (in der Abbildung sind das die drei Prozessschritte "Vorbereitung High-Level Budget"). Zu einem bestimmten, vorher festgelegten Zeitpunkt wird dieser Planungsprozeß eingefroren, und es findet ein erster Abgleich zwischen der Planung der Geschäftsleitung und der der Teileinheiten statt (Koordination). Der vorher festgelegte und auf den Erfahrungen der Vorjahre basierende Schlüssel der Budgetaufteilung dient jetzt der Konfliktresolution zwischen der Geschäftsleitung und den Teileinheiten bzw. zwischen den Teileinheiten. Nach dem ersten Abgleich werden dann die Teileinheiten aufgefordert, auf der Basis der aktualisierten Planung ihre Detailplanung zu überarbeiten. Die Anzahl dieser Iterationsschleifen ist basierend auf Erfahrungen der Vorjahre gleichsam in einer Routine (Handlungsanweisung) festgelegt; in dem hier skizzierten Beispiel sind es insgesamt 3 Iterationsschleifen (High-Level Budget 1-3). Die Gründe für die exakte Vorgehensweise, z.B. das Budget der Geschäftsleitung wird immer in der 2. Septemberwoche verabschiedet, sind meistens nur einigen wenigen Beteiligten bekannt, auf der Ebene der Organisation ist das sozusagen implizites Wissen (s. Abschnitt 5.3). Bestimmte Aspekte der Budgetplanung wiederum werden zentral geplant, da genau diese zum Beispiel zentral am besten durchgeführt werden können oder da man aus Erfahrungen gelernt hat, daß genau diese Aspekte die größten Konflikte zwischen den Teileinheiten auslösen und man so solche Konflikte entweder vermeidet oder besser regulieren kann. In der Abbildung 5.1 sind das alle Prozessschritte in der letzten Zeile. Diese beinhalten die internen Verrechnungen

der Kosten und deren firmeninternen Tarife.

Bei den Routinen, die in einer Organisation verwendet werden, lassen sich drei Typen identifizieren: (1) technologische Routinen, (2) organisatorische Routinen und (3) marktbezogene Routinen. Unter die technologischen Routinen lassen sich die produktionsrelevanten Routinen subsummieren. Diese technologischen Routinen umfassen die Koordinations- und Entscheidungsprozesse, die aufgrund der bestehenden Produkt- und Produktionstechnologie in einer bestimmten Folge durchlaufen werden müssen. Betrachten wir als Beispiel den Prozeß des Karosseriebaus in einer Automobilfabrik, den wir in der Abbildung 5.2 dargestellt haben. Der Gesamtprozeß besteht aus drei Subprozessen die in den Zeilen der Abbildung wiedergegeben sind, die sich wiederum in Teilprozesse aufspalten. Jeder dieser Teilprozesse kann zum Beispiel bei einem Hersteller von unterschiedlichen Organisationseinheiten ausgeführt werden. Der Abbildung kann man entnehmen, daß das Fahrzeugdach nach den Seitenwänden eingebaut wird, die andere Reihenfolge wäre hingegen nicht sinnvoll oder zumindest technisch komplizierter. Mit Hilfe dieses Prozesses stellt der Hersteller darüberhinaus sicher, daß das Endprodukt funktional korrekt ist und daß es ein bestimmtes Qualitätsniveau besitzt. Gleichzeitig gewährleistet die genau einzuhaltende Reihenfolge der Prozeßschritte, die an sich technisch begründet ist, daß die Koordination zwischen den Teileinheiten (s.o.) sichergestellt ist. Aber nicht nur die Koordination innerhalb des Unternehmens ist damit festgelegt, auch diejenige mit externen Lieferanten wird durch den Produktionsprozeß bestimmt; die Anlieferung der Fahrzeugteile muß spätestens zu dem Zeitpunkt erfolgt sein, wenn diese für einen bestimmten Teilprozeß benötigt werden.

Im Gegensatz dazu stehen die organisatorischen Routinen, die nach dem obigen Beispiel der Budgetplanung die Koordination zwischen den verschiedenen Teileinheiten einer Organisation festlegen.

Die marktbezogenen Routinen stellen den dritten Bereich dar, ein prominentes Beispiel hierfür ist die Preissetzung in Organisationen. Diese wird in den seltensten Fällen die Form einer Grenzbetrachtung einnehmen, vielmehr gibt es in Organisationen bestimmte Verfahrensweisen, nach denen der Preis des Gutes meistens vor dem eigentlichen Marktauftritt festgelegt wird. Ein Beispiel für solch eine Preissetzungsroutine ist die sogenannte “Mark-up Routine” [Cyert/March 1963, Nelson 1982]. Bei der Anwendung dieser Routine nimmt der Produzent seine Produktionskosten als Ausgangsbasis und schlägt auf diese Kosten den gewünschten Gewinn pro Gütereinheit auf (“mark-up”), womit er dann seinen Angebotspreis ermittelt hat. Die Höhe dieses “Mark-up” basiert in vielen Fällen auf der langjährigen Erfahrung des Unternehmens und ändert sich nur langfristig [Cyert/March 1963]. Das Gegenstück zur “Mark-up”-Preissetzung wäre die “Mark-down”-Routine, wenn die Produzenten ihren Preis für einen begrenzten Zeitraum senken, um zu versuchen, einen zu niedrigen Umsatz zu erhöhen oder zu hohe Lagerbestände durch Preisanreize zu verringern.

Von “Mark-down” spricht man hier, solange dieses Verhalten kurzfristig ausgerichtet ist, um auf eine Notsituation für das Unternehmen zu reagieren. Behält das Unternehmen dann langfristig diesen niedrigeren Preis bei, so kann man von einem Übergang zur Änderung der “Mark-up”-Routine sprechen.

Das Gesamtrepertoire aller Routinen eines Unternehmens kann man jetzt auch als die Verhaltenscharakterisierung dieses Unternehmens auffassen. Anhand dieses Repertoires kann man die Unternehmen in unterschiedliche Unternehmenstypen klassifizieren. Heuss hat zum Beispiel in seiner Arbeit insgesamt vier unterschiedliche Unternehmertypen identifiziert, die er in seiner Beschreibung des Marktprozesses nutzt [Heuss 1965].

An der Klassifizierung von Heuss ist insbesondere die Kritik geübt worden, daß die vier Unternehmertypen zu stark personalisiert sind [Witt 1987]. Witt schlägt vor, das Verhalten der Unternehmen eher kontextabhängig zu sehen, d.h. die Unternehmen können mehrere oder sogar alle dieser Verhaltensneigungen zeigen, welche sie aber zu einem bestimmten Zeitpunkt ausüben, abhängig von dem Gesamtkontext des Marktes, in dem sie sich gerade befinden. Das einzelne Unternehmen ändert sein Verhalten erfolgsabhängig und wechselt im gegebenen Fall zu anderen Routinen seines breiter gefächerten Routinen-Repertoires [Cyert/March 1963]. In dem von uns vorgeschlagenen Modell (s. Kapitel 7) haben wir uns an der kontextabhängigen Verhaltensbeschreibung der Unternehmen orientiert. Solch ein Modell beschreibt das kurzfristige Verhalten der Unternehmen auf einer Zeitskala, innerhalb derer sowohl die Menge der Regeln als auch die Regeln selbst fix sind. Über einen längeren Zeitraum hingegen wird es aber auch zu einer Auflösung der Routinen kommen, einzelne werden verändert, andere wiederum werden in das Repertoire aufgenommen oder aus dem Repertoire entfernt.

Hier stellt sich die Frage, warum es zu einer solchen Veränderung oder Auflösung von Routinen kommt? Es lassen sich drei zentrale Gründe für die Auflösung der Routinen finden. In der Literatur oft zitiert ist der findige Unternehmer, der ja auch von Heuss als der Pionierunternehmer identifiziert wird. Der Antrieb dieses Unternehmers besteht häufig in dem Reiz am Neuen [Witt 1987] und an der Freude am Gestalten [Heuss 1965]. Von diesem Unternehmer gehen die Neuerungen aus, er führt neue Produkte erstmalig in den Markt ein, wobei Heuss betont, daß der Motor dieses Handelns in den seltensten Fällen das Gewinnmotiv ist. Ein anderes Motiv für die Änderung bestehender Routinen ist das Nicht-Erreichen selbstgesteckter Ziele durch das Unternehmen, auf das Cyert und March hinweisen [Cyert/March 1963]. Im dritten Fall hingegen ist es das wiederholt kommunizierte Anspruchsniveau der Kunden, das der Auslöser für die Auflösung bestehender Routinen des Produzenten ist. Die Kunden können zum Beispiel mit der Qualität eines Fahrzeuges unzufrieden sein und kommunizieren dieses entweder direkt oder über Verbraucherverbände an den Hersteller. Diese Unzufriedenheit kann dann dazu führen, daß der Hersteller seine

interne Qualitätskontrolle verbessert².

Neben der Frage nach dem Grund der Auflösung interessiert aber auch, mittels welcher Mechanismen bestehende Routinen aufgelöst oder verändert werden. Routinen können einerseits durch das Lernen des Akteurs, also in diesem Fall des Unternehmens, verändert oder aufgelöst werden. Ein Beispiel hierfür sind die Preissetzungsroutinen, die wir oben besprochen haben. Hat der Produzent bisher immer für die Preisfindung eine "Mark-up-Routine" benutzt, bei der er einen Aufschlag von 20% auf seine Kosten kalkuliert hat, so er kann durch die kommunizierte Unzufriedenheit seiner Kunden dazu übergehen, nur noch einen Aufschlag von 10% zu verlangen, da seine Kunden ihm diesen Preis als Obergrenze mitgeteilt haben. Wie oben dargelegt, wird dieser Prozeß häufig über längere Zeiträume stattfinden, kurzfristige Reaktionen hingegen können im Sinne der Wahl einer Alternativroutine, in diesem Fall einer "Mark-down"-Routine, beschrieben werden. Neben der Rückkopplung können Routinen aber auch über den Weg der Forschung und Entwicklung aufgelöst werden. Diese Form ist insbesondere für technologische Routinen üblich. Im Rahmen der Forschungstätigkeit werden z.B. neue Verfahren für die Produktion entdeckt, die dazu führen, daß die alten Routinen abgelöst werden. Aber auch im Bereich der organisatorischen Routinen können auf diesem Wege alte Routinen abgelöst werden. Beispiele hierfür können zum Beispiel der Einkauf einer Management- oder Organisationsberatung oder auch der Aufbau eines unternehmensinternen Beratungsteams sein [Cyert/March 1963]. Während man für die Änderung technologischer Routinen natur- oder ingenieurwissenschaftliches Wissen abrufen, ist es im zweiten Fall das Wissen aus den Bereichen der Betriebswirtschaftslehre oder der Managementlehre.

Wir können diese Form des Innovationshandelns selber wieder als institutionalisiertes Handeln und damit als Unternehmensroutinen behandeln, sei es in der Form einer (technischen) Forschungs- und Entwicklungsabteilung oder in der Form einer (externen oder internen) Strategie- und Organisationsberatung. Das führt uns jetzt zu der Frage des Budgets, das für diese beiden Formen der Forschung aufgewandt werden muß, und der zugehörigen Wissensakkumulation in diesen Institutionen.

5.3. Wissenskapital und Forschungsbudgets

Im Rahmen klassischer und traditioneller neoklassischer Überlegungen spielt Wissen nur eine untergeordnete Rolle. Zwar hat Solow in seiner Analyse herausgefunden, daß $\frac{3}{4}$ des Wachstums der amerikanischen Wirtschaft im Untersuchungszeitraum nicht der Erhöhung der bei-

²Es liegt die Vermutung nahe, daß nicht-inkrementelle Veränderungen eher im ersten Fall ausgelöst werden, während inkrementelle Veränderungen auch im zweiten und dritten Fall angestoßen werden können.

den Faktoren Arbeit und Kapital zuzurechnen waren, sondern der zunehmenden Effizienz der Produktion; diesen “technischen Fortschritt” hat er aber als exogene Residualgröße, die eine zeitabhängige Änderung der Produktionsfunktion verursacht, und nicht als eigenen Produktionsfaktor betrachtet [Solow 1957, Solow 1956]. Im Rahmen der neuen Wachstumstheorie erhält Wissen einen anderen Stellenwert; die Akkumulation von Wissen gilt als ursächliche Variable für den Wachstumsprozeß, und Wissen wird in der Form von Humankapital und technologischem Wissen als endogener Faktor betrachtet [Lucas 1988, Romer 1990].

Schon früher hat Machlup auf die Wertschöpfungsrelevanz des Faktors Wissen aus dem Blickwinkel der volkswirtschaftlichen Produktion von Wissen hingewiesen [Machlup 1962, Machlup 1984]. Machlup hat insbesondere diese Produktion von Wissen als kumulativen - insbesondere durch Humankapital realisierten - Prozeß aufgefaßt; folgt man ihm, so führen Investitionen in Humankapital zur Wissensvermehrung [Machlup 1962]. Wissensproduktion ist in seinem Sinne ein historischer Prozeß, da das Ausmaß der potentiellen aktuellen Wissensakkumulation von der Qualität und der Quantität der früheren Wissensakkumulation bzw. -akquisition abhängt [Reinhardt 2002]. Ausgehend von der Auffassung, daß die interpersonelle Kommunikation die Methode zum Wissensaustausch darstellt, hat Machlup auf den Sachverhalt hingewiesen, daß für die Produktion expliziten Wissens implizites Wissen notwendig ist.

Ohne die detaillierte Diskussion der verschiedenen Charakteristika vorwegnehmen zu wollen, gehen wir an dieser Stelle kurz auf diese beiden Begriffe ein. Die Dichotomie zwischen explizitem und implizitem Wissen geht auf Polanyi [Polanyi 1958] zurück, der zwischen diesen beiden Klassen von Wissen unterschieden hat. Implizites Wissen besitzt eine Person aufgrund ihrer Erfahrungen, ihrer Geschichte und ihrer Praxis, ganz im Sinne von Know-How; es zeichnet sich dadurch aus, es anwenden zu können, ohne zu wissen, woher dieses Wissen stammt und warum es funktioniert [Reinhardt 2002]. Demgegenüber kann explizites Wissen kommuniziert werden, das heißt, daß der Akteur das Wissen kennt, über das er redet. Es ist ausgesprochenes, formulierbares und dokumentierbares Wissen [Reinhardt 2002].

All diese Evidenzen legen den Befund nahe, daß Wissen als eine Bestandsgröße, d.h. als eine Form von Kapital, behandelt werden muß und nicht auf die Form einer Flußgröße wie zum Beispiel bei den Innovationsmodellen von Nelson/Winter [Nelson 1982] und deren Epigonen reduziert werden darf. Ein weiterer Aspekt verstärkt diesen Befund: in der einzelwirtschaftlichen Untersuchung der Unternehmen wird immer mehr auf das Wissenskapital der Unternehmen rekuriert. Dieses spiegelt sich in der Diskussion um die Messung von Wissen und dessen anschließende Einbeziehung in die Rechnungslegung als eine Form von sogenannten “intangible assets” wieder [Reinhardt 2002, Lev 2001, Lucks 2002, Reilly 1999]. Die Einbeziehung des Wissens spielt aus praktischen Gesichtspunkten insbesondere bei Firmenübernahmen eine wichtige, wenn nicht sogar die zentrale Rolle. Die großen Unterschie-

de zwischen dem Buch- und dem Marktwert der Unternehmen, erfordern eine detailliertere Analyse, will man den “fairen” Preis für eine Firma bestimmen [Jansen 2001]. Hier hat es in der Vergangenheit eine Vielzahl von Arbeiten gegeben, die sich im Bereich der Theorie der Firmenübernahmen unter dem Aspekt der “Due Dilligence” zusammenfassen lassen [Reinhardt 2002, Lucks 2002].

Die Notation von Wissen als Bestandsgröße hat aber auch einen engen Bezug zu den Konzepten der “beschränkten Rationalität”, die wir in Kapitel 4.3 behandelt haben. Wie wir oben beschrieben haben, geht das Konzept der Wahlrationalität davon aus, daß Menschen vollständige Informationen besitzen und diese auch verarbeiten können. Die Notwendigkeit, Wissen über das Marktgeschehen zu besitzen bzw. zu erwerben (Wissen als Kapital), wird dadurch “wegkonzeptualisiert”. Reinhardt [Reinhardt 2002] konstatiert, daß diese Forderungen an die vollständige Informiertheit der Akteure es plausibel erscheinen lassen, warum Wissen in diesen Analysen als Faktor nur unzureichend berücksichtigt wurde. Geht man aber im Sinne von Simon [Simon 1957] von einer beschränkten Information der Akteure aus, so bekommt die Notation von Wissen als Bestandsgröße, die sich im Zeitverlauf ändert und die Entscheidungen der Akteure beeinflußt, mit einem Mal eine zentrale Bedeutung für die Analyse der ökonomischen Prozesse.

Betrachtet man Wissen als Kapital, so muß man zwischen Humankapital als individuelle Ausprägung und Organisationskapital als kollektive Form unterscheiden. Dieses berührt sowohl den Träger des Wissens als auch darauf aufbauend die Prozesse des Vergessens und der Investition, die die zeitliche Veränderung der Bestandsgröße bestimmen. Wie wir schon angedeutet haben, ist der Träger von Humankapital das Individuum, während der Eigentümer von Organisationskapital die Organisation an sich ist [Tomer 1987].

Investitionen werden in Bezug auf das Humankapital in die Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter getätigt. Diese können sowohl spezifischer Natur sein, wenn z.B. dieses Wissen nur in dem einzelnen Unternehmen relevant ist, oder aber allgemeines Humankapital darstellen, wenn sich dadurch die Produktivität des Mitarbeiters in allen am Arbeitsmarkt aktiven Unternehmen erhöht. Investitionen in Organisationskapital stellen organisationale Veränderungen dar, die zu höherer Leistungsbereitschaft und somit zu einem höheren Output führen. Investitionen in Organisationskapital beziehen sich auf die doppelte Zielsetzung “Produktivität und Verbesserung der Arbeitssituation” [Reinhardt 2002]. Beispiele für die Investitionen in das Organisationskapital sind Veränderungen der formalen Organisationsstruktur durch (1) Änderungen der Kommunikationskanäle, (2) Änderungen der Arbeitsabläufe oder (3) Änderungen der Beziehungen innerhalb der Organisation [Tomer 1987].

Der zweite Veränderungsprozeß für diese beiden Formen des Wissenskapitals kann man unter dem Begriff des “Vergessens” subsummieren. Auf der Seite des individuell getrage-

nen Humankapitals beinhaltet Vergessen eine individualpsychologische Komponente, die stark auf die Häufigkeit der Wissensnutzung abhebt; begreift man Vergessen aber eher unter dem Aspekt des Wertverlustes des Wissenskapitals, so muß man das Veralten von Wissen aufgrund der Neugenerierung von Wissen durch andere Personen mitbetrachten [Reinhardt 2002]. Während die individuelle Form des Vergessen bekannt ist, erscheint organisationales Vergessen nicht so offensichtlich. Aber auch Organisationen können Vergessen: betrachten wir das obige Beispiel der Kommunikationskanäle, so können insbesondere informelle Informationskanäle, ähnlich dem individualpsychologischen Vergessen, durch Nicht-Nutzung “einschlafen” oder verschwinden. Organisationales Vergessen kann aber auch den Firmenaustritt einzelner Mitarbeiter und den damit einhergehenden Verlust bestehender Kommunikationskanäle beschreiben.

Reinhardt hat die Schwierigkeiten einer eindeutigen Klassifikation von Wissen herausgearbeitet, in der Diskussion tauchen eine Vielzahl von unterschiedlichen Kategorisierungen auf. Ein Beispiel hierfür ist die oben vorgestellte Unterscheidung zwischen explizitem und impliziten Wissen oder aber die zwischen Zustandswissen (“Welche Qualität besitzt ein Produkt”) und Prozeßwissen (“Wie stelle ich den korrekten Ablauf sicher”). Reinhardt kommt aber zu dem Schluß, daß man zwischen originären und abgeleiteten Merkmalen von Wissen unterscheiden kann. Als originäre Merkmale identifiziert er [Reinhardt 2002]:

- **Unsicherheit:** Wissen und Information sind unsichtbar bzw. verfügen über einen immateriellen Charakter.
- **Trägerabhängigkeit:** Die empirische Existenz von Wissen ist stets an einen Träger gebunden.
- **Anschlußfähigkeit und Kontextabhängigkeit:** Die Verarbeitung von Wissen ist von einer Vielzahl individuumsunabhängiger sowie externer Kontextfaktoren abhängig.

Laut Reinhardt sind viele weitere Merkmale, mit denen man den Begriff des Wissens zu fassen versucht, aus diesen drei Merkmalen ableitbar [Reinhardt 2002].

5.4. Prozeß- und Produktinnovationen

Eine Seite der Innovationen sind die Prozeßinnovationen, die sich mit Produktionsfaktoren und der Veränderung ihrer Nutzungsverhältnisse befassen; sie sind im Vergleich zu den Produktinnovationen viel einfacher zu modellieren, da sie sich, wie Witt [Witt 1987] ausführlich

dargestellt hat, stets auf einen eindeutigen Faktoreinsatzraum abbilden und sich somit bei unverändertem Produkt als Variation der Faktorproduktivitäten definieren lassen. Die Prozeßinnovationen sind in der Literatur ausführlich untersucht worden, an dieser Stelle verweisen wir den interessierten Leser an diese Literatur (siehe z.B. [Nelson 1982, Andersen 1994]). Wir möchten uns hingegen in diesem Abschnitt mit der viel schwierigeren Frage der Produktinnovationen im Detail befassen.

Zuerst einmal wollen wir uns genauer anschauen, wie Produktinnovationen definiert sind. Folgt man Grupp [Grupp 1997], so besteht ein neues Produkt entweder aus einer neuen Kombination von Ausprägungen schon bekannter Gütereigenschaften, oder es besitzt eines oder mehrere noch nicht bekannte Merkmale. Wir verstehen hier analog zu Grupp diese Merkmale im Sinne von Lancaster, d.h. es sind nicht so sehr physikalische Charakteristika von Produkten, die wir hier betrachten, sondern die Gütermerkmale definieren sich aus ihrer Bedeutung für die Nachfrage der Konsumenten, d.h. welche Bedürfnisse diese Merkmale befriedigen (s. Kapitel 4.2). Lancaster geht davon aus, daß man sozusagen neutral diese Eigenschaften identifizieren kann, zum Beispiel durch empirische Tests. Obwohl zu dieser Hypothese sicherlich Zweifel geäußert werden können, wollen wir in dieser Arbeit diese Annahmen aus Gründen der Operationalisierbarkeit übernehmen. Darüberhinaus konzentrieren wir uns in dieser Arbeit bei der Betrachtung von Produktinnovationen auf die Untersuchung neuer Kombinationen von Ausprägungen schon bekannter Merkmale, die Untersuchung gänzlich neuer Eigenschaften schließen wir aus. Im Sinne der Diskussion des Abschnitts 4.2 betrachten wir in dieser Arbeit Produktinnovationen als eine Änderung der Komposition der Ausprägungen der verschiedenen Produkteigenschaften. Ändert sich auch nur eine Eigenschaft, so ist das im Rahmen unserer Definition eine Produktinnovation. In der Abbildung 4.4 ist eine Produktinnovation durch die Änderung der Position eines Gutes im Eigenschaftsraum beschrieben, dort zum Beispiel durch den Übergang von Produkt 2 zu Produkt 2'.

Will man neue Kombinationen der Eigenschaftsausprägungen betrachten, so stellt sich die Frage, wie die Unternehmen diese neuen Kombinationen finden. Hierbei kann man sich einerseits einen Suchprozeß vorstellen; die Forschungs- und Entwicklungsabteilungen der Unternehmen suchen entweder gezielt in der Form eines Problemlösens nach einer neuen Ausprägung, indem zum Beispiel das Ziel verfolgt wird, eine bestimmte Verbrauchsgrenze zu unterschreiten³. Solch eine Art des Problemlösens ist natürlich ein Suchprozeß, da es zu jedem Zeitpunkt der Entwicklung Rückschläge geben kann und zu Beginn nicht sichergestellt

³Dieses Vorgehen war zum Beispiel die Grundlage für die Entwicklung des sogenannten 3-Liter Volkswagen-Lupo. Im Zuge der politischen Diskussion um das sogenannten 3-Liter Auto (s. [Diaz 1998]) wurde von der Geschäftsleitung von Volkswagen als Ziel der Produktentwicklung ausgegeben, das erste Serienfahrzeug herzustellen, das einen Durchschnittsverbrauch kleiner als 3 Liter pro 100 Kilometer zurückgelegter Strecke besitzt. In diesem Beispiel wurde also gezielt ein Problem gelöst.

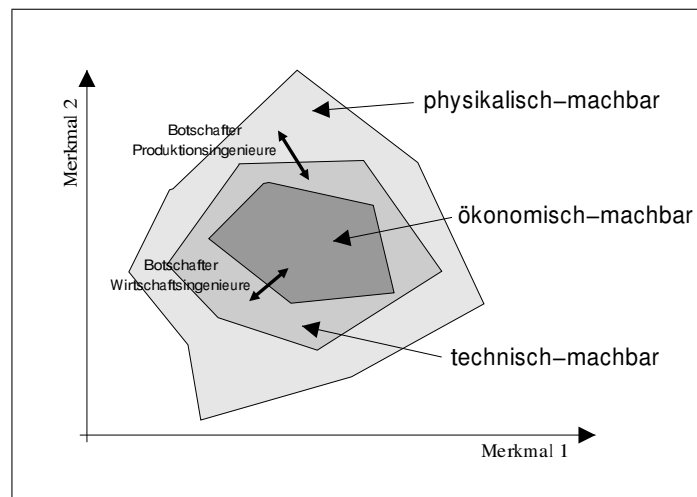


Abbildung 5.3.: Die Abbildung zeigt die möglichen Merkmalskombinationen innerhalb der verschiedenen Dömanen wie z.B. die Grundlagenforschung oder die angewandte Forschung Quelle: eigene (in Anlehnung an [Gerybadze 1982, Yu 1999]).

ist, daß das vorgegebene Ziel erreicht bzw. wie schnell und mit welchem Aufwand dieses Ziel erreicht wird. Neben dem gezielten Problemlösen existiert aber auch die Form der lokalen Variation der Eigenschaften um die aktuelle Konfiguration herum. Der Hersteller verändert durch eine kleine technische Verbesserung zum Beispiel die Fahrzeugleistung oder den Federkomfort seines Fahrzeuges, ohne ein genau spezifiziertes Problem zu lösen oder ein exaktes Entwicklungsziel zu erreichen. Eine dritte Möglichkeit für diesen Suchprozeß wäre es, die eigenen Kunden zu befragen. Im Rahmen solch einer Kundenbefragung können dann neue Entwicklungsziele ermittelt werden. Dieses entspricht dem Befund von Cyert und March, die die Lokalität der Suche der Produzenten konstatiert haben [Cyert/March 1963].

Für die Modellierung ergibt sich die Herausforderung, wie man den Suchprozeß bzw. das Problemlösen darstellen kann. Hierzu bietet sich als Methode die Lotterie an (s. [Nelson 1982]); oftmals ist solch ein Suchprozeß nicht oder nur schwierig durch andere Handlungslogiken zu beschreiben. Wir haben in dem hier vorgestellten Modell eine Kombination aus Problemlösen und Lotterieverfahren gewählt. Das Los der Lotterie gilt nicht unbegrenzt über den gesamten Merkmalsraum, vielmehr hängt die Höhe der Problemlösungsfähigkeit des einzelnen Unternehmens von seinem aktuellen Wissenskapital ab. Die Lokalität der Suche mittels Lotterie wird also durch das Wissenskapital bestimmt. Eine solche Modellierung spiegelt die Idee der “simple-minded search” und eines “near-neighbourhood”-Verhaltens der Produzenten im Sinne von Cyert und March wieder [Cyert/March 1963].

Beschreibt man Produktinnovationen im Sinne von Lancaster, so muß man noch einen weiteren Aspekt genauer betrachten. Nicht alle Kombinationen der Merkmalsausprägungen

gen sind möglich. Vielmehr existiert nur ein Teilraum der möglichen Kombinationen, die für den Produzenten überhaupt sinnvoll sind. Dieser Teilraum wird durch bestimmte Rahmenbedingungen begrenzt. Betrachten wir die Abbildung 5.3, die versucht, diesen Sachverhalt graphisch darzustellen. Die Abbildung zeigt den 2-dimensionalen Eigenschaftsraum, der durch zwei Produktmerkmale aufgespannt wird. Die größte Fläche nimmt der Teilraum 1, der die physikalisch möglichen Kombinationsmöglichkeiten der beiden Merkmale beschreibt, ein. Nicht alle dieser physikalisch möglichen Kombinationen sind aber produktionstechnisch durch das Unternehmen darstellbar, es können zum Beispiel nicht die benötigten Werkzeuge oder Produktionsanlagen zur Verfügung stehen. Durch solche Einschränkungen wird der nächstkleinere Teilraum festgelegt, der der produktionstechnisch möglichen Merkmalskombinationen. Nicht alle dieser zwar technisch möglichen Kombinationen sind aber unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten sinnvoll, sie können zum Beispiel schlichtweg zu teuer sein, als daß man das Produkt gewinnbringend auf dem Markt anbieten könnte. Der dann verbleibende Raum der Kombinationsmöglichkeiten ist der der ökonomisch sinnvollen Kombinationen. Diese drei Teilräume spiegeln gleichzeitig aber auch unterschiedliche Formen der Wissensaufbereitung wider. Der Teilraum 1 wird durch das Wissen und die Erfahrungen der Grundlagenforschung bestimmt, während der Teilraum 2 der technischen Möglichkeiten das Wissen in der angewandten Forschung repräsentiert. Der dritte Bereich wiederum wird durch die Marktforschung und durch das Produktkostencontrolling festgelegt.

Produktinnovationen wie wir sie in dieser Arbeit betrachten, bewegen sich innerhalb des Raumes des ökonomisch Möglichen. Durch Forschung und Entwicklung wird aber auch versucht, die Grenzen der einzelnen Räume zu verändern. Diese Veränderungen werden durch die Zusammenarbeit der verschiedenen Wissensträger vorangetrieben, zum Beispiel versuchen Physiker und Produktionsingenieure zusammen die Grenze des technisch-machbaren auszuweiten⁴. Genausogut versucht man auch, die Grenze zwischen technisch- und ökonomisch-machbaren Konfigurationen zu verschieben, was größtenteils eine Aufgabe von Wirtschaftsingenieuren ist. Diese Veränderungen der Grenzen werden wir in dieser Arbeit aber nicht betrachten.

An den Rändern der einzelnen Teilräume tritt noch ein weiteres Problem auf, das der Separabilität der Produkteigenschaften, das auch Lancaster in seiner Analyse unterstellt hat [Lancaster 1971]. Betrachtet man zum Beispiel ein Kraftfahrzeug, so liegt es auf der Hand, daß für die Erhöhung der Motorleistung andere Entwicklungsanstrengungen aufzubringen

⁴Ein Beispiel hierfür wäre die Brennstoffzelle, die, obwohl physikalisch handhabbar, zur Zeit noch nicht in Großserie produziert werden kann. Dieses Vorhaben scheitert an der großtechnischen Produktion der Platinmembran. Hier versucht man aber intensiv, durch Änderungen der Konfiguration der Brennstoffzelle in einen Bereich der Technologie zu gelangen, der die Großserienproduktion erlaubt (s. [TAB 1999, Handelsblatt 2001b]).

sind als bei der Veränderung der Karosserieform. Die Entwicklungsanstrengungen für diese beiden Merkmale sind voneinander unabhängig, sie sind “separabel” [Schnabl 1979]. In den meisten Firmen manifestiert sich diese Separabilität am augenfälligsten in der Existenz unterschiedlicher Forschungs- und Entwicklungsabteilungen. Für andere Merkmalskombinationen hingegen gilt diese Separabilität nicht, es existieren Interdependenzen zwischen den verschiedenen Merkmalseigenschaften. Diese Interdependenzen werden in dem Diagramm augenfällig, wenn man eine Merkmalskombination an der Grenze zwischen ökonomischer und technischer Machbarkeit herausnimmt. Will man dort jetzt eine Produkteigenschaft ändern, so wird man im Grenzbereich auf einen Widerstand stoßen. Erst wenn man eine andere Produkteigenschaft verändert, hat man unter Umständen die Möglichkeit, die eigentliche Produkteigenschaft in die gewünschte Richtung zu verändern. Bei Kraftfahrzeugen besteht solch ein Zusammenhang zum Beispiel zwischen der Fahrzeugleistung und dem Benzinverbrauch. Im Hinblick auf eine bestimmte Fahrzeugleistung, im Zusammenhang mit einer Reihe weiterer Eigenschaften wie zum Beispiel dem Fahrzeuggewicht etc., existiert ein Mindestverbrauch, der nicht unterschritten werden kann. Will man den Verbrauch weiter senken, so muß man erst die Fahrzeugleistung des Fahrzeuges senken [Diaz 1998]. Sind diese Untersuchungsanstrengungen auf unterschiedliche Teileinheiten verteilt, so hat das Phänomen der Nicht-Separabilität zur Folge, daß unterschiedliche Zielsetzungen verfolgt werden, deren Konflikte mit Hilfe von Koordinationsroutinen wieder aufgelöst werden müssen (s. [Cyert/March 1963]).

Anhand des Diagramms 5.3 möchten wir aber noch kurz auf die Unterscheidung zwischen der eigentlichen Erfindung im technischen Sinne (Invention) und der Innovation eingehen. Betrachtet man inkrementelle Änderungen der Produkte im Rahmen einer lokalen Suche, so umfaßt das bisherige Wissen des Unternehmens die aktuelle und alle bisherigen Eigenschaftskombinationen des eigenen Produktes. Andere Punkte im Eigenschaftsraum sind für diese Unternehmen unbekannt. Eine Invention findet üblicherweise im Teilraum des technisch-machbaren anhand solch einer lokalen Suche statt⁵. Jetzt können aber zwei Fälle auftreten: (1) diese Invention liegt innerhalb des Teilraumes des ökonomisch-sinnvollen oder sie liegt (2) außerhalb dieses Teilraumes. Im ersten Fall muß die Invention aber noch auf den Markt gebracht werden, wozu es in den meisten Fällen der Entscheidung der Geschäftsleitung bedarf. An dieser Stelle kann eine Invention schon scheitern, da die Geschäftsleitung mit der Invention zu große Unsicherheiten verbindet und diese deswegen stoppt. Anschließend muß diese Erfindung zusätzlich vom Marketing den Kunden bekannt gemacht und vom Vertrieb der Firma an die Kunden verkauft werden. Nicht in allen Fällen geschieht das zwingend, es kann zum Beispiel der Fall eintreten, daß das veränderte Produkt die bisherige “Cash-Cow” der Firma [Lucks 2002] übertrifft und keiner der bisherigen Kunden das alte Produkt

⁵In seltenen Fällen wird diese Invention diesen Teilraum erweitern.

mehr kaufen will. Verzögert sich jetzt aber die Auslieferung des neuen Produktes, so sinken die Umsatzzahlen des Unternehmens rapide. Damit sinkt aber auch die Umsatzprovision des Vertriebes. Dieser wird das verhindern wollen, indem er versucht, das neue Produkt zurückzudrängen, um noch möglichst lange mit dem alten Produkt Umsatzprovisionen zu verdienen. Im zweiten Fall ist die Lage eindeutiger, zwar ist die Neuerung technisch-machbar, allerdings läßt sie sich nicht wirtschaftlich produzieren und damit nicht als Innovation auf dem Markt plazieren.

6. Multi-Agenten-Systeme und die Modellierung ökonomischer Fragestellungen

Das zentrale Ergebnis der Analyse existierender Arbeiten zur Diffusion von Produkt- und Prozeßinnovationen war die Feststellung, daß die Modellierung der Einzelakteure entscheidend für die Untersuchung des Diffusionsprozesses ist. In den beiden vorherigen Kapiteln haben wir sowohl die Konsumenten- als auch die Produzentendomäne der Märkte im Detail betrachtet und die verschiedenen Aspekte der Akteursbeschreibung herausgearbeitet, die bei der Modellierung von Diffusionsprozessen zu berücksichtigen sind. Die Vielfalt der Einzelaspekte und ihre Komplexität läßt uns zu dem Schluß kommen, daß die in der Neoklassik verwendete Mathematik für eine differenzierte Darstellung dieser Einzelbeschreibung nicht adäquat ist [Nelson 1982]. Simulationen als Untersuchungsmethode erlauben dagegen, diese gestiegenen Anforderungen an die Analyse zu erfüllen [Schnabl 1979]. In den letzten Jahren wurde das Konzept der Multi-Agenten-Systeme (MAS), das seinen Ursprung in den Computerwissenschaften hat, mehr und mehr auf ökonomische Fragestellungen angewandt. Miller und Holland [Miller 1991] geben in ihrem Artikel eine Einführung in die Anwendbarkeit von Multi-Agenten-Systemen für die Untersuchung wirtschaftlicher Problemstellungen. Diese erlauben es nicht nur, zentrale theoretische Fragestellungen der augenblicklichen Forschung anzugehen, sondern ermöglichen auch die Untersuchung gänzlich neuer Klassen von Fragestellungen. Einige andere Autoren haben sich mit der Anwendbarkeit dieser Methodik auf Fragestellungen in der Ökonomie detailliert beschäftigt [Miller 1991, Arthur 1997, Epstein 1996, Lane 1996, Beckenbach 2001b, Beckenbach 2001c, Conte 1995].

In den beiden vorherigen Kapiteln haben wir die verschiedenen Aspekte der individuellen Akteursbeschreibung für die Modellierung von Diffusionsprozessen herausgearbeitet. In diesem Kapitel wollen wir diese Aspekte aufnehmen und daraus Anforderungen an mögliche Untersuchungsmethoden herausarbeiten. Anschließend wollen wir kurz die Möglichkeiten von Simulationen herausarbeiten und sie dann gegen die analytische Methode abgrenzen.

Eine spezielle Form der Simulation stellen die sogenannten Multi-Agenten-Systeme dar (s.o.). Wir wollen hier darauf eingehen, was MAS sind, was sie leisten und warum sie uns für

die Untersuchung von Diffusionsprozessen und speziell der dieser Arbeit zugrundeliegenden Fragestellung angemessen sind.

Der spätere Teil dieses Kapitels soll einen Überblick über verschiedene ökonomische Simulationsmodelle geben, die sich der Methode der MAS bedienen.

6.1. Multi-Agenten-Systeme als Untersuchungsmethode

6.1.1. Anforderungen

Für die Untersuchung unserer Fragestellung der Diffusion ökologischer Produktinnovationen lassen sich aus den Ergebnissen der beiden vorherigen Kapitel eine Reihe von Anforderungen ableiten. In dieser Arbeit wollen wir die Wirkung unterschiedlicher technologischer und ökonomischer Entwicklungspfade auf den Bestand einer nicht-erneuerbaren Ressource, in dieser Arbeit Erdöl, untersuchen. Gleichzeitig soll auch noch die Rückwirkung eines veränderten Ressourcenbestandes auf die Kauf- und Produktionsentscheidung der Akteure berücksichtigt werden. Hierzu muß das Simulationsmodell die Spezifizierung einer ökologischen Umwelt erlauben. Die Ergebnisse unserer Klassifikation existierender Diffusionsmodelle führt uns zu der Forderung, daß die von uns gewählte Simulationsmethodik die Darstellung einer Population von Konsumenten und Produzenten erlauben muß. Darüberhinaus stellen wir die Forderung auf, daß diese Akteurspopulation heterogen sein kann. Wie in dem Kapitel über die Konsumenten herausgearbeitet, ist für die Untersuchung von Konsumprozessen die Differenzierung der Konsumenten in unterschiedliche Milieus von besonderem Interesse. Die Milieutopologie bestimmt über die verschiedenen Intermilieu-Effekte das Netzwerk der Akteure und damit ihr Verhalten ganz erheblich. Von besonderem Interesse ist für uns hierbei die Frage, ob sich sowohl innerhalb eines Milieus als auch milieuübergreifend die Emergenz eines aggregierten Verhaltens aus dem individuellen Verhalten entwickelt [Miller 1991]. Sowohl die Konsumenten als auch die Produzenten passen im Verlaufe des Diffusionsprozesses ihr Verhalten möglichen veränderten Bedingungen an. Die Akteure bewerten ihr Verhalten innerhalb ihrer Umgebung mittels eines endogenen Bewertungssystems (z.B. Nutzen, Fitness, Performance, etc.) und versuchen, ihr Verhalten so zu ändern, daß sie das Maß der Bewertung im Laufe der Zeit erhöhen. Die Simulationsmethode muß es erlauben, diese Verbindung zwischen Adaptionsverhalten und der Umgebung des Agenten im Detail zu studieren. Das Lernen der Akteure sollte dabei im Sinne der Erkenntnisse von Nelson und Winter über das routinisierte Verhalten von ökonomischen Akteuren regelbasiert sein [Nelson 1982]. Die Interaktion der Akteure soll in unserem Modell nicht durch eine zentrale Instanz (Auktionator) geregelt werden, vielmehr muß die Untersuchungsmethode die Darstellung von dezentralisierten Entscheidungen durch die einzelnen Agenten erlauben. Diese

adaptiven Agenten sind in einem oder mehreren Netzwerken dergestalt organisiert, daß die Umgebung eines einzelnen Agenten andere Agenten umfaßt [Miller 1991].

6.1.2. Simulationen als Untersuchungsmethode

Nelson und Winter begründen die Validität von Simulationsansätzen gegenüber neoklassischen, analytischen Methoden dahingehend, daß sie die Wahl der zu untersuchenden, dynamischen Prozesse nicht länger durch die Anforderungen der analytischen Lösbarkeit einschränken lassen wollen, die Kosten der notwendigen Vereinfachungen, die eine Anwendung analytischer Methoden bedingt, erscheinen den Autoren zu groß [Nelson 1982].

Neben der größeren Komplexität, die über die der Standardökonomie hinausgeht, ist aber auch der dynamische Charakter evolutorischer Modelle Grund für die Nicht-Anwendbarkeit bestehender analytischer Werkzeuge [Schnabl 1979]. Als Lösungsweg bieten sich für derartige komplexe, dynamische Systeme Computersimulationen an, wie sie in anderen Fachwissenschaften bei ähnlich gearteten Problemen selbstverständlich sind¹.

Gegen Computersimulationen werden allerdings aus dem Lager der Kritiker vor allem zwei Argumente vorgebracht, die die Ablehnung dieser Methodik begründen [Schnabl 1979]:

- Simulationen sind zu undurchsichtig.
- Simulationen sind in ihrem Ergebnis zu sehr manipulierbar.

Diesen Einwänden hält Schnabl entgegen, daß Computersimulationen gegenüber Uneingeweihten bewußt mißbraucht werden können, indem gewisse Zusammenhänge verschleiert werden. Einer solchen bewußten Irreführung kann man aber dadurch begegnen, daß das zugrundeliegende Programm, ähnlich einem naturwissenschaftlichen Experiment oder einer mathematischen Ableitung, offengelegt wird und folglich der Überprüfung der Fachwelt unterliegt. Dieses Vorgehen würde es erlauben, die Vorteile der Simulationen bei der Untersuchung komplexer Phänomene in einen fachwissenschaftlichen Diskurs unterzubringen.

In diesem Fall könnten Computersimulationen einen integralen Bestandteil der Theoriebildung darstellen. Der Computer könnte als Werkzeug für die Ökonomie eine ähnliche Bedeutung erlangen, wie das Mikroskop für die Biologie: er eröffnet neue Klassen von Fragen und

¹Im angelsächsischen Raum ist in der Physik die klassische Trennung in die sogenannte Experimental- und die Theoretische Physik aufgehoben. Das dritte in den 90er Jahren hinzugekommene Standbein, das mittlerweile auch an den Universitäten als Curriculum angeboten wird, ist die Computational Physics, die zwischen den beiden klassischen Disziplinen verortet ist.

Phänomenen für die ökonomische Forschung [Miller 1991]. Ökonomische Problemstellungen, die sich bislang einer mathematischen Analyse widersetzt haben, können mittels Computersimulationen zum Teil leicht implementiert werden. Diese Simulationsmodelle erleichtern darüberhinaus im fachwissenschaftlichen Diskurs die Änderung und Verfeinerung bestehender Modelle, was wiederum die Möglichkeit bietet, neue Theorien zu entwickeln und zu testen. Schließlich können Computersimulationen die Entwicklung einer Mathematik komplexer Systeme initiieren, die die Vorteile analytischer Stringenz mit dem computerbasierten Test von Hypothesen verbindet [Miller 1991].

6.1.3. Was sind MAS?

Unter Multi-Agenten-Systemen versteht man eine der künstlichen Intelligenz entstammende Simulations- und Modellierungstechnik für Systeme, die aus vielen interagierenden Komponenten bestehen [Ferber 1999]. Diese Systeme entstanden aus der Verknüpfung von Expertensystemen und Modellen des Forschungsbereiches “Künstliches Leben”. Die Expertensysteme wurden dabei weg von der zentralen Steuerung hin zu einer dezentralen Steuerung durch die einzelnen dezentralen, intelligenten Kontrolleinheiten weiterentwickelt. Die Untersuchungen aus dem Wissenschaftsfeld des sogenannten künstlichen Lebens analysieren die grundlegenden Prinzipien lebender Systeme anhand abstrakter Modelle [Langton 1998, Waldrop 1994, Ormerod 1998]. Besonderen Wert legen die Forscher hierbei auf die Modellierung der beschränkten Kognition der einzelnen Entitäten des Systems. Die individuellen Handlungen der Entitäten werden dann durch die Kooperation der Individuen untereinander kontrolliert.

Multi-Agenten-Systeme werden durch ihre Elemente und ihre Architektur gekennzeichnet. Ein Multi-Agenten-System enthält die folgenden Elemente [Ferber 1999]:

- Eine Umwelt, die im allgemeinen eine Ausdehnung (Volumen) hat,
- Eine Menge von Objekten, die sich zu jedem Zeitpunkt innerhalb der vorgegebenen Umwelt an einer Position befinden. Diese Objekte sind passiver Natur, sie können im Laufe der Simulation von den aktiven Agenten kreiert, zerstört oder modifiziert werden.
- Eine Menge von Agenten, die die aktiven Entitäten des Systems repräsentieren.
- Eine Menge von Relationen, die die Objekte miteinander verbinden.
- Eine Menge von Relationen zwischen den Agenten.

- Eine Menge von Relationen zwischen den Objekten und den Agenten.

Für ein spezielles Multi-Agenten-System müssen aber nicht alle dieser Objekte vorhanden sein. Es gibt die sogenannten konnektionistischen Modelle, in denen keine Umgebung und keine Objekte vorhanden sind, und in denen die Agenten nur durch die Relationen untereinander verbunden sind.

Multi-Agenten-Systeme entstammen der Familie der Produktionensysteme, den sogenannten Expertensystemen [Ferber 1999, Beierle 1999, Görz 1993, Puppe 1990, Puppe 1991]. Produktionensysteme bestehen aus einem System von Regeln, die jede einzelne aus einem Bedingungs- und einem Ausführungsteil bestehen. Programmiertechnisch wird dieses meistens durch sogenannte “if-then”-Konstrukte implementiert. Ein Beispiel für solch eine Regel wäre: “Wenn der Nachbar das Auto besitzt, dann kaufe auch dieses Auto.” Der Arbeitsspeicher des Produktionensystems, der die aktiven Regeln enthält, bestimmt dann den Zustand des Agenten, der das Produktionensystem implementiert hat. Neben der Menge der Regeln gehört zu einem vollständigen und funktionsfähigen Produktionensystem auch ein Regelninterpretierer, der auf der Basis des Umwelt- oder Eigenzustandes, wie z.B. der Autobesitz des Nachbarn, überprüft, für welche der eigenen Regeln die Auslöse-Bedingung erfüllt ist. Das Aktivieren von Regeln kann, je nach Auslegung des Produktionensystems, nur eine einzige Regel betreffen. Es ist aber auch möglich, daß gleichzeitig mehrere Regeln aktiviert werden. Hierbei ist nicht weiter ausgeschlossen, daß die daraus resultierenden Handlungen des Agenten widerspruchsfrei sind. Die Widerspruchsfreiheit muß mit dem Entwurf der Regelmenge sichergestellt werden. Das Aktivieren einer oder mehrerer Regeln ändert den Zustand des Agenten und auch des Gesamtsystems.

Die Elemente von Multi-Agenten-Systemen werden als Software-Objekte modelliert [Ferber 1999]. Herausragende Eigenschaften des objektorientierten Designs und der Modellierung sind die Kapselung und die Klassenhierarchie [Booch 1994]. Unter Kapselung versteht man die Zusammenfassung der Daten und der diese verarbeitenden Methoden innerhalb einer Softwarekomponente, der Klasse. Betrachtet man einen Agenten, wie z.B. eine Ameise, so besitzt dieser bestimmte Eigenschaften wie das Gewicht oder die Farbe und seinen augenblicklichen Aufenthaltsort. Das sind die sogenannte Attribute dieses Objektes. Desweiteren besitzt die Ameise aber auch bestimmte Fähigkeiten, wie z.B. Fressen, das ihr Gewicht beeinflußt, und Krabbeln, das ihren Aufenthaltsort verändert. Dieses sind die Methoden der Ameise, mit denen sie ihre Eigenschaften oder Attribute verändert. Die Objektorientierung ermöglicht die Identifizierung des Software-Objektes mit einem Agenten eines MAS, der wiederum ein reales Objekt repräsentiert.

Klassen wiederum beschreiben gleichartige Objekte. Sie sind die Schablonen für die individuellen Objekte. Betrachten wir die Klasse der Ameisen, so wissen wir, daß Ameisen die

gleichen Fähigkeiten, in diesem Fall die gleichen Methoden besitzen [Ferber 1999]. In der Ausprägung ihrer Eigenschaften wie z.B. ihrem Gewicht oder ihrem Aufenthaltsort hingegen unterscheiden sie sich. Die einzelne Ameise ist das Objekt, die individuelle Ausprägung der allgemeinen Schablone “Ameise”, d.h. der Klasse. Ein grundlegendes Prinzip von Klassen ist die Vererbung. Klassen gehören einer Klassenhierarchie an, in der die untergeordneten Klassen die Fähigkeiten, d.h. die Methoden der Vorfahren erben. Nehmen wir z.B. die Klasse der Ameisen, so vererbt diese ihre Eigenschaften an die Klasse der Königinnen und an die Klasse der Arbeiter. Neben den geerbten Fähigkeiten können die untergeordneten Klassen individuelle Fähigkeiten besitzen, wie z.B. das Eierlegen der Königin; eine Fähigkeit, die die Arbeiter nicht besitzen. Einzelne Methoden können auch durch die individuelle Ausprägung dieser Methode überschrieben werden (Polymorphie, [Booch 1994]). Das Konzept der Vererbung ermöglicht dem Forscher, Änderungen an den Fähigkeiten einer bestimmten Klasse vorzunehmen, indem er einfach diese Klasse an eine neue Klasse vererbt und bei dieser neuen Klasse die betroffene Methode überschreibt, d.h. neu definiert (“method overloading”). Das Verhalten der bisherigen Klasse, die er vielleicht in einem anderen Experiment weiterbenutzen will, ist davon nicht betroffen. Neben dem Qualitätsaspekt spielt aber auch die neu gewonnene Übersichtlichkeit eine Rolle, da der Forscher nur diese eine Methode ändern muß; die restlichen Fähigkeiten der Klasse und damit der betroffenen Agenten wird nicht berührt.

Die einzelnen Objekte stellen eigenständige Softwareprogramme dar, die parallel verarbeitet werden². Diese parallele Verarbeitung spiegelt den Fluß der Handlungen in der realen Welt wider, in der die einzelnen Akteure parallel handeln. Wie schon bei der Vorstellung der Elemente eines MAS beschrieben, beeinflussen die Agenten die Umweltobjekte in ihrem Umfeld und damit den Umweltzustand. Die Agenten, d.h. die handelnden Einheiten des Systems, sind in diese Umwelt eingebunden, häufig stehen sie auch in einem räumlichen Kontext zu den anderen Agenten. Der Entwurf eines Multi-Agenten-Systems als räumliches Modell ist der am häufigsten anzutreffende Typus [Ferber 1999]. Hier befinden sich die Agenten in einer lokalen Nachbarschaft, die sie mittels ihrer Sensoren wahrnehmen oder beobachten und in der sie sich in vielen Fällen bewegen³.

²Diese Parallelität ist in den meisten Fällen aber nur eine Pseudo-Parallelität. Von echter Parallelität könnte man sprechen, wenn jedes dieser Softwareprogramme eine eigene CPU (Central Processing Unit) für sich beanspruchen würde. Andernfalls wird die Abarbeitung der Verarbeitungsschritte der einzelnen Objekte sequenzialisiert, um anschließend von der Zentraleinheit (CPU) prozessiert zu werden.

³In diesem Fall begeben sich die Multi-Agenten-Systeme in die nahe Verwandtschaft zu den zellulären Automaten bzw. sie integrieren diese, ein prominentes Beispiel für die Kombination von zellulären Automaten und Agenten sind die Arbeiten von Epstein und Axtell [Epstein 1996]

6.1.4. Was leisten MAS?

Mit Hilfe von Multi-Agenten-Systemen versucht man, komplexe, adaptive Systeme zu beschreiben, die aus einem Netzwerk interagierender Agenten bestehen [Miller 1991]. Verursacht durch die Interaktion der einzelnen Akteure entsteht dynamisch das aggregierte Verhalten des Gesamtsystems (Emergenz)[Bonabeau 2002]. Dieses Gesamtverhalten kann dann ohne das detaillierte Wissen des individuellen Verhaltens der einzelnen Konstituenten beschrieben werden [Beckenbach 2001a]. Mit Hilfe von Multi-Agenten-Systemen läßt sich somit die Interaktionsdynamik eines Systems von Individuen, die eine eigene Handlungskompetenz besitzen, darstellen. Diese eigene Handlungskompetenz erlaubt es den Individuen, unterschiedliches Verhalten zu entwickeln. Die Akteure sind in der Lage, eigene Verhaltenshypothesen zu entwerfen und auf ihre Anwendbarkeit hin zu testen. Hieraus entsteht eine komplexe Entwicklung der Gesamtheit der Agenten.

Die Nutzung von Multi-Agenten-Systemen erfordert eine Umorientierung der Analyse, es ist nicht länger das Ziel eine analytische Lösung für eine gegebene Problemstellung zu finden. Vielmehr gilt es, künstliche Analogien zu realem Verhalten zu entdecken, deren Einflußfaktoren zu bestimmen und die Veränderung der lokalen und globalen Verhaltenslandschaft zu untersuchen, die durch die Variation der einzelnen Einflußgrößen verursacht werden.

Die Agenten stellen in einem MAS die handelnden Konstituenten des Systems dar. Sie beeinflussen durch ihr Handeln ihren eigenen Zustand und den der anderen Agenten. Zugleich beeinflussen sie aber auch den Zustand der Umweltobjekte in dem System. Die Agenten eines MAS lassen sich im Hinblick auf ihr Handeln und ihre Eigenschaften klassifizieren.

Personen zeichnen sich durch die Intentionalität und Zielgerichtetheit ihres Handelns aus. Sie besitzen einen freien Willen und die Konsequenz und die Kraft, die sich ihnen gestellten Ziele zu erreichen. Sie passen sich in ihrem Verhalten sowohl individuell als auch kollektiv den sich kontinuierlich verändernden Umweltbedingungen an.

Überträgt man diese Eigenschaften von Personen auf Computeragenten, so muß die Bandbreite und Reichweite dieser Fähigkeiten eingeschränkt werden. Computeragenten besitzen die folgenden Eigenschaften in unterschiedlicher Ausprägung (s. [Troitzsch 1996]):

- Autonomie - die Agenten handeln ohne den direkten Einfluß anderer Agenten auf ihr Handeln und ihren inneren Zustand.
- Soziale Kompetenz - die Kommunikation zwischen den einzelnen Agenten wird mittels einer gemeinsamen "Sprache" übertragen.

- Reaktivität - die Agenten sind in der Lage, den Zustand ihrer Umwelt mittels “Sensoren” wahrzunehmen und darauf zu reagieren.
- Proaktivität - neben der reinen Reaktion auf den Umweltzustand können Agenten auch selbst die Initiative ergreifen und zielgerichtetes Verhalten zeigen.

Agenten besitzen ein Gedächtnis, das verschieden stark ausgeprägt sein kann. Es gibt Agenten, die keinerlei Gedächtnisfähigkeit besitzen, während andere Agenten ein geringes, mittleres oder sogar sehr hohes Erinnerungsvermögen besitzen. Einige Agenten sind in der Lage, ihre Umwelt zu repräsentieren, wobei die Bandbreite zwischen einfacher Regelbefolgung, wie oben bei den Produktionssystemen beschrieben, über die Evaluation der verschiedenen Regeln bis hin zu einem offenen, lernenden Regelsystem (z.B. sogenannte Klassifizierungssysteme) reichen kann. Die Zielorientierung der Agenten kann verschiedene Komplexitätsgrade erreichen. Einige Agenten verfolgen nur ein einzelnes Ziel, wie z.B. die Maximierung des eigenen Profits, während wiederum andere Agenten multiple Ziele, die sich auch widersprechen können, verfolgen. Es ist auch möglich, die Agenten mit einem offenen Zielsystem, das sich Laufe der Simulation anpaßt, auszustatten. Die Agenten eines MAS können wiederum selbst intern ein komplexes System darstellen. Es sind dabei verschiedene Architekturen vorstellbar, wie z.B. ein Subsumptionssystem, ein Produktionssystem, ein konnektionistisches System oder wiederum ein Multi-Agenten-System [Ferber 1999].

Diese weiteren Eigenschaften von Agenten ermöglichen die Abgrenzung der folgenden Agententypen [Beckenbach 2001a]:

- Reaktive Agenten zeichnen sich durch geringe Gedächtniskapazitäten und durch eine starre, einem Reiz-/Reaktionsschema gehorchende Regelbefolgung, die durch ein einfaches Produktionssystem repräsentiert ist, aus.
- Adaptive Agenten erreichen schon eine höhere innere Komplexität. Sie weisen Gedächtnisstrukturen mittlerer Reichweite auf und koppeln die Regelaktivierung an die fortlaufend aktualisierte Regeltauglichkeit. Diese Messung der Regeltauglichkeit kann hierbei sowohl durch einen kardinalen Maßstab für den Regelerfolg indiziert, als auch durch ein Anspruchsniveau, an dem die jeweilige Zielrealisierung gemessen wird, erfolgen. Adaptive Agenten verfügen ihrerseits schon über ein, wenn auch einfaches, “inneres Modell” ihrer Umwelt, das es ihnen ermöglicht, aus den gespeicherten Informationen über die Zielerreichung Folgerungen für zukünftiges Verhalten zu schließen.
- Proaktive Agenten wiederum verändern ihre Umwelt zielgerichtet und aktiv. Sie verfügen über weitreichende Gedächtniskapazitäten und die Fähigkeit, die eigenen Handlungsbedingungen wie z.B. die eigenen Regeln und Ziele abhängig vom Zustand

der sie umgebenden Umwelt zu modifizieren. Das schließt ein, daß sie aufeinander abgestimmte Handlungsketten planen und ausführen können, sie handeln deliberativ.

Je komplexer die Umwelt der Agenten, desto größer ist die von ihnen benötigte Autonomie. Das Ziel ihres Handelns, das sich in einem bestimmten Zielerreichungsgrad manifestiert, wird durch ihre Emotionen, Motive, Wünsche und Überzeugungen bestimmt. Die Emotionen beeinflussen die Wahrnehmung der Umwelt, sie liefern Kontrollsignale für den Agenten. Die Wünsche und Überzeugungen der Agenten stellen neben dem Gedächtnis des Agenten einen Teil seines Wissens dar. Dieses kann sowohl mittels einfacher Prädikatenlogik als auch in Form semantischer Netzwerke repräsentiert sein. Zusammen mit den Motiven des Handelns bestimmen sie die Schlußfolgerungen, die ein Agent auf der Basis des tatsächlichen Umweltzustandes und seines "inneren Modells" der Beziehungen zwischen den Agenten untereinander bzw. zur Umwelt zieht [Ferber 1999].

6.1.5. Verwendungsmöglichkeiten von Multi-Agenten-Systemen

Für die Nutzung von Multi-Agenten-Systemen läßt sich eine Vielzahl von Untersuchungsfeldern identifizieren [Ferber 1999]:

- Problem-Lösung: dieser Bereich umfaßt all jene Situationen, in denen Software-Agenten Aufgaben übernehmen, die für Menschen von Nutzen sind. Hierunter könnten z.B. in Zukunft Probleme der Datenbeschaffung oder der einfachen Datenanalyse fallen.
- Multi-Agenten-Simulationen: dem Bereich der Multi-Agenten-Simulationen sind eine Vielzahl von Untersuchungen zuzuordnen [Ferber 1999, Conte 1995, Epstein 1996]; hierzu zählen einerseits Simulationen aus dem Bereich der Naturwissenschaften, und hier insbesondere der Biologie oder Paläontologie, aber auch Untersuchungen aus den Sozialwissenschaften, wie z.B. der Ökonomie.
- Entwurf künstlicher Welten: befreit man die Multi-Agenten-Simulationen von der Annahme der Abbildung realer Objekte oder Akteure, so gelangt man zu den sogenannten virtuellen oder synthetischen Welten⁴. Diese Anwendung von MAS dient häufig der Untersuchung der grundlegenden Eigenschaften von MAS selbst. Durch die Abstraktion lassen sich einzelne Aspekte von MAS, wie z.B. die Interaktion der Agenten, deren Sprache oder deren Kognitionsfähigkeiten und der Effekt dieser Eigenschaften und Fähigkeiten auf die Modelldynamik, isoliert betrachten und extrahieren.

⁴Die ersten virtuellen Welten waren z.B. die Computerspiele, die Interaktion der in ihnen "lebenden" Objekte (s. z.B. Pac-Man) mit dem Spieler modelliert haben.

- **Collective Robotics:** Collective Robotics untersucht das Verhalten einer Mehrzahl von realen Robotern. Die Ähnlichkeit zu den synthetischen Welten und den MAS-Simulationen ist naheliegend, allerdings wird hier das Verhalten und die Wechselbeziehung realer Objekte in einer physischen Umgebung beschrieben. Man unterscheidet zwei Teilbereiche dieses Forschungsgebietes, die zelluläre und die mobile Robotik. Im Rahmen der zellulären Robotik werden die Konstruktionsprinzipien von Robotern auf der Basis unabhängiger, interagierender Teileinheiten untersucht, während sich die mobile Robotik mit der Koordination mehrerer Roboter als unabhängige Einheiten in einer physischen Umgebung, z.B. einer Fabrik, beschäftigt.
- **Kenetic Program Design:** Ferber schlägt als weiteres Forschungs- und Anwendungsfeld das Softwaredesign auf der Basis von Multi-Agenten-Systemen vor. Hierbei steht nicht mehr das konsequente Prozessieren von Daten im Vordergrund, vielmehr ist das Ziel der Entwicklung der Entwurf verteilter Software, die große Flexibilität aufweist und sich somit eigenständig veränderten Rahmenbedingungen anpaßt. Die Anpassung kann über die Interaktion, Adaption oder Reproduktion der einzelnen Komponenten geschehen. Interessant werden diese Konzepte in physisch verteilten Softwarelandschaften, in denen nicht länger manuell angepaßte Replikat des Originals laufen, sondern sich das Original innerhalb der Landschaft bewegt und dem Teilsystem, indem es sich gerade befindet, anpaßt.

6.1.6. Multi-Agenten-Simulationen

Die Nutzung von Multi-Agenten-Systemen für Simulationen eröffnet eine Vielzahl von neuen Analysemöglichkeiten. Einzelne Individuen, die sowohl in ihren Eigenschaften als auch ihrem Verhalten und den Wechselbeziehungen untersucht werden sollen, lassen sich direkt durch sogenannte Computeragenten repräsentieren. Emergente Phänomene sind nicht mehr länger statistisch ermittelte Parameter, sondern das Ergebnis der Interaktion individueller Handlungen. Multi-Agenten-Systeme erlauben es hierbei, nicht nur quantitative, sondern darüberhinaus auch qualitative Variablen in die Untersuchung einzubeziehen.

Mit Hilfe eines Multi-Agenten-Systems erhält man somit ein Mikro-analytisches Modell, dessen Dynamik sich aus der Ebene des individuellen Verhaltens und nicht aus den globalen Variablen speist. Die Modellierung geschieht auf der Mikroebene der Systemkonstituenten; Phänomene auf höher gelegenen Organisationsebenen sind das Ergebnis der dynamischen Wechselbeziehungen der Akteure sowohl untereinander als auch mit ihrer lokalen bzw. globalen Umwelt. Diese mikro-analytischen Modelle erlauben es, Serien von Computerexperimenten durchzuführen, die Modelle im kleinen Maßstab, ähnlich den Untersuchungen im

Schiff- oder Flugzeugbau, darstellen. Ziel ist es, die Analogien zwischen den Modellen und der realen Welt zu beschreiben und zu analysieren⁵. Dazu ist man gezwungen, da die Navier-Stokes-Gleichung als nichtlineare partielle Differentialgleichung nur in wenigen Sonderfällen analytisch lösbar ist.

Multi-Agenten-Systeme stellen für den Forscher somit ein Mikrolabor innerhalb seines Computers dar. Ähnlich einem realen Labor in der Biologie kann der Forscher den Versuchsaufbau beeinflussen. Er ist in der Lage, die Agenten innerhalb ihrer Umgebung umzupositionieren oder ihr Verhalten zu ändern. Desweiteren lassen sich auch die Umweltbedingungen für die Agenten im Laufe der Experimente leicht und schnell ändern. Da in diesem Labor jeder einzelne Agent, ähnlich der Untersuchung von Fischschwärmen in Ozeanen, markiert werden kann, erlaubt dieses dem Forscher, den Einfluß der oben beschriebenen Änderungen auf jeden einzelnen Agenten zu untersuchen.

Die MAS bringen dem Forscher substantielle Vorteile im Hinblick auf die Integrationsfähigkeit und die Flexibilität gegenüber herkömmlichen Simulationsmethoden. Wie oben schon erwähnt, erlauben Multi-Agenten-Systeme die Integration sowohl quantitativer Daten z.B. in Form von Differentialgleichungen als auch die Nutzung qualitativer Daten wie die Darstellung des Akteursverhaltens mittels symbolischer Regeln in einem einzigen Modell. Die Architektur des jeweiligen Modells läßt sich aufgrund der Objektorientierung der Implementation der MAS leicht, sicher und schnell modifizieren, indem man unter Nutzung sogenannter Vererbungsmechanismen einfach zusätzliche Verhaltensregeln hinzufügt [Booch 1994, Ferber 1999].

Abschließend läßt sich zusammenfassend feststellen, daß Multi-Agenten-Systeme die Modellierung von komplexen Systemen erlauben. Sie unterstützen die Erforschung von Strukturen auf der Meso- und Makroebene, die sich als emergente Phänomene des individuellen Verhaltens der Akteure auf der Mikroebene darstellen.

6.1.7. Bedeutung von MAS für die Ökonomik

Beckenbach [Beckenbach 2001a] kritisiert ähnlich der Argumentation von Nelson und Winter, daß die Sicherstellung einer formal-analytischen Behandelbarkeit ökonomischer Zusammenhänge und damit auch die Sicherstellung allgemein gültiger Folgerungen aus der Unter-

⁵In der Hydrodynamik macht man sich das Prinzip der dynamischen Ähnlichkeit zunutze [Tritton 1988]. Da Experimente mit Modellen in Originalgröße im Schiff- oder Flugzeugbau zu kostspielig oder nicht durchführbar sind, führt man die Experimente im Modellmaßstab durch. Hierbei bedient man sich der sogenannten Reynoldszahl, die ein Maß für die Dynamik der Konfiguration darstellt. Experimente die durch die gleiche Reynoldszahl charakterisiert sind, weisen dynamische Ähnlichkeit auf. Die Ergebnisse des Experimentes im Modellmaßstab ist damit auf die Originalsituation übertragbar.

suchung derartiger Zusammenhänge in der Standardökonomie durch einige Basishypothesen erkauft wird, die empirisch nicht besonders gehaltvoll sind. Er führt dabei exemplarisch die Existenz tendenziell vollständig rationaler Akteure, die Konstruktion eines repräsentativen Akteurs und die apriorische Ausrichtung des Akteurshandelns an stilisierten Ordnungsvorstellungen wie z.B. dem Gleichgewicht bzw. dem Optimum auf. Diese Basishypothesen müssen laut Beckenbach getroffen werden, um das Handeln der Akteure eindeutig bestimmen, diese widerspruchsfrei zu Aggregatgrößen zusammenfassen und die gewünschte Ordnung als Ergebnis individueller Handlungen begründen zu können.

Will man die getroffenen Annahmen mit mehr empirischem Gehalt anreichern, so versagen die klassischen Analysemethoden, vielmehr bieten sich hier die Methoden von Multi-Agenten-Systemen (synonym: Artificial Adaptive Agents [Miller 1991] oder Agent-based computational economics (ACE) [Tesfatsion 2001]) an. Multi-Agenten-Systeme erlauben es, die bisherigen Forschungen zur ökonomischen Selbstorganisation und zur Evolution in einer Reihe von Richtungen empirisch gehaltvoll zu erweitern [Beckenbach 2001a]:

- Die Annahme vollständig rationaler Akteure kann durch die Annahme “beschränkt-rationaler” Akteure ersetzt werden, wobei die Gestalt dieser “Beschränktheit” im Hinblick auf die Informationsmenge, die Möglichkeiten der Informationsspeicherung und der Fähigkeit, aus diesen Informationen Handlungswissen zu generieren, detailliert spezifiziert werden kann.
- Die Annahme des repräsentativen Akteurs (zur Kritik daran s. [Kirman 1992]) kann durch die Spezifizierung ökonomischer Welten mit heterogenen Akteuren ersetzt werden. Diese Akteure gründen ihre Interaktionen mit den anderen Akteuren und mit ihrer Umwelt auf endogenen sozialen Normen und Verhaltensregeln. Die Methode der Multi-Agenten-Systeme erlaubt es, wie oben schon erwähnt, den Akteuren, eine reichhaltigere kognitive Struktur und ihnen somit mehr Autonomie mitzugeben.
- Die Heterogenität der Akteure erlaubt es, eine große Vielfalt an Verhaltensweisen und Interaktionen in einem Modell zu integrieren; ihre “beschränkte” Rationalität fordert von den Akteuren, sich kontinuierlich an die aktuelle Situation anzupassen, um ihre individuellen Bedürfnisse zu befriedigen.
- Die Verhaltensregeln der Akteure sind zustandsabhängig, und die einzelnen Akteure passen sich wechselseitig aneinander in einem komplizierten Geflecht von Adoptionsvorgängen an. Das Gleichgewicht als Ordner auf der Makroebene wird durch eine offene Modellierung für die Entstehungsbedingungen der unterschiedlichen Formen makroskopischer Ordnung ersetzt. Die ökonomische Welt des Multi-Agenten Systems weist Selbstorganisation auf.

- Die Evolutionsprozesse können als natürlicher Selektionsdruck, der direkt auf die Verhaltensweise des einzelnen Akteurs wirkt, repräsentiert werden. Die einzelnen Akteure sind in ein ständiges Experimentieren eingebunden, sie ko-evolvieren.
- Die ökonomischen Welten können zeitabhängig modelliert werden. Ausgehend von den Anfangsbedingungen, die von dem Experimentator vorgegeben werden, sind alle nachfolgenden Zustände durch die Agenten-Agenten- und Agenten-Umwelt-Interaktionen bestimmt, ohne daß von außen durch den Experimentator eingegriffen werden muß.

Multi-Agenten-Systeme geben dem Forscher bei ihrer Anwendung auf ökonomische Fragestellungen eine Methodologie an die Hand, die die Konzepte der Evolutorischen Ökonomik, der Kognitionswissenschaften und der Computerwissenschaften miteinander vereint. Diese Mischung verschiedener Forschungsstränge erlaubt es [Tesfatsion 2001]:

- Ökonomische Theoreme auf das Denken und Handeln autonomer Agenten zu beziehen.
- Diese Theorien zu testen, zu verbessern und zu erweitern, indem man wohlüberlegte Experimente durchführt und angemessene Vergleiche mit analytischen, ökonometrischen Feld- und Laborexperiment anstellt.
- Konzeptuell integrierte sozioökonomische Theorien zu formulieren und zu testen, die mit den Theorien und empirischen Ergebnissen der verschiedenen, relevanten Forschungsfelder der Sozialwissenschaften, die zur Zeit durch künstliche Disziplingrenzen voneinander getrennt sind, übereinstimmen.

Der Forscher sollte sich bei der Anwendung von Multi-Agenten-Systemen von zwei zentralen Fragen leiten lassen:

- Warum kann die Entstehung und Existenz bestimmter globaler Ordnungen in dezentralisierten Marktökonomien auch in Abwesenheit von globalen Ordnern beobachtet werden?
- Wie kann man die Multi-Agenten-Systeme normativ nutzen?

6.2. Beispiele für MAS in der Ökonomie

Im Laufe der letzten Jahre sind eine Reihe unterschiedlicher Arbeiten veröffentlicht worden, die die Methodologie der Multi-Agenten-Systeme auf Problemstellungen der Ökonomie

anwenden. Diese Arbeiten untersuchen ein weites Spektrum an ökonomischen Fragestellungen. Wir wollen einige dieser Arbeiten hier kurz vorstellen, indem wir die Fragestellung, die prinzipielle Vorgehensweise und die Modellarchitektur sowie die zentralen Ergebnisse zusammenfassend vorstellen. Die hier vorgestellte Liste reklamiert keine Vollständigkeit für sich, die Dynamik dieses Forschungsgebietes läßt nur eine Momentaufnahme des aktuellen Forschungsstandes im Rahmen dieser Arbeit zu.

In dem von Epstein und Axtell im Jahr 1996 veröffentlichten Monographen [Epstein 1996] konstruieren die beiden Autoren eine einfache Agenten-Welt, die sie Sugarscape nennen. Damit sind sie in der Lage, eine Reihe unterschiedlicher sozialer Phänomene zu simulieren, die an menschliche Gesellschaften erinnern. Sie entwickeln eine eigenständige Ökonomie, Epidemien, Stammesbildung und großflächige Migrationen mittels dieses Modells.

Aus ökonomischer Sicht sind insbesondere die Simulationen von Epstein und Axtell von Interesse, bei denen die Akteure zwei unterschiedliche Güter austauschen und handeln. In diesem Abschnitt gehen die Autoren der Frage nach, ob sich bei der Nutzung einer bestimmten lokalen Verhandlungsstrategie ein (wenn auch stochastisches) Gleichgewicht erreichen läßt.

Die Agenten bewegen sich im Sugarscape-Modell in einer zweidimensionalen Landschaft, in der zwei Güter als natürliche Ressourcen wachsen. Die Akteure sind unterschiedlich effizient in der Ernte dieser beiden Güter und in der Menge, die sie von diesen Gütern verbrauchen, um ihre Lebensfunktion aufrechtzuerhalten. Ihre jeweiligen Mängel können die Agenten durch Tauschhandel der Güter auszugleichen versuchen. Hierzu müssen sie sich einen potentiellen Tauschpartner suchen, mit dem sie anhand einer vorgegebenen Regel in Verhandlung treten. Ist der Handel für beide Tauschpartner vorteilhaft, so findet ein Abschluß zu einem bestimmten Preis statt.

Ein Ergebnis von Epstein und Axtell für diesen Handel ist, daß sich im Laufe der Zeit ohne eine zentrale Steuerung durch einen Preismechanismus so etwas wie ein "stochastischer" Gleichgewichtspreis herausbildet, um den herum Schwankungen des aktuellen Preises stattfinden. Man kann in diesem Modell von einer dezentralisierten Suche nach einem stabilen Preis sprechen, die eine gewisse Grundschwankung nicht eliminieren kann.

Epstein [Epstein 2001] konstruiert in seiner Arbeit ein Multi-Agenten-System, mit dem er die Evolution sozialer Normen studiert. Hierbei untersucht er speziell die Beobachtung, daß die von Individuen aufgewandte Zeit, die sie benötigen, um über ihr Verhalten nachzudenken, umgekehrt proportional zu der Stärke der zu beachtenden Norm ist. Im Extremfall denken die Individuen nicht mehr über ihr Verhalten nach, wenn eine Norm fest in einer Gesellschaft verankert ist.

Die Agenten in Epsteins Modell sind auf einem Ring platziert und überdenken eine binäre Norm. Hierzu befragen die Agenten ihre Nachbarn innerhalb eines festgelegten Radius, um die augenblickliche soziale Meinung zu erfahren. Epstein läßt bei den individuellen Agenten ein Lernen sowohl in Bezug auf ihr Verhalten (welche Norm sie überdenken) als auch hinsichtlich des Zeitaufwandes für das Nachdenken zu. Jeder Agent aktualisiert hierzu seinen Befragungsradius mittels einer Daumenregel und versucht, seine Norm mit seiner Umgebung in Übereinstimmung zu bringen.

Epstein erhält in seinem Modell Ergebnisse, die im Einklang mit den beobachteten Fakten stehen: lokale Konformität der Akteure, globale Diversität und sogenanntes “punctuated equilibrium”. Darüberhinaus kann Epstein mit seinem Modell zeigen, daß der Befragungsradius der individuellen Akteure steigt oder fällt, je nachdem, wie sich soziale Normen auflösen oder verfestigen.

Wilhite [Wilhite 2001] benutzt ein Multi-Agenten-Simulationsmodell für die Untersuchung einer bilateralen Tauschökonomie im Hinblick auf die Konsequenzen von beschränktem Handel in lokalen Netzwerken auf die Mikro- und Makroebene des Marktes. Er konzentriert sich in seinem Modell auf den “Trade-off” zwischen globaler Markteffizienz und Transaktionskosten im Hinblick auf vier unterschiedliche Netzwerktypen:

- Vollständige Verbindung aller Akteure (jeder Agent kann mit jedem anderen Agenten handeln).
- Lokal unabhängige Netzwerke, die aus disjunktiven Handelsgruppen bestehen.
- Mehrere Gruppen von Akteuren, die auf einer Ringtopologie platziert und untereinander schwach über die Randmitglieder der einzelnen Gruppen verbunden sind.
- Kleine Tauschnetzwerke, die aus lokalen Subnetzwerken bestehen, die mit bis zu fünf nicht-nächsten Nachbarn verbunden sind.

In jeder dieser Topologien besitzen die Händler eine Menge zweier unterschiedlicher Güter und suchen sich geeignete Tauschpartner, mit denen sie die Preise verhandeln und bei Vorliegen des besten Angebotes diese Güter tauschen.

Ein zentrales Ergebnis der Untersuchung von Wilhite ist die Erkenntnis, daß die kleinen Tauschnetzwerke die meisten Effizienzvorteile des Modells vollständiger Verbindung bieten, ohne die Einsparungen an Transaktionskosten, die durch lokale Netzwerke erreicht werden, zu verlieren. Darüberhinaus legen seine Ergebnisse die Vermutung nahe, daß Anreize für die Bildung solcher Tauschnetzwerke auf der Mikroebene existieren, da die Händler innerhalb solcher Netzwerke sich besser stellen als solche, die nicht partizipieren.

Kirman und Vriend [Kirman 2001] entwickeln in ihrer Arbeit das Modell des Fischmarktes der französischen Hafenstadt Marseille mit Hilfe eines Multi-Agenten-Systems. In ihrer Arbeit versuchen die beiden Autoren, zwei Aspekte realer Fischmärkte zu verstehen, die immer wieder beobachtet werden: Preisunterschiede und eine weitverbreitete Loyalität der Käufer zu ihren Verkäufern, die sich in der Form wiederholter Käufe manifestiert.

In diesem Modell muß jeder Käufer und Verkäufer mehrfach Entscheidungen im Verlaufe eines Handelstages in Bezug auf den Preis, die Menge, die Wahl des Tauschpartners und auf die Behandlung dieses Tauschpartners treffen (z.B. soll ein Verkäufer seinen treuen Käufern ein besseres Geschäft anbieten). Jede einzelne dieser Entscheidungen modellieren die beiden Autoren mittels eines Klassifizierungssystems [Holland 1992, Goldberg 1989].

Kirman und Vriend identifizieren in ihrem Modell die Entstehung von Preisunterschieden und Loyalitäten als ein Ergebnis der Ko-Evolution der Entscheidungsregeln von Käufern und Verkäufern in ihrem Modell. Sie berichten, daß zum Beispiel die Käufer lernen, loyal zu einem Verkäufer zu sein, im Gegenzug zum Lernen des jeweiligen Verkäufers diese Loyalität mit einem besseren Geschäft zu belohnen und umgekehrt.

De Vany und Lee [De Vany 2001] untersuchen die Dynamik der Umsätze von Spielfilmen anhand eines Multi-Agenten-Systems. Diese Fragestellung hat auch andere Autoren beschäftigt, insbesondere wie es bei Low-Budget Filmen immer wieder zu unerwarteten Erfolgen kommt, während Filme mit aufwendigem Marketingbudget große Verluste machen [Ormerod 1998]. De Vany und Lee erforschen in ihrem Modell insbesondere den Effekt von Informationskaskaden und deren Robustheit. Im Gegensatz zu anderen Untersuchungen von Informationskaskaden sind in diesem Modell die Agenten in der Lage, zwischen mehr als zwei Alternativen zu wählen, und darüberhinaus erhalten die Akteure von ihren benachbarten Agenten zusätzlich zu den globalen Informationen über die Gesamtbesucherzahl lokale Qualitätsinformationen über den jeweiligen Film.

Die beiden Autoren finden in ihren Simulationsstudien das Auftreten multipler, koexistierender Kaskaden. Diese zeigen gleichartige, in Abständen wiederkehrende Muster aus zwei oder mehreren miteinander verwobenen Kaskaden, die alternierend dominieren. Die Autoren stellen heraus, daß die in ihren Computerexperimenten gefundenen komplexen Muster der irregulären Dynamik der Spielfilmsumsätze ähneln.

Tesfatsion [Tesfatsion 2001] untersucht in ihrer Arbeit die Beziehungen zwischen der Struktur, dem individuellen Verhalten und der Marktmacht der Akteure in einem agentenbasierten Simulationsmodell für den Arbeitsmarkt. Das Modell umfaßt sowohl Arbeitgeber als auch Arbeitnehmer, die wiederholt an einer gegenseitigen, kostenverursachenden Suche nach einem präferierten Arbeitspartner auf der Basis individueller Nutzenerwartungen partizipieren. Darüberhinaus entwickeln sich die jeweiligen Strategien der Akteure im

Zeitverlauf anhand der erreichten Erträge in der Vergangenheit. Unzufriedene Arbeitnehmer können die Arbeit für einen Arbeitgeber kündigen und sich einen anderen Arbeitgeber suchen, während unzufriedene Arbeitgeber dem jeweiligen Arbeitnehmer kündigen können, indem sie ihm keinen weiteren Vertrag anbieten.

Die Ergebnisse von Tesfatsion sind insbesondere interessant im Hinblick auf die Konzentration von Arbeitsplätzen und des Arbeitsplatzvolumens. Die Autorin arbeitet heraus, daß das Arbeitsplatzvolumen konstant den Konzentrationsfaktor als Indikator für die relative Marktmacht von Arbeitnehmern und Arbeitgebern übertrifft. Im Falle fester Arbeitsplatzkapazitäten kommt Tesfatsion in diesem Simulationsmodell zu dem Ergebnis, daß die Arbeitsplatzkonzentration nur geringe und wenig systematische Effekte auf die jeweilige Marktmacht zu haben scheint.

In einer aktuellen Arbeit untersuchen Janssen und Jager [Jager 2002] die Diffusion von sogenannten “green products” mit Hilfe eines Multi-Agenten-Systems. Hierzu modellieren sie die Konsumenten und die Unternehmen als Population von Agenten, die sich in ihrem Verhalten unterscheiden. Die Konsumenten können zwischen zwei Produktalternativen wählen, einer konventionellen und einer umweltschonenden Produktvariante deren Produktion weniger Ressourcen verbraucht und das im Gegensatz zum konventionellen Produkt an die Konsumenten vermietet und nicht verkauft wird. Neben dem Preis und dieser Produkteigenschaft beziehen die Konsumenten in diesem Diffusionsmodell auch die Kaufentscheidung der Mit-Konsumenten ein, wobei sie zwei unterschiedliche Konfiguration dieses sozialen Netzwerkes einbeziehen. Für den Markt treffen die beiden Autoren die Annahme der Markträumung. Die Produzenten ändern ihr Produkt, ihre Kapitalausstattung und ihre Forschungsaufwendungen entsprechend der Marktnachfrage anhand von Routinen.

Das zentrale Ergebnis der beiden Autoren für die Diffusion dieser “green products” ist eine Klassifizierung von Märkten in Bezug auf den dominierenden Entscheidungsprozeß der Konsumenten. Hierbei unterscheiden sie zwischen der sozialen Kompatibilität der Kaufentscheidung und der Wichtigkeit der Entscheidung. Der Kauf von Kleidung besitzt zum Beispiel einen hohen Statuseffekt, allerdings ist er aufgrund der geringen Preise von geringer Wichtigkeit. Demgegenüber identifizieren die beiden Autoren den Autokauf als Kaufentscheidung hoher Wichtigkeit und hoher sozialer Kompatibilität. Diese verschiedenen Märkte unterscheiden sich im Hinblick auf ihre Marktdynamik und wirtschaftspolitische Eingriffe müssen passend für die frühen Adoptoren in diesen Märkten gewählt werden. Nach Ansicht der beiden Autoren wird gerade nicht ein einziges Instrument in allen Märkten gleich wirkungsvoll sein.

Neben den hier vorgestellten Arbeiten existiert noch ein große Zahl weiterer Arbeiten, die die Methodik der Multi-Agenten-Systeme auf Fragestellungen der Ökonomie anwen-

den. Es seien hier noch Arbeiten zu den Finanzmärkten von Arthur et.al [Arthur 1997], Tay und Linn [Tay 2001], Duffy [Duffy 2001], Chen und Yeh [Chen 2001], zu den Wechselkursen von Währungen [Arifovic 2001], zu dem sogenannten “congestion game” von Arthur [Arthur 1994a] und Bell [Bell 2001] und zum Elektrizitätsmarkt von Bower und Bunn [Bower 2001] erwähnt.

Teil III.

Die evolutorische Modellierung der Diffusion ökologischer Produktinnovationen

7. Simulationsmodell für die Marktdiffusion

7.1. Einleitung

Ausgangspunkt des hier vorgestellten Modells ist die Arbeit von Nelson und Winter [Nelson 1982] (s. Abb. 7.1), die wir in Kapitel 3 ausführlich diskutiert haben. Um die von uns hier vorgeschlagenen Erweiterungen zu verdeutlichen, wollen wir die Struktur des Modells von Nelson und Winter noch einmal kurz skizzieren. Ausgehend von dem Zustand der Produzenten zu einem Zeitpunkt t werden parallel ein Investitionsmodul und ein Modul, das den technischen Wandel beschreibt, durchlaufen, um den Zustand in $t + 1$ zu bestimmen. Im Investitionsmodul werden die Kapital- und die Forschungsinvestitionen für diese Simulationsperiode t festgelegt. Im Modul "Technischer Wandel" wird mit Hilfe einer Innovations- und Imitationslotterie die neue Kapitalproduktivität bestimmt.

Vergleicht man das Modell von Nelson und Winter mit dem, welches in dieser Arbeit vorgeschlagen wird (s. Abbildung 7.2), so fallen einige zentrale Erweiterungen auf. Ausgehend von dem Zustand der Unternehmen zum Zeitpunkt t kann man zwei parallele Stränge erkennen. Einer beschreibt den kapitalintensiven Teil der Produzentenbeschreibung, der andere den wissensintensiven Teil. Im kapitalintensiven Teil finden wir genauso wie bei Nelson und Winter ein Investitionsmodul wieder, neben diesem gibt es aber auch ein Modul, welches die Marktoperationen beschreibt. Während bei Nelson und Winter die Marktoperationen durch eine gleichgewichtige ad-hoc Nachfragefunktion beschrieben werden, sind die Marktoperationen in diesem Modell deutlich komplexer. Gleiches gilt für die Beschreibung des technischen Wandels in diesem Modell. Bei Nelson und Winter gab es nur zwei Lotterien, die den technischen Wandel auf Seiten der Produzenten beschrieben haben. In unserem Modell wollen wir die unterschiedlichen Aspekte auseinanderziehen und sie getrennt voneinander diskutieren. Wir haben dabei einerseits den Suchprozeß der Unternehmen und daneben die Entscheidungen über den technischen Wandel durch die Produzenten zu berücksichtigen. Beide Stränge des Produzentenhandelns werden in diesem Modell durch ein Strategiemodul zusammengeführt. Bei Nelson und Winter existiert eine feste Routine, die das Verhalten

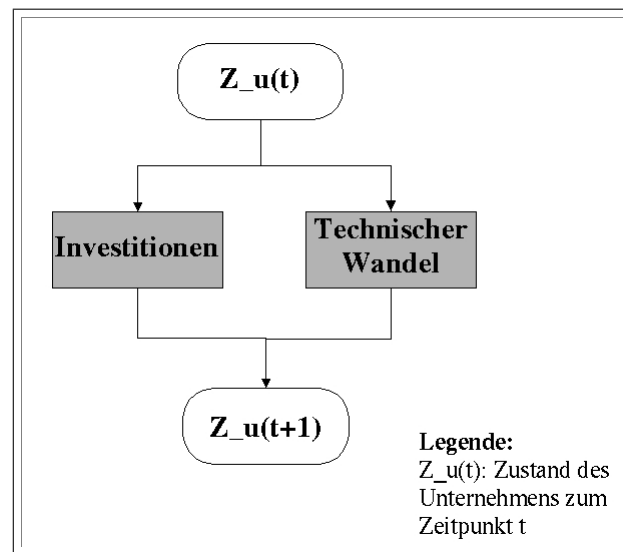


Abbildung 7.1.: Diese Abbildung faßt die zentralen Elemente des Modells von Nelson und Winter zusammen. Quelle: [Nelson 1982], eigene.

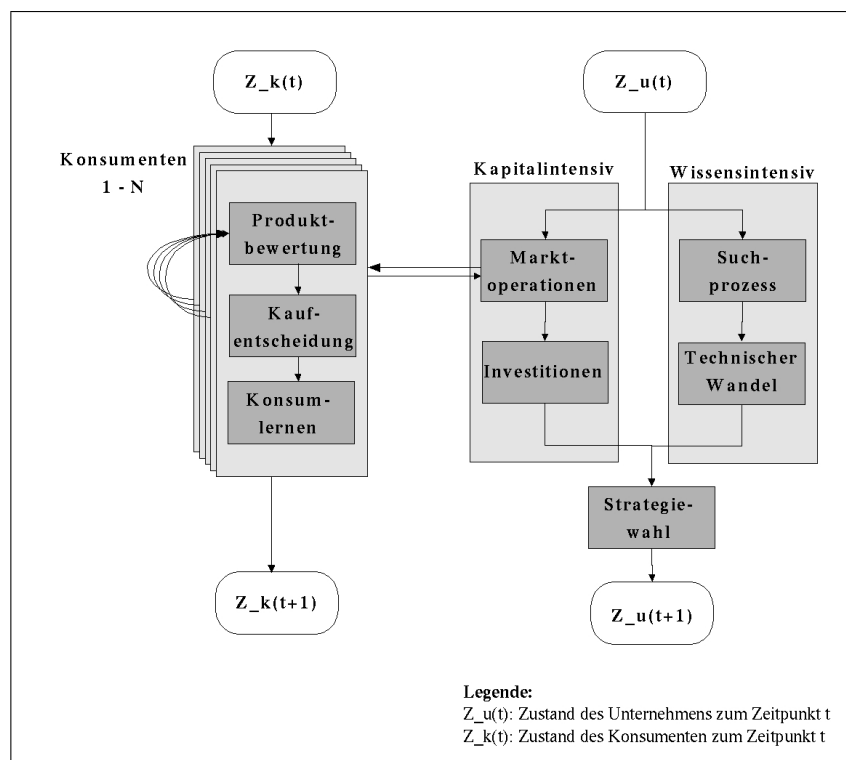


Abbildung 7.2.: Diese Abbildung faßt die zentralen Elemente unseres Modells vor. Quelle: eigene.

der Produzenten über den gesamten Simulationsverlauf bestimmt. In unserem Modell hingegen evaluieren die Produzenten am Ende jeder Periode ihre Handlungen und bestimmen auf der Basis des individuellen Vorgehens ihre Verhaltensstrategie für die nächste Simulationsperiode. Neben den Produzenten haben wir in diesem Modell auch die Konsumenten explizit modelliert, ganz im Gegensatz zu Nelson und Winter, die eine Nachfragefunktion in ihrem Modell verwendet haben. Auch die Konsumenten besitzen in unserem Modell ein weitaus komplexeres Verhalten als es durch die Nachfragefunktion bei Nelson und Winter zu beschreiben wäre. In den folgenden Abschnitten wollen wir die verschiedenen Teilmodule, deren Aufgabe wir hier nur kurz skizziert haben, im Detail vorstellen¹.

7.2. Produzenten

7.2.1. Ausgangszustand

Wir beginnen die Beschreibung der Produzenten mit der Diskussion des Ausgangszustandes zum Zeitpunkt t und der ihn charakterisierenden Zustandsvariablen. Durch die verschiedenen Operationen der Produzenten, die in den Teilprozessen modelliert sind, manipulieren die Hersteller ihre Zustandsvariablen bis zur nächsten Simulationsperiode.

Die Produzenten sind in diesem Modell 1-Produkt Unternehmen; wir verzichten auf die Modellierung von Mehrproduktunternehmen, da die wesentlichen Mechanismen des Diffusions- und Wettbewerbsprozesses auch mit dem hier vorgestellten Modell identifiziert und analysiert werden können.

Wir verwenden für die Beschreibung der Zustandsvariablen des Simulationsmodells die folgenden Notationen:

$K_i(t)$	:	Produktionskapital des Produzenten i in t
$C_{Depr.,i}(t)$	:	Abschreibung auf das Produktionskapital des Produzenten i in t
$K_{Savings,i}(t)$	:	Kapitalrücklagen des Produzenten i in t
$I_i(t)$	:	Kapitalinvestitionen des Produzenten i in t
$\Gamma_i(t)$	:	Gewinn des Produzenten i in t
$B_i(t)$	:	Bankkredit des Produzenten i in t
$R_i^{prod.,1}(t)$	:	Wissenskapital für Fahrzeugleistung des Produzenten i in t

¹Als Simulationsumgebung haben wir die SWARM-Klassenbibliothek benutzt [SWARM 2000]. Diese stellt eine Reihe von unterschiedlichen Hilfsklassen zur Verfügung, die die Modellierung von Multi-Agenten-Systemen erleichtern. Die SWARM-Klassenbibliothek nutzt die Programmiersprache Objective-C [Objective C 1998], die wir unter dem Betriebssystem Linux [SuSE Linux 6.3] verwendet haben.

$R_i^{prod.,2}(t)$	:	Wissenskapital für Benzinverbrauch des Produzenten i in t
$R_i^{prod.,3}(t)$	:	Wissenskapital für Design des Produzenten i in t
$I_i^{prod.,1}(t)$	:	Forschungsinvestitionen Fahrzeugleistung des Produzenten i in t
$I_i^{prod.,2}(t)$	:	Forschungsinvestitionen Benzinverbrauch des Produzenten i in t
$I_i^{prod.,3}(t)$	:	Forschungsinvestitionen Design des Produzenten i in t
$P_i(t)$	:	Preis des Produktes des Produzenten i
$A_{1,i}(t)$	:	Leistung des Produktes des Produzenten i
$A_{2,i}(t)$	:	Benzinverbrauch des Produktes des Produzenten i
$A_{3,i}(t)$	:	Design/Styling des Produktes des Produzenten i

7.2.1.1. Kapitalstock

Die Produzenten verfügen über einen Kapitalstock $K_i(t)$, den sie zur Produktion ihres Gutes benötigen. Dieser Kapitalstock unterliegt einer Abnutzung, die allerdings durch Investitionen kompensiert werden kann. Diese Investitionen erlauben es dem Produzenten, gleichermaßen den Kapitalstock zu erweitern oder auch zu verringern. Die Zustandsgleichung für den Kapitalstock der Produzenten lautet dann:

$$K_i(t) = K_i(t-1) + I_i(t) - C_{Depr.,i}(t) \quad (7.1)$$

Wir berücksichtigen in diesem Modell keinen Vintage-Kapitalstock, der Technologien verschiedener Investitionszeitpunkte beinhaltet. Vielmehr treffen wir die Annahme, daß der Kapitalstock sozusagen “alterslos” ist².

7.2.1.2. Qualitätsmerkmale der Produkte

Die Produzenten stellen in diesem Modell ein Produkt her, daß durch die drei physischen Merkmale “Fahrzeugleistung, Benzinverbrauch und Design” beschrieben wird. Hinzu kommt noch die monetäre Eigenschaft des Produktpreises. Die Fahrzeuge der verschiedenen Hersteller unterscheiden sich in der Ausprägung dieser drei physischen Produktmerkmale und des Produktpreises. Mit dieser Modellierung folgen wir dem Vorschlag von Lancaster [Lancaster 1971, Lancaster 1991a]. Dieser Vorschlag der Differenzierung der Produkte nach

²Eine Vielzahl von Autoren verfährt in diesem Punkt ähnlich, siehe z.B. [Nelson 1982], [Andersen 1994] oder [Beckenbach 2000]. Andere Autoren berücksichtigen den Kapitalstock der Unternehmen, der für die Produktion benötigt wird, nicht [Pyka 1999], während Silverberg [Silverberg 1988] den Kapitalstock der Unternehmen nach dem Anschaffungszeitpunkt staffelt und somit für die einzelnen Produzenten einen über die Zeit hinweg aggregierten Kapitalstock unterschiedlicher Kapitalproduktivitäten modelliert.

ihren Produkteigenschaften findet auch in der gängigen Marketingliteratur seinen Widerhall [Wilkie 1996].

Bei der Auswahl dieser drei physischen Eigenschaften haben wir uns von den folgenden Überlegungen leiten lassen. Für die Leitfrage dieser Arbeit, der Diffusion ökologischer Produktinnovationen am Beispiel von Personenkraftwagen, spielt, wie wir es in Kapitel 2 ausführlich dargelegt haben, der Benzinverbrauch der Fahrzeuge eine entscheidende Rolle. Daneben haben wir die Fahrzeugleistung als Unterscheidungsmerkmal gewählt, da diese komplementär zum Benzinverbrauch zu betrachten ist. Wie wir in Kapitel 2 beschrieben haben, sind die treibenden Faktoren für den Kraftstoffverbrauch von Personenkraftwagen die Beschleunigungsenergie der Fahrzeuge und die Energie zur Überwindung des Luftwiderstandes, des Rollwiderstandes und von Steigungen. Wird diese Energie innerhalb einer kurzen Zeitperiode abgerufen, da zum Beispiel schnell beschleunigt werden soll, so benötigt man eine hohe Fahrzeugleistung³. Die Fahrzeugleistung steht also in einem direkten Zusammenhang zum Energieverbrauch, eine bestimmte Fahrzeugleistung bestimmt den Minimalverbrauch eines Fahrzeuges. Neben diesen beiden Produkteigenschaften sind bei der Kaufentscheidung von Fahrzeugen auch eine Vielzahl von “emotionalen Eigenschaften” wie z.B. das Karosseriedesign, die Fahrzeugfarbe, der Fahrzeugtyp (Kombi oder Sportwagen) oder die Markensympathie für die Konsumenten von Bedeutung [Meffert 2000]. Um diese Eigenschaften in das Modell einzubeziehen, gleichzeitig aber den Parameterraum der Produkteigenschaften nicht zu groß werden zu lassen, haben wir eine Eigenschaft definiert, die wir im folgenden “Design” nennen wollen, welche diese Vielzahl von “emotionalen Eigenschaften” repräsentiert. Ein Fahrzeug eines Herstellers läßt sich durch einen vierdimensionalen Vektor darstellen:

$$A_k(t) = \{P_k(t), A_{1,k}(t), \dots, A_{3,k}(t)\} \quad (7.2)$$

7.2.1.3. Wissenskapital

Neben dem monetären Kapital verfügen die Produzenten auch über ein Wissenskapital für die Weiterentwicklung ihres Produktes bzw. die Verbesserung ihres Produktionsprozesses. Für den Erfolg einer technologischen Entwicklung, sei es durch Prozeßverbesserung oder durch Produktweiterentwicklung, ist ein entsprechender Erfahrungsschatz notwendig. Wie in Kapitel 5.3 diskutiert, hat dieser Erfahrungsschatz bzw. dieses Wissen kumulativen Charakter. Um bestimmte Wissensinhalte zu erlernen, sind andere vorbereitende Wissensinhalte notwendig⁴. Um diese Eigenschaft des Wissens formal zu repräsentieren, haben wir sie in

³Leistung ist physikalisch als Energie pro Zeiteinheit definiert [Gerthsen 1991].

⁴Um die Torsionssteife einer Fahrzeugkarosserie optimieren zu können, muß ich vorher die Differential- und Integralrechnung gelernt haben.

diesem Modell als Zustandsvariable aufgefaßt, deren Größe die Produzenten durch Investitionen $I_i^{prod.,k}(t)$ erhöhen können. Beispiele für solche Investitionen sind einerseits Weiterbildungsmaßnahmen für die Mitarbeiter, aber auch die Neueinstellung eines Mitarbeiters mit speziellem Wissen. Durch diese Investitionen sammelt sich neues Wissen an bzw. wird das bestehende Wissenskapital erweitert; mit anderen Worten, das Unternehmen akkumuliert Wissen [Reinhardt 2002].

Bei der Beschreibung dieses Wissenskapitals muß man zwischen Prozeß- und Produktwissen unterscheiden. Vergleicht man Prozeßinventionen mit Produktinventionen, so werden für die Durchführung dieser beiden Typen von Inventionen unterschiedliche Wissensinhalte benötigt. Zu berücksichtigen ist in diesem Zusammenhang, daß in größeren Firmen üblicherweise unterschiedliche Personen die Träger dieser verschiedenen Wissensinhalte sind.

Bei den Produktinnovationen, die sich auf die Eigenschaften des Produktes beziehen, akkumuliert sich das Wissen getrennt nach den Merkmalen des Produktes. Das Forschungswissen für eine Produkteigenschaft läßt sich nicht ohne weiteres auf eine andere Eigenschaft übertragen, z.B. kann ein Motoringenieur in den seltensten Fällen umgehend erfolgreich in der Designabteilung arbeiten und umgekehrt. Je nach den zu vergleichenden Produkteigenschaften variiert der Grad der Substituierbarkeit.

Wie wir es in Kapitel 5.3 diskutiert haben, unterliegt Wissen aber auch einem Prozeß des Vergessens. Hierbei lassen sich zwei Fälle näher diskutieren. Einerseits gibt es eine individualpsychologische Komponente, was bedeutet, daß der Grad des Vergessens von der Häufigkeit der Nutzung des speziellen Wissens abhängt. Nehmen wir das Beispiel das Fachwissen eines Ingenieurs in Bezug auf den Benzinverbrauch des Kraftfahrzeugs. Je kürzer die Zeitintervalle zwischen zwei aufeinanderfolgenden Situationen des Verwendens eines bestimmten, speziellen Wissensinhaltes ist, desto geringer ist die Vergessensrate für dieses spezielle Wissen. Diese individualpsychologische Komponente berücksichtigt aber nicht den zweiten Aspekt, wonach neues Wissen durch andere Personen geschaffen wird. Dieser Aspekt des Vergessens besagt: je mehr neues Wissen von anderen Personen oder Organisationen generiert wird, desto schneller muß ich mein Wissen, das dann veraltet oder wertlos geworden ist, abschreiben. Das wäre eine ökonomische Interpretation des Prozesses des Vergessens. Wir fassen allerdings an dieser Stelle die sich hier andeutenden, hoch differenzierten Überlegungen zu einer einfachen Verminderungsregel zusammen, die wir im weiteren Verlauf für dieses Modell benutzen werden. Reinhardt [Reinhardt 2002] weist darauf hin, daß eine direkte Beobachtung der Phänomene rund um den Komplex Wissenskapital nicht möglich ist. Diese Verminderungsregel beschreibt das Vergessen als eine konstante, prozentuale Rate des Wissensverlustes pro Zeiteinheit $R^{depr.,1}$, analog einer degressiven Abschreibungsregel. Fassen wir diese Bemerkungen zusammen, so läßt sich das Wissenskapital für die Produk-

teigenschaft Fahrzeugleistung $k = 1$ wie folgt beschreiben:

$$R_i^{prod.,1}(t) = R^{prod.,1}(t-1) * (1 - R^{depr.,1}) + I_i^{prod.,1}(t) \quad (7.3)$$

Analog gelten für die beiden anderen Produkteigenschaften Benzinverbrauch und Design und für das Prozeßwissen der Unternehmen ähnliche Zustandsgleichungen.

$$R_i^{prod.,2}(t) = R^{prod.,2}(t-1) * (1 - R^{depr.,2}) + I_i^{prod.,2}(t) \quad (7.4)$$

$$R_i^{prod.,3}(t) = R^{prod.,3}(t-1) * (1 - R^{depr.,3}) + I_i^{prod.,3}(t) \quad (7.5)$$

$$R_i^{proc.}(t) = R^{proc.}(t-1) * (1 - R^{depr.,proc.}) + I_i^{proc.}(t) \quad (7.6)$$

7.2.1.4. Kapitalrücklagen

Neben dem eigentlichen Kapitalstock $K_i(t)$, den die Produzenten direkt für die Produktion ihres Gutes verwenden, verfügen sie in der Regel auch noch über Kapitalrücklagen. Erfolgreiche Produzenten können zum Beispiel in der glücklichen Lage sein, daß sie mehr Gewinn erwirtschaften, als sie in der aktuellen Periode für die Ausweitung ihrer Produktion benötigen. Dieser Gewinn geht den Produzenten nicht verloren, vielmehr legen sie in diesem Modell - unverzinst - an. Die Produzenten können in diesem Modell ihre Rücklagen aber nicht in der Form von Krediten an die anderen Produzenten verleihen⁵. Die Kapitalrücklagen der Produzenten zum Zeitpunkt t bestimmen sich aus den Rücklagen der Vorperiode und dem Saldo aus Gewinn und den Investitionen der aktuellen Periode. Nehmen die Produzenten einen Kredit auf (s. Abschnitt 7.2.3.2), so geht dieser negativ in die Kapitalrücklagen ein. Ein negativer Saldo der Kapitalrücklagen drückt also eine Verschuldung des Produzenten aus.

$$K_{savings,i}(t) = K_{savings,i}(t-1) + \Gamma_i(t) - I_i(t) - B_i(t) \quad (7.7)$$

7.2.2. Marktoperationen

In diesem Teilmodell beschreiben wir diejenigen Flußgrößen und Definitionsgleichungen, die die marktrelevanten Aktionen der Produzenten beschreiben. In diesem Zusammenhang

⁵Um die Modellstruktur nicht noch komplizierter werden zu lassen, haben wir in diesem Modell nicht die Rückkopplungsschleife zwischen den Kapitalrücklagen und der Kreditvergabe geschlossen. Solch ein Vorhaben hätte die Modellierung eines, wenn auch bescheiden formulierten Kapitalmarktes bedurft, von der wir hier absehen wollten. Für eine Nachfolgeuntersuchung ist die Einbeziehung dieser Fragestellung aber sicherlich lohnend.

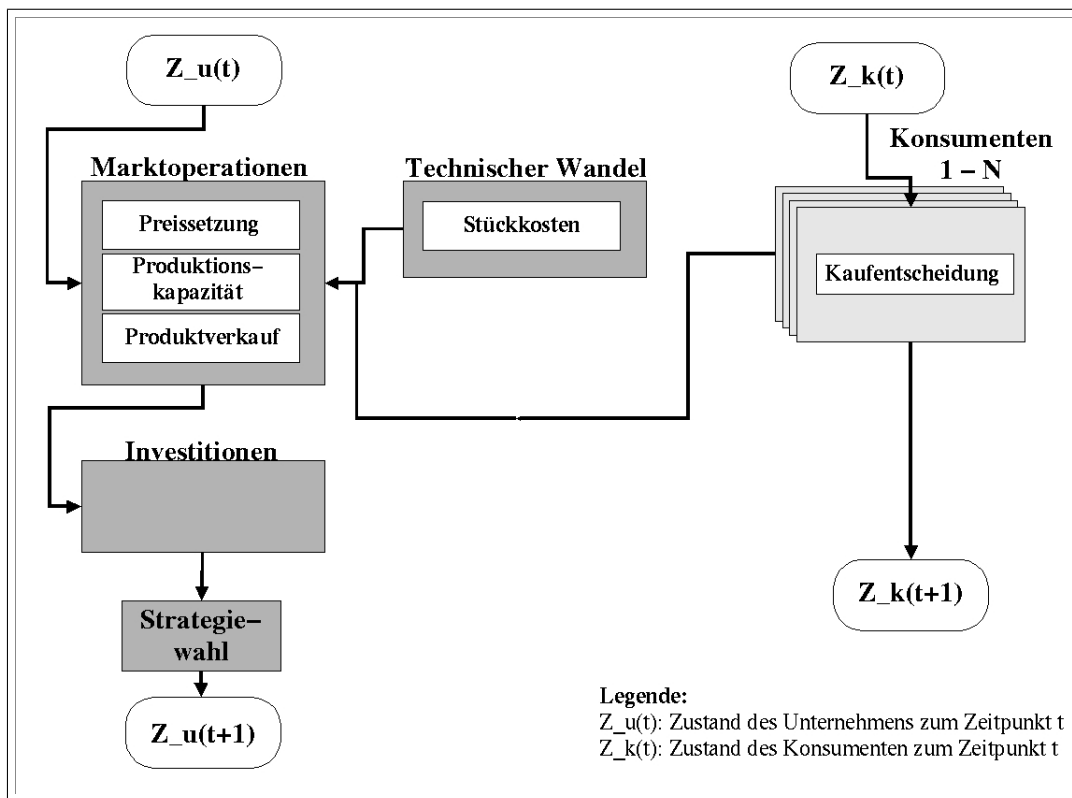


Abbildung 7.3.: Die Abbildung stellt die einzelnen Komponenten des Teilmoduls Marktoperationen und deren Interdependenzen zu anderen Teilmodulen dar. Quelle: eigene.

sind insbesondere Größen wie die Produktionskapazität der aktuellen Periode, die Fahrzeugpreise, der Umsatz der Hersteller und die Nachfrage nach den Produkten der Hersteller von Bedeutung. Diese Variablen werden sowohl durch die Höhe der oben beschriebenen Zustandsvariablen als auch durch das Kaufverhalten der Konsumenten bestimmt.

Wir verwenden für die Beschreibung des Teilmoduls der Marktoperationen die folgenden Notationen:

$K_i(t)$	:	Produktionskapital des Produzenten i in t
$C_{Avg,i}(t)$	:	Stückkosten des Produzenten i in t
$Q_{Cap,i}(t)$	:	Produktionskapazität des Produzenten i in t
$D_i(t)$	:	Nachfrage nach dem Gut des Produzenten i in t
$D_{Delta,i}(t)$	:	Überschußnachfrage nach dem Gut des Produzenten i in t
$S_i(t)$	:	Umsatz des Produzenten i in t
$P_i(t)$	:	Preis des Produktes des Produzenten i
$\alpha^{price}(t)$	:	Preisänderungsfaktor des Produzenten i

7.2.2.1. Stückkosten

Die Produzenten stellen ihr Gut in einer Periode zu bestimmten Stückkosten $C_{Avg.,i}(t)$ her. Diese Stückkosten sind Durchschnittskosten; wir unterscheiden in diesem Modell nicht zwischen fixem und variablem Kostenanteil. Desweiteren treffen wir die Annahme konstanter Skalenerträge, d.h. die Stückkosten sind nicht abhängig von der Ausbringungsmenge des Unternehmens. Die Unternehmen können aber durch die Verbesserung ihres Produktionsprozesses die Stückkosten $C_{Avg.,i}(t)$ verringern (s. Abschnitt 7.2.5).

7.2.2.2. Produktionskapazität

In welchem Umfang der Produzent die Nachfrage nach seinem Produkt befriedigen kann, wird durch die Kapazität seiner Produktionsanlage bestimmt. Diese Kapazität ist zeitabhängig; sie bestimmt sich aus dem Kapitalstock der Firma $K_i(t)$ und den Stückkosten $C_{Avg.,i}(t)$ der Produktion. Die Produktionskapazität des Produzenten bestimmt die Obergrenze der von diesem Unternehmen am Markt offerierten Einheiten seines Produktes⁶. Im Verlauf der Zeit ist der Produzent in der Lage, durch Investitionen die Kapazität seiner Produktionsanlagen an die Nachfrage nach seinem Produkt anzupassen.

$$Q_{Cap.,i}(t) = \frac{K_i(t)}{C_{Avg.,i}(t)} \quad (7.8)$$

7.2.2.3. Preissetzung

Zu Beginn jeder Simulationsperiode passen die Produzenten den Preis ihres Produktes für die aktuelle Periode an, zu dem sie ihr Produkt auf dem Markt anbieten ("posted price"). Wir treffen hier also nicht wie eine Vielzahl anderer Autoren die Annahme einer exogenen, gleichgewichtigen ad-hoc Nachfragefunktion, die auf dem Postulat identischer Güter fußt.

Vielmehr bestimmen die Produzenten die Preisveränderung endogen, basierend auf der eigenen Strategiewahl, die sie erfolgsabhängig treffen. Zu jeder Verhaltensregel, aus denen

⁶Nelson und Winter [Nelson 1982] wählen eine vergleichbare Modellierung; die Produktionskapazität der Unternehmen in ihrem Modell variiert mit dem eingesetzten Kapital und der Produktivität. Pyka [Pyka 1999] hingegen legt in seinem Modell eines heterogenen Oligopols keine Produktionskapazität fest. Vielmehr treffen hier die Produzenten auf der Basis eines Optimierungskalküls unter Hinzunahme der Bertrand-Annahme eine Produktionsentscheidung. Die Bertrand-Annahme besagt, daß die Produzenten in einem Oligopol ihre Preis- und Ausbringungsentscheidung unter der Annahme treffen, daß die Anzahl der Produzenten in der Folgeperiode gleich der der aktuellen Periode ist und diese Produzenten die gleiche Preisentscheidung treffen wie in der Vorperiode. Die neue Produktionsmenge kann durch die Produzenten befriedigt werden, ohne eine explizite Investitionsentscheidung fällen zu müssen.

die Produzenten ihre Strategie auswählen, existiert eine bestimmte Preissetzungsroutine (s. Abschnitt 7.2.6.1). Diese Preissetzungsroutine wird durch den Faktor $\alpha^{price}(t)$ bestimmt.

$$P_i(t) = \alpha^{price}(t) * P_i(t-1) \quad (7.9)$$

Dieser Faktor kann Werte kleiner, größer oder gleich 1 annehmen. Bei einem Wert kleiner 1 senkt der Produzent den Preis in der aktuellen Periode gegenüber der Vorperiode, bei einem Wert größer 1 erhöht er ihn. Im dritten Fall hält das Unternehmen den Preis konstant.

7.2.2.4. Produktnachfrage

Die Produzenten sehen sich in jeder Zeitperiode einer Nachfrage nach ihrem Produkt gegenüber, die größer oder gleich Null ist. Diese Nachfrage nach den Produkten wird in diesem Modell endogen aus der Produktauswahl der Konsumenten bestimmt, wie es auch in der Abbildung 7.2 dargestellt ist. Auf die Modellogik der Bestimmung dieser Nachfrage der Konsumenten gehen wir im Abschnitt 7.4 im Detail ein⁷.

Da wir in diesem Simulationsmodell nicht der Vorgehensweise der erwähnte Autoren folgen und explizit Situationen fern vom Gleichgewicht der Markträumung zulassen, führen wir jetzt als eine weitere Flußgröße unseres Modells eine sogenannte “Überschußnachfrage” ein $D_{Delta,i}(t)$. Diese Variable führt sozusagen Buch über die Abweichungen zwischen der Produktionskapazität des Produzenten und der Nachfrage nach seinem Produkt. Aus dieser Definition leitet sich ab, daß die Überschußnachfrage sowohl negative als auch positive Werte annehmen kann. Diese Variable ist darüberhinaus ein Maß für die Ferne vom Gleichgewicht für den einzelnen Produzenten. Der aggregierte Wert dieser Variablen $D_{Delta}(t)$ wiederum ist ein Indikator dafür, wie weit der Gesamtmarkt vom Gleichgewicht entfernt ist.

$$D_{Delta,i}(t) = D_i(t) - Q_{Cap.,i}(t) \quad (7.10)$$

$$D_{Delta}(t) = \sum_{i=1}^N D_{Delta,i}(t) \quad (7.11)$$

⁷Wie in Kapitel 3 schon ausführlich diskutiert, ist die Vernachlässigung der Nachfrageseite in der Arbeit von Nelson und Winter [Nelson 1982] einer der Hauptkritikpunkte an deren Modell (s. Kritik von Witt [Witt 1987]). Auch in einer Reihe von Erweiterungen des Modells von Nelson und Winter wurde, auch aufgrund der offensichtlichen Schwierigkeiten bei der Modellierung, die Nachfrageseite wie bei Nelson und Winter als gleichgewichtige Ad-hoc Nachfragefunktion berücksichtigt. Meyer et.al. [Meyer 1996] und Pyka [Pyka 1999] erweitern die Modellierung der Nachfrageseite, indem sie diese als heterogenes Oligopol betrachten und eine entsprechende Nachfragefunktion modellieren. Auch bei dieser Vorgehensweise bleibt der Kritikpunkt bestehen, daß Situationen fern vom Gleichgewicht mit solch einer Modellierung nicht berücksichtigt werden können.

7.2.2.5. Umsatz der Produzenten

Das Produkt aus der Verkaufsmenge und dem Verkaufspreis des Produzenten bestimmt seinen Umsatz in der Simulationsperiode. Der Verkaufspreis wird durch die Preissetzung des Unternehmens festgelegt (s. Gleichung 7.9). Die Verkaufsmenge des Produzenten hingegen bestimmt sich aus der Produktionskapazität des Unternehmens und Konsumentennachfrage nach seinem Produkt. Hier können zwei Fälle auftreten: (1) die Nachfrage der Konsumenten ist kleiner als die Produktionskapazität, also des Angebots dieses Produzenten oder (2) die Nachfrage nach einem Produkt ist größer als das Angebot dieses Produzenten. Im ersten Fall ist die Verkaufsmenge gleich der Nachfrage, im zweiten Fall hingegen begrenzt die Angebotsmenge bzw. die Produktionskapazität des Unternehmens dessen Verkaufsmenge⁸.

$$S_i(t) = P_i(t) * D_i(t), \quad \text{wenn } Q_{Cap.,i}(t) \geq D_i(t) \quad (7.12)$$

$$S_i(t) = P_i(t) * Q_{Cap.,i}(t), \quad \text{wenn } Q_{Cap.,i}(t) < D_i(t) \quad (7.13)$$

7.2.3. Investitionen

Neben den Marktoperationen, die zum Beispiel den Umsatz des Produzenten in der aktuellen Simulationsperiode bestimmen, können die Produzenten auch durch Investitionen in ihre Kapitalbasis den Kapitalstock verändern. Wie in der Abbildung 7.4 dargestellt, gehen bestimmte Flußgrößen in die Bestimmung der Investitionen des Produzenten ein, wie zum Beispiel der Gewinn, die Kreditaufnahme, die Konsumentennachfrage und die Produktionskapazität.

Wir verwenden für die Beschreibung des Teilmoduls für die Investitionen der Produzenten die folgenden Notationen:

$\Gamma_i(t)$	:	Gewinn des Produzenten i in t
$S_i(t)$	:	Umsatz des Produzenten i in t
$Q_{Cap.,i}(t)$	:	Produktionskapazität des Produzenten i in t
$C_{Avg.,i}(t)$	:	Stückkosten des Produzenten i in t
$C_{RD-total,i}(t)$	:	Forschungskosten des Produzenten i in t

⁸Nelson und Winter [Nelson 1982] treffen für die Nachfrage nach den Produkten die ad-hoc Annahme einer Nachfragefunktion. Aus dieser Nachfragefunktion und der Gesamtmenge der angebotenen identischen Güter bestimmt sich dann der Preis dieser Güter. Die Autoren postulieren hierzu die vollständige Markträumung der Produkte. Pyka [Pyka 1999] bestimmt den Umsatz des Produzenten aus der individuellen Nachfragefunktion des Oligopolisten und dessen Produktionsentscheidung.

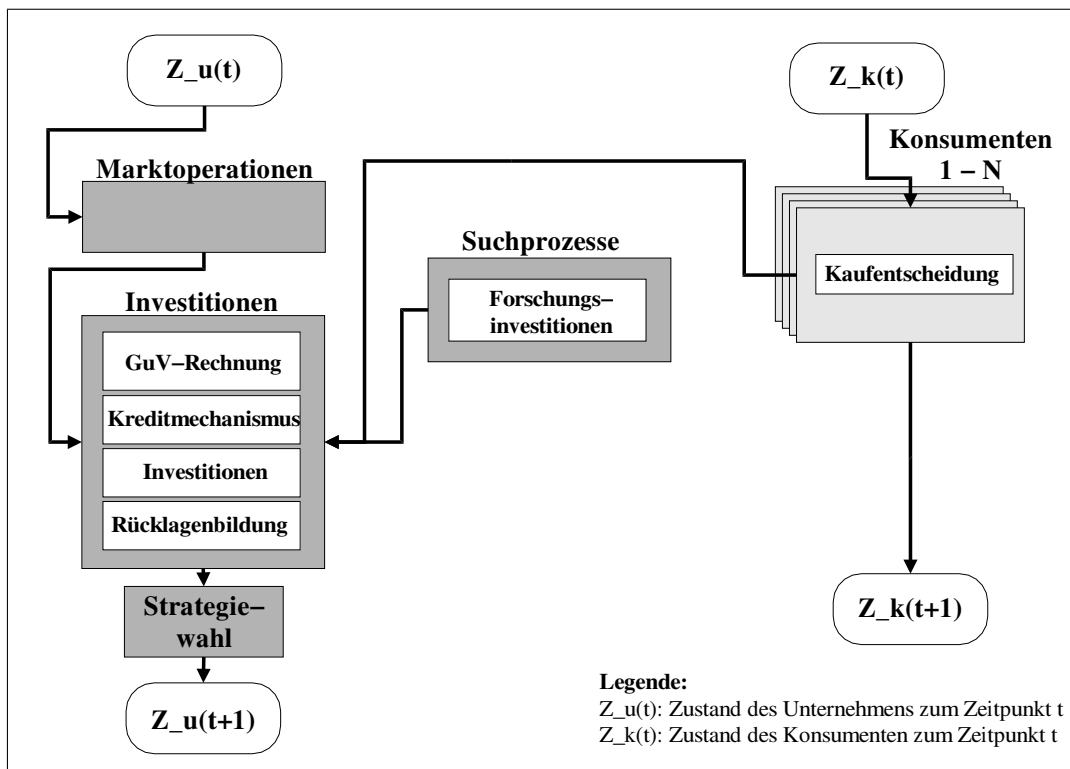


Abbildung 7.4.: Die Abbildung stellt die einzelnen Komponenten des Teilmoduls Investitionen und deren Interdependenzen zu anderen Teilmodulen dar. Quelle: eigene.

- $D_i(t)$: Nachfrage nach dem Gut des Produzenten i in t
- $K_{Savings,i}(t)$: Kapitalrücklagen des Produzenten i in t
- $B_i(t)$: Bankkredit des Produzenten i in t
- $b_{Credit}(t)$: Risikoneigung der Banken
- $D_{Delta,i}(t)$: Überschußnachfrage nach dem Gut des Produzenten i in t
- $\alpha_{inv,i}(t)$: Investitionsneigung des Produzenten i
- $\alpha_{desinv,i}(t)$: Neigung zum Kapazitätsabbau des Produzenten i
- $Q_{Cap.}(t)$: Gesamt-Produktionskapazität der Industrie in t
- $D(t)$: Gesamtnachfrage nach dem Gütern der Industrie in t
- $I_i(t)$: Kapitalinvestitionen des Produzenten i in t

7.2.3.1. Gewinn der Produzenten

Die Produzenten führen eine einfache Gewinn- und Verlustrechnung durch. Ihr Gewinn bestimmt sich dabei aus dem Umsatz und den Produktions- und Forschungskosten der Produ-

zenten. Die Produktionskosten errechnen sich aus dem Produkt der Produktionskapazität $Q_{Cap.,i}(t)$ und den Stückkosten $C_{Avg.,i}(t)$ des Produzenten.

Die Produzenten können durch Prozeß- und Produktinnovationen sowohl die Stückkosten als auch die Eigenschaftsausprägungen ihres Produktes ändern. Hierzu können sie in ihr Wissenskapital investieren, um dieses entweder zu erhalten oder sogar auszuweiten. Diese Investitionen in das eigene Wissenskapital (s. Abschnitt 7.2.1.3) bezeichnen wir als Forschungsinvestitionen des Produzenten⁹.

Formal läßt sich die Gewinn- und Verlustrechnung der Produzenten dann wie folgt beschreiben:

$$\Gamma_i(t) = S_i(t) - Q_{Cap.,i}(t) * C_{Avg.,i}(t) - C_{RD-total,i}(t) \quad (7.14)$$

7.2.3.2. Kredite

Für die Produzenten kann die Situation auftreten, daß mehr Konsumentennachfrage nach ihrem Produkt besteht, als sie mit ihrem Angebot befriedigen können. In solch einer Situation wird ein Produzent seine Kapazität erhöhen, um diese zusätzliche Nachfrage befriedigen zu können. Verfügt dieser Produzent aber nicht über Gewinne aus der aktuellen Periode oder Kapitalrücklagen, die er in den vergangenen Perioden angespart hat, so kann er nicht investieren und damit seine Kapazität nicht der gegebenen Nachfrage anpassen.

Um den Produzenten in solch einer Situation doch die Möglichkeit einer Kapazitätsanpassung zu ermöglichen, können sie einen Kredit aufnehmen, um diese Investition zu tätigen. Grundsätzliche Voraussetzung für die Gewährung eines Kredites ist die prinzipielle Tragfähigkeit des Geschäftsmodells des Produzenten, die sich durch die Existenz einer positiven Überschußnachfrage für diesen Produzenten manifestiert. Die beiden anderen Bedingungen sind die oben beschriebenen mangelnden Kapitalressourcen des Produzenten.

$$Q_{Cap.,i}(t) < D_i(t) \wedge \Gamma_i(t) < 0.0 \wedge K_{Savings,i}(t) < 0.0 \quad (7.15)$$

Trotz positiver Geschäftsaussichten wird beispielsweise jedoch nicht jeder Kredit von Banken gewährt; die Gründe hierfür können ganz einfach z.B. ein persönliches Mißtrauen des

⁹In größeren Organisationen ist die Forschung und Entwicklung oftmals in eigene Einheiten eingegliedert, die über ein eigenes Budget sowohl für Mitarbeiter als auch Ausrüstungen verfügen. Einerseits müssen im Falle der Expansion neue Mitarbeiter eingestellt werden, andererseits müssen sich gerade in diesen Firmeneinheiten die Mitarbeiter häufig weiterbilden. Darüberhinaus sind durch den technischen und wissenschaftlichen Fortschritt oftmals Neu- oder Ersatzinvestitionen in die Ausrüstung zu tätigen, z.B. neue Software oder Meßapparaturen (s. Abschnitt 5.3).

Bankmitarbeiters gegenüber dem Unternehmer sein. Um diese Handlungslogik zu modellieren, greifen wir auf eine Lotterie zurück, deren Erfolgswahrscheinlichkeit von der Höhe der Überschußnachfrage bestimmt wird¹⁰. Je größer diese im Vergleich zum Gesamtmarkt ist (z.B. 15% des gesamten Marktvolumens), desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, daß die Bank den Kredit gewährt. Wir vergleichen bei diesem Auswahlverfahren diese auf das Gesamtmarktvolumen normierte Überschußnachfrage des Produzenten mit einer gleichverteilten Zufallsvariablen mit Werten zwischen 0 und 1. Bei einer 15%-igen Überschußnachfrage betrüge die Erfolgswahrscheinlichkeit auch 15%. Diese Modellierung mit einer gleichverteilten Lotterie spiegelt die Annahme einer konservativen Kreditvergabepolitik auf Seiten der Banken wieder¹¹.

$$\begin{aligned} \frac{D_{Delta,i}(t)}{N} &> \text{gleichverteilte Zufallsvariable } [0,1] \\ &\Rightarrow \text{Krediterfolg} \end{aligned} \tag{7.16}$$

Ist dem Produzenten ein Kredit zugesprochen worden, so muß noch über die Höhe des Kredites entschieden werden. Die Höhe des Kredites orientiert sich an der Höhe der notwendigen Investitionen, um die Überschußnachfrage zu befriedigen. Da Banken üblicherweise mit der Kreditvergabe vorsichtig sind, werden sie bei der Kreditgewährung nicht die Gesamtinvestition, die der Produzent für das Schließen der Nachfragelücke benötigen würde, zur Verfügung stellen. Vielmehr werden sie aus Gründen der Vorsicht nur einen Teil kreditfinanzieren, was wir durch den Skalierungsfaktor b_{Credit} ausdrücken. Beträgt dieser Faktor 0,5, so wird die Bank 50% des angeforderten Kredites finanzieren. Das Kapital für die Kredite an die Produzenten wird nicht extern zur Verfügung gestellt, vielmehr gehen die dem Produzenten gewährten Kredite negativ in die Kapitalrücklage ein. Eine negative Kapitalrücklage (s. Abschnitt 7.2.1.4) drückt folglich eine Verschuldung des Produzenten aus. Den Kredit zahlen die Produzenten, indem sie in zukünftigen Perioden ihren überschüssigen Gewinn in die Kapitalrücklagen einbringen und damit den gegebenenfalls negativen Saldo ausgleichen. Für negative Saldostände ihrer Kapitalrücklagen zahlen die Produzenten keine Zinsen, die

¹⁰Wir vergleichen hier zwei physische Größen miteinander.

¹¹Eine andere Möglichkeit wäre eine Modellierung, die bei einer geringen Überschußnachfrage $< 5\%$ und $> 20\%$ eine geringe Erfolgswahrscheinlichkeit, im Bereich zwischen 5% und 20% eine hohe Erfolgswahrscheinlichkeit aufweist. Diese Form der Modellierung würde eine Bankpolitik beschreiben, die geringe Unterkapazitäten als normale Schwankungen auffaßt, hohe Unterkapazitäten als unwahrscheinlich ansieht. Nur in einem schmalen Bereich geht die Bank das Risiko eines Kredites ein.

Kredite sind somit zinslos¹².

$$B_i(t) = b_{Credit} * D_{Delta,i}(t) * C_{Avg,i}(t) \quad (7.17)$$

7.2.3.3. Investitionen der Produzenten

In jeder Simulationsperiode stehen die Produzenten vor der Frage, ob sie ihre Produktionskapazität verändern sollen. Sieht sich ein Produzent zum Beispiel einer Nachfrage durch die Konsumenten gegenüber, die größer als das eigene Angebot ist, so wird er seine Produktionskapazität vergrößern (1), um diese der Nachfrage anzupassen. Im Falle zu geringer Nachfrage (2) hingegen wird er seine Produktionskapazität verringern. Der dritte und letzte Fall beschreibt dann die Situation, daß das Angebot des Produzenten genau der Nachfrage nach seinem Produkt entspricht (3). Die Reaktion der Produzenten in diesen drei Situationen werden wir jetzt Fall für Fall im Detail diskutieren¹³.

Betrachten wir zuerst den Fall einer zu großen Nachfrage, d.h. die eigene Produktionskapazität ist kleiner als die Nachfrage $Q_{Cap,i}(t) < D_i(t)$: in diesem Fall wird der Produzent versuchen, sein Produktionskapital $K_i(t)$ auszuweiten, indem er investiert. Für diese Investition benötigt der Produzent aber Kapital. Dieses Kapital steht ihm aus drei potentiellen Quellen zur Verfügung: (1) dem laufenden Gewinn ("Cash-Flow") in der aktuellen Periode $\Gamma_i(t)$, (2) seinen Kapitalrücklagen $K_{Savings,i}(t)$ oder (3) einem Bankkredit $B_i(t)$. Die Höhe der maximal möglichen Investition wird dann durch das Maximum dieser drei Kapitalquellen

¹²Wie oben schon erwähnt, wollten wir in diesem Modell keinen vollständigen Kreditmechanismus modellieren, da dieser nicht direkt mit unserer Fragestellung der Diffusionsdynamik von Produktinnovationen verbunden ist. Allerdings ist es möglich, in nachfolgenden Untersuchungen die Bedeutung der Kreditvergabe und der externen Finanzierungsmöglichkeiten (Börsengang, Venture Capital) für die Innovationsdynamik von Märkten genauer zu untersuchen.

¹³Yildizoglu [Yildizoglu 1999] trifft die Annahme, daß seine Produzenten den Gewinn abzüglich der Kosten für das Forschungs- bzw. Imitationsbudget vollständig investieren. Nelson und Winter [Nelson 1982] hingegen verwenden eine komplexere Investitionsfunktion für ihre Produzenten; hier orientiert sich die Investition am Gewinn, möglichen Bankkrediten, der latenten Produktivität und dem Marktanteil. Allerdings schließen sie [Nelson 1982] die Möglichkeit der Desinvestition, bis auf die periodische Entwertung der Kapitalstocks durch Abnutzung, aus. Andersen [Andersen 1994] wählt für die Investitionen das gleiche Produzentenverhalten wie Nelson und Winter [Nelson 1982]. Gerybadze [Gerybadze 1982] wiederum orientiert sich sowohl am Gewinn, den Stückkosten und einem Mark-up Faktor als auch dem geschätzten Preis für sein Produkt in der nächsten Periode. Meyer et.al. [Meyer 1996] betrachtet Investitionen nicht direkt, vielmehr passen die Produzenten in diesem Modell die Produktionskapazität durch eine Lagerbestandsänderung an. Der gewünschte Lagerbestand eines Produzenten ist proportional zum Umsatz der Vorperiode. Aus dem geplanten Lagerbestand und dem Lagerbestand der Vorperiode errechnet sich dessen Bestandsänderung. Die Produktionskapazität ergibt sich dann bei Meyer [Meyer 1996] aus dem Lagerbestand und dem geplanten Absatz. Dieser Absatz bestimmt sich aus der Produktionsentscheidung des einzelnen Produzenten, die Meyer [Meyer 1996] unter der Annahme eines heterogenen Oligopols mit kurzfristiger Profitmaximierung der Produzenten mittels der Cournot-Annahme für Monopole bestimmt.

bestimmt. Verfügt der Produzent über keine Kapitalressourcen, so kann er trotz bestehender Nachfrage nicht investieren.

Über die Höhe der Investition muß der Produzent in den jeweiligen Perioden eine strategische Entscheidung treffen. Bei dieser Investitionsentscheidung wird er sich an der fehlenden Produktionskapazität, d.h. am Umfang der Konsumentennachfragen, die er nicht befriedigen konnte, orientieren. Der Produzent könnte zum Beispiel die Entscheidung treffen, die Produktionskapazität für die nächste Periode soweit auszuweiten, daß sie der Nachfrage nach seinem Produkt in der aktuellen Periode entspricht. Würde der Produzent hingegen in der nächsten Periode eine noch höhere Nachfrage als in der aktuellen Periode erwarten, könnte er auch die Entscheidung treffen, seine Produktionskapazität soweit auszuweiten, daß er auch diese erwartete Nachfrage befriedigen kann. Genausogut kann der Produzent auch ein vorsichtigeres Vorgehen wählen und nur einen Teil der “Nachfragelücke” der aktuellen Periode für die nächste Simulationsperiode zu befriedigen versuchen. Jedes dieser drei Beispiele repräsentiert eine unterschiedliche Investitionsneigung des Produzenten. Diese Investitionsneigung ist in diesem Modell Bestandteil der Strategie des Produzenten und wird im Rahmen der Strategiewahl des Produzenten festgelegt. In Abschnitt 7.2.6 werden wir die Strategiewahl im Detail vorstellen, wobei wir an dieser Stelle nur vorwegnehmen wollen, daß jede Strategie der Produzenten in diesem Modell auch eine bestimmte Investitionsneigung festlegt. Diese Investitionsneigung wird durch den Faktor $\alpha_{inv.,i}(t)$ beschrieben. Dieser Faktor für die Investitionsneigung bestimmt, multipliziert mit der Überschußnachfrage des Produzenten, dessen Investitionen in den Kapitalstock und damit in die Produktionskapazität für die nächste Simulationsperiode. Betrachten wir ein Beispiel: nimmt dieser Faktor für die Investitionsneigung den Wert 0.5 bei einer Produktionskapazität von 30 Einheiten und einer Nachfrage von 50 Einheiten an, so wird der Produzent nur eine Investition tätigen, die eine Erhöhung der Produktionskapazität um 10 Einheiten auf 40 Einheiten erlaubt. Ein Faktor von 1,2 hingegen würde in diesem Beispiel eine Ausweitung um 24 Einheiten auf 54 Einheiten beschreiben. Begrenzt wird diese Investition nach oben aber immer durch das dem Produzenten zur Verfügung stehende Kapital. Steht dem Produzenten in dem Beispiel nur ein Kapitaläquivalent für 16 Produktionseinheiten zur Verfügung, so wird er seine Kapazität im ersten Fall um 10 Einheiten erweitern, im zweiten Fall hingegen um 16 Einheiten. Hierzu müssen wir an dieser Stelle noch eine Bemerkung machen: der Produzent trifft diese Investitionsentscheidung als eine Entscheidung über die Höhe des Produktionskapitals, über das er verfügt. Die Produktionskapazität ermittelt sich aber aus diesem Produktionskapital und den Stückkosten der Produktion. Da der Produzent zu diesem Zeitpunkt aber nicht weiß, ob er durch eine Prozeßinnovation seine Stückkosten senken kann, tritt damit neben die Unwissenheit über die reale Nachfrage in der nächsten Simulationsperiode noch ein zweites Element beschränkter Rationalität des Produzenten. Dieses Element gilt auch für alle im weiteren beschriebenen Fälle der Investitionsentscheidung. Fassen wir die Beschreibung des

Falles positiver Investitionen noch einmal mathematisch zusammen:

$$\begin{aligned}
 Q_{Cap.,i}(t) &< D_i(t) \quad \wedge \\
 \Gamma_i(t) &> 0.0 \quad \vee \quad K_{Savings,i}(t) > 0.0 \quad \vee \quad B_i(t) > 0.0 \\
 \Rightarrow I_i(t) &= Min(\alpha_{inv.,i} * C_{Avg.,i}(t) * (D_i(t) - Q_{Cap.,i}(t)), \\
 &\quad Max(\Gamma_i(t), K_{Savings,i}(t), B_i(t))
 \end{aligned} \tag{7.18}$$

Betrachten wir den zweiten Fall, wonach der Produzent Überkapazitäten besitzt. In diesem Fall wird er versuchen, seine Produktionskapazität abzubauen. Die Höhe dieses Abbaus wird er einerseits an der Höhe der Überkapazitäten orientieren, andererseits ist dieser Kapazitätsabbau auch wieder eine strategische Entscheidung. Erwartet der Produzent zum Beispiel, daß die Nachfrage in der nächsten Periode noch weiter sinkt, so wird er die Kapazität jetzt schon soweit abbauen, daß diese der von ihm in der nächsten Periode erwarteten Nachfrage entspricht, d.h. der von ihm dann vorgesehene Abbau ist größer als die Überkapazität in dieser Periode. Demgegenüber kann der Produzent aber auch die Erwartung haben, daß die Nachfrage nach seinem Produkt in der nächsten Periode größer als in der aktuellen Periode ist; er ist sozusagen optimistisch im Hinblick auf seine Geschäftsaussichten, und er wird nicht die gesamten Überkapazitäten dieser Periode abbauen, sondern nur soviel, daß seine Produktionskapazität nach dem Abbau der von ihm für die nächste Periode erwarteten Nachfrage entspricht. Auch diesen beiden Beispiele repräsentieren eine unterschiedliche Investitionsstrategie des Produzenten, allerdings jetzt zum Kapazitätsabbau. Diese Abbaustrategie ist in diesem Modell, genau wie die Kapazitätserweiterungsstrategie, Element der Strategie des Produzenten, über die dieser im Rahmen seiner Strategiewahl entscheidet und die durch den Faktor $\alpha_{desinv.,i}(t)$ in den Verhaltensregeln des Produzenten abgebildet ist. Mathematisch formuliert läßt sich der Kapazitätsabbau der Produzenten wie folgt zusammenfassen:

$$\begin{aligned}
 Q_{Cap.,i}(t) &> D_i(t) \\
 \Rightarrow I_i(t) &= \alpha_{desinv.,i} * C_{Avg.,i}(t) * (D_i(t) - Q_{Cap.,i}(t))
 \end{aligned} \tag{7.19}$$

Im dritten und letzten Fall entspricht die Kapazität des Produzenten genau der Nachfrage nach seinem Produkt $Q_{Cap.,i}(t) = D_i(t)$. Auch in diesem Fall besitzt der Produzent Erwartungen über die Nachfrage nach seinem Produkt in der nächsten Periode und wird eine entsprechende Investitionsentscheidung treffen. In diesem Modell bezieht der Produzent nunmehr die "Stimmung" im Gesamtmarkt in seine Investitionsentscheidung ein. Bestehen im Gesamtmarkt Über- und Unterkapazitäten? Im ersten Fall wird der Produzent eine strategische Entscheidung treffen, ob und in welchem Umfang er seine eigene Produktionskapazität

verringert; im zweiten Fall hingegen wird er über eine Ausweitung seiner Produktionskapazität nachdenken in der Hoffnung, einen Teil dieser Überschußnachfrage für sich zu sichern.

Beginnen wir mit dem ersten Fall. Der Produzent wird angesichts einer zu geringen Gesamtnachfrage seine Produktionskapazität verringern, abhängig von der Höhe der Überkapazitäten im Gesamtmarkt. Hierzu ermittelt der Produzent die prozentuale Überkapazität im Gesamtmarkt $D(t) - Q_{Cap.}(t)/Q_{Cap.}(t)$. Um genau diesen prozentualen Anteil wird er dann sein eigenes Produktionskapital verringern. Auch in diesem Fall bestimmt der Produzent wieder seine strategische Ausrichtung in der Form des Faktors für die Kapazitätsreduktionen $\alpha_{desinv.,i}(t)$. Verfügt also der Markt über eine Überkapazität von 15%, so wird der Produzent sein Produktionskapital um 15% verringern. Zusammengefaßt lautet dieser Fall also:

$$\begin{aligned} Q_{Cap.}(t) &> D(t) \\ \Rightarrow I_i(t) &= \alpha_{desinv.,i} * C_{Avg.,i}(t) * \frac{D(t) - Q_{Cap.}(t)}{Q_{Cap.}(t)} \end{aligned} \quad (7.20)$$

Im Falle einer Unterkapazität im Gesamtmarkt hingegen wird der Produzent investieren. Auch hier gilt natürlich wieder als Bedingung, daß er über Kapital zur Investition verfügt, das aus den gleichen Quellen wie oben stammt. Besitzt er kein Kapital, so kann er auch nicht investieren. Auch bei dieser Investition bezieht er die Unterkapazität im Gesamtmarkt mit in seine Entscheidung ein; ähnlich wie beim Kapazitätsabbau wird er in diesem Fall die prozentuale Unterkapazität im Gesamtmarkt $D(t) - Q_{Cap.}(t)/Q_{Cap.}(t)$ bestimmen und seine Kapazität um genau diesen Anteil erhöhen. Aber auch in diesem Fall wird er seine strategischen Erwartungen mit Hilfe des Faktors für die Investitionsneigung $\alpha_{inv.,i}(t)$ gewichten. Zusammenfassend können wir dann schreiben:

$$\begin{aligned} Q_{Cap.}(t) &< D(t) \quad \wedge \\ \Gamma_i(t) &> 0.0 \quad \vee \quad \Gamma_i^{savings}(t) > 0.0 \quad \vee \quad B_i(t) > 0.0 \\ \Rightarrow I_i(t) &= \text{Min}(\alpha_{inv.,i} * C_{Avg.,i}(t) * \frac{D(t) - Q_{Cap.}(t)}{Q_{Cap.}(t)}, \\ &\quad \text{Max}(\Gamma_i(t), K_{Savings,i}(t)), B_i(t)) \end{aligned} \quad (7.21)$$

Der letzte Fall, den wir für die Investitionsentscheidung beschreiben wollen, ist der der Markträumung sowohl für den einzelnen Produzenten als auch für den Gesamtmarkt. In diesem Fall wird der Produzent sein Produktionskapital konstant halten:

$$\begin{aligned} Q_{Cap.}(t) &= D(t) \quad \wedge \\ Q_{Cap.,i}(t) &= D_i(t) \\ \Rightarrow I_i(t) &= 0 \end{aligned} \quad (7.22)$$

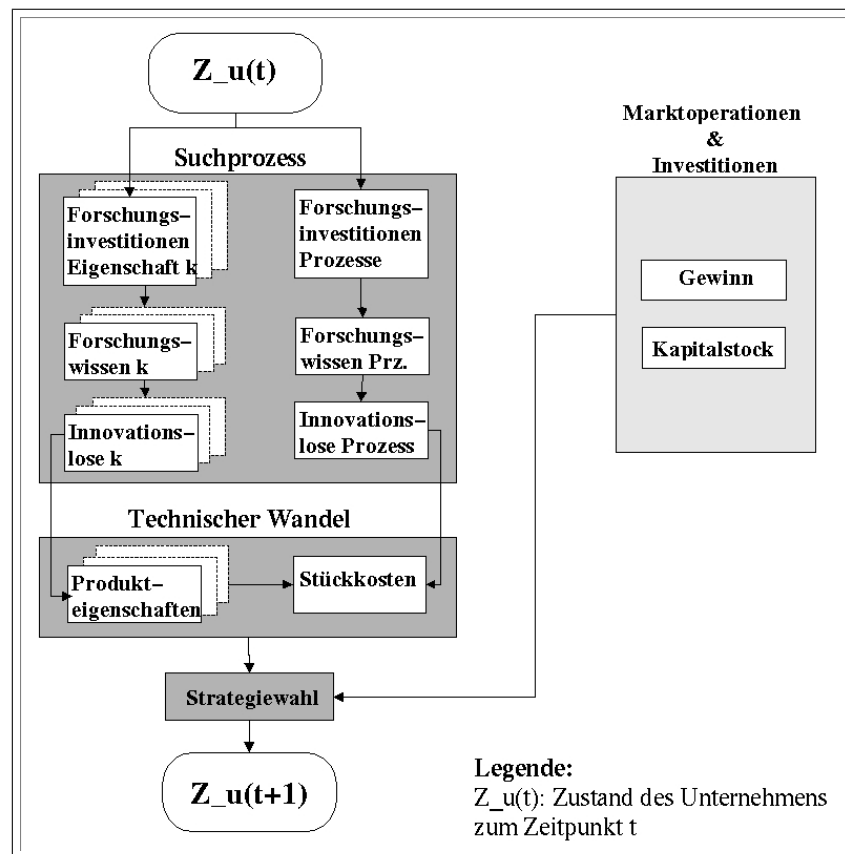


Abbildung 7.5.: Die Abbildung stellt die einzelnen Komponenten der beiden Teilmodule für den Suchprozeß und den technischen Wandel und deren Interdependenzen zu anderen Teilmodulen dar. Quelle: eigene

7.2.4. Suchprozesse der Produzenten

7.2.4.1. Forschungsinvestitionen

In Abschnitt 7.2.1.3 haben wir dargelegt, daß die Produzenten über ein individuelles Wissenskapital verfügen, in dessen Erweiterung sie investieren können. Dieses Wissen benötigen die Produzenten, um Inventionen zur Änderung der Qualitätseigenschaften ihres Produktes zu erreichen oder die Effektivität ihres Produktionsprozesses zu erhöhen, d.h. die Stückkosten ihres Produktes zu verringern. In ihren Innovationsentscheidungen können die Unternehmen aber nicht auf ein Optimalitätskalkül zurückgreifen, bedingt durch die technologische Unsicherheit und die damit verbundenen Risiken. Die Unternehmen bedienen sich statt dessen routinengeleiteter Entscheidungsregeln (s. Kapitel 7.2.6.1).

Um dieses routinisierte Verhalten darzustellen, treffen wir in dem Simulationsmodell die Annahme, daß die Unternehmen einen bestimmten Teil ihres Umsatzes in die Forschungs-

und Entwicklungsaktivitäten investieren. Wir folgen hier der Argumentation von Pyka [Pyka 1999]. Silverberg und Verspagen finden diese Art beschränkt rationalen Verhaltens auch bei den F&E-Entscheidungen von realen Unternehmen wieder [Silverberg 1994]¹⁴.

Die Investitionsentscheidung für Forschung und Entwicklung ist eine strategische Entscheidung. Das Unternehmen muß auf der Basis seiner Zukunftserwartung für das eigene Geschäft entscheiden, welchen Anteil am Gesamtbudget dieses Investitionsbudget einnimmt. In Zeiten schwacher Konjunkturerwartung werden einige vorsichtig agierende Unternehmen die Forschungsinvestitionen, die häufig die Form von Fixkosten annehmen, verringern. Demgegenüber existieren aber auch aggressive Unternehmen, die in solchen rezessiven Phasen die Forschungsausgaben konstant halten oder sogar erhöhen in der Hoffnung, im Zuge der kommenden Verbesserung der konjunkturellen Lage die eigene Marktposition mit neuen Produkten ausbauen zu können. Um diese verschiedenen Strategien der Unternehmen abbilden zu können, verfügen die Produzenten über mehrere unterschiedliche Verhaltensregeln für die Festlegung der Forschungsinvestitionen (s. Abschnitt 7.2.6.1). Wir treffen dabei die Annahme, daß die Produzenten weiterhin einen Anteil des Umsatzes für die Forschungsinvestitionen aufwenden (s. Gleichung 7.23); die Höhe dieses Anteils unterliegt aber einer strategischen Entscheidung, die wir durch den Faktor $\alpha_{RD-total,i}(t)$ beschreiben.

Wir verwenden für die Beschreibung der Forschungsinvestitionen der Produzenten die folgenden Notationen:

$C_{RD-total,i}(t)$	Forschungskosten des Produzenten i in t
$\alpha_{RD-total,i}(t)$	Anteil der Forschungskosten am Umsatz des Produzenten i in t
$S_i(t)$	: Umsatz des Produzenten i in t
$\alpha_{prod.,i}(t)$	: Anteil der Produktinnovationen an den Forschungsinvestitionen des Produzenten i in t
$I_{prod.,i}(t)$	: Investitionen in die Forschung zu Produktinnovationen des Produzenten i in t
$I_{proc.,i}(t)$	: Investitionen in die Forschung zu Prozeßinnovationen

¹⁴Diese Annahme scheint auf den ersten Blick verwunderlich, Silverberg/Verspagen zitieren die Geschäftsleitung des japanischen Konzerns Canon: " To provide some anecdotal evidence, we recall an interview with the director of R&D of the Japanese firm Canon published in the Financial Times some years ago. The director reported that the firm has some time before raised its R&D/turnover ratio from 11% to 11½%. This appeared to have been beneficial to the firm, so that the directors were now debating whether to cautiously raise it even further." ([Silverberg 1994], S.209) Auch bei den Simulationsstudien von Nelson/Winter [Nelson 1982] orientieren sich die unternehmerischen F&E-Aufwendungen am Umsatz. Ein weiteres Beispiel liefert der Vorstandssprecher der deutschen Softwarefirma SAP, der zu Beginn des Jahres 2002 F&E-Aufwendungen des Konzerns in Höhe von 1 Mrd. Euro, entsprechend 14% des Umsatzes konstatierte. Seine Prognose einer Umsatzverdopplung in den kommenden Jahren schloß er mit der Aussage ab, daß sich die F&E-Aufwendungen genauso verdoppeln werden, der Anteil am Umsatz also konstant bleibe [Kagermann 2002].

	des Produzenten i in t
$I_i^{prod.,1}(t)$	: Investitionen in die Forschung zu der Fahrzeugleistung des Produzenten i in t
$I_i^{prod.,2}(t)$	: Investitionen in die Forschung zum Benzinverbrauch des Produzenten i in t
$I_i^{prod.,3}(t)$	: Investitionen in die Forschung zum Design des Produzenten i in t
$\alpha_i^{prod.,1}(t)$	: Anteil der Fahrzeugleistung an den Forschungsinvestitionen des Produzenten i in t
$\alpha_i^{prod.,2}(t)$	: Anteil des Benzinverbrauchs an den Forschungsinvestitionen des Produzenten i in t
$\alpha_i^{prod.,3}(t)$	: Anteil des Designs an den Forschungsinvestitionen des Produzenten i in t

Für die Höhe der gesamten Forschungsinvestitionen gilt:

$$C_{RD-total,i}(t) = \alpha_{RD-total,i}(t) * S_i(t) \quad (7.23)$$

Das einzelne Unternehmen muß entscheiden, wie es die Forschungsinvestitionen auf die Produkt- und Prozeßinnovationen aufteilt. Ein Unternehmen kann also im Falle einer Marktkontraktion das Hauptaugenmerk auf die Kostenreduktion legen; in anderen Situationen wiederum, wie zum Beispiel während einer Expansionsphase, kann es sich mehr auf die Produktinnovationen fokussieren. Andere Unternehmen ziehen hingegen in den beiden erwähnten Marktsituationen genau das komplementäre Verhalten vor. Im Rahmen der Strategiewahl legt der Produzent fest, wie hoch der Anteil für Produktinnovationen an den gesamten Forschungsinvestitionen ist (Faktor: $\alpha_{prod.,i}(t)$). Den verbleibenden Teil der Investitionen ($1 - \alpha_{prod.,i}(t)$) verwendet der Produzent für die Forschung zu den Prozeßinnovationen. Die Aufteilung läßt sich formal wie folgt beschreiben:

$$I_{prod.,i}(t) = \alpha_{prod.,i}(t) * C_{RD-total,i}(t) \quad (7.24)$$

$$I_{proc.,i}(t) = (1 - \alpha_{prod.,i}(t)) C_{RD-total,i}(t) \quad (7.25)$$

Die Forschungsinvestitionen für die Produktinnovationen muß der Produzent auf die drei Produkteigenschaften aufteilen. Diese Aufteilung legt der Produzent im Rahmen der Strategiewahl fest. Jede Verhaltensregel beschreibt eine strategische Ausrichtung des Produzenten,

zu der auch die Festlegung auf bestimmte Produktinnovationen, von denen sich der Produzent eine Verbesserung seiner Wettbewerbsfähigkeit verspricht, gehört. Diese strategische Ausrichtung legt den Anteil für die Forschung an einer bestimmten Produkteigenschaft an den gesamten Forschungsinvestitionen für die Produktinnovationen fest; in der Verhaltensregel des Produzenten wird dieser Anteil durch den Faktor $\alpha_i^{prod.,k}(t)$ festgelegt. Für die Produkteigenschaft Fahrzeugleistung wird die Höhe der Forschungsinvestitionen zur Erweiterung des Wissenskaptals (s. Gleichung 7.3) wie folgt formuliert:

$$I_i^{prod.,1}(t) = \alpha_i^{prod.,1}(t) * I_{prod.,i}(t) \quad (7.26)$$

Analog lauten für die beiden anderen Produkteigenschaften Benzinverbrauch und Design die Gleichungen für die Festlegung der jeweiligen Forschungsinvestitionen:

$$I_i^{prod.,2}(t) = \alpha_i^{prod.,2}(t) * I_{prod.,i}(t) \quad (7.27)$$

$$I_i^{prod.,3}(t) = \alpha_i^{prod.,3}(t) * I_{prod.,i}(t) \quad (7.28)$$

7.2.4.2. Innovationslose

Im Abschnitt 5.4 haben wir die Problematik diskutiert, wie man den Suchprozeß der Produzenten adäquat modellieren soll. In dem hier vorgeschlagenen Modell existiert die zusätzliche Schwierigkeit, daß es sich nicht nur um einen stochastischen, globalen Suchprozeß handelt, vielmehr ist der Suchprozeß der Produzenten nach einer neuen Eigenschaftskombination oder einem verbesserten Produktionsprozeß eine Kombination aus lokalem Problemlösen und einer Suche. Um den Suchprozeß zu modellieren, haben wir auch in Anlehnung an eine Reihe anderer Autoren [Nelson 1982, Meyer 1996, Beckenbach 2001a] auf die Nutzung von Lotterien zurückgegriffen; andere Handlungslogiken, wie z.B. die Befragung der Kunden, haben wir aus Gründen der Handhabbarkeit ausgeschlossen. Allerdings ist das Los in der Lotterie kein globales Los, vielmehr hängt der Grad der Problemlösungsfähigkeit des Produzenten von seinem aktuellen Wissenskaptal ab (s. Abschnitt 5.3). Die Lokalität der Suche des einzelnen Produzenten wird durch sein Wissenskaptal bestimmt; ist dieses Kapital groß, so ist die Wahrscheinlichkeit einer weitergreifenden Neuerung auch größer und umgekehrt.

Die Innovationslose haben wir sowohl für die Produkt- als auch die Prozeßinnovationen als zwei-stufige Lotterie modelliert. Die erste Stufe entscheidet über den prinzipiellen Erfolg einer Forschungsanstrengung, während die zweite Stufe die Tragweite dieses Forschungserfolges bestimmt. Betrachtet man Forschungsanstrengungen in der Praxis, so ist nicht jeder

Versuch mit einem Erfolg gekrönt, vielmehr ist die Zahl der Irrwege oftmals sehr hoch. Allerdings lassen sich Irrwege leichter vermeiden, je mehr Erfahrung, Wissen und Intuition die beteiligten Forscher, Entwickler oder Ingenieure besitzen. Hat man in der Praxis das Glück einer erfolgreichen Forschungsleistung gehabt, so hängt deren Tragweite in den meisten Fällen von dem Wissensstand der Mitarbeiter ab. In den seltensten Fällen hingegen ist es Zufall oder Intuition, die eine grundsätzlich neue Lösung produzieren. Wir verwenden für die Beschreibung der Innovationslose der Produzenten die folgenden Notationen:

$In_i^{proc.}(t)$	:	Innovationswahrscheinlichkeit Prozeßinnovationen des Produzenten i in t
$In_i^{prod.,1}(t)$	:	Innovationswahrscheinlichkeit Produktinnovationen Fahrzeugleistung des Produzenten i in t
$In_i^{prod.,2}(t)$	:	Innovationswahrscheinlichkeit Produktinnovationen Benzinverbrauch des Produzenten i in t
$In_i^{prod.,3}(t)$	:	Innovationswahrscheinlichkeit Produktinnovationen Design des Produzenten i in t
$\beta_i^{proc.}(t)$	:	Inventionseffizienz Prozeßinnovationen des Produzenten i in t
$\beta_i^{prod.,1}(t)$	:	Inventionseffizienz Produktinnovationen Fahrzeugleistung des Produzenten i in t
$\beta_i^{prod.,2}(t)$	:	Inventionseffizienz Produktinnovationen Benzinverbrauch des Produzenten i in t
$\beta_i^{prod.,3}(t)$	:	Inventionseffizienz Produktinnovationen Design des Produzenten i in t
$C_{Avg.,i}(t)$	:	Stückkosten des Produzenten i in t
$\delta_{proc.}^{max.}$	:	Maximale Senkung der Stückkosten des Produzenten i in t
$P_i(t)$	:	Preis des Fahrzeuges des Produzenten i in t
$A_{1,i}(t)$	:	Fahrzeugleistung des Fahrzeuges des Produzenten i in t
$A_{2,i}(t)$	:	Benzinverbrauch des Fahrzeuges des Produzenten i in t
$A_{3,i}(t)$	:	Design des Fahrzeuges des Produzenten i in t
$A_{1,i}^{pot.}(t)$	:	Invention Fahrzeugleistung des Fahrzeuges des Produzenten i in t
$A_{2,i}^{pot.}(t)$	:	Invention Benzinverbrauch des Fahrzeuges des Produzenten i in t
$A_{3,i}^{pot.}(t)$	:	Invention Design des Fahrzeuges des Produzenten i in t
$a^{conv.}$	:	Achsenabschnitt der Verbrauchskurve des konventionellen Fahrzeugtyps
$a_{min.}^{hyp.}$	:	Unterer Achsenabschnitt der Verbrauchskurve des Hypercars

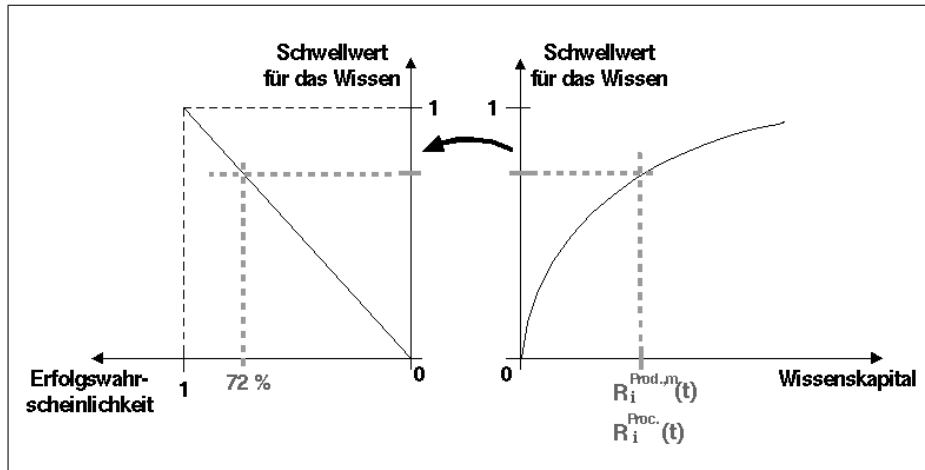


Abbildung 7.6.: Die Abbildung zeigt die Logik der Erfolgslotterie für den Zugang zu Produkt- und Prozeßinnovationen. Quelle: eigene

- $a_{max.}^{hyp.}$: Oberer Achsenabschnitt der Verbrauchskurve des Hypercars
- b^{slope} : Steigung der Verbrauchskurve beider Fahrzeugtypen
- $d_{power,i}^{conv.}(t)$: Abstand des Produzenten i in t zur Technologiegrenze
Fahrzeugleistung konventioneller Fahrzeuge
- $d_{power,i}^{hyp.}(t)$: Abstand des Produzenten i in t zur Technologiegrenze
Fahrzeugleistung Hypercar
- $d_{fuel,i}^{conv.}(t)$: Abstand des Produzenten i in t zur Technologiegrenze
Benzinverbrauch konventioneller Fahrzeuge
- $d_{fuel,i}^{hyp.}(t)$: Abstand des Produzenten i in t zur Technologiegrenze
Benzinverbrauch Hypercar

7.2.4.2.1. Prozeßinnovationen In der Abbildung 7.6 ist die Logik der Zugangslotterie zu den Prozeßinnovationen dargestellt. Der Produzent besitzt ein bestimmtes Wissenskapital $R_i^{proc.}(t)$ für die Prozeßinnovationen. Dieses ist in dem rechten Diagramm der Abbildung 7.6 auf der x-Achse aufgetragen. Dieses Wissenskapital bestimmt dann mittels des funktionalen Zusammenhangs, der in Gleichung 7.29 definiert ist, einen effizienzinduzierten Schwellwert, dessen 1.Ableitung positiv und dessen 2.Ableitung negativ ist, der somit gegen den Maximalwert 1 konvergiert. Die Steigung dieser Funktion für den Schwellwert wird einerseits durch das Wissenskapital $R_i^{proc.}(t)$, andererseits durch die Effizienz des Unternehmens, dieses Wissen in Inventionen umzusetzen (Faktor: $\beta_i^{proc.}$), bestimmt. Dieser Effizienzfaktor $\beta_i^{proc.}$ wird durch die interne Organisation der Firma oder das Ausbildungsniveau der Mitarbeiter bestimmt. In einigen Firmen gibt es zum Beispiel ein internes Ideenmanagement, während

in anderen Firmen hierarchische Aspekte des Machterhalts die Förderung von Inventionen verhindern. Unterschiedliche Ausprägungen des Parameters β_i^{proc} können in diesem Modell also solche internen Organisationsmerkmale beschreiben. Formal wird der Zusammenhang durch eine modifizierte Exponentialfunktion beschrieben:

$$In_i^{proc}(t) = 1 - \exp[-\beta_i^{proc} * R_i^{proc}(t)] \quad (7.29)$$

Aus dieser Funktion bestimmt sich ein Schwellwert, dessen Wert zwischen 0 und 1 liegt. Dieser Wert geht dann in eine gleichverteilte Lotterie ein. Liegt der Schwellwert, der sich aus dem Wissenskapital des Produzenten errechnet, zum Beispiel bei einem Wert von 0.72, so beträgt die Wahrscheinlichkeit eines Loserfolges für den Produzenten 72%. Dieses ist in der Abbildung durch den Übergang vom rechten Diagramm auf das linke Diagramm, das die Erfolgswahrscheinlichkeit der Gleichverteilung darstellt, skizziert. Mathematisch beschreiben wir diesen Zusammenhang wie folgt:

$$\begin{aligned} In_i^{proc}(t) &< \text{gleichverteilte Zufallsvariable } [0,1] \\ \Rightarrow &\text{Innovationserfolg} \end{aligned} \quad (7.30)$$

Diese Art der Modellierung der ersten Stufe der Innovationslotterie beschreibt einen Suchprozeß, der schnelle Erfolge bei einem geringen Wissen erlaubt, während sich bei einem hohen Wissenskapital die Erfolgswahrscheinlichkeit asymptotisch dem Wert 1 nähert.

Im Fall einer erfolgreichen Prozeßinnovation muß die Tragweite dieser Innovation bestimmt werden. Diese Tragweite ist das Resultat eines wissensbasierten, lokalen Suchprozesses, den wir wieder mit Hilfe einer Lotterie modellieren. Bevor wir die mathematische Formulierung diskutieren, müssen wir noch zwei Vorbemerkungen machen. Prozeßinnovationen sind in Betrieben meistens Verbesserungen im Detail, d.h. einzelne Teilprozesse werden durch eine solche lokale Prozeßinnovation in ihrer Effizienz verbessert. Diese Verbesserung mag üblicherweise bis zu 30 - 40 % betragen, in einigen wenigen Fällen vielleicht sogar 80%. Je geringer die Verbesserung ist, desto leichter lassen sich diese in der betrieblichen Praxis umsetzen¹⁵. Betrachtet man diese lokale Verbesserung aber im Kontext des Gesamtprozesses, so liegt in den meisten Fällen das Resultat der Verbesserung im einstelligen Prozentbereich. Diese Hypothese wird unterstützt durch die Beobachtung der langjährigen Raten für die Produktivitätssteigerungen im Verarbeitenden Gewerbe, die um einen Wert von 2 - 5% schwanken [Stat. Bundesamt 2002]. Den ersten Aspekt bilden wir durch die Verwendung einer lognormal-verteilten Lotterie ab, die kleinere Werte deutlich bevorzugt und deren Breite

¹⁵Größere Verbesserungen bringen häufig auch größere Veränderungen des Ablaufes mit sich, was aber wiederum für einen kontinuierlichen Produktionsprozeß störend ist.

durch das Wissenskapital des Produzenten $R_{proc.,i}(t)$ und die Effizienz der Umsetzung dieses Wissenskapitals $\beta^{proc.}$ bestimmt ist. Den zweiten Aspekt formulieren wir in diesem Modell durch die Verwendung eines Maximalwertes für die Rate der Prozeßverbesserungen, dargestellt durch den Parameter $\delta_{proc.}^{max.}$. Im Fall einer erfolgreichen Prozeßinnovation verringern sich die Stückkosten gegenüber der Vorperiode um einen Prozentsatz, der das Ergebnis einer lognormal-verteilten Lotterie ist und dessen Wert durch einen historischen Maximalwert nach oben begrenzt ist. Mathematisch läßt sich dieser Vorgang wie folgt abbilden:

$$C_{Avg.,i}(t+1) = C_{Avg.,i}(t) * (1 - Min(\frac{\delta_{proc.}^{max.}}{100}, \frac{\mathcal{LN}(0, \beta^{prozeß} * R_i^{prozeß}(t))}{100})) \quad (7.31)$$

7.2.4.2.2. Produktinnovationen Die Forschungsanstrengungen für die Produktinnovationen betrachten wir in diesem Modell für die drei betrachteten Produkteigenschaften unabhängig voneinander. Insbesondere wenn es sich um komplementäre Produktmerkmale handelt, die nicht oder kaum miteinander gekoppelt sind, erscheint diese Annahme realistisch. Für die beiden Eigenschaften Leistung und Benzinverbrauch bedarf es aber noch einer kurzen Diskussion. Auf den ersten Blick erscheint es offensichtlich, daß eine feste, positive Kopplung zwischen der Veränderung des Benzinverbrauchs und der Leistung existiert. Allerdings gibt es einige Beispiele, wie z.B. die Diesel- und Benzindirekteinspritzung, die eine negative Kopplung (innerhalb bestimmter Grenzen) beschreiben. Mit der Einführung der Benzindirekteinspritzungstechnologie wurde die Motorleistung um ca. 20% gesteigert, während gleichzeitig der Benzinverbrauch um 20% gesenkt wurde [Diaz 1998]. Man hat im übrigen festgestellt, daß eine Senkung der Leistung nicht automatisch mit einer Senkung des Benzinverbrauches einhergehen muß, vielmehr kann die hierbei praktizierte Motordrosselung eine drastische Wirkungsgradverschlechterung verursachen, die zu höherem Energieverbrauch führt [Diaz 1998]. Vor diesem Hintergrund treffen wir hier die Annahme, daß die Forschungserfolge und deren Höhe voneinander unabhängig und somit im Sinne von Schnabl [Schnabl 1979] mathematisch separierbar sind.

Auch bei den Produktinnovationen haben wir eine zweistufige Innovationslotterie gewählt. Die erste Stufe der Lotterie haben wir analog zu unserem Vorgehen bei den Prozeßinnovationen gewählt. Auch hier bestimmt sich aus dem jeweiligen Wissenskapital und der Effizienz des Produzenten, dieses Wissen in Inventionen umzusetzen, ein Schwellwert für die Innovationslotterie (s. Abbildung 7.6). Dieser Schwellwert geht dann in eine gleichverteilte Lotterie ein (s. Abschnitt 7.2.4.2.1). Zusammengefaßt lautet somit die erste Stufe der Innovationslotterie für die drei Produkteigenschaften:

$$In_i^{prod.,m}(t) = 1 - \exp[-\beta^{prod.,m} * R_i^{produkt,m}(t)] \quad (7.32)$$

$$\begin{aligned}
In_i^{prod.,m}(t) &< \text{gleichverteilte Zufallsvariable } [0,1] \\
&\Rightarrow \text{Innovationserfolg}
\end{aligned}
\tag{7.33}$$

7.2.4.2.3. Suchraum für die Produkteigenschaften Der eigentliche Suchprozeß im Raum der Produktmerkmale ist von der jeweiligen Eigenschaft und der Struktur des Merkmalsraumes in Bezug auf diese Eigenschaft abhängig. Die physischen Eigenschaften der Fahrzeuge spannen einen dreidimensionalen Raum der möglichen Merkmalskombinationen der Fahrzeuge auf. Dieser Raum ist der Suchraum der Produzenten nach neuen und veränderten Produkten. Hier wird jetzt deutlich, was Schumpeter als neue Kombination bezeichnet hat [Schumpeter 1934], eine Veränderung der Position des Produktes im Eigenschaftsraum. In der Realität hat dieser Raum unendlich viele Dimensionen und die Unternehmen sind in der Lage, durch Erfindungen diesem Raum neue Dimensionen zuzufügen. Diese weitere Komplikation schließen wir für diese Arbeit aus.

Für ein bestimmtes Produkt, z.B. einen Personenkraftwagen, besitzt der Raum der Eigenschaften eine bestimmte topologische Struktur¹⁶. Diese Struktur des Raumes schränkt die möglichen Merkmalskombinationen und damit auch die möglichen mathematischen Operationen ein. Betrachten wir die Randbedingungen, die für die drei Eigenschaften des hier betrachteten Merkmalsraumes gelten.

Für die Fahrzeugleistung können wir die begründete Annahme treffen, daß diese größer als Null ist, d.h. sie ist insbesondere nach oben unbeschränkt. Für das Merkmal Design können wir begründet die gleiche Annahme treffen, da es sich nicht um eine physikalisch meßbare Eigenschaft, sondern vielmehr um eine abstrakte Eigenschaft handelt, die nicht-negativ und nach oben unbeschränkt ist.

Für den Benzinverbrauch stellt sich die Situation hingegen etwas komplizierter dar. Nach oben ist der Benzinverbrauch technisch unbegrenzt, nach unten existiert allerdings eine Grenze die größer als Null ist. Bei einem Verbrennungsmotor muß eine Mindestenergie aufgebracht werden, die nur dazu benötigt wird, die mechanischen Reibungswiderstände der Kolben und der Kurbelwellen zu überwinden. Diese Energie muß aufgebracht werden, ohne daß diese in irgendeinerweise für die Bewegung des Fahrzeuges genutzt werden kann. Bei einem Verbrennungsmotor liegt dieser Mindestverbrauch bei ca. 1 Liter, der pro 100

¹⁶Die Topologie ist die Fachrichtung der Mathematik, die sich mit den Eigenschaften von abstrakten mathematischen Räumen und der Bedeutung dieser Eigenschaften für die möglichen mathematischen Operationen befaßt, die sich in dem jeweiligen Raum ausführen lassen. Ein Beispiel für einen Raum mit einer speziellen Topologie ist der sogenannte Hilbert-Raum, der die Grundlage für sämtliche Theoriestränge der Quantenmechanik bildet, so zum Beispiel auch für das Ising-Modell [Dirac 1928, Feynman 1965, Honerkamp 1990, Koch 1998].

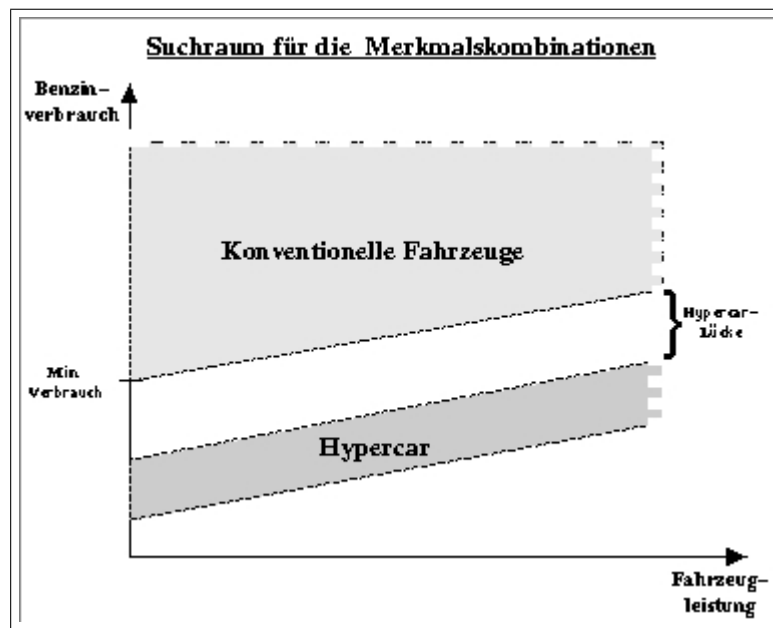


Abbildung 7.7.: Die Abbildung zeigt den zweidimensionalen Teilraum der Produkteigenschaften, der durch die beiden Merkmale Fahrzeugleistung und Benzinverbrauch aufgespannt wird. Quelle: eigene.

Kilometer Fahrtstrecke zusätzlich zu der Bewegungsenergie zur Überwindung dieser mechanischen Reibungswiderstände aufgebracht werden muß [Diaz 1998]. Dieser Wert ist bei einem Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors von 45% berechnet worden, was den theoretischen Maximalwirkungsgrad eines Verbrennungsmotors darstellt [Gerthsen 1991]. Bei einem handelsüblichen Fahrzeug ist dieser Wirkungsgrad deutlich niedriger; der Mindestverbrauch eines solchen Fahrzeuges ist also deutlich höher. Mit steigender Motorleistung steigt dieser Minimalverbrauch linear an, da eine steigende Leistung einen höheren Energieverbrauch nach sich zieht (s. Kapitel 2).

Bei dem in Kapitel 2 vorgestellten Konzept des Hypercars soll kein Verbrennungsmotor benutzt werden, sondern vielmehr eine Brennstoffzelle [Lovins 1995a, Hennicke 1999]. Eine Brennstoffzelle basiert auf einem völlig anderen Prinzip als der Verbrennungsmotor; es bewegen sich keine mechanischen Teile und die Energieumwandlung basiert nicht auf einem thermodynamischen Prinzip, sondern sie ist eine chemische Reaktion. Dieses führt dazu, daß der Minimalverbrauch zum reinen Betrieb der Brennstoffzelle nahezu null ist. Auch bei der Brennstoffzelle steigt der Verbrauch linear mit der abgegebenen Leistung an. Betrachtet man ein Hypercar mit einer Brennstoffzelle, so existiert ein Minimalverbrauch, der deutlich niedriger ist als der eines Verbrennungsmotors. Die Konstruktion des Hypercars (s. Abbildung 2.2) legt darüber die Hypothese nahe, daß es aufgrund des gänzlich verschiedenen Designprinzips eine Obergrenze für den Verbrauch des Hypercars gibt, die eine Lücke im

Raum der Produkteigenschaften zwischen dem Hypercar und einem konventionellen Fahrzeug mit Verbrennungsmotor verursacht, wie es in Abbildung 7.7 dargestellt ist. Fassen wir diese Bemerkungen über die Struktur des Raumes möglicher Merkmalskombinationen noch einmal kurz zusammen:

$$0 \leq P_i \leq \infty : \text{Wertebereich Preis} \quad (7.34)$$

$$0 \leq A_{1,i} \leq \infty : \text{Wertebereich Fahrzeugleistung} \quad (7.35)$$

$$0 \leq A_{3,i} \leq \infty : \text{Wertebereich Design} \quad (7.36)$$

$$A_{2,i} \geq a^{conv.} + \gamma * A_{1,i} : \quad (7.37)$$

Wertebereich Benzinverbrauch konventionelles Fahrzeug

$$A_{min.}^{hyp.} + \gamma * A_{1,i} \leq A_{2,i} \leq A_{max.}^{hyp.} + \gamma * A_{1,i} : \quad (7.38)$$

Wertebereich Benzinverbrauch Hypercar

7.2.4.2.4. Produktinventionen - Design Wir beginnen die Beschreibung der Suche nach veränderten Produkteigenschaften mit dem Merkmal Design. Wie in der Gleichung 7.36 beschrieben, kann das Merkmal Design Werte aus der Menge der positiven reellen Zahlen annehmen. Wir treffen die Annahme, daß die Innovationslotterie sich durch eine normalverteilte Zufallsvariable beschreiben läßt, deren Mittelwert die aktuelle Merkmalsausprägung ist. Die Breite der Normalverteilung, die festlegt, wie wahrscheinlich es ist, einen Wert mit einer bestimmten Abweichung aus der Lotterie zu ziehen, wird durch das effizienzinduzierte Wissenskapital für die Produkteigenschaft Design $\beta^{prod.,3} * R_i^{produkt,3}(t)$ formuliert. Das Ergebnis dieser normalverteilten Lotterie lautet dann formal geschrieben:

$$A_{3,i}^{pot.}(t) = \mathcal{N}(A_{3,i}(t), \beta^{prod.,3} * R_i^{produkt,3}(t)) \quad (7.39)$$

Das Ergebnis dieser Lotterie $A_{3,i}^{pot.}(t)$ stellt eine Invention dar, es existiert sozusagen bis zu diesem Zeitpunkt nur ein Vorschlag für eine Produktinnovation. Über die Umsetzung dieses Vorschlages muß die Geschäftsleitung des Unternehmens entscheiden, ob dieser aus der Sicht der Unternehmensstrategie in eine Produktinnovation, die auf dem Markt angeboten wird, umgesetzt werden soll. Auf diesen Entscheidungsprozeß, der den technischen Wandel bei diesem Produzenten beschreibt, gehen wir im Detail in Abschnitt 7.2.5 ein.

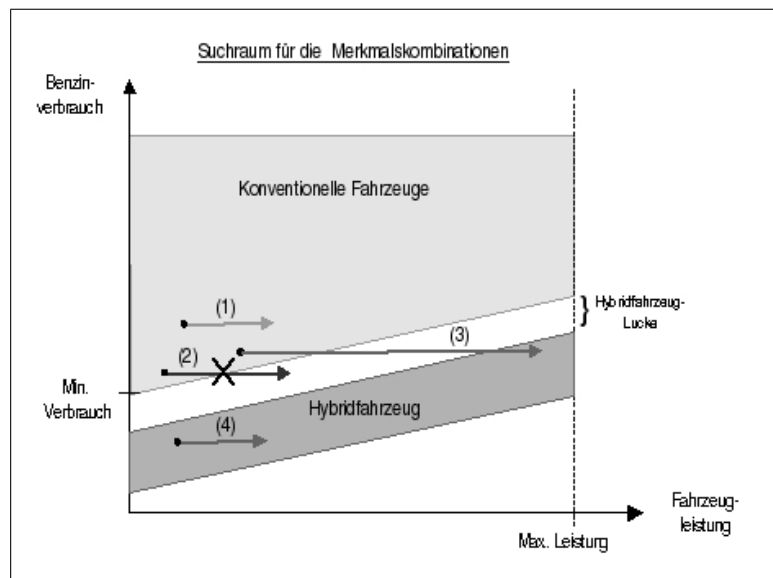


Abbildung 7.8.: Diese Abbildung zeigt den Suchraum in den Dimensionen Fahrzeugleistung und Benzinverbrauch mit den beiden Teilräumen für konventionelle Fahrzeuge und Hypercars. Die Pfeile deuten Innovationen in Bezug auf die Fahrzeugleistung an. Quelle: eigene.

7.2.4.2.5. Produktinventionen - Fahrzeugleistung Wie oben beschrieben, ist der Suchraum für die Eigenschaftskombination Fahrzeugleistung-Benzinverbrauch nicht-zusammenhängend (s. Abb.7.8). Dieses macht eine differenzierte Betrachtung mit Hilfe einer Fallunterscheidung zwischen den beiden Fahrzeugtypen, jeweils getrennt für die beiden Produkteigenschaften, notwendig.

In der Abbildung 7.8 sind die beiden Teilräume für die Kombination der Produktmerkmale Benzinverbrauch und Fahrzeugleistung dargestellt; die beiden Teilräume sind nicht-zusammenhängend. Betrachten wir die Innovationen für das Merkmal Fahrzeugleistung¹⁷. Eine Veränderung der Fahrzeugleistung wird in der Abbildung 7.8 durch einen Pfeil parallel zur X-Achse beschrieben.

Je näher sich ein Produzent bei der Forschung und Entwicklung in Bezug auf eine Produkteigenschaft an den technologischen Grenzen befindet (diese werden in der Abbildung 7.8 durch den Rand des jeweiligen Teilraumes dargestellt), desto schwieriger wird eine erfolgreiche Produktverbesserung sein. Für die Invention in Bezug auf die Fahrzeugleistung ist diese technologische Grenze durch den unteren Rand des Teilraumes für das konventionelle Fahrzeug bzw. für das Hypercar bestimmt. Dieser Grenzwert beschreibt die maxima-

¹⁷Wie oben schon angemerkt, treffen wir in dieser Arbeit die Annahme, daß die Innovationen für die von uns gewählten Produkteigenschaften unabhängig voneinander sind. Anders ausgedrückt verändern wir eine Produkteigenschaft ceteris paribus.

le Fahrzeugleistung zu dem aktuellen Benzinverbrauch (*ceteris paribus*). Der Abstand zur technologischen Grenze berechnet sich jetzt aus der Differenz der Maximalleistung und der aktuellen Leistung. Während die aktuelle Leistung des Fahrzeuges durch die Zustandsvariable $A_{1,i}(t)$ beschrieben wird (s. Abschnitt 7.2.1.2), müssen wir die Maximalleistung zu dem aktuellen Benzinverbrauch des Fahrzeuges $A_{2,i}(t)$ aus der Geradengleichung für die Untergrenze des Teilraumes für den konventionellen Fahrzeugtyp bzw. für den Hypercar berechnen. Diese Geradengleichung wird durch den Parameter $a^{conv.}$ für den Achsenabschnitt der Geraden und durch den Parameter b^{slope} für die Geradensteigung beschrieben. Für das Hypercar postulieren wir, daß die Steigung der Geraden gleich ist, der Achsenabschnitt aber durch den Parameter $a^{hyp.}$ festgelegt ist. Der Abstand zwischen aktueller Leistung und der möglichen Maximalleistung ergibt sich dann aus der Differenz beider Werte, formal wie folgt geschrieben:

$$d_{power,i}^{conv.}(t) = \frac{A_{2,i}(t) - a^{conv.}}{b^{slope}} - A_{1,i}(t) \quad (7.40)$$

$$d_{power,i}^{hyp.}(t) = \frac{A_{2,i}(t) - a^{hyp.}}{b^{slope}} - A_{1,i}(t) \quad (7.41)$$

Nachdem der Abstand zu den beiden technologischen Grenzen berechnet ist, können wir den eigentlichen Suchprozeß beschreiben. Für die Diskussion des lokalen Suchprozesses müssen wir eine Fallunterscheidung in Bezug auf die beiden Teilräume treffen. Beginnen wir die Diskussion mit der Suche bei den konventionellen Fahrzeugen.

Bei einem konventionellen Fahrzeug ist für den Forschungserfolg der Abstand zu der technologischen Grenze für diese Produktklasse maßgebend. Ist dieser Abstand größer als Null, wird die Innovationslotterie durch eine normalverteilte Zufallsvariable bestimmt, deren Mittelwert die aktuelle Fahrzeugleistung ist und deren Breite sich aus dem Produkt des effizienzinduzierten Wissenskapitals für die Produkteigenschaft Fahrzeugleistung des Produzenten und des Abstandes zur technologischen Grenze errechnet. Diese Skalierung mit dem Abstand hat zur Folge, daß sich mit verringerndem Abstand die Möglichkeiten zur Verbesserung immer mehr verkleinern, die Suche also immer schwieriger wird (sinkende “returns on innovation”). In der Grenzbetrachtung, wenn der Abstand gleich Null wird, ergibt sich das Innovationslos dann aus einer normalverteilten Zufallsvariablen mit der Breite Null, deren Mittelwert die aktuelle Fahrzeugleistung ist. Diese Modellierung beschreibt den oben dargestellten Sachverhalt, daß bei Annäherung an die technologische Grenze die möglichen Verbesserungen immer geringer werden. Mathematisch ergibt sich bei dieser Modellierung im Grenzübergang die Dirac-Funktion [Bronstein 1990, Dirac 1928, Feynman 1965].

$$\begin{aligned} d_{power,i}^{conv.}(t) &\geq 0.0 \quad \Rightarrow \\ A_{1,i}^{pot.}(t) &= \mathcal{N}(A_{1,i}(t), \beta^{prod.,1} * R_i^{prod.,1}(t) * d_{power,i}^{conv.}(t)) \end{aligned} \quad (7.42)$$

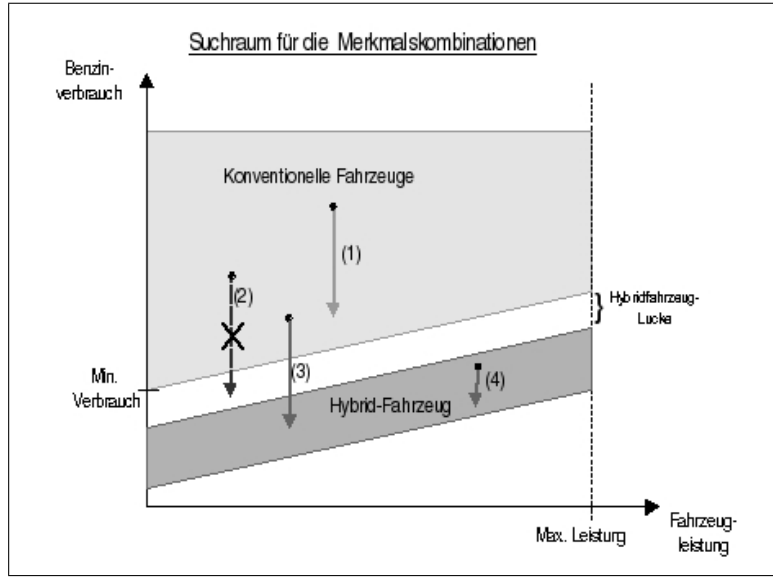


Abbildung 7.9.: Diese Abbildung zeigt den Suchraum in den Dimensionen Fahrzeugleistung und Benzinverbrauch mit den beiden Teilräumen für konventionelle Fahrzeuge und Hypercars. Die Pfeile deuten Innovationen in Bezug auf den Benzinverbrauch an. Quelle: eigene.

Ist das betrachtete Fahrzeug hingegen ein Hypercar, so findet der Suchprozeß innerhalb des Teilraumes für das Hypercar statt. In diesem Fall ist für den Forschungserfolg der Abstand zu der technologischen Grenze für die Maximalleistung zu dem aktuellen Benzinverbrauch maßgebend. Analog zu unserem Vorgehen für den konventionellen Fahrzeugtyp wird ein Los aus einer normal-verteilten Lotterie gezogen, deren Breite sich mit geringer werdendem Abstand verringert.

$$d_{power,i}^{hyp.}(t) \geq 0.0 \Rightarrow \quad (7.43)$$

$$A_{1,i}^{pot.}(t) = \mathcal{N}(A_{1,i}(t), \beta^{prod.,1} * R_i^{prod.,1}(t) * d_{power,i}^{hyp.}(t))$$

Das Ergebnis dieser Lotterie $A_{1,i}^{pot.}(t)$ stellt eine Invention dar, es existiert sozusagen bis zu diesem Zeitpunkt nur ein Vorschlag für eine Produktinnovation. Über die Umsetzung dieses Vorschlages muß die Geschäftsleitung des Unternehmens entscheiden, ob dieser aus der Sicht der Unternehmensstrategie in eine Produktinnovation, die auf dem Markt angeboten wird, umgesetzt werden soll. Auf diesen Entscheidungsprozeß, der den technischen Wandel bei diesem Produzenten beschreibt, gehen wir im Detail in Abschnitt 7.2.5 ein.

7.2.4.2.6. Produktinnovationen - Benzinverbrauch Auch für die Innovationen beim Benzinverbrauch müssen wir die Struktur des Suchraumes im Hinblick auf die Dimension Fahrzeugleistung berücksichtigen. Betrachten wir hierzu den Suchraum in der Abbildung 7.9,

in der die möglichen Inventionen zu dem Merkmal Benzinverbrauch als Pfeile parallel zur Y-Achse dargestellt sind. Auch beim Benzinverbrauch gelten die oben gemachten Bemerkungen, daß bei einer Annäherung an die technologische Grenze die Inventionen schwieriger werden. Dieser Abstand läßt sich analog zu unserem Vorgehen bei der Fahrzeugleistung aus der Differenz zwischen dem aktuellen Verbrauch $A_{2,i}(t)$ und dem Minimalverbrauch zur aktuellen Fahrzeugleistung $A_{1,i}(t)$ bestimmen. Dieser Minimalverbrauch läßt sich aus der Geradengleichung für die Untergrenze des Teilraumes für den konventionellen Fahrzeugtyp bzw. für das Hypercar berechnen. Diese Geradengleichung wird durch den Parameter $a^{conv.}$ für den Achsenabschnitt der Geraden und durch den Parameter b^{slope} für die Geradensteigung beschrieben. Für das Hypercar postulieren wir, daß die Steigung der Geraden gleich ist, der Achsenabschnitt aber durch den Parameter $a^{hyp.}$ festgelegt ist. Der Abstand zwischen aktueller Leistung und der möglichen Maximalleistung ergibt sich aus der Differenz beider Werte, formal wie folgt geschrieben:

$$d_{fuel,i}^{conv.}(t) = A_{2,i}(t) - (a^{conv.} + b^{slope} * A_{1,i}(t)) \quad (7.44)$$

$$d_{fuel,i}^{hyp.}(t) = A_{2,i}(t) - (a^{hyp.} + b^{slope} * A_{1,i}(t)) \quad (7.45)$$

Nachdem der Abstand zu den beiden technologischen Grenzen berechnet ist, können wir den eigentlichen Suchprozeß beschreiben. Für die Diskussion des lokalen Suchprozesses müssen wir eine Fallunterscheidung in Bezug auf die beiden Teilräume treffen. Beginnen wir die Diskussion mit der Suche bei den konventionellen Fahrzeugen.

Bei einem konventionellen Fahrzeug ist für den Forschungserfolg der Abstand zu der technologischen Grenze für diese Produktklasse maßgebend. Ist dieser Abstand größer als Null, wird die Innovationslotterie durch eine normalverteilte Zufallsvariable bestimmt, deren Mittelwert der aktuelle Benzinverbrauch ist und deren Breite sich aus dem Produkt des effizienzinduzierten Wissenskapitals für die Produkteigenschaft Benzinverbrauch des Produzenten und des Abstandes zur technologischen Grenze errechnet. Diese Skalierung mit dem Abstand hat zur Folge, daß sich mit verringerndem Abstand die Möglichkeiten zur Verbesserung immer mehr verkleinern, die Suche also immer schwieriger wird (sinkende “returns on innovation”). In der Grenzbetrachtung, wenn der Abstand gegen Null geht, ergibt sich das Innovationslos dann aus einer normalverteilten Zufallsvariable mit der Breite Null, deren Mittelwert der aktuelle Benzinverbrauch ist. Diese Modellierung beschreibt den oben dargestellten Sachverhalt, wonach bei Annäherung an die technologische Grenze die möglichen Verbesserungen immer geringer werden.

Allerdings treffen wir für den Fall der Inventionen im Hinblick auf den Benzinverbrauch die Annahme, daß die der Lotterie zugrundeliegende Normalverteilung eine Mindestbreite

besitzt. Diese Annahme läßt sich dahingehend begründen, daß öffentlich bekanntes Grundlagenwissen über das Konzept eines solchen Fahrzeuges existiert und die ersten Konzeptfahrzeuge im Rahmen des PNGV-Programmes entwickelt wurden (s. Kapitel 2). Diese Mindestbreite bestimmen wir aus dem Produkt der Differenz der beiden Abstände ($d_{fuel}^{hyp.} - d_{fuel}^{conv.}$) und einem Gewichtungsfaktor a_{gap} . Die Differenz der beiden Abstände entspricht genau der Lücke zwischen den beiden Teilräumen, die in der Abbildung 7.7 dargestellt sind. Entspricht der Faktor a_{gap} exakt dem Wert 1, so entspricht die Mindestbreite der Normalverteilung, die der Lotterie zugrundeliegt, genau der Breite der Lücke - mit anderen Worten: mit einer Mindestwahrscheinlichkeit von $1 - 1(\sigma) = 1 - 0.68 = 0.32$ übertrifft die Invention die Hypercarlücke. Mathematisch läßt sich dieses Vorgehen wie folgt zusammenfassen:

$$\begin{aligned} d_{fuel,i}^{conv.}(t) &\geq 0.0 \Rightarrow \\ A_{2,i}^{pot.}(t) &= \mathcal{N}(A_{2,i}(t), \beta^{prod.,2} * R_i^{prod.,2}(t) * d_{fuel,i}^{conv.}(t) + \\ &\quad a_{gap} * (d_{fuel,i}^{hyp.}(t) - d_{fuel,i}^{conv.}(t))) \end{aligned} \quad (7.46)$$

Ist das betrachtete Fahrzeug hingegen ein Hypercar, so findet der Suchprozeß innerhalb des Teilraumes für das Hypercar statt. In diesem Fall ist für den Forschungserfolg der Abstand zu der technologischen Grenze für den Minimalverbrauch zu der aktuellen Fahrzeugleistung maßgebend. Analog zu unserem Vorgehen bei den Produktinnovationen zu der Fahrzeugleistung wird ein Los aus einer normal-verteilten Lotterie gezogen, deren Breite mit geringer werdendem Abstand abnimmt.

$$\begin{aligned} d_{fuel}^{hyp.} &\geq 0.0 \Rightarrow \\ A_{2,i}^{pot.}(t) &= \mathcal{N}(A_{2,i}(t), \beta^{prod.,2} * R_i^{prod.,2}(t) * d_{fuel}^{hyp.}) \end{aligned} \quad (7.47)$$

Das Ergebnis dieser Lotterie $A_{2,i}^{pot.}(t)$ stellt eine Invention dar, es existiert sozusagen bis zu diesem Zeitpunkt nur ein Vorschlag für eine Produktinnovation. Über die Umsetzung dieses Vorschlages muß die Geschäftsleitung des Unternehmens entscheiden, ob dieser aus der Sicht der Unternehmensstrategie in eine Produktinnovation, die auf dem Markt angeboten wird, umgesetzt werden soll. Auf diesen Entscheidungsprozeß, der den technischen Wandel bei diesem Produzenten beschreibt, gehen wir im Detail in Abschnitt 7.2.5 ein.

7.2.5. Technischer Wandel bei den Produzenten

Nachdem wir bisher den Suchprozeß der Produzenten diskutiert haben, wollen wir jetzt das Teilmodul, das den technischen Wandel bei den Produzenten beschreibt, im Detail betrachten. In der Abbildung 7.5 ist dieses Teilmodul und seine Interdependenzen zu den anderen

Teilmodulen dargestellt. In diesem Teilmodul wird die Festlegung der neuen Stückkosten und der neuen Produkteigenschaften prozessiert.

Für die Beschreibung des technischen Wandels verwenden wir die folgenden Notationen:

$C_{Avg.,i}(t)$	:	Stückkosten des Produzenten i in t
$A_{1,i}(t)$	:	Fahrzeugleistung des Fahrzeuges des Produzenten i in t
$A_{2,i}(t)$	:	Benzinverbrauch des Fahrzeuges des Produzenten i in t
$A_{3,i}(t)$	:	Design des Fahrzeuges des Produzenten i in t
$A_{1,i}^{pot.}(t)$	:	Invention Fahrzeugleistung des Fahrzeuges des Produzenten i in t
$A_{2,i}^{pot.}(t)$	:	Invention Benzinverbrauch des Fahrzeuges des Produzenten i in t
$A_{3,i}^{pot.}(t)$	:	Invention Design des Fahrzeuges des Produzenten i in t
$A_{1,i}^{new}(t)$	:	Neue Fahrzeugleistung des Fahrzeuges des Produzenten i in t
$A_{2,i}^{new}(t)$	:	Neuer Benzinverbrauch des Fahrzeuges des Produzenten i in t
$A_{3,i}^{new}(t)$	:	Neues Design des Fahrzeuges des Produzenten i in t
$\alpha_{1,i}^{strat.}(t)$	:	Strategische Ausrichtung zu Innovationen zur Fahrzeugleistung des Produzenten i in t
$\alpha_{2,i}^{strat.}(t)$	:	Strategische Ausrichtung zu Innovationen zum Benzinverbrauch des Produzenten i in t
$\alpha_{3,i}^{strat.}(t)$	:	Strategische Ausrichtung zu Innovationen zum Design des Produzenten i in t
$a^{conv.}$	:	Achsenabschnitt der Verbrauchskurve des konventionellen Fahrzeugtyps
$a_{min.}^{hyp.}$	:	Unterer Achsenabschnitt der Verbrauchskurve des Hypercars
$a_{max.}^{hyp.}$	:	Oberer Achsenabschnitt der Verbrauchskurve des Hypercars
b^{slope}	:	Steigung der Verbrauchskurve beider Fahrzeugtypen
$lim_{power,i}^{conv.}(t)$	:	Technologiegrenze Fahrzeugleistung konventionelles Fahrzeug des Produzenten i in t
$lim_{power,i}^{hyp-up}(t)$	:	Obere Technologiegrenze Fahrzeugleistung Hypercar des Produzenten i in t
$lim_{power,i}^{hyp-low}(t)$	:	Untere Technologiegrenze Fahrzeugleistung Hypercar des Produzenten i in t
$lim_{fuel,i}^{conv.}(t)$	:	Technologiegrenze Benzinverbrauch konventionelles Fahrzeug des Produzenten i in t
$lim_{fuel,i}^{hyp-up}(t)$	:	Obere Technologiegrenze Benzinverbrauch Hypercar des Produzenten i in t
$lim_{fuel,i}^{hyp-low}(t)$	:	Untere Technologiegrenze Benzinverbrauch Hypercar des Produzenten i in t

7.2.5.1. Festlegung der Stückkosten

Nach der Durchführung des Suchprozesses für die Produktinnovationen muß der Produzent die Stückkosten seines Produktionsprozesses für die nächste Simulationsperiode festlegen. Da mit den Prozeßinnovationen keine strategischen Entscheidungen verbunden sind, übernimmt der Produzent die während des Suchprozesses erreichten Verbesserungen, die wir in der Gleichung 7.32 beschrieben haben.

Falls der Produzent aber erfolgreich eine Produktinnovation durchführen konnte (s. Abschnitt 7.2.5.2), so treffen wir die Annahme, daß mit der Produktinnovation auch eine - möglicherweise geringe - Anpassung des Produktionsprozesses verbunden ist. Durch die Änderungen der Produkteigenschaften ist auf jeden Fall die Änderung der technischen Routinen im Sinne der “Standard Operating Procedures”, die wir in Abschnitt 5.2 besprochen haben, verbunden. Aus diesem Grunde erhöhen sich die Stückkosten im Fall der erfolgreichen Produktinnovation um den Faktor $c_{prod.}$. Formal beschrieben folgt daraus:

$$C_{Avg.,i}(t+1) = (1 + c_{prod.}) * C_{Avg.,i}(t) \quad (7.48)$$

7.2.5.2. Festlegung der Produkteigenschaften

Betrachten wir in diesem Abschnitt den weitaus interessanteren Fall der Produktinnovationen. Im Gegensatz zu den Prozeßinnovationen ist die Umsetzung der Produktinnovationen in Produktinnovationen eine strategische Entscheidung der Unternehmensleitung. Diese Umsetzung ist eng mit der Strategiewahl des Unternehmens verbunden. Für die Geschäftsleitung stellt sich die Frage, ob im Rahmen der Innovationen die Ausprägung einer Produkteigenschaft erhöht, gesenkt oder konstant gehalten werden soll. Betrachten wir zum Beispiel den Benzinverbrauch eines Fahrzeuges: das Unternehmen steht vor der Frage, ob es den Benzinverbrauch des eigenen Produktes senken soll. Die Kundschaft dieses Produzenten, die, wie wir im Abschnitt 7.3 näher ausführen werden, einem oder mehreren Milieus angehört, könnte zum Beispiel solch eine Senkung für unwichtig oder sogar unattraktiv halten. Diese Konsumneigung könnte damit bewirken, daß diese Konsumenten sich von diesem Produzenten abwenden und ihr Fahrzeug bei einem Konkurrenten kaufen. Der betrachtete Produzent würde aufgrund dieser Entscheidung einen massiven Umsatzeinbruch verspüren, der vielleicht seine Existenz bedroht. Dieses Beispiel soll verdeutlichen, daß es sich bei den Entscheidungen über die Produkteigenschaften viel stärker um strategische Entscheidungen handelt als bei den Prozeßinnovationen. Kostensenkungen sind bei Unternehmen, die im wirtschaftlichen Wettbewerb stehen, immer willkommen.

7.2.5.2.1. Produkteigenschaft - Design Betrachten wir als erstes die Unternehmensentscheidungen zu den Inventionen bei dem Produktmerkmal Design. Wir haben die oben angesprochene strategische Entscheidung des Unternehmens, ob es eine (intern vorgeschlagene) Invention in eine Produktinnovation umsetzen soll, genauso wie die Entscheidung über die Höhe der Forschungsinvestitionen in einem Parameter der Verhaltensregeln (s. Abschnitt 7.2.6.1) abgebildet. Dieser Parameter $\alpha_{3,i}^{strat.}(t)$ für die Strategieentscheidung in Bezug auf des Design des Fahrzeuges kann den Wertebereich $\alpha_{3,i}^{strat.}(t) \in (-1, 0, 1)$ annehmen. Hat dieser Parameter den Wert 0, so ändert der Produzent das Merkmal nicht; bei dem Wert -1 senkt er das Design und bei dem Wert 1 erhöht er die Merkmalsausprägung. Im Fall der Änderung der Merkmalsausprägung entspricht der Betrag der Änderung genau dem Abstand zwischen dem aktuellen Wert $A_{3,i}(t)$ und dem Wert der vorgeschlagenen Invention $A_{3,i}^{pot.}(t)$. Formal läßt sich dieser Algorithmus wie folgt beschreiben:

$$A_{3,i}(t+1) = A_{3,i}(t) + \alpha_{3,i}^{strat.}(t) * |A_{3,i}^{pot.}(t) - A_{3,i}(t)| \quad (7.49)$$

7.2.5.2.2. Produkteigenschaft - Fahrzeugleistung Bei der Produkteigenschaft Fahrzeugleistung liegen die Dinge im Vergleich zum Fahrzeugdesign etwas komplizierter. Auch hier müssen wir wieder die Struktur des Eigenschaftsraumes beachten, d.h. wir müssen berücksichtigen, daß für konventionelle Fahrzeuge und Hypercars zwei getrennte Teilräume existieren (s. Abbildung 7.7). Insbesondere müssen wir beachten, daß die Kombinationen der Merkmalsausprägungen der Fahrzeugleistung und des Benzinverbrauchs, die genau in der Lücke zwischen den beiden Teilräumen liegen, in diesem Simulationsmodell ausgeschlossen sind. Wie in der Abbildung 7.8 durch die Pfeile angedeutet, müssen wir für die Festlegung des technischen Wandels bei den Produzenten insgesamt vier Fälle unterscheiden. Liegt die neue Fahrzeugleistung innerhalb des jeweiligen Teilraumes der beiden Fahrzeugtypen, so kann dieser Forschungserfolg direkt umgesetzt werden (Fall (1) und (4)). Liegt die neue Fahrzeugleistung, die durch die Invention vorgeschlagen wurde, in der Lücke zwischen den beiden Fahrzeugtypen (Fall (2)), so ist dieser Forschungserfolg technisch nicht möglich. Der Produzent kann dann im Fall einer Erhöhung die Fahrzeugleistung nur bis zur technischen Grenze erhöhen. Im letzten Fall übertrifft der Forschungserfolg die Lücke im Eigenschaftsraum (Fall (3)); diese Invention kann umgesetzt werden und führt zu einem Wechsel des Fahrzeugtyps.

Für diese Fallunterscheidung müssen die drei Grenzen der Fahrzeugleistung für den aktuellen Benzinverbrauch bestimmt werden. Dieses sind die maximale Leistung für den konventionellen Typus, die Minimalleistung und die Maximalleistung des Hypercar-Typus. Diese Grenzen können wir wieder aus den Geradengleichungen, die die Grenzen der Teilräume festlegen, ermitteln. Dabei ist die Steigung der drei Geraden gleich b^{slope} und es existieren

drei unterschiedliche Achsenabschnitte $a^{conv.}$, a^{hyp-up} und $a^{hyp-low}$. Aus diesen lassen sich dann die benötigten Grenzwerte wie folgt berechnen:

$$\lim_{power,i}^{conv.}(t) = \frac{A_{2,i}(t) - a^{conv.}}{b^{slope}} - A_{1,i}(t) \quad (7.50)$$

$$\lim_{power,i}^{hyp-up}(t) = \frac{A_{2,i}(t) - a^{hyp-up}}{b^{slope}} - A_{1,i}(t) \quad (7.51)$$

$$\lim_{power,i}^{hyp-low}(t) = \frac{A_{2,i}(t) - a^{hyp-low}}{b^{slope}} - A_{1,i}(t) \quad (7.52)$$

Als Nächstes müssen wir betrachten, welche strategische Entscheidung der Produzent in Bezug auf die Umsetzung der Inventionen bei der Fahrzeugleistung gewählt hat. Von Interesse sind hierbei natürlich eine Verringerung bzw. Erhöhung der Fahrzeugleistung. Betrachten wir diese beiden Fälle getrennt.

Eine Erhöhung der Fahrzeugleistung wird durch den Wert 1 für den Parameter $\alpha_{1,i}^{strat.}(t)$ in der gewählten Verhaltensregel des Produzenten bestimmt. In diesem Fall berechnet sich die mögliche neue Fahrzeugleistung aus der Addition des Abstandes zwischen aktueller Fahrzeugleistung $A_{1,i}(t)$ und der vorgeschlagenen Invention $A_{1,i}^{pot.}(t)$ zu der aktuellen Fahrzeugleistung wie folgt:

$$A_{1,i}^{new}(t) = A_{1,i}(t) + |A_{1,i}^{pot.}(t) - A_{1,i}(t)| \quad (7.53)$$

Für diese mögliche neue Fahrzeugleistung muß überprüft werden, welcher der vier Fälle, die in der Abbildung 7.8 dargestellt sind, dadurch beschrieben wird. Den fünften Fall, daß der Produzent die untere Grenze des Teilraumes für den Hypercar erreicht, wollen wir nicht im Detail diskutieren.

1. Die Invention liegt innerhalb des Teilraumes für den konventionellen Fahrzeugtyp, die neue Fahrzeugleistung kann also ohne Probleme übernommen werden.

$$\begin{aligned} A_{1,i}^{new}(t) &< \lim_{power,i}^{conv.}(t) \Rightarrow \\ A_{1,i}(t) &= A_{1,i}^{new}(t) \end{aligned}$$

2. Die neue Fahrzeugleistung liegt hinsichtlich des entsprechenden Benzinverbrauchs genau in der Lücke zwischen den beiden Teilräumen. Der Produzent kann die Fahrzeugleistung nur soweit erhöhen, bis die maximale Fahrzeugleistung zu dem aktuellen Benzinverbrauch erreicht wird.

$$\begin{aligned} A_{1,i}^{new}(t) &> \lim_{power,i}^{conv.}(t) \wedge A_{1,i}^{new}(t) < \lim_{power,i}^{hyp-up}(t) \Rightarrow \\ A_{1,i}(t) &= \lim_{power,i}^{conv.}(t) \end{aligned}$$

3. Die aktuelle Fahrzeugleistung liegt im Teilraum des konventionellen Fahrzeugtyps, die neue Fahrzeugleistung hingegen im Teilraum des Hypercars. Der Produzent überspringt die Lücke und wechselt den Fahrzeugtyp von konventionell nach Hypercar.

$$A_{1,i}^{new}(t) < \lim_{power,i}^{conv.}(t) \wedge A_{1,i}^{new}(t) > \lim_{power,i}^{hyp-up}(t) \wedge A_{1,i}^{new}(t) < \lim_{power,i}^{hyp-low}(t) \Rightarrow A_{1,i}(t) = A_{1,i}^{new}(t)$$

4. Der Produzent produziert ein Hypercar, und die neue Fahrzeugleistung liegt innerhalb des Teilraumes für das Hypercar. Die Invention kann ohne Probleme übernommen werden.

$$A_{1,i}^{new}(t) > \lim_{power,i}^{hyp-up}(t) \wedge A_{1,i}^{new}(t) < \lim_{power,i}^{hyp-low}(t) \Rightarrow A_{1,i}(t) = A_{1,i}^{new}(t)$$

Eine Verringerung der Fahrzeugleistung wird durch den Wert -1 für den Parameter $\alpha_{1,i}^{strat.}(t)$ in der gewählten Verhaltensregel des Produzenten bestimmt. In diesem Fall berechnet sich die mögliche neue Fahrzeugleistung aus der Subtraktion des Abstandes zwischen aktueller Fahrzeugleistung $A_{1,i}(t)$ und der vorgeschlagenen Invention $A_{1,i}^{pot.}(t)$ von der aktuellen Fahrzeugleistung wie folgt:

$$A_{1,i}^{new}(t) = A_{1,i}(t) - |A_{1,i}^{pot.}(t) - A_{1,i}(t)| \quad (7.54)$$

Im Gegensatz zu der Fallunterscheidung bei der Erhöhung der Fahrzeugleistung existiert der “verbotene” Fall nicht für die Änderung der Fahrzeugleistung eines konventionellen Fahrzeuges, sondern für das Hypercar. Wir schließen die Möglichkeit aus, daß nach einer Verringerung ein Fahrzeug eine Leistung besitzen kann, die genau in der Lücke zwischen den beiden Teilräumen liegt. Auch jetzt muß wieder überprüft werden, welcher dieser Fälle vorliegt.

1. Die Invention liegt innerhalb des Teilraumes für den konventionellen Fahrzeugtyp, die neue Fahrzeugleistung kann also ohne Probleme übernommen werden.

$$A_{1,i}^{new}(t) < \lim_{power,i}^{conv.}(t) \Rightarrow A_{1,i}(t) = A_{1,i}^{new}(t)$$

2. Die neue Fahrzeugleistung liegt in Relation zu dem entsprechenden Benzinverbrauch genau in der Lücke zwischen den beiden Teilräumen. Der Produzent kann die Fahrzeugleistung nur soweit erhöhen, daß er die maximale Fahrzeugleistung zu dem aktuellen Benzinverbrauch erreicht.

$$A_{1,i}^{new}(t) > \lim_{power,i}^{conv.}(t) \wedge A_{1,i}^{new}(t) < \lim_{power,i}^{hyp-up}(t) \Rightarrow A_{1,i}(t) = \lim_{power,i}^{conv.}(t)$$

3. Die aktuelle Fahrzeugleistung liegt im Teilraum des Hypercars, die neue Fahrzeugleistung hingegen im Teilraum des konventionellen Fahrzeuges. Der Produzent überspringt die Lücke und wechselt den Fahrzeugtyp von Hypercar nach konventionell.

$$A_{1,i}^{new}(t) < \lim_{power,i}^{conv.}(t) \Rightarrow \\ A_{1,i}(t) = A_{1,i}^{new}(t)$$

4. Der Produzent produziert ein Hypercar, und die neue Fahrzeugleistung liegt innerhalb des Teilraumes für das Hypercar. Die Invention kann ohne Probleme übernommen werden.

$$A_{1,i}^{new}(t) > \lim_{power,i}^{hyp-up}(t) \wedge A_{1,i}^{new}(t) < \lim_{power,i}^{hyp-low}(t) \Rightarrow \\ A_{1,i}(t) = A_{1,i}^{new}(t)$$

Damit hat der Produzent die neue Fahrzeugleistung seines Produktes im Falle einer erfolgreichen Invention für die nächste Simulationsperiode festgelegt.

7.2.5.2.3. Produkteigenschaft - Benzinverbrauch Bei der Produkteigenschaft Benzinverbrauch gehen wir analog zu den Inventionen bei der Fahrzeugleistung vor. Auch hier müssen wir wiederum die Struktur des Eigenschaftsraumes beachten, d.h. wir müssen berücksichtigen, daß zwei getrennte Teilräume für konventionelle Fahrzeuge und Hypercars existieren (s. Abbildung 7.7). Insbesondere müssen wir beachten, daß die Kombinationen der Merkmalsausprägungen der Fahrzeugleistung und des Benzinverbrauchs, die genau in der Lücke zwischen den beiden Teilräumen liegen, in diesem Simulationsmodell ausgeschlossen sind. Wie in der Abbildung 7.9 durch die Pfeile angedeutet, müssen wir für die Festlegung des technischen Wandels bei den Produzenten insgesamt vier Fälle unterscheiden. Liegt der neue Benzinverbrauch innerhalb des jeweiligen Teilraumes der beiden Fahrzeugtypen, so kann dieser Forschungserfolg direkt umgesetzt werden (Fall (1) und (4)). Liegt der neue Benzinverbrauch, der durch die Invention vorgeschlagen wurde, in der Lücke zwischen den beiden Fahrzeugtypen (Fall (2)), so ist die Umsetzung der Invention technisch nicht möglich. Der Produzent kann dann im Fall einer Verminderung des Benzinverbrauchs diesen nur bis zur technischen Grenze verringern. Im letzten Fall übertrifft der Forschungserfolg die Lücke im Eigenschaftsraum (Fall (3)), die Invention kann umgesetzt werden und führt zu einem Wechsel des Fahrzeugtyps.

Für diese Fallunterscheidung müssen die drei Grenzen des Benzinverbrauchs für die aktuelle Fahrzeugleistung bestimmt werden. Diese sind der minimale Verbrauch für den konventionellen Typus, der Maximalverbrauch und der Minimalverbrauch des Hypercar-Typus. Diese Grenzen können wir wieder aus den Geradengleichungen, die die Grenzen der Teilräume festlegen, bestimmen. Dabei ist die Steigung der drei Geraden gleich b^{slope} , und es existieren

drei unterschiedliche Achsenabschnitte $a^{conv.}$, a^{hyp-up} und $a^{hyp-low}$. Aus diesen lassen sich dann die benötigten Grenzwerte wie folgt berechnen:

$$\lim_{fuel,i}^{conv.}(t) = a^{conv.} + b^{slope} * A_{1,i}(t) \quad (7.55)$$

$$\lim_{fuel,i}^{hyp-up}(t) = a^{hyp-up} + b^{slope} * A_{1,i}(t) \quad (7.56)$$

$$\lim_{fuel,i}^{hyp-low}(t) = a^{hyp-low} + b^{slope} * A_{1,i}(t) \quad (7.57)$$

Als Nächstes müssen wir betrachten, welche strategische Entscheidung der Produzent in Bezug auf die Umsetzung der Inventionen beim Benzinverbrauch gewählt hat. Von Interesse sind hierbei natürlich eine Verringerung bzw. Erhöhung des Benzinverbrauches. Betrachten wir diese beiden Fälle getrennt.

Eine (1) Erhöhung des Benzinverbrauchs wird durch den Wert 1 für den Parameter $\alpha_{2,i}^{strat.}(t)$ in der gewählten Verhaltensregel des Produzenten bestimmt. In diesem Fall berechnet sich der mögliche neue Benzinverbrauch aus der Addition des Abstandes zwischen aktuellem Benzinverbrauch $A_{2,i}(t)$ und der vorgeschlagenen Invention $A_{2,i}^{pot.}(t)$ zu dem aktuellen Benzinverbrauch, d.h.:

$$A_{2,i}^{new}(t) = A_{2,i}(t) + |A_{2,i}^{pot.}(t) - A_{2,i}(t)| \quad (7.58)$$

Für diesen möglichen neuen Benzinverbrauch muß überprüft werden, welcher der vier Fälle, die in der Abbildung 7.9 dargestellt sind, dadurch beschrieben wird. Den fünften Fall, daß der Produzent die untere Grenze des Teilraumes für den Hypercar erreicht, wollen wir nicht im Detail diskutieren.

1. Die Invention liegt innerhalb des Teilraumes für den konventionellen Fahrzeugtyp, der neue Benzinverbrauch kann also ohne Probleme übernommen werden.

$$\begin{aligned} A_{2,i}^{new}(t) &> \lim_{fuel,i}^{conv.}(t) \Rightarrow \\ A_{2,i}(t) &= A_{2,i}^{new}(t) \end{aligned}$$

2. Der neue Benzinverbrauch liegt hinsichtlich der entsprechenden Fahrzeugleistung genau in der Lücke zwischen den beiden Teilräumen. Der Produzent kann den Benzinverbrauch nur soweit erhöhen, daß er den maximalen Benzinverbrauch eines Hypercars zu der aktuellen Fahrzeugleistung erreicht.

$$\begin{aligned} A_{2,i}^{new}(t) &< \lim_{fuel,i}^{conv.}(t) \wedge A_{2,i}^{new}(t) > \lim_{fuel,i}^{hyp-up}(t) \Rightarrow \\ A_{2,i}(t) &= \lim_{fuel,i}^{hyp-up}(t) \end{aligned}$$

3. Der aktuelle Benzinverbrauch liegt im Teilraum des Hypercars, der neue Benzinverbrauch hingegen im Teilraum des konventionellen Fahrzeugtyps. Der Produzent überspringt die Lücke und wechselt den Fahrzeugtyp von Hypercar nach konventionell.

$$\begin{aligned} A_{2,i}^{new}(t) &> \lim_{fuel,i}^{conv.}(t) \Rightarrow \\ A_{2,i}(t) &= A_{2,i}^{new}(t) \end{aligned}$$

4. Der Produzent produziert ein Hypercar und der neue Benzinverbrauch liegt innerhalb des Teilraumes für das Hypercar. Die Invention kann ohne Probleme übernommen werden.

$$\begin{aligned} A_{2,i}^{new}(t) &< \lim_{fuel,i}^{hyp-up}(t) \wedge A_{2,i}^{new}(t) > \lim_{fuel,i}^{hyp-low}(t) \Rightarrow \\ A_{2,i}(t) &= A_{2,i}^{new}(t) \end{aligned}$$

Eine (2) Verringerung des Benzinverbrauchs wird durch den Wert -1 für den Parameter $\alpha_{2,i}^{strat.}(t)$ in der gewählten Verhaltensregel des Produzenten bestimmt. In diesem Fall berechnet sich der mögliche neue Benzinverbrauch aus der Subtraktion des Abstandes zwischen aktuellem Benzinverbrauch $A_{2,i}(t)$ und der vorgeschlagenen Invention $A_{2,i}^{pot.}(t)$ vom aktuellen Benzinverbrauch, d.h.:

$$A_{2,i}^{new}(t) = A_{2,i}(t) - |A_{2,i}^{pot.}(t) - A_{2,i}(t)| \quad (7.59)$$

Für diesen möglichen neuen Benzinverbrauch muß überprüft werden, welcher der vier Fälle, die in der Abbildung 7.9 dargestellt sind, dadurch beschrieben wird. Den fünften Fall, daß der Produzent die untere Grenze des Teilraumes für den Hypercar erreicht, wollen wir nicht im Detail diskutieren.

1. Die Invention liegt innerhalb des Teilraumes für den konventionellen Fahrzeugtyp, der neue Benzinverbrauch kann also ohne Probleme übernommen werden.

$$\begin{aligned} A_{2,i}^{new}(t) &> \lim_{fuel,i}^{conv.}(t) \Rightarrow \\ A_{2,i}(t) &= A_{2,i}^{new}(t) \end{aligned}$$

2. Der neue Benzinverbrauch liegt in Relation zu der entsprechenden Fahrzeugleistung genau in der Lücke zwischen den beiden Teilräumen. Der Produzent kann den Benzinverbrauch nur soweit erhöhen, daß er den minimalen Benzinverbrauch zu der aktuellen Fahrzeugleistung erreicht.

$$\begin{aligned} A_{2,i}^{new}(t) &< \lim_{fuel,i}^{conv.}(t) \wedge A_{2,i}^{new}(t) > \lim_{fuel,i}^{hyp-up}(t) \Rightarrow \\ A_{2,i}(t) &= \lim_{fuel,i}^{conv.}(t) \end{aligned}$$

3. Der aktuelle Benzinverbrauch liegt im Teilraum des konventionellen Fahrzeugtyps, der neue Benzinverbrauch hingegen im Teilraum des Hypercars. Der Produzent überspringt die Lücke und wechselt den Fahrzeugtyp von konventionell nach Hypercar.

$$A_{2,i}^{new}(t) < \lim_{fuel,i}^{hyp-up}(t) \wedge A_{2,i}^{new}(t) > \lim_{fuel,i}^{hyp-low}(t) \Rightarrow A_{2,i}(t) = A_{2,i}^{new}(t)$$

4. Der Produzent produziert ein Hypercar und der neue Benzinverbrauch liegt innerhalb des Teilraumes für das Hypercar. Die Invention kann ohne Probleme übernommen werden.

$$A_{2,i}^{new}(t) < \lim_{fuel,i}^{hyp-up}(t) \wedge A_{2,i}^{new}(t) > \lim_{fuel,i}^{hyp-low}(t) \Rightarrow A_{2,i}(t) = A_{2,i}^{new}(t)$$

Damit hat der Produzent den neuen Benzinverbrauch seines Produktes im Falle einer erfolgreichen Invention für die nächste Simulationsperiode festgelegt.

7.2.6. Strategiefestlegung der Produzenten

In Kapitel 5.2 haben wir uns ausführlich mit Routinen und ihrer Bedeutung für das Verhalten von Organisationen beschäftigt. In der Modellbeschreibung haben wir eine Vielzahl von Routinen, derer sich die Produzenten in diesem Modell bedienen, vorgestellt. Diese Routinen können wir in zwei Gruppen unterteilen: (1) Routinen, die nicht direkt von der Strategiewahl der Produzenten beeinflusst sind und (2) Routinen, die von dieser Wahl direkt beeinflusst sind. Zu der ersten Gruppe gehören zum Beispiel die Routinen zur Bestimmung der Produktionskapazität, der Verkaufsmenge oder des Gewinns. Zu der zweiten Gruppe gehören die Routinen, die die Investitionshöhe oder die Festlegung des technischen Wandels bestimmen. Diese Gruppe von Produzentenroutinen ist direkt von der Strategiewahl betroffen. Diese Strategiewahl wiederum stellt selbst eine Routine dar, anhand der die Produzenten ihre Strategie festlegen.

Die Produzenten verfügen in diesem Modell über eine feste Menge von Strategien, aus der sie am Ende der Simulationsperiode auf der Basis der Ergebnisse ihre Strategie für die nächste Periode festlegen. Eine Strategie legt für den Produzenten eine Reihe von Parametern fest, die wiederum eine Vielzahl von Routinen, wie z.B. die Investitionshöhe, bestimmen. Diese Strategien der Produzenten wollen wir im nächsten Abschnitt im Detail vorstellen¹⁸.

¹⁸In diesem sogenannten Strategiemodul liegt ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal dieser Arbeit im Vergleich zu den Arbeiten anderer Autoren [Nelson 1982, Gerybadze 1982, Meyer 1996, Pyka 1999, Beckenbach 2001a]. Diese statten ihre Produzenten mit nur einer Verhaltensregel aus, sie wählen also einen bestimmten Unternehmertypus im Sinne von Heuss [Heuss 1965]. In dieser Arbeit hingegen

7.2.6.1. Produzentenstrategien

Wie oben schon angedeutet, verfügen die Produzenten über eine feste Menge von Strategien, die sie situations- und erfolgsabhängig anwenden. Jede dieser Strategien legt eine Reihe von Parametern fest, die die verschiedenen Routinen der Produzenten wie z.B. die Investitionshöhe bestimmen. Am Beispiel der Investitionshöhe wollen wir das kurz illustrieren. Ist die Nachfrage nach dem Produkt eines Produzenten größer als dessen Produktionskapazität, so muß dieser Produzent entscheiden, wieviel er in den Ausbau seiner Kapazität investiert. Dieses hängt einerseits von seinen Kapitalressourcen (z.B. Gewinn aus der aktuellen Periode oder Kapitalrücklagen ab), andererseits aber auch von seinen Geschäftserwartungen für die nächste Periode ab. Diese Geschäftserwartung des Produzenten spiegelt sich in der Strategie des Produzenten wieder; aggressive Produzenten werden stärker investieren als vorsichtige Unternehmen. Genau wie die Entscheidung über die Investitionshöhe werden auch die Preissetzung oder die Investitionen in Wissenskapital von den strategischen Erwartungen des Produzenten bestimmt. Eine bestimmte Kombination dieser verschiedenen Aspekte der Geschäftserwartungen bestimmt dann die Strategie.

Wir verwenden für die Beschreibung der Strategiewahl im Simulationsmodell die folgenden Notationen:

$\underline{G}_i$	:	Vektor aller Strategien des Produzenten i
$\alpha_{RD-total,i}$	:	Anteil der Forschungsinvestitionen am Umsatz des Produzenten i
$\alpha_{prod.,i}$	:	Anteil der Produktinnovationen an den Forschungsinvestitionen des Produzenten i
$\alpha_i^{prod.,1}$	:	Anteil der Fahrzeugleistung an den Forschungsinvestitionen des Produzenten i
$\alpha_i^{prod.,2}$	:	Anteil der Benzinverbrauch an den Forschungsinvestitionen des Produzenten i
$\alpha_i^{prod.,3}$	:	Anteil der Design an den Forschungsinvestitionen des Produzenten i
$\alpha_{1,i}^{strat.}$	:	Technischer Wandel Fahrzeugleistung des Produzenten i
$\alpha_{2,i}^{strat.}$	:	Technischer Wandel Benzinverbrauch des Produzenten i
$\alpha_{3,i}^{strat.}$	:	Technischer Wandel Design des Produzenten i
$\alpha_{inv.,i}$	:	Investitionsneigung des Produzenten i
$\alpha_{desinv.,i}$	:	Neigung zum Kapazitätsabbau des Produzenten i

ändern die Produzenten im Verlauf der Simulation ihre Strategie kontext- und erfolgsabhängig (s. [Cyert/March 1963]).

$\alpha^{price,i}$: Preisänderungsfaktor des Produzenten i

Die Menge aller Strategien läßt sich mathematisch durch den folgenden Vektor beschreiben.

$$\underline{G}_i = \{G^1, G^2, \dots, G^l\}, \quad l = \text{Anzahl aller verfügbaren Strategien} \quad (7.60)$$

Jede dieser Strategien des Produzenten werden durch einen Satz von Parametern beschrieben. Für ein entsprechendes Experiment müssen diese Parameterkombinationen festgelegt werden. Der Satz der Strategien eines Produzenten legt damit sein kontextabhängiges Verhaltensspektrum fest. Die Parameter jeder einzelnen Strategie sind für den Verlauf der Simulation konstant, der Produzent verändert also nicht seine einzelnen Strategien¹⁹; vielmehr wendet er bei Mißerfolg eine Strategie mit einer anderen Parameterausprägung an. Diese Art von zeitlich konstanten Strategien ähneln den “General Operating Procedures” im Sinne von Cyert/March [Cyert/March 1963]. Die Strategieparameter, die wir in der Modellbeschreibung schon kurz erwähnt haben, lauten im einzelnen:

- $\alpha_{RD-total,i}$: Anteil der Forschungsinvestitionen

Dieser Parameter legt fest, welcher Anteil des Umsatzes in den Aufbau des gesamten Wissenskapitals (s. Gleichung 7.23) investiert wird. Der Parameter kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen; im Fall von 0 investiert der Produzent überhaupt nicht in das Wissenskapital.

- $\alpha_{prod.,i}$: Anteil der Produktinnovationen an den Forschungsinvestitionen

Dieser Parameter legt fest, welchen Anteil die Produktinnovationen an den gesamten Investitionen in das Wissenskapital einnehmen (s. Gleichung 7.24). Der Parameter kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen; im Fall von 0 werden die gesamten Investitionen auf das Wissenskapital für die Prozeßinnovationen gelenkt.

¹⁹In der Literatur finden sich aber auch Arbeiten, die die endogenen Veränderungen der Verhaltensregel berücksichtigen. Price [Price 1997] untersucht das monopolistische Preissetzungsverhalten von Elektrizitätsproduzenten mittels genetischer Algorithmen. In diesem Modell besitzen die beiden Produzenten eine Population von Preissetzungsstrategien, die per Zufallsgenerator aktiviert und anhand ihres Erfolges bewertet werden. Diese erfolgreichsten Strategien, d.h. die den höchsten Profit erbracht haben, werden für die Generierung neuer Strategien verwendet, während die schwächsten Strategien verworfen und aus der Population der Strategien entfernt werden. Geisendorf [Geisendorf 2001] betrachtet in ihrem Modell Akteure, die eine Regel für die Nutzung einer erneuerbaren Ressource besitzen, die sie im Verlauf der Zeit mittels eines genetischen Algorithmus verändern und den Umfeldbedingungen anpassen. Dawid und Kopel [Dawid 1998] betrachten in ihrer Arbeit ein Modell des Cobweb-Typs mit adaptiven Agenten. Diese Produzenten sind Preisnehmer, Dawid und Kopel sehen eine ad-hoc Nachfragefunktion vor, die ihre Produktionsentscheidung mittels eines genetischen Algorithmus im Zeitverlauf anpassen. Diese Differenzierung des Produzentenverhaltens mit Hilfe veränderlicher Regeln wollen wir in dieser Arbeit ausblenden.

- $\alpha_i^{prod.,1}$: Anteil der Fahrzeugleistung an den Forschungsinvestitionen

Dieser Parameter legt fest, welchen Anteil die Produktinnovationen zur Fahrzeugleistung an den gesamten Investitionen in das Wissenskapital für Produktinnovationen einnehmen (s. Gleichung 7.26). Der Wertebereich liegt zwischen 0 und 1; im Fall von 1 werden die gesamten Investitionen für Produktinnovationen auf diese Produkteigenschaft verwandt.

- $\alpha_i^{prod.,2}$: Anteil des Benzinverbrauchs an den Forschungsinvestitionen

Dieser Parameter legt fest, welchen Anteil die Produktinnovationen zum Benzinverbrauch an den gesamten Investitionen in das Wissenskapital für Produktinnovationen einnehmen (s. Gleichung 7.27). Der Wertebereich liegt zwischen 0 und 1; im Fall von 1 werden die gesamten Investitionen für Produktinnovationen auf diese Produkteigenschaft verwandt.

- $\alpha_i^{prod.,3}$: Anteil des Designs an den Forschungsinvestitionen

Dieser Parameter legt fest, welchen Anteil die Produktinnovationen zum Design an den gesamten Investitionen in das Wissenskapital für Produktinnovationen einnehmen (s. Gleichung 7.28). Der Wertebereich liegt zwischen 0 und 1; im Fall von 1 werden die gesamten Investitionen für Produktinnovationen auf diese Produkteigenschaft verwandt. Die Summe der drei Parameter für die Investitionen in das Wissenskapital für die Produkteigenschaften muß 1 betragen.

- $\alpha_{1,i}^{strat.}$: Technischer Wandel der Fahrzeugleistung

Dieser Parameter legt fest, ob und in welche Richtung die Fahrzeugleistung des Produktes verändert wird (s. Gleichungen 7.53 und 7.54). Der Parameter kann die Werte -1, 0 und 1 annehmen. Im Fall von 0 werden die Inventionen, die im Rahmen der Suchroutinen gefunden werden, nicht in Produktinnovationen umgesetzt (s. Abschnitt 7.2.5.2). Dieses Verhalten der Produzenten werden wir im Basisszenario im Detail untersuchen (s. Kapitel 8.3.3).

- $\alpha_{2,i}^{strat.}$: Technischer Wandel des Benzinverbrauchs

Dieser Parameter legt fest, ob und in welche Richtung der Benzinverbrauch des Produktes verändert wird (s. Gleichungen 7.58 und 7.59). Der Parameter kann die Werte -1, 0 und 1 annehmen. Im Fall von 0 werden die Inventionen, die im Rahmen der Suchroutinen gefunden werden, nicht in Produktinnovationen umgesetzt (s. Abschnitt 7.2.5.2).

- $\alpha_{3,i}^{strat.}$: Technischer Wandel des Designs

Dieser Parameter legt fest, ob und in welche Richtung das Design des Produktes verändert wird (s. Gleichung 7.49). Der Parameter kann die Werte -1, 0 und 1 annehmen. Im Fall von 0 werden die Inventionen, die im Rahmen der Suchroutinen gefunden werden, nicht in Produktinnovationen umgesetzt (s. Abschnitt 7.2.5.2).

- $\alpha_{inv,i}$: Investitionsneigung

Dieser Parameter legt fest, wie stark der Produzent bei einer bestehenden Unterkapazität investiert (s. Gleichung 7.19). Der Parameter kann Werte zwischen 0 und ∞ annehmen, wobei die obere Grenze hypothetischer Natur ist. Praktisch wird die obere Grenze bei ungefähr 1 liegen. Ein Wert größer 1 bedeutet, daß ein Produzent seine Kapazität über die durch die Unterkapazität bestimmte Kapazitätzlücke hinaus erweitern will, d.h. der Produzent ist in Bezug auf die Geschäftsentwicklung sehr zuversichtlich. Ein Wert von 0 hingegen beschreibt einen risikoaversen Produzenten, der auf Unterkapazitäten nicht mit Investitionen reagiert. Die Obergrenze wird dann natürlich in der eigentlichen Investitionsroutine durch das verfügbare Kapital begrenzt.

- $\alpha_{desinv,i}$: Neigung zum Kapazitätsabbau

Dieser Parameter legt fest, wie stark der Produzent im Fall von Überkapazitäten seine Produktionskapazitäten abbaut (s. Gleichung 7.20). Der Parameter kann Werte zwischen 0 und ∞ annehmen, wobei die Obergrenze in diesem Fall durch die vorhandene Produktionskapazität begrenzt ist, da der Produzent nicht mehr als seine eigene Kapazität abbauen kann. Ein Wert von Null bedeutet, daß der Produzent seine bestehenden Überkapazitäten nicht abbaut; bei einem Wert von 1 hingegen baut er diese Überkapazitäten vollständig ab.

- $\alpha^{price,i}$: Preisänderungsfaktor

Dieser letzte Parameter des Strategievektors legt fest, wie der Produzent den Preis seines Produktes für die nächste Geschäftsperiode anpaßt (s. Gleichung 7.9). Auch dieser Parameter kann Werte zwischen 0 und ∞ annehmen; bei allen Experimenten, die wir im Kapitel 8 vorstellen werden, lagen die Werte allerdings im Bereich zwischen 0.996 und 1.004. In diesen Experimenten haben die Produzenten also den Preis von einer Periode zur anderen entweder um maximal 4% gesenkt oder erhöht.

Diese Parameter können mathematisch zu einem Vektor zusammengefaßt werden, der genau eine Strategie des Produzenten i beschreibt:

$$G_{l,i} = \left\{ \alpha_{RD-total,i}, \alpha_{prod,i}, \alpha_i^{prod.,1}, \alpha_i^{prod.,2}, \alpha_i^{prod.,3}, \alpha_{1,i}^{strat.}, \alpha_{2,i}^{strat.}, \alpha_{3,i}^{strat.}, \alpha_{inv,i}, \alpha_{desinv,i}, \alpha^{price,i} \right\} \quad (7.61)$$

7.2.6.2. Auswahl der Strategie

Wie wir oben schon angedeutet haben (s. Kapitel 7.2.6), benutzen die Produzenten in diesem Modell eine Routine, um die Strategie für die nächste Periode auszuwählen. Aus der festen Menge an vorhandenen Strategien (s. Gleichung 7.60) wählen die Produzenten erfolgsabhängig die neue Strategie aus. Dieses geschieht für die Produzenten anhand des Lernalgorithmus von Arthur, den wir in Kapitel 4.4.2 vorgestellt haben. Jede Strategie besitzt in diesem Modell eine Wahlwahrscheinlichkeit ($p_i(t)$ in Gleichung 4.16), anhand der der Produzent mit einem gewichteten, gleichverteilten Los die neue Strategie auswählt.

Diese Wahlwahrscheinlichkeit ändert sich im Verlauf der Simulation abhängig von dem Erfolg der jeweiligen Strategie. Den Erfolg (Fitneß) der Strategie ermittelt der Produzent mit Hilfe einer Auszahlungsfunktion (s. Gleichung 4.17) $\varphi_i(t)$. In diesem Modell haben wir die Annahme getroffen, daß der Produzent nur die kurzfristige Kapitalrendite für die Strategiewahl berücksichtigt²⁰. Diese kurzfristige Kapitalrendite setzen die Unternehmen für die Strategiewahl in Bezug zu der durchschnittlichen Kapitalrendite in ihrer Industrie²¹. Hat ein Produzent mit einer Strategie eine höhere Kapitalrendite erwirtschaftet als der Branchendurchschnitt, so wertet er diese Strategie auf, ihre Wahlwahrscheinlichkeit erhöht sich. Mathematisch läßt sich dieses wie folgt formulieren:

$$\phi_i(t) = \left(\frac{\Gamma_i(t)}{K_i(t)} - \Phi \left(\frac{\Gamma_i(t)}{K_i(t)} \right) \right) \quad (7.62)$$

Diese Strategiewahl beschreibt also einerseits eine Form des “short-run feedback” im Sinne von Cyert/March [Cyert/March 1963]. Die durchschnittliche Kapitalrendite der Branche stellt andererseits aber auch im weitesten Sinne eine Form eines dynamischen Aspirationsniveaus dar; wird dieses erreicht, so wird die gewählte Strategie zumindest nicht abgewertet, bei Überschreiten des Niveaus sogar aufgewertet [Cyert/March 1963].

Betrachtet man die Auswahl der Strategie hingegen aus einer evolutionsökonomischen Sicht, so stellt diese einen Replikatormechanismus für die Strategiepopulation dar. Der Produzent besitzt eine Fitneßfunktion, die auf dem Vergleich zwischen der eigenen Kapitalrendite und der durchschnittlichen Rendite der Branche basiert. Die Vermehrungsrate (Wahlwahrscheinlichkeit) der einzelnen Strategie hängt von ihrer Fitneß im Vergleich zu

²⁰Diese Annahme ist durch die Tatsache motiviert, daß alle großen Automobilhersteller börsennotierte Kapitalgesellschaften sind, die in jedem Quartal ihr Betriebsergebnis veröffentlichen müssen. Da diese Veröffentlichungen direkte Auswirkungen auf die Marktkapitalisierung der Gesellschaften und damit auf die Vergütung der Firmenleitung haben, treffen wir hier die Annahme, daß diese die Strategiewahl der Unternehmen kurzfristig bestimmen.

²¹Durch die vierteljährlichen Veröffentlichungen stehen diese Bilanzkennzahlen in der realen Wirtschaft allen Unternehmen zum Vergleich zur Verfügung.

der Fitneß der anderen Strategien ab. Die Selektion der Verhaltensregel findet jetzt anhand dieser Fitneß, die durch die Wahlwahrscheinlichkeit $p_i(t)$ beschrieben wird, statt.

7.2.7. Populationseffekte

Neben der Selektion bei der Strategiewahl existiert aber auch eine Selektion der Produzenten auf der Basis ihres wirtschaftlichen Erfolges. Produzenten, die im Verlauf der Simulation nicht erfolgreich wirtschaften, scheiden aus dem Markt aus. Für dieses Ausscheiden der Produzenten müssen insgesamt vier Bedingungen gleichzeitig erfüllt sein.

1. Die Kapazität des Produzenten ist unter eine Einheit gesunken. Der Produzent kann in diesem Fall kein Produkt mehr herstellen, daß er verkaufen kann, er kann damit auch keine Einnahmen erzielen.
2. Der Produzent besitzt keine Kapitalrücklagen, die er für eine Investitionen in das Produktionskapital verwenden kann.
3. Der Produzent hat in dieser Periode keinen Gewinn gemacht aus dem er eine Investition finanzieren könnte.
4. Der Produzent war bei der Kreditvergabe nicht erfolgreich, die Möglichkeit der Fremdfinanzierung seiner Investitionen ist für den Produzenten ausgeschlossen.

Zusammengefaßt beschreiben diese vier Bedingungen die Situation eines Produzenten, der über keine Produktionskapazität zur Erzielung von Einnahmen und darüberhinaus über kein Kapital verfügt, um in diese Produktionskapazität zu investieren. Diese vier Austrittsregeln lassen sich mathematisch wie folgt formulieren:

$$\begin{aligned} \Gamma_i^{savings}(t) < 0.0 \wedge Q_i^{kapazität}(t) < 1.0 \wedge Kredit < 0.0 \wedge \Gamma_i(t) < 0.0 \\ \Rightarrow \text{Marktaustritt} \end{aligned} \quad (7.63)$$

7.3. Konsumentenmilieus

7.3.1. Milieueinteilung der Konsumenten

Wir unterteilen die Population der Konsumenten in diesem Modell in mehrere Milieus (s. Abschnitt 4.5). Die Konsumenten gehören unterschiedlichen Milieus an, insgesamt existieren

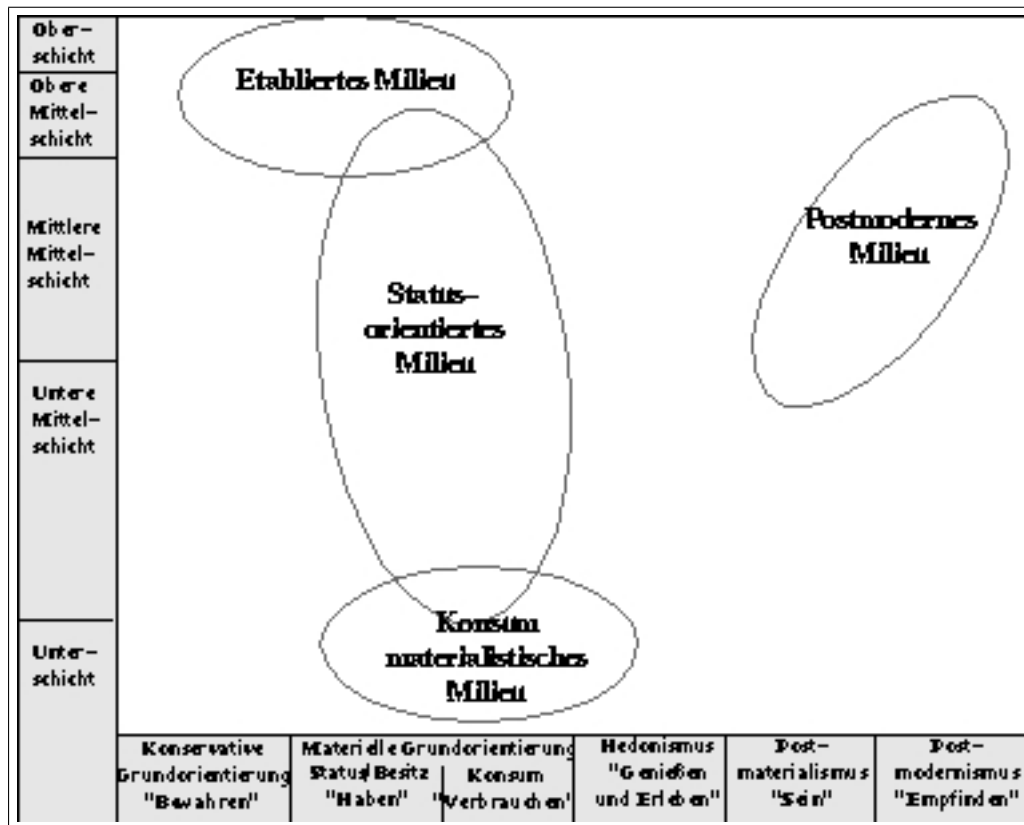


Abbildung 7.10.: Dieses Diagramm zeigt die für diese Arbeit ausgewählten vier Konsumentenmilieus und ihre Verortung differenziert nach sozialer Schicht und Wertorientierung. Quelle: eigene.

C unterschiedlichen Milieus. Der einzelne Konsument gehört einem dieser Milieus an, (n_k) bezeichnet die Klasse des Konsumenten k . Wie in Abschnitt 4.5 dargestellt, beschreiben soziale Milieus stabile Muster der Wertorientierung der Gesellschaftsmitglieder, die sich im Zeitverlauf nur geringfügig ändern. Aus diesem Grunde treffen wir in dem Simulationsmodell die Annahme, daß die Konsumenten nicht zwischen den verschiedenen Milieus im Verlauf der Simulation wechseln. Die Anzahl der Mitglieder eines Milieus ist somit konstant, wir bezeichnen sie mit N_c . Für die Beschreibung der Konsumentenmilieus verwenden wir die folgenden Notationen:

n_k	:	Milieuzugehörigkeit des Konsumenten k
E_k	:	Einkommen des Konsumenten k
$M_k(t)$	:	Angespartes Kapital des Konsumenten k in t
$P_{T_k}(t)$	:	Preis des vom Konsumenten k in t gekauften Fahrzeuges
$T_k(t)$	:	Fahrzeugwahl des Konsumenten k in t

Die Zugehörigkeit des einzelnen Konsumenten zu seinem Milieu beschreiben wir mit:

$$N = \{n_1, n_2, \dots, n_k\}, n \in N_C \quad (7.64)$$

Wir haben in dieser Arbeit die Aufteilung der Konsumenten in vier Milieus vorgenommen. Diese Einteilung entspricht hinsichtlich des Grades der Differenzierung nicht den aktuellen Erkenntnissen der Zielgruppenforschung [Sozialordnung 1997] wie wir sie in Abschnitt 4.5.1 vorgestellt haben. Mit dieser Arbeit wollen wir aber keine empirische Abschätzung abliefern, vielmehr wollen wir die Möglichkeiten der Einbeziehung der Milieuforschung für die Fragestellung der Diffusion von Produktinnovationen untersuchen. Allerdings haben wir uns bei der Auswahl der von uns einbezogenen Milieus an den Ergebnissen der Zielgruppenforschung orientiert und vier der dort identifizierten sozialen Milieus ausgewählt [Sozialordnung 1997].

1. **Etabliertes Milieu:** Im Vordergrund der Wertorientierung stehen traditionelle gesellschaftliche Werte und eine meritokratische Lebensphilosophie: beruflicher und materieller Erfolg durch Leistung, Zielstrebigkeit und Härte. Ein ausgeprägtes Leistungsträgerbewußtsein prägt die subjektiv wahrgenommene Stellung im gesellschaftlichen Gefüge des Landes. Wichtig sind ein distinguiertes Lebensstil, gute Umgangsformen, Understatement und Diskretion.

Dieses Milieu haben wir ausgewählt, da diese Konsumenten hochpreisige Fahrzeuge mit hoher Qualität und hochwertigem Design kaufen. Der Benzinverbrauch solch eines Fahrzeuges beeinflusst die Kaufentscheidung dieses Milieus nicht.²²

2. **Status-orientiertes Milieu:** Dieses Milieu umfaßt jene Konsumenten, die die wirtschaftliche Dynamik des Landes unter allen Umständen für den persönlichen, finanziellen und sozialen Aufstieg nutzen wollen. Das Erreichen des Lebensstandards "gehobener Schichten" gilt den meisten Milieuangehörigen als Maßstab des persönlichen Erfolges. Prestige, Luxuskonsum und die Zugehörigkeit zur Welt der "Reichen und Schönen" stellen zentrale Werte dar.

Diese Konsumentengruppe bevorzugt hochpreisige Fahrzeuge mit hoher Fahrzeugleistung und ausgefallenem Design. Der Benzinverbrauch spielt bei dieser Gruppe für die Kaufentscheidung keine Rolle.²³

3. **Postmodernes Milieu:** Das Postmoderne Milieu ist ein junges, formal zumeist hochgebildetes Avantgarde-Milieu mit Schwerpunkt in den großen Metropolen. Der Einzelne ist der Ingenieur seines eigenen Universums, die Außenwelt (Kunst, Konsum,

²²In der Studie des Sigma-Instituts zusammen mit dem ADAC [Sigma 1999] wurde als das typische Fahrzeug dieses Milieus die Daimler-Chrysler S-Klasse identifiziert.

²³In der Studie des Sigma-Instituts [Sigma 1999] wurden für dieses Milieu als typische Fahrzeughersteller BMW und Audi identifiziert.

Philosophie aber auch Religionen und gar Mitmenschen) ist der zugehörige Baukasten. Widersprüche in den eigenen Lebensentwürfen werden toleriert, ja lebensphilosophisch und alltagsästhetisch gepflegt. Man liebt es, mit unterschiedlichen Lebensstilen zu experimentieren, in verschiedenartigen Szenen, Welten und Kulturen zu leben.

Dieses Milieu beherbergt die Trendsetter der Gesellschaft. Sie wählen ausgefallene Fahrzeuge mit einer hohen Individualität und sind bereit, neue Fahrzeugkonzepte frühzeitig auszuprobieren. In diesem Milieu findet sich auch ein höheres Bewußtsein für energiesparende Fahrzeuge, in den Metropolen rekrutieren sich die Mitglieder einer Car-Sharing Initiative zum Großteil aus Mitgliedern dieses Milieus.

4. **Konsum-materialistisches Milieu:** Diese Gesellschaftsgruppe kann man als das Milieu der wirtschaftlich und sozial Randständigen mit vergleichsweise geringen Chancen am Arbeitsmarkt nachindustrieller Gesellschaften bezeichnen. Geld und Konsum spielen in diesem Milieu naturgemäß eine entscheidende Rolle. Entsprechend stark ausgeprägt ist die konsum-materialistische und konsum-hedonistische Grundorientierung, die im Alltag für nicht unbeträchtliche Frustrationspotentiale sorgt.

Dieses Milieu ist aufgrund seiner geringen finanziellen Ressourcen sehr kostenbewußt und bevorzugt preisgünstige Fahrzeuge. Dieses Kostenbewußtsein läßt für dieses Milieu die anderen Fahrzeugmerkmale für die Kaufentscheidung in den Hintergrund treten. Die Mitglieder dieser Konsumentengruppe sind nicht umweltbewußt. Allerdings spüren sie die Auswirkungen steigender Energiepreise am deutlichsten und werden ihre Kaufentscheidung von steigenden Preisen beeinflussen lassen.

Die Abbildung 7.10 zeigt die von uns in das Modell einbezogenen Milieus und ihre Verortung innerhalb der zwei Dimensionen Klassenzugehörigkeit und Wertorientierung²⁴. Wir

²⁴In der ökonomischen Literatur finden sich nur wenige Ansätze, eine Zielgruppenunterscheidung in die Modellierung der Nachfrageseite einzubinden. Die oben schon erwähnte Studie von Cowan et.al. [Cowan 1998] ist eine der wenigen Untersuchungen, die explizit verschiedene Konsumentenmilieus einbezieht. Cowan et.al. unterteilen in ihrer Arbeit die Population der Konsumenten in ein Kontinuum entlang der reellen Achse. Der Index s dieser Position auf der reellen Achse entspricht dem sozialen Status der Konsumenten innerhalb der Gesamtpopulation. Diese Verteilung der Konsumenten entlang der reellen Achse ist dabei bei Cowan et.al zeitunabhängig. Swann [Swann 2001] verteilt die Konsumenten entlang eines skalaren Klassenspektrums mit einer maximalen Anzahl von C_{max} Klassen. Windrum und Birchenhall [Windrum 1998] hingegen unterteilen die Konsumenten in N_c unterschiedliche Klassen, zu der Klasse N_i gehören n_i Konsumenten. Mittels einer Replikatordynamik ändert sich die Anzahl der Konsumenten in den einzelnen Klassen im Verlauf der Simulation entsprechend der Dynamik:

$$n_i = p_{i,t} * (1 + \lambda_r * \frac{U_{i,t}}{U_t})$$

wobei

$$p_{i,t+1} = (\frac{n_i}{\sum_i n_i})$$

treffen in den Simulationsszenarien (s. Kapitel 8) die Annahme, daß 10% der Konsumenten dem Etablierten Milieu und 20% dem Status-Orientierten Milieu angehören. Das Postmoderne Milieu umfaßt 30% der Konsumenten, während das Konsum-materialistische Milieu die restlichen 40% auf sich vereinigt. Auch diese Aufteilung ist eine Abstraktion von der Wirklichkeit wie wir sie in Kapitel 4.5.1 beschrieben haben, aber das Ziel dieser Arbeit ist keine detailgetreue Abbildung der Situation in Deutschland, sondern die Untersuchung der Nutzung des Konzeptes der sozialen Milieus für ein Diffusions- und Wettbewerbsmodell der Produktinnovationen.

7.3.2. Einkommen der Konsumenten

Jeder Konsument erhält zu Beginn einer Periode ein Einkommen, das er für seine Konsumausgaben verwenden kann²⁵. Die Höhe des Einkommens ist von dem Milieu des Konsumenten anhängig. Innerhalb eines Milieus wiederum ist das Einkommen der einzelnen Konsumenten gleich. Die Konsumentenpopulation ist also hinsichtlich ihres Einkommen heterogen. Mathematisch beschreiben wir das wie folgt:

$$E_k(t) = f^{\text{einkommen}}(n_k) \quad (7.65)$$

Der Beschreibung der vier Konsumentenmilieus folgend (s. Abschnitt 7.3.1) erhalten die Konsumenten des Etablierten Milieus mit 150 Geldeinheiten das höchste Einkommen, gefolgt von den Mitgliedern des Status-orientierten Milieus mit 130 Geldeinheiten. Die Konsumenten des Postmodernen Milieus erhalten 110 Geldeinheiten und die des Konsum-Materialistischen Milieus 80 Geldeinheiten in jeder Simulationsperiode. Wir haben in diesem Modell die Heterogenität der Konsumenten nur auf die verschiedenen Milieus beschränkt, um die Analyse nicht noch komplizierter werden zu lassen²⁶.

entspricht.

Weise [Weise 1993] betrachtet in seiner Arbeit die verschiedenen Konsumptionseffekte sehr detailliert (s. Abschnitt 4.5.2) und untersucht dann mittels eines Markov-Modells die Dynamik dieser einzelnen Effekte. Hierzu unterteilt er die Population der Konsumenten in zwei Gruppen, deren Mitglieder zwischen zwei Produkten wählen können. Er beschreibt dann die Übergangsraten zwischen den beiden Produkten mit Hilfe der verschiedenen Effekte wie z.B. Bandwagon-, Snob-, Prestige-, Imitations-, Gossen- und Präferenz-Effekt. Mit Hilfe dieser Konsumptionseffekte identifiziert er eine reichhaltige Dynamik, die einzelne Attraktoren, mehrere Attraktoren und Grenzzyklen umfasst. Saviotti [Saviotti 2001] unterteilt zwar in seiner Arbeit die Population der Konsumenten in Subpopulationen, allerdings ist das Unterscheidungsmerkmal für ihn das erworbene Produkt. Im Gegensatz dazu betrachten wir in dieser Arbeit feste Milieus und -zugehörigkeit.

²⁵Das Einkommen der Konsumenten ist also eine modellexogene Konstante, die somit Teil der Umwelt des Multi-Agenten-Systems im Sinne von Ferber [Ferber 1999] ist

²⁶Das Programm-Framework, in das wir dieses Modell eingebettet haben, erlaubt es allerdings, ganz einfach mittels eines Parameters die Breite der zugrundeliegenden Normalverteilung von Null auf ein beliebiges, endliches Maß zu verändern.

7.3.3. Sparkapital der Konsumenten

Während in der traditionellen Haushaltstheorie eine statische Budgetrestriktion verwendet wird [Henderson 1995, Herberg 1991], wollen wir bei der Verhaltensbeschreibung der Konsumenten einem Vorschlag von Schnabl [Schnabl 1979] folgen, der eine “dynamische Budgetrestriktion” vorschlägt. Spricht man von einer statischen Budgetrestriktion, so steht den Konsumenten in jeder Periode das gleiche Budget für den Kauf eines Gutes zur Verfügung, das sie versuchen, vollständig aufzubrauchen. Über die Verwendung des nicht-verbrauchten Budgets werden keine Angaben gemacht [Herberg 1991]. Im Rahmen einer dynamischen Beschreibung hingegen sind die Konsumenten in der Lage, das nicht-verbrauchte Budget anzusparen und in einer der folgenden Perioden für den Güterkauf zu verwenden. Neben dem Sparen der Konsumenten umfaßt eine dynamische Formulierung der Budgetrestriktion aber auch die Kreditaufnahme.

In dem hier vorgeschlagenen Modell treffen wir die Annahme, daß die Konsumenten nicht-verbrauchtes Budget ansparen können. Der Konsument k besitzt somit zum Zeitpunkt t das angesparte Kapital $M_k(t)$, für die Kaufentscheidung steht dem Konsumenten dieses Gesamtkapital und nicht nur das Einkommen der aktuellen Periode zur Verfügung. Dieses Gesamtkapital des Konsumenten zum Zeitpunkt t errechnet sich anhand der Gleichung:

$$M_k(t + 1) = M_k(t) + E_k(t) - P_{T_k}(t) \quad (7.66)$$

Wie man der Gleichung 7.66 entnehmen kann, schließen wir in diesem Modell die Möglichkeit des Konsumentenkredites aus. Vielmehr müssen die Konsumenten in diesem Modell im Fall eines zu geringen Budgets ihren “Gegenwartskonsum” einschränken, um für den Kauf in einer zukünftigen Periode zu sparen. Im Gegensatz dazu müssen die Konsumenten im Falle der Gewährung eines Konsumentenkredites ihren zukünftigen Konsum einschränken, um den Kredit zurückzuzahlen, wenn sie mit Hilfe des Kredites ihren Gegenwartskonsum befriedigen wollen. Wir haben uns hier für die erste Variante entschieden, da Konsumverzicht als Folge steigender Preise und unsicherer Wirtschaftssituationen in der Realität beobachtet wird. Die Gesellschaft für Konsumforschung (GfK) hat festgestellt, daß Konsumenten in Krisenzeiten die Anschaffung langfristig hochwertiger Güter, wie z.B. eines neuen Autos, auf bessere Zeiten verschoben haben und gerade nicht durch Kredite finanzieren [Süddeutsche Zeitung 2002d].

7.4. Kaufentscheidung der Konsumenten

Die Konsumenten treffen Ihre Kaufentscheidung auf der Basis einer endogenen Bewertung der verschiedenen Produktalternativen. In diese Bewertung beziehen die Konsumenten unterschiedliche Faktoren mit ein, die wir kurz aufführen wollen.

- Der Preis des Gutes spielt im Zusammenhang mit der Budgetrestriktion des Konsumenten eine Rolle.
- Die Neuheit eines Gutes spielt nicht nur bei Kleidungsstücken [Brenner 1999b, Brenner 1995] eine Rolle, insbesondere auch der Kauf eines PKW wird durch diesen Faktor beeinflusst [Handelsblatt 2000b, Sigma 1999, Handelsblatt 2002a].
- Die drei Eigenschaftsmerkmale Fahrzeugleistung, Benzinverbrauch und Design/Styling, die wir weiter oben beschrieben haben (s. Abschnitt 7.2.1.2), beeinflussen die Kaufentscheidung der Konsumenten.

Neben den Gütereigenschaften beziehen die Konsumenten aber auch die Kaufentscheidung der anderen Konsumenten, sowohl derjenigen aus dem eigenen Milieu als auch derjenigen anderer Milieus, in ihre Kaufentscheidung mit ein. Allerdings können sie nur die Kaufentscheidung der Mitkonsumenten aus der Vorperiode berücksichtigen.

Metcalf [Metcalf 2001b] betont den Aspekt, daß Konsumenten in ihren Wahlentscheidungen Trägheit oder Produkttreue offenbaren. Sie sind mit dem Gut, das sie in der Vergangenheit gekauft haben, zufrieden; nur wenn ein Alternativgut um ein Mindestmaß besser als das bisherige Produkt ist, wechseln sie das Produkt. Andernfalls bleiben sie ihrem bekannten Produkt treu, obwohl zum Beispiel eine Alternative geringfügig, aber nicht ausreichend genug, besser ist. Dieses Verhalten stellt eher ein unbewußtes Element der Kaufentscheidung dar. Ein bewußtes Element der Kaufentscheidung wäre hingegen ein Mißtrauen der Konsumenten gegenüber neuen Produkten, das sie zögern läßt, sofort zur besseren Alternative zu wechseln. Um dieses Verhalten der Konsumenten in das Modell zu integrieren, benutzen wir für die Bewertung der Produktalternativen durch die Konsumenten den Bush-Mosteller Lernalgorithmus [Brenner 1999a], der auf dem “reinforcement learning” basiert und den wir in Kapitel 4.4 im Detail vorgestellt haben. Der einzelne Konsument entwickelt dann im Verlauf der Simulation aufgrund dieses Lernens einen individuellen Erfahrungsschatz zur Bewertung der Produktalternativen.

Die Bewertung der Produkteigenschaften durch die Konsumenten weist das Verhalten vollständig rationaler Individuen auf, die alle Produktalternativen kennen, diese bewerten

können und auf der Basis der Bewertung ein Ranking bilden. Dieses Ranking stellt damit eine Art Präferenzordnung dar. Allerdings zieht in die Bewertung der Güteralternativen eine begrenzte Abbildung von beschränkter Rationalität im Sinne von Kapitel 4.3 in der Form zweier Elemente ein. Einerseits weisen die Konsumenten in ihrer Kaufentscheidung eine gewisse Trägheit oder auch Produkttreue auf, andererseits können sie die Kaufentscheidung der anderen Konsumenten nur ex-post aus der jeweiligen Vorperiode miteinbeziehen, obwohl diese für sie von großer Bedeutung ist. Die Informationen über die Kaufentscheidung der anderen Konsumenten aus der aktuellen Periode stehen dem einzelnen Konsumenten für seine Kaufentscheidung nicht zur Verfügung.

7.4.1. Einflußfaktor - Gütereigenschaften

In diesem Abschnitt wollen wir die verschiedenen Einflußfaktoren für die Gütereigenschaften vorstellen und diskutieren. Alle Konsumenten eines Milieus bewerten die jeweilige Produkteigenschaft gleich. Im Sinne der Diskussion in den Kapiteln 4.5 und 7.3 bewerten Konsumenten aus verschiedenen Milieus die Gütereigenschaften unterschiedlich.

Für die Beschreibung der Kaufentscheidung der Konsumenten verwenden wir die folgenden Notationen:

n_i^c	:	Anzahl der Käufer des Produktes i aus dem Milieu c
E_k	:	Einkommen des Konsumenten k
$P_i(t)$	:	Preis des Fahrzeuges i in t
$P_{res}(t)$	:	Preis der nicht-erneuerbaren Ressource in t
$\Pi_{i,k}^{price}(t)$	:	Einflußfaktor für den Preis des Fahrzeuges i für den Konsumenten k in t
$\Pi_{i,k}^{novelty}(t)$	:	Einflußfaktor für die Neuheit des Fahrzeuges i für den Konsumenten k in t
$\Pi_{i,k}^{power}(t)$	:	Einflußfaktor für die Leistung des Fahrzeuges i für den Konsumenten k in t
$\Pi_{i,k}^{design}(t)$	:	Einflußfaktor für das Design des Fahrzeuges i für den Konsumenten k in t
$\Pi_{i,k}^{fuel}(t)$	:	Einflußfaktor für den Benzinverbrauch des Fahrzeuges i für den Konsumenten k in t
$\Pi_{i,k}^{inter}(t)$	:	Einflußfaktor der Konsumkräfte für das Fahrzeug i für den Konsumenten k in t
$\Pi_{i,k}(t)$	:	Gesamtbewertung des Fahrzeuges i durch den Konsumenten k in t
$p_{i,k}(t)$	:	Reinforcement des Fahrzeuges i durch den Konsumenten k

β_k^{price}	:	Bedürfnisbefriedigungskapazität des Preises für den Konsumenten k
$\nu_k^{novelty}$	:	Bedürfnisbefriedigungskapazität der Produktneuheit für den Konsumenten k
β_k^{power}	:	Bedürfnisbefriedigungskapazität der Fahrzeugleistung für den Konsumenten k
β_k^{design}	:	Bedürfnisbefriedigungskapazität des Designs für den Konsumenten k
β_k^{fuel}	:	Bedürfnisbefriedigungskapazität des Benzinverbrauchs für den Konsumenten k
β_k^{peer}	:	Bedürfnisbefriedigungskapazität des Peer-Effektes für den Konsumenten k
β_k^{snob}	:	Bedürfnisbefriedigungskapazität des Snob-Effektes für den Konsumenten k
β_k^{status}	:	Bedürfnisbefriedigungskapazität des Status-Effektes für den Konsumenten k
$\beta_k^{mitläufer}$	:	Bedürfnisbefriedigungskapazität des Mitläufer-Effektes für den Konsumenten k
$\eta_{nov.}$	:	Gewöhnungsfaktor der Konsumenten an neue Produkte
$f_{i,T_k}(t)$	:	Bekanntheit des Produktes i für den Konsumenten k
$A_{1,i}(t)$	:	Fahrzeugleistung des Produzenten i in t
$A_{2,i}(t)$	:	Benzinverbrauch des Produzenten i in t
$A_{3,i}(t)$	:	Design des Produzenten i in t
ρ_{power}	:	Elastizität der Produkteigenschaft Fahrzeugleistung für den zugehörigen Einflußfaktor
ρ_{design}	:	Elastizität der Produkteigenschaft Design für den zugehörigen Einflußfaktor
ρ_{fuel}	:	Elastizität der Produkteigenschaft Benzinverbrauch für den zugehörigen Einflußfaktor
$T_k(t)$	:	Fahrzeugwahl des Konsumenten k in t

7.4.1.1. Bewertung des Produktpreises

Aus der Nutzentheorie ist die Bedeutung des Produktpreises für die Kaufentscheidung schon seit langem bekannt [Henderson 1995]. Dort ist der Preis bei den einfachen Modellen das einzige Differenzierungsmerkmal, die Konsumenten diskriminieren anhand des Produktpreises zwischen den gleichartigen Gütern. In unserem Modell ist der Preis nur eines unter mehreren

Unterscheidungsmerkmalen für die Produkte (s. Abschnitt 7.2.1.2). Ein niedriger Produktpreis wird von den Konsumenten höher bewertet als ein hoher Produktpreis. Andererseits beeinflußt das Einkommen des Konsumenten auch die Bewertung des Produktes. Ist zum Beispiel das Einkommen des Konsumenten deutlich niedriger als der Kaufpreis des Produktes, so bewertet der Konsument das Produkt entsprechend niedrig, da er es augenblicklich nicht erstehen kann. In der umgekehrten Situation hingegen beansprucht der Kaufpreis nur einen geringen Anteil des Einkommens, dementsprechend hoch wird das Produkt bewertet. Diesen Aspekt bilden wir mit Hilfe der Differenz aus Einkommen und Produktpreis ab. Diese Differenz wird allerdings von Milieu zu Milieu unterschiedlich bewertet, was wir mit dem Gewichtungsfaktor β_k^{price} ausdrücken.

$$\Pi_{i,k}^{price}(t) = \beta_k^{price} * (E_k - P_i(t)) \quad (7.67)$$

7.4.1.2. Bewertung der Produktneuheit

Neben dem Preis wollen wir in unserem Modell, das die Diffusion von Produktinnovationen untersucht, auch den Einfluß der Neuheit des angebotenen Produktes in die Auswahlentscheidung der Konsumenten einbeziehen. Wir folgen in diesem Aspekt vollständig dem Vorgehen von Brenner [Brenner 1999b]; die vom Autor dort für die Modellierung des Kleidungskaufs aufgeführte Begründung läßt sich unserer Ansicht nach genauso gut auf den Kauf von Kraftfahrzeugen übertragen. Auch bei diesen spielt der Aspekt der Neuheit bzw. der Aktualität eine große Rolle. Im Gegensatz zur Mode, die in Halbjahreszyklen reagiert, ist die Zyklusdauer in der Automobilindustrie zwischen 4 - 7 Jahre anzusetzen. Hier kann es zu unterschiedlichen Effekten kommen. Gemeinhin sinkt für die große Mehrzahl der Konsumenten die Attraktivität eines Produktes, je älter dieses Produkt (im Sinne seiner Marktpräsenz) ist. Automobilhersteller versuchen deswegen im Verlauf des Lebenszyklus eines Modells "Kosmetik" zu betreiben, um die Lebensdauer des Produktes noch zu verlängern [Wirtschaftswoche 2002]. Andere Konsumenten wiederum beginnen ein Produkt erst zu schätzen, wenn es eine gewisse Mindestzeit am Markt ist und somit seine "Kinderkrankheiten" überstanden hat. Der Aspekt der Produktneuheit wird bei der Bewertung der Produktalternativen durch die Konsumenten mit Hilfe des Einflußfaktors "Neuheit" beschrieben.

$\Pi_{i,k}^{novelty}(t)$: Neuheit des Produktes i bestimmt die Auswahl des Konsumenten

$$\Pi_{i,k}^{novelty}(t) = \nu_k * [1 - f_{i,T_k}(t)] \quad (7.68)$$

Hierbei bezeichnet $f_{i,T_k}(t)$ die Bekanntheit des Konsumenten mit dem Gut T_k , deren Funktionswert im Intervall zwischen Null und Eins liegt. In unserem Modell wollen wir den Schwerpunkt hinsichtlich der Neuheit eines Produktes auf die Änderung der Produkteigenschaften legen, unser Untersuchungsschwerpunkt liegt bei der Innovationstätigkeit. Wir treffen die Annahme, daß die Konsumenten aufgrund der regen Werbetätigkeit der Produzenten sofort von der Neuerung in Kenntnis gesetzt werden.

Wir treffen für dieses Simulationsmodell die Annahme, daß für die Konsumenten ein Produkt neu ist, wenn der Produzent mindestens eine der Produkteigenschaften verändert hat. In diesem Fall setzen wir die Bekanntheit $f_{i,T_k}(t)$ dieses Produktes für die Konsumenten auf Null zurück. Die Neuheit des Produktes nimmt dann wieder den Maximalwert an (s. Gleichung 7.68). Bleibt ein Produkt über eine oder mehrere Simulationsperioden unverändert, so steigt die Bekanntheit des Produktes im Zeitverlauf an, bis sie nach einer endlichen Anzahl von Perioden den Maximalwert von 1 erreicht. Wir modellieren diesen funktionalen Zusammenhang mittels der folgenden Gleichung [Brenner 1999b], die eine logistische Funktion beschreibt:

$$f_{i,T_k}(t) = f_{i,T_k}(t) + \frac{1}{\eta_{nov}} * f_{i,T_k}(t) * [\eta_{nov} - f_{i,T_k}(t)] \quad (7.69)$$

Der Faktor η_{nov} bezeichnet die Zeitverzögerung in Perioden, nach der ein unverändertes Produkt die maximale Bekanntheit erreicht. Wählen wir für η_{nov} zum Beispiel den konstanten Wert 5, so erreicht ein unverändertes Produkt anhand eines logistischen Verlaufes nach fünf Simulationsperioden die maximale Bekanntheit. Der Einflußfaktor für die Produktneuheit erreicht dann den Wert Null. Der Faktor ν_k beschreibt die unterschiedliche Gewichtung dieses Einflußfaktors in den einzelnen Konsumentenmilieus im Sinne der Diskussion in Abschnitt 7.3. Das Postmoderne Milieu wird demnach diesen Einflußfaktor höher bewerten als zum Beispiel das Konsum-Materialistische Milieu.

Neben den bis hier besprochenen Einflußfaktoren haben natürlich auch die physischen Produkteigenschaften ihren Beitrag an der Bewertung der Produktalternativen durch die Konsumenten. Unser Vorgehen ist von den Ideen von Lancaster [Lancaster 1971, Lancaster 1991a] inspiriert; den Aspekt der Produktattributierung findet man aber auch eingehend in der einschlägigen Marketingliteratur behandelt, siehe z.B. Wilkie [Wilkie 1996]²⁷.

²⁷Es finden sich aber auch in der ökonomischen Literatur mehrere Arbeiten, die für die Fragestellung der Produktinnovationen auf das Konzept von Lancaster mehr oder weniger differenziert eingehen [Pyka 1999, Meyer 1996, Windrum 1998, Saviotti 2001, Yu 1999, Tripsas 2001].

7.4.1.3. Bewertung der Fahrzeugleistung

Der Einflußfaktor “Fahrzeugleistung” beschreibt die Bewertung der Motorleistung des Fahrzeuges durch die Konsumenten. Wir nehmen an, daß die Höhe der Motorleistung die Höhe der Bewertung durch den Konsumenten positiv beeinflusst.

$$\Pi_{i,k}^{power}(t) = \beta_k^{power} * A_{1,i}^{\rho^{power}}(t) \quad (7.70)$$

Der Faktor β_k^{power} beschreibt die Gewichtung der Fahrzeugleistung bei der Bewertung der Produkte durch die Konsumenten. Im Sinne der Diskussion in Kapitel 7.3 ist dieser Faktor milieuabhängig. Innerhalb eines Milieus ist er gleich groß, während er sich in verschiedenen Milieus aufgrund der unterschiedlichen Wertorientierung in den Milieus unterscheidet.

Durch den Exponenten ρ^{power} wird die Größe der ersten Ableitung dieses funktionalen Zusammenhanges festgelegt. Ist diese kleiner als 1, so wird der Zusatznutzen, den der Konsument durch eine weitere Einheit der Eigenschaft “Leistung” erhält, immer kleiner. Ist der Wert für ρ^{power} hingegen größer als 1, erlangt der Konsument bei steigender Fahrzeugleistung steigende Skalenerträge im Sinne von Arthur [Arthur 1989, Arthur 1994a]. Das könnte z.B. der Fall sein, wenn der Fahrzeugleistung ein soziales Prestige zuerkannt wird, weil hohe Leistung teuer ist und somit ein Zeichen monetären Wohlstands darstellt. In unseren Simulationen wählen wir ρ^{power} allerdings gleich 1, wir treffen also die Annahme konstanter Skalenerträge im Fall steigender Fahrzeugleistung.

7.4.1.4. Bewertung des Designs

Der Einflußfaktor “Design” umfaßt wie oben schon beschrieben alle emotionalen Faktoren, die die Kaufentscheidung der Konsumenten beeinflussen. Dazu gehört neben dem eigentlichen Design des Fahrzeuges z.B. auch das Bild der Fahrzeugmarke bzw. des Herstellers in der Öffentlichkeit. Wir modellieren die Bewertung dieses Merkmales durch die Konsumenten analog der Fahrzeugleistung.

$$\Pi_{i,k}^{design}(t) = \beta_k^{design} * A_{3,i}^{\rho^{design}}(t) \quad (7.71)$$

Die oben gemachten Aussagen zu den beiden Gewichtungsfaktoren β_i^{design} und ρ^{design} gelten für die Modellierung der Bewertung des Fahrzeugdesigns gleichermaßen.

Betrachteter Konsument	Anderer Konsument			
	Etabliertes Milieu	Statusorientiert	Postmodern	Materialistisch
Etabliert	Mitläufer	Status	-	-
Statusorientiert	Imitation	Mitläufer	-	-
Postmodern	Status	Status	Mitläufer/Snob	-
Materialistisch	-	-	Imitation	Mitläufer

Tabelle 7.1.: Die Tabelle faßt die milieuhabhängigen Konsumptionseffekte, die von den Konsumenten der verschiedenen Milieus für die Bewertung der Produkte berücksichtigt werden, zusammen. Quelle: eigene.

7.4.1.5. Bewertung des Benzinverbrauchs

Der Einflußfaktor für den Benzinverbrauch wird sowohl durch die Höhe des Ressourcenpreises (s. Gleichung 7.82) als auch durch den spezifischen Benzinverbrauch des einzelnen Fahrzeugs bestimmt. Ein niedriger Preis und ein niedriger Verbrauch des Fahrzeuges wirken sich anders aus als eine hohe Ausprägung dieser Faktoren. Die Bewertung dieser beiden Faktoren durch die Konsumenten ist milieuhabhängig. Einerseits bestimmt das Einkommen der Konsumenten, das ja milieugebunden ist, welche Aufwendungen dieser Konsument für das Benzin aufzubringen im Stande ist. Ein sehr hohes Einkommen erlaubt höhere Aufwendungen für den täglichen Fahrzeugbetrieb als ein niedriges Einkommen. Das hat zur Folge, daß Konsumenten mit einem hohen Einkommen einen höheren spezifischen Verbrauch oder höhere Kraftstoffpreise anders bewerten als Konsumenten mit einem niedrigen Einkommen. Formal modellieren wir die Bewertung des Benzinverbrauchs wie folgt:

$$\Pi_{i,k}^{fuel}(t) = \beta_k^{fuel} * (E_k - D_k * A_{2,i} * P_{res}(t)) \quad (7.72)$$

Der Konsument bewertet den Benzinverbrauch auf der Basis der Differenz aus dem eigenen Einkommen und den Kosten, die durch den Benzinverbrauch in dieser Periode entstehen. Diese Kosten berechnen sich aus der Fahrleistung, dem spezifischen Benzinverbrauch des Fahrzeugs und dem Preis der endlichen Ressource, die das Fahrzeug verbraucht (s. Kapitel 7.5.3). Je nach Milieuzugehörigkeit wird der Konsument diese Differenz im Sinne der Diskussion in Kapitel 7.3 mehr oder weniger stark bei der Gesamtbewertung des Produktes berücksichtigen. Diesen Aspekt berücksichtigt der Faktor β_k^{fuel} .

7.4.2. Einflußfaktor - Kaufentscheidung der anderen Konsumenten

In Kapitel 4.5 haben wir die Existenz sozialer Milieus diskutiert, die stabile Muster in der Wertorientierung der Verbraucher darstellen. Diese verschiedenen Wertorientierungen, die in

den einzelnen Milieus vorherrschen, manifestieren sich in einer unterschiedlichen Bewertung der Eigenschaften eines Produktes. Diesen Aspekt haben wir im vorherigen Abschnitt bei der Diskussion der Einflußfaktoren für die Produkteigenschaften erläutert.

In Kapitel 4.5.2 haben wir herausgearbeitet, daß die Milieuzugehörigkeit die Konsumenten noch in einem anderen Aspekt beeinflußt. Die Kaufentscheidung der Konsumenten wird auch durch die Kaufentscheidung der anderen Konsumenten beeinflußt. Es existieren diese Interdependenzen sowohl innerhalb eines Milieus als auch zwischen Konsumenten verschiedener Milieus²⁸.

Die vier in Kapitel 4.5.2 diskutierten Konsumptionseffekte treten aber nicht unbedingt in jedem Milieu auf. Vielmehr haben wir in dem Modell eine bestimmte Ausprägung dieser Konsuminterdependenzen gewählt, die sich an den Eigenschaften der vier von uns in Kapitel 7.3 identifizierten Milieus orientieren. Die Tabelle 7.1 faßt diese Ausprägung der Interdependenzen kompakt zusammen.

Der Einflußfaktor dieser Interdependenzen berechnet sich anhand der folgenden Routine. Für die Bewertung jedes einzelnen angebotenen Fahrzeugs erstellt jeder Konsument anhand der Zulassungsstatistik eine Auflistung der Verkaufszahlen des Fahrzeuges, die nach den vier Milieus differenziert ist; zum Beispiel ist das Fahrzeug des Produzenten 2 mit 10 Einheiten im Etablierten Milieu, mit 2 Einheiten im Status-orientierten Milieu und mit 0 Einheiten im Postmoderen und Konsum-Materialistischen Milieu verkauft worden. Diese Auflistung kann der Konsument aber immer nur auf der Basis der Zulassungsstatistik der Vorperiode erstellen, da die Daten der aktuellen Periode immer nur nach der Kaufentscheidung aller Konsumenten (also auch seiner eigenen) in die amtliche Zulassungsstatistik aufgenommen werden²⁹.

Je nachdem welchem Milieu der Konsument angehört, wird er die Kaufentscheidung der anderen Konsumenten auf unterschiedliche Art und Weise berücksichtigen. Betrachten wir dazu die Tabelle 7.1 für einen Konsumenten des etablierten Milieus ($c = 1$). In den Zeilen der Tabelle ist der betrachtete Konsument bezeichnet, in den Spalten der andere Konsument, dessen Kaufentscheidung bewertet wird; die Tabelle ist also zeilenweise zu lesen. Ein

²⁸Eine ganze Reihe von Autoren hat sich mit den sozialen Einflüssen auf das Entscheidungsverhalten der Konsumenten beschäftigt. Einige Arbeiten hierzu sind zum Beispiel von Granovetter und Soong [Granovetter 1986], Windrum und Birchenhall [Windrum 1998], Banerjee [Banerjee 1992], Ellison und Fudenberg [Ellison 1995], Cowan et.al. [Cowan 1998], Brenner [Brenner 1999b], Kirman et.al. [Kirman 2000], Kirman [Kirman 1992], Swann [Swann 2001] und Jager [Jager 2002], die sich mit verschiedenen Aspekten dieses kollektiven Verhaltens beschäftigt haben.

²⁹In der Realität findet man dieses Vorgehen auch, die Zulassungsstatistiken z.B. des Kraftfahrtbundesamtes werden auf monatlicher, vierteljährlicher und jährlicher Basis herausgegeben [Kraftfahrtbundesamt 2002]. Solch eine Zulassungsstatistik findet sich auch wöchentlich im Wirtschaftsteil der Wochenzeitschrift "Die Zeit" [Die Zeit 2002].

Konsument des Etablierten Milieus wird also für ein bestimmtes Fahrzeug alle Käufer des eigenen Milieus mit dem Mitläufer-Effekt (s. Kapitel 4.5.2) und die des Status-Orientierten Milieus mit dem Status-Effekt bewerten. Die Kaufentscheidungen der Konsumenten des Postmodernen und des Konsum-Materialistischen Milieus sind für diesen Konsumenten bedeutungslos. Für die Modellierung dieser Kaufentscheidungen in Form eines Einflußfaktors der Produktbewertung wählen wir eine einfache Häufigkeitsabhängigkeit. Der Konsument addiert die Anzahl der Käufer gewichtet um einen milieu- und konsumptionseffektabhängigen Faktor auf. Für den Konsumenten des etablierten Milieus heißt das dann, daß er für die Bewertung dieses Produktes die Anzahl der Käufer im Etablierten Milieu gewichtet um einen Faktor für den Mitläufereffekt aufaddiert. Die Anzahl der Konsumenten aus dem Status-Orientierten Milieu, die dieses Fahrzeug gekauft haben, wiederum gewichtet er mit einem Faktor für den Statureffekt und subtrahiert diesen von der Bewertung. Die Subtraktion ist durch den Statureffekt bedingt, der besagt, daß ein Produkt im Vorliegen dieses Effektes für den Konsumenten in der Attraktivität sinkt. Innerhalb des eigenen Milieus gibt es also einen Herdeneffekt, der die Attraktivität eines Produktes steigert; die Konsumenten können zeigen, daß sie “dazugehören”. Gegenüber den “Emporkömmlingen” des Status-Orientierten Milieus versuchen sich diese Konsumenten abzusetzen; sollten zuviele dieser Konsumenten ein Produkt kaufen, so sinkt es in seiner Attraktivität für die Konsumenten des Etablierten Milieus (“man will sich mit diesen da nicht gemein machen”). Die Gleichung faßt die Bewertung des Produktes i durch einen Konsumenten des Etablierten Milieus noch einmal zusammen (n_i^c = Anzahl der Käufer des Produktes i aus dem Milieu c ($c=1$: Etabliertes Milieu; $c=2$: Status-Orientiertes Milieu; $c=3$: Postmodernes Milieu; $c=4$: Konsum-Materialistisches Milieu), β_{peer}^1 = Gewichtungsfaktor für den Mitläufereffekt (Peer-Effekt) im Etablierten Milieu).

$$\Pi_{i,k}^{inter}(t) = \beta_{mitläufer}^1 * n_i^1(t) - \beta_{status}^1 * n_i^2(t) \quad (7.73)$$

Betrachten wir die Bewertung des Produktes i durch einen Konsumenten aus dem Status-Orientierten Milieu, so addiert dieser die Anzahl der Käufer des Produktes aus dem Etablierten Milieu gewichtet um den Faktor für den Imitationsseffekt (s.Kapitel 4.5.2) zu der Anzahl der Käufer aus dem eigenen Milieu gewichtet um den Faktor für den Mitläufereffekt. Für diesen Konsumenten steigert einerseits der Herdeneffekt innerhalb des eigenen Milieus die Attraktivität eines Produktes. Andererseits versucht dieser Konsument, auch die Konsumenten des Etablierten Milieus nachzuahmen; wie oben schon diskutiert will er “zu der Welt der Schönen und Reichen dazugehören”.

$$\Pi_{i,k}^{inter}(t) = \beta_{imitation}^2 * n_i^1(t) + \beta_{mitläufer}^2 * n_i^2(t) \quad (7.74)$$

Die Konsumenten des Postmodernen Milieus beziehen die Käufer eines Produktes, die aus dem Etablierten oder Status-Orientierten Milieu kommen, anhand des Status-Effektes mit ein. Da die Konsumenten dieses Milieus in der hier betrachteten Gesellschaft die Rolle des “Trendsetters” übernehmen, sinkt für sie die Attraktivität eines Produktes, sobald dieses in den beiden anderen Milieus gekauft wird. Die Käufer des Produktes, die aus dem eigenen Milieu kommen, werden einerseits nachgeahmt (auch innerhalb der Trendsetter existiert ein Herdeneffekt) andererseits wird ein Produkt aber auch wieder unattraktiv, wenn es zuviele Käufer aus dem eigenen Milieu besitzen. Hier wirkt eine Kombination aus Mitläufer- und Snob-Effekt (s. Kapitel 4.5.2) bei der Bewertung der Produktalternativen. Die Kaufentscheidung der Konsumenten aus dem Konsum-Materialistischen Milieu werden nicht zu Rate gezogen.

$$\Pi_{i,k}^{inter}(t) = -\beta_{status}^3 * n_i^1(t) - \beta_{status}^3 * n_i^2(t) + \beta_{peer}^3 * n_i^3(t) - \beta_{snob}^3 * n_i^3(t) \quad (7.75)$$

Für die Konsumenten des Konsum-Materialistischen Milieus sind nur die Kaufentscheidungen des eigenen und des Postmodernen Milieus von Bedeutung für die Produktbewertung. Die Konsumenten versuchen einerseits die “Trendsetter” aus dem Postmodernen Milieu nachzuahmen, was mit dem Imitationseffekt in der Tabelle 7.1 angedeutet ist. Andererseits existiert ein Herdeneffekt im Hinblick auf die Kaufentscheidung der Konsumenten des eigenen Milieus in Form des Mitläufereffektes.

$$\Pi_{i,k}^{inter}(t) = \beta_{imitation}^4 * n_i^3(t) - \beta_{peer}^4 * n_i^4(t) \quad (7.76)$$

Wie oben schon beschrieben (s. Abschnitt 7.4) zieht an dieser Stelle ein Element beschränkter Rationalität in die Kaufentscheidung der Konsumenten ein. Durch die Zeitverzögerung um eine Periode können die Konsumenten für die Bewertung der Kaufentscheidung der anderen Konsumenten nur “veraltete” Daten zu Rate ziehen.

7.4.3. Gesamtbewertung

In Kapitel 4.3.3 haben wir die Bedeutung von Routinen für die Wahlentscheidung von Konsumenten diskutiert. Dort haben wir auch verschiedene Entscheidungs routinen von Verbrauchern, die in der Marketingforschung identifiziert wurden, vorgestellt. Neben der lexikographischen Regel haben wir auch die kompensatorische Entscheidungsregel kurz diskutiert [Wilkie 1996]. Diese Regel übernehmen wir in unser Simulationsmodell; die Konsumenten

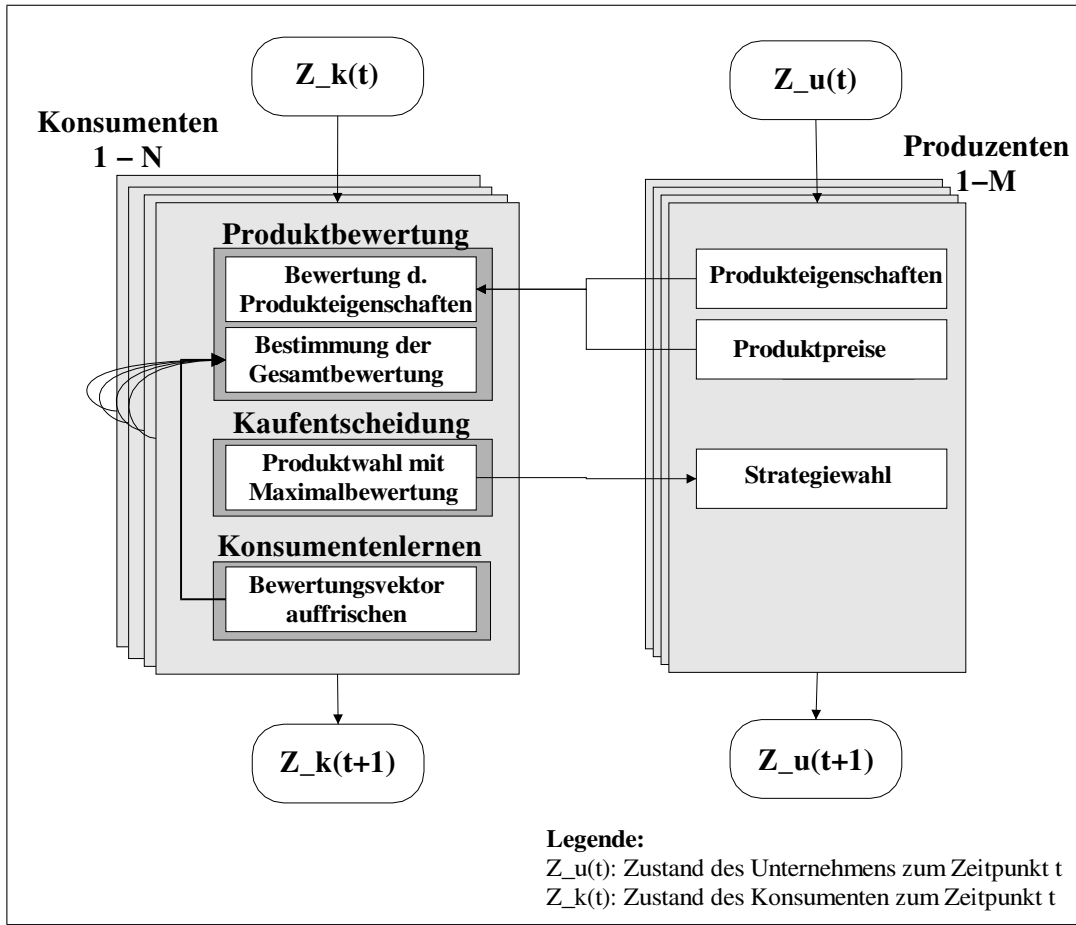


Abbildung 7.11.: Die Abbildung faßt die Modellbeschreibung auf der Nachfrageseite in der Form eines Ablaufdiagramms zusammen. Quelle: eigene.

addieren also die einzelnen Einflußfaktoren der Produktbewertung zu ihrer Gesamtbewertung auf.

$$\begin{aligned} \Pi_{i,k}(t) = & \Pi_{i,k}^{cons}(t) + \Pi_{i,k}^{power}(t) + \Pi_{i,k}^{design}(t) + \Pi_{i,k}^{price}(t) + \\ & \Pi_{i,k}^{novelty}(t) + \Pi_{i,k}^{inter}(t) \end{aligned} \quad (7.77)$$

In Abschnitt 7.4 haben wir diskutiert, daß die Konsumenten eine Trägheit in Bezug auf die Produktwahl besitzen, sie wechseln nicht so einfach das Produkt, an das sie sich gewöhnt haben. Um diese Art der Gewöhnung an ein bekanntes Produkt zu modellieren, nutzen wir den Bush-Mosteller Lernalgorithmus. Wir normieren in unserem Modell zuerst die Bewertung der Produkte in der aktuellen Periode $\underline{\Pi}(t)$ und addieren diesen normierten Vektor dann zu dem Vektor der bisherigen Bewertung $\underline{p}(t)$ (s. Gleichung 4.5). Ein schon bekanntes Produkt ist in diesem Vektor $\underline{p}(t)$ höher bewertet als ein von dem Konsumenten noch nicht

gekauft Produkt. Diesen neuen Bewertungsvektor $\underline{T}(t)$ nimmt der Konsument dann zur Ausgangsbasis für die Kaufentscheidung in der aktuellen Periode.

$$T_{i,k}(t) = \Pi_{i,k}(t) + p_{i,k}(t) \quad (7.78)$$

7.4.4. Auswahlentscheidung der Haushalte - Selektion

Der Konsument muß auf der Basis des Bewertungsvektors $\underline{T}(t)$ seine Kaufentscheidung fällen. In der hier vorliegenden Arbeit haben wir die Annahme getroffen, daß der Konsument das Produkt mit der maximalen Bewertung wählt. Es kann die Situation eintreten, daß die Nachfrage nach dem von dem Konsumenten bevorzugten Produkt das Angebot des Produzenten übersteigt (s. Gleichung 7.8). In diesem Fall kann für diesen Konsumenten die Situation eintreten, daß er kein Exemplar des von ihm gewünschten Fahrzeuges erhält. Es kann aber auch sein, daß der Konsument zwar ein bestimmtes Fahrzeug bevorzugt, der Kaufpreis dieses Produktes aber sein verfügbares Kapital (Einkommen + Erspartes) übersteigt. Auch dann erhält er nicht das gewünschte Fahrzeug. In diesen beiden Fällen wird der Konsument versuchen, das Fahrzeug mit der zweithöchsten Bewertung zu kaufen, falls es sein Budget erlaubt. Erhält er auch von diesem Fahrzeug kein Exemplar oder ist dieses zu teuer, so verschiebt der Konsument den Fahrzeugkauf in die nächste Periode.

$$T_k = \text{Max.}(T_{i,k}(t)) \quad \forall \quad P_{T_{i,k}} \leq M_k \quad (7.79)$$

Bei dieser Art der Produktwahl handelt es sich um ein Suchmarktverhalten des Konsumenten. Um nicht bestimmte Konsumenten zu bevorzugen, verändern wir die Reihenfolge, in der die Konsumenten bei den Produzenten nachfragen, zu jeder Simulationsperiode mittels eines Zufallsgenerators.

Hat ein Konsument ein Fahrzeug gekauft, so muß der Bewertungsvektor, der die Gewohnheit oder Trägheit des Konsumenten beschreibt, für die nächste Simulationsperiode mit den Informationen der Kaufentscheidung in der aktuellen Periode anhand der Gleichung 4.12 aktualisiert werden.

In der Abbildung 7.11 sind die einzelnen Simulationsschritte für die Konsumenten noch einmal zusammengefaßt. Auf der linken Seite des Diagramms sind die einzelnen Prozeßschritte ausgehend vom Zustand in der Vorperiode aufgezeichnet. Zu Beginn der Simulationsperiode erhält der Konsument sein aktuelles Einkommen, aus dem er zusammen mit dem Sparkapital sein verfügbares Einkommen in dieser Periode berechnet. Anschließend bewertet er die verschiedenen Produktalternativen auf Basis der Gütereigenschaften, der

Produktpreise und der Kaufentscheidung der anderen Konsumenten in der Vorperiode. Mit Hilfe der kompensatorischen Entscheidungsregel für die Zusammenfassung der Einzelbewertungen und basierend auf seinen Kaufgewohnheiten bestimmt der Konsument eine Gesamtbewertung, die er für die Produktwahl nutzt. Nach dem erfolgreichen Kauf eines Fahrzeuges frisst er auf Basis der gerade getroffenen Kaufentscheidungen seine Produktgewohnheiten auf.

7.5. Ressourcenmodul

In dieser Arbeit wollen wir auch den Einfluß des Verbrauchs einer nicht-erneuerbaren Ressource auf die Innovationsleistungen der Produzenten und das Kaufverhalten der Konsumenten untersuchen. Hierzu betrachten wir in unserem Modell den Verbrauch dieser nicht-erneuerbaren Ressource und bestimmen aus dem Verbrauch und dem verbliebenen Bestand den Preis der Ressource endogen. Diese Rückkopplung über den Preis soll uns zu untersuchen helfen, welchen Einfluß knapper werdende, nicht-erneuerbare Ressourcen und damit verbunden steigende Ressourcenpreise auf die Innovationsdynamik bei Kraftfahrzeugen haben können.

Wir verwenden für die Beschreibung des Ressourcenmoduls die folgenden Notationen:

$Q_{res}(t)$	:	Bestand der nicht-erneuerbaren Ressource in t
$D_{res}(t)$	:	Gesamtnachfrage nach der nicht-erneuerbaren Ressource in t
$d_{res,k}(t)$	:	Nachfrage der Konsumenten k nach der nicht-erneuerbaren Ressource in t
$P_{res}(t)$	:	Preis der nicht-erneuerbaren Ressource in t
T_{res}	:	Scheitelpunkt der Cobb-Douglas Funktion

7.5.1. Ressourcenbestand

Zu Beginn der Simulation existiert ein Ausgangsbestand $Q_{res}(0)$ der nicht-erneuerbaren Ressource. Für diese Ressource können wir nun eine Bestandsgleichung aufstellen. Diese beschreibt die Relation zwischen dem Bestand zu Beginn der nächsten Simulationsperiode, dem Bestand zu Beginn der aktuellen Periode und der Verbrauchsmenge in der aktuellen Periode; sie lautet:

$$Q_{res}(t+1) = Q_{res}(t) - D_{res}(t) \tag{7.80}$$

Der Bestand zu Beginn der nächsten Periode entspricht also dem Bestand der aktuellen Periode abzüglich der Verbrauchsmenge der aktuellen Periode.

7.5.2. Ressourcenverbrauch

Der Gesamtverbrauch der nicht-erneuerbaren Ressource in der aktuellen Periode ergibt sich aus der Summe der Einzelverbräuche aller Konsumenten in diesem Simulationszeitraum:

$$D_{res}(t) = \sum_{k=1}^N d_{res,k}(t), \quad k = 1..N, \quad N : \text{Anzahl der Konsumenten} \quad (7.81)$$

7.5.3. Ressourcenpreis

Für den Gütermarkt der nicht-erneuerbaren Ressource treffen wir aus Gründen der Vereinfachung³⁰ die Annahme, daß ein Wettbewerbsgleichgewicht herrscht, das zu markträumenden Preisen führt [Ströbele 1996]. Die Angebotskurve läßt sich dann als Cobb-Douglas Funktion modellieren [Herberg 1991, Henderson 1995], für die wir zusätzlich die Elastizität 1 angenommen haben.

$$P_{res}(t) = P_{res}(0) * \frac{T_{res} * Q_{res}(0)}{Q_{res}(t)} \quad (7.82)$$

Der Parameter T_{res} bestimmt den Scheitelpunkt der Kurve, bei dem der Preis der Ressource genau dem Wert des Parameters $P_{res}(0)$ entspricht. Mit Hilfe dieses Parameters und dem Ressourcenbestand zu Beginn der Simulation läßt sich die Preisänderung der nicht-erneuerbaren Ressource für verschiedene Experimente variieren.

³⁰Diese Annahme ist natürlich eine Abstraktion, da sie Volatilitäten im Preis ausschließt. Andere Autoren [Erdmann 1996, Lovins 1999] haben darauf hingewiesen, daß gerade die Preise für Rohöl sehr volatil sind und auch im langfristigen Trend nicht einer Cobb-Douglas Modellierung folgen.

8. Szenarien der Diffusion ökologischer Produktinnovationen

Nachdem wir im Kapitel 7 das Simulationsmodell eingeführt haben, wollen wir in diesem Kapitel die Ergebnisse einer Reihe von Experimenten, die wir mit dem Modell durchgeführt haben, vorstellen. Wir beginnen dieses Kapitel aber mit einer kurzen Beschreibung stochastischer Prozesse, ihrer zugehörigen Klassifikation und den sich daraus ergebenden Analysemethoden. Zentraler Ausgangspunkt aller unserer Experimente ist ein Basisexperiment, dessen Simulationsparameter wir im nächsten Abschnitt vorstellen und diskutieren wollen. Die Diskussion der Ergebnisse beginnen wir dann mit der detaillierten Analyse dieses Basisexperimentes anhand eines singulären Simulationslaufes. Im einleitenden Abschnitt 8.1 haben wir herausgearbeitet, daß die Untersuchung stochastischer Prozesse geeigneter statistischer Methoden bedarf. In dem folgenden Abschnitt 8.4 werden wir die Methodik der Monte-Carlo Simulationen einführen, um statistische Aussagen über die Ergebnisse der Wahl bestimmter Parametersätze treffen zu können. Mit Hilfe der Monte-Carlo Simulationen wollen wir dann der Frage nach der Diffusion von Hypercar-Fahrzeugen nachgehen.

8.1. Stochastische Prozesse

Honerkamp [Honerkamp 1990] definiert einen stochastischen Prozeß als eine Zufallsvariable, die von der Zeit abhängt. Eine einzelne Realisierung solch eines stochastischen Prozesses ist eine Trajektorie, eine Funktion der Zeit. Die Zufallsvariable wird durch ihre Grundmenge und die zugehörige Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion beschrieben, die ihrerseits beide zeitanhängig sein können. Bei den meisten stochastischen Prozessen, die in der Literatur betrachtet werden (s. [Gardiner 1985, Honerkamp 1990, Horsthemke 1984]), wird eine konstante Grundmenge vorausgesetzt, die Prozesse unterscheiden sich in der Form der zeitabhängigen Dichtefunktion.

8.1.1. Zufallsprozesse und zeitabhängige Zufallsvariablen

Wir wollen nun die stochastischen Prozesse genauer untersuchen. Es gelten die folgenden Notationen:

X_{t_i}	:	Zufallsvariable zum Zeitpunkt t_i
x_{t_i}	:	Realisierung der Zufallsvariable X_{t_i} zum Zeitpunkt t_i
$p_n(x, t_i)$	:	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion zur Realisierung x_{t_i}
$\delta(x)$	:	Dirac-Funktion zu der Realisierung x
$w_{n,n}(t)$	:	Übergangswahrscheinlichkeit von Zustand n zu Zustand n zum Zeitpunkt t
$V_{n,n}(t)$	:	Matrix der Übergangswahrscheinlichkeiten zum Zeitpunkt t

Betrachtet man einen stochastischen Prozeß als eine Folge von Zufallsvariablen,

$$X_{t_1}, \dots, X_{t_i}, \dots \quad (8.1)$$

so ist insbesondere die zeitliche Abhängigkeit der X_{t_i} ($i = 1, \dots, N$) von Interesse. Diese Abhängigkeit ist gerade ein Ausdruck der Dynamik der Zufallsvariablen X_{t_i} . Eine Realisierung ergibt dann eine Folge von Zahlen x_{t_i} , im Fall kontinuierlicher Variablen also ein Pfad oder eine Trajektorie im Zustandsraum. Die Wahrscheinlichkeit einer Realisierung x_{t_i} wird dann durch die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $p_1(x, t_i)$ bestimmt. Die Realisierung der Trajektorie $(x_1, t_1) \rightarrow (x_n, t_n)$ kann durch die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion

$$p_n(x_1, t_1; x_n, t_n) \quad (8.2)$$

beschrieben werden. Im Falle einer konstanten Grundmenge ist die zeitliche Abhängigkeit dieser Dichtefunktion von besonderem Interesse.

8.1.2. Weißes Rauschen

Im einfachsten Fall des durch die Gleichung 8.1 beschriebenen Prozesses fehlt die zeitliche Dynamik der Zufallsvariablen. Die Zufallsvariablen zu unterschiedlichen Zeiten sind statistisch unabhängig, ihre zeitliche Korrelation ist Null. Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion 8.2 läßt sich dann faktorisieren:

$$p_2(x_1, t_1; x_2, t_2) = p_1(x_1, t_1)p_1(x_2, t_2) \quad (8.3)$$

Ist die Dichtefunktion der Zufallsvariablen $p_1(x, t)$ darüberhinaus noch stationär und besitzt sie zusätzlich die Form einer Normalverteilung, so bezeichnet man diesen stochastischen Prozeß als “Gaußsches weißes Rauschen” (oft auch nur als weißes Rauschen).

8.1.3. Markov-Prozesse und Chapman-Kolmogorov-Gleichung

Die nach den zeitlich unkorrelierten stochastischen Prozessen nächst einfache Klasse von stochastischen Prozessen ist die der Markov-Prozesse. Die Markov-Prozesse zeichnen sich dadurch aus, daß sie ein “Gedächtnis” von exakt einer Periode besitzen. Für die bedingten Wahrscheinlichkeiten gilt bei diesen Zufallsprozessen:

$$p_n(x_n, t_n | x_{n-1}, t_{n-1}; \dots; x_1, t_1) = p_n(x_n, t_n | x_{n-1}, t_{n-1}) \quad (8.4)$$

Die Markov-Bedingung sagt nun, daß die Wahrscheinlichkeit für den Übergang von x_{n-1} nach x_n in der Zeit von t_{n-1} bis t_n unabhängig ist von der Vorgeschichte, wie der Zustand x_{n-1} erreicht wurde. Wenn erst einmal der Zustand x_{n-1} zum Zeitpunkt t_{n-1} erreicht ist, ist die Vergangenheit vergessen und das Erreichen des Zustandes x_n geschieht mit einer Wahrscheinlichkeit, die von x_{n-1}, t_{n-1} und x_n, t_n abhängt. Die gesamte für die Zukunft relevante Information ist also in der Gegenwart enthalten. Wie es zu dem in der Gegenwart erreichten Zustand kam, ist für die weitere Entwicklung nicht mehr wesentlich.

Die Markov-Eigenschaft ist eine Idealisierung realer Prozesse, die es erlaubt, mit nur wenigen Bestimmungsgrößen den gesamten stochastischen Prozeß zu definieren. Wechselt man in eine Integraldarstellung der Gleichung 8.4, indem man diese über x_2 integriert, so erhält man die sogenannte Chapman-Kolmogorov-Gleichung (s. Gleichung 8.5). Allgemein gilt, daß sich die Übergangswahrscheinlichkeiten eines jeden Markov-Prozesses mittels dieser funktionalen Beziehung beschreiben lassen müssen.

$$p_2(x_3, t_3 | x_1, t_1) = \int dx_2 p_2(x_3, t_3 | x_2, t_2) p_2(x_2, t_2 | x_1, t_1) \quad (8.5)$$

8.1.4. Mastergleichung

Die Chapman-Kolmogorov-Gleichung legt in Form einer Integralgleichung die funktionale Beziehung für die Klasse der Markov-Prozesse fest. Für die Analyse der zeitlichen Dynamik von stochastischen Prozessen ist aber die Differentialgleichung von Interesse, die das zeitliche Verhalten der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion bestimmt. Die Übergangswahrscheinlichkeit $p_2(x_2, t_2 | x_1, t_1)$ ist für den stochastischen Prozeß die charakterisierende Größe, sodaß

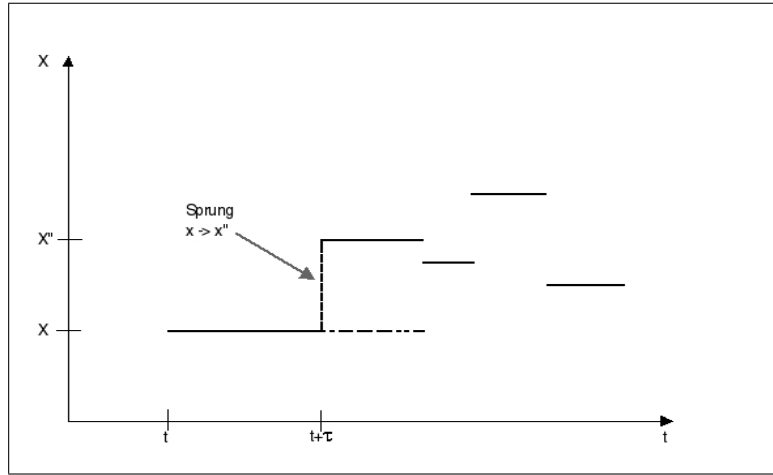


Abbildung 8.1.: Dieses Bild illustriert das Kurzzeitverhalten der Übergangswahrscheinlichkeit für die Mastergleichung. Zum Zeitpunkt $t + \tau$ verbleibt das System mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit im Zustand x oder es springt mit der komplementären Wahrscheinlichkeit von $x \rightarrow x''$. Quelle: eigene, nach [Honerkamp 1990]

man diese festlegen muß, um aus der Chapman-Kolmogorov-Gleichung die entsprechende Differentialgleichung für den zu betrachtenden stochastischen Prozeß ableiten zu können.

Betrachtet wir jetzt einen Markov-Prozeß, für den die Übergangswahrscheinlichkeit $p_2(x, t + \tau | x'', t)$ für kleine Zeitschritte τ die folgenden Form hat¹:

$$p_2(x, t + \tau | x, t) = [1 - a(x, t)\tau]\delta(x - x'') + \tau w(x, x'', t) + 0(\tau^2) \quad (8.8)$$

Dieses Kurzzeitverhaltens der Übergangswahrscheinlichkeit bedeutet, daß die Realisierung

¹Aus der Chapman-Kolmogorov-Gleichung läßt sich eine weitere bekannte stochastische Differentialgleichung ableiten, die Fokker-Planck-Gleichung, die Diffusionsprozesse beschreibt. Die Bedingungen für die Kurzzeiteigenschaften lauten für die Fokker-Planck-Gleichung:

$$\begin{aligned} \int_I d\underline{x}_2 (\underline{x}_2 - \underline{x}_1)_i p_2(\underline{x}_2, t + \tau | \underline{x}_1, t) &= A_i(\underline{x}_1, t)\tau + 0(\tau) \\ \int_I d\underline{x}_2 (\underline{x}_2 - \underline{x}_1)_i (\underline{x}_2 - \underline{x}_1)_j p_2(\underline{x}_2, t + \tau | \underline{x}_1, t) &= D_{i,j}(\underline{x}_1, t)\tau + 0(\tau) \\ \int_I d\underline{x}_2 (\underline{x}_2 - \underline{x}_1)_{i_1} (\underline{x}_2 - \underline{x}_1)_{i_n} p_2(\underline{x}_2, t + \tau | \underline{x}_1, t) &= 0(\tau), \quad \text{für } n > 2 \end{aligned} \quad (8.6)$$

Nach einigen Ableitungen, die wir hier nicht näher explizieren wollen (siehe z.B. [Honerkamp 1990]), erhält man die Fokker-Planck-Gleichung. Diese beschreibt die zeitliche Veränderung der Übergangswahrscheinlichkeit, die durch einen Driftterm $-\frac{\partial}{\partial z_i} A_i(z, t)$ und einen Diffusionsterm $\frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial z_i \partial z_k} D_{i,k}(z, t)$ bestimmt wird.

$$\partial_t p_2(z, t | x, t') = \left[-\frac{\partial}{\partial z_i} A_i(z, t) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial z_i \partial z_k} D_{i,k}(z, t) \right] p_2(z, t | x, t') \quad (8.7)$$

der Zufallsvariablen $X(t)$ nach jedem noch so kleinen Zeitschritt τ mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit den gleichen Wert behält ($\tau w(x, x'', t)$) oder mit einer komplementären Wahrscheinlichkeit einen anderen Wert annimmt ($[1 - a(x, t)\tau]\delta(x - x'')$). Eine typische Trajektorie besteht also aus Linien $x_t = \text{const.}$, unterbrochen von Sprüngen, wie sie in Abbildung 8.1 dargestellt ist.

Setzt man die Gleichung 8.8 in die Chapman-Kolmogorov-Gleichung (s. Gl.8.5) ein, so erhält man in der Grenzbetrachtung $\tau \rightarrow 0$ die Master-Gleichung:

$$\begin{aligned} \partial p_2(x, t | x', t') / \partial t &= \\ &= \int_I dx'' w(x, x'', t) p_2(x'', t | x', t') - \int_I dx'' w(x'', x, t) p_2(x, t | x', t') \end{aligned} \quad (8.9)$$

Bei dieser Ableitung haben wir die Gleichung 8.10 benutzt.

$$a(x'', t) = \int_I dx'' w(x, x'', t) \quad (8.10)$$

Die Master-Gleichung in der diskreten Formulierung erhält man wenn man eine diskrete Variable n benutzt und $p_1(x, t)$ in $p_n(t)$ bzw. $w(x, x', t)$ in $w_{nn'}(t)$ umbenennt und als diskrete Wahrscheinlichkeitsfunktionen formuliert:

$$\frac{dp_n(t)}{dt} = \sum_{n'} [w_{nn'}(t) p_{n'}(t) - w_{n'n}(t) p_n(t)] \quad (8.11)$$

Die Master-Gleichung beschreibt die zeitliche Änderung der Wahrscheinlichkeit, zur Zeit t den Wert n vorzufinden. Diese Änderung setzt sich aus einem “Gewinnterm” (Übergänge von $n' \rightarrow n$) und einem “Verlustterm” (Übergänge von $n \rightarrow n'$) zusammen. Es handelt sich bei der Master-Gleichung somit um eine sogenannte “Bilanzgleichung”.

Analysiert man die Modellbeschreibung, so kann man für jeden einzelnen Produzenten insgesamt 9 Zufallsprozesse identifizieren:

1. Eine gewichtete diskrete Lotterie für die Wahl der Produzentenregel (“Standard Operating Procedure”).
2. Zwei Lose für die Prozeßinnovationen: ein gleichverteilter Zufallsprozeß für den Innovationserfolg und eine lognormal-verteilte Zufallsvariable für die Höhe der Prozeßinnovation.

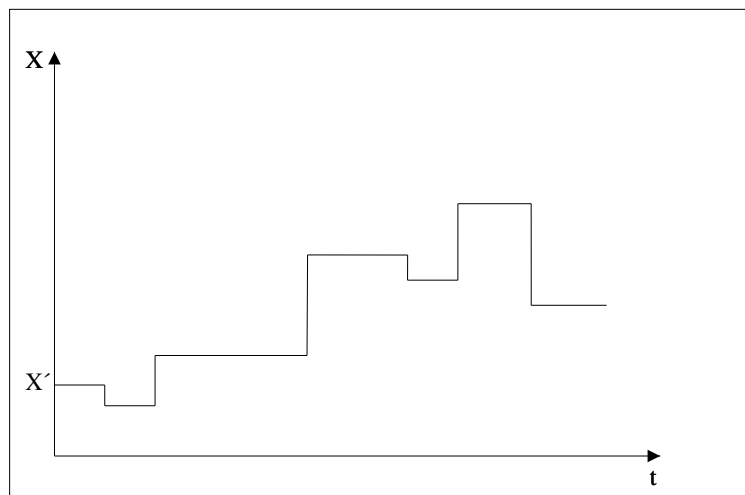


Abbildung 8.2.: Dieses Diagramm stellt die Trajektorie eines Akteurs in einem eindimensionalen Zustandsraum dar. Man erkennt die Sprünge zwischen den verschiedenen Zuständen, die in unterschiedlichen Zeitabständen stattfinden. Quelle: eigene, nach [Honerkamp 1990]

3. Jeweils zwei Lose für die Produktinnovationen bei den drei Produkteigenschaften: ein gleichverteilter Zufallsprozeß für den Innovationserfolg und eine normal-verteilte Zufallsvariable für die Höhe der Produktinnovation. Dieses sind insgesamt sechs Zufallsprozesse, die die Produktinnovationen bestimmen.

Bei allen diesen Prozessen genügt das Kurzzeitverhalten der Übergangswahrscheinlichkeit der Bedingung für die Mastergleichung. Damit können wir das Modell mit den Methoden untersuchen, die üblicherweise bei der Analyse von stochastischen Prozessen verwendet werden, die wiederum den funktionalen Zusammenhängen der Mastergleichung genügen.

8.1.5. Analyse der Mastergleichung

Zur Lösung der Master-Gleichung kann auf analytische Verfahren zurückgegriffen werden, deren Anwendbarkeit sich allerdings auf lineare Prozesse beschränkt [Honerkamp 1990]. Im Gegensatz dazu wird man bei komplizierteren Prozessen, insbesondere bei den nicht-linearen, auf numerische Methoden zurückgreifen.

Es gibt grundsätzlich zwei verschiedene Vorgehensweisen, einen stochastischen Prozeß, der durch die Master-Gleichung beschrieben werden kann, numerisch zu behandeln. Entweder versucht man die vorliegende Mastergleichung direkt, d.h. die Differentialgleichung für die Dichteverteilung mit numerischen Methoden zu lösen, oder man simuliert den stochastischen

Prozeß. In diesem Fall läßt man einen Akteur mit den gegebenen, zeitlich veränderlichen Übergangsraten von Zustand zu Zustand springen.

Im Falle der numerischen Lösung des stochastischen Differentialgleichungssystems muß man die Eigenwerte und -vektoren der Matrix der Übergangsraten $V_{n,n'}(t)$ bestimmen². Die Stabilität der numerisch ermittelten Lösung ist sehr stark von der Gestalt dieser Matrix der Übergangsraten abhängig³.

In dem von uns vorgeschlagenen Multi-Agenten-System (s. Modellbeschreibung in Kapitel 7) ist es nicht nur ein Akteur, der sich im Zustandsraum bewegt. Vielmehr sind es in dem hier vorgestellten Modell eine Vielzahl heterogener Akteure, die entsprechend ihrer individuellen Übergangsraten zeitgleich den Zustandsraum “durchwandern”.

Man erhält durch eine Simulation einer Trajektorie im Zustandsraum eine einzelne Realisierung des stochastischen Prozesses, wie sie in Abbildung 8.2 exemplarisch dargestellt ist. In diesem Diagramm erkennt man die verschiedenen Teilstücke, aus denen sich die Trajektorie zusammensetzt. Zwischen diesen Teilstücken finden die Sprünge zwischen den verschiedenen Zuständen statt; der Abstand zwischen diesen Zustandsänderungen ist unterschiedlich und wird, wie oben beschrieben, durch die zeitlich veränderlichen Übergangsraten bestimmt.

Erzeugt man durch die Simulation gleichzeitig oder hintereinander N solcher Realisierungen, so besitzt man eine Stichprobe vom Umfang N, aus der man die gewünschten statistischen Größen, zum Beispiel für den Benzinverbrauch der Fahrzeuge, berechnen kann [Honerkamp 1990, Schnakenberg 1995, Koch 1998]. Für diese Simulationen kann man zwei unterschiedliche Methoden wählen. Wie man der Abbildung 8.2 entnehmen kann, setzt sich die Trajektorie einerseits aus Teilstücken zusammen, in denen der Zustand des Systems konstant bleibt, andererseits existieren Sprünge zwischen genau diesen Teilstücken. Will man solch eine Trajektorie simulieren, so bieten sich grundsätzlich zwei Vorgehensweisen an: (i) man wählt feste Zeitschritte und bestimmt zu jedem Zeitpunkt anhand der Übergangsraten, ob ein Zustandswechsel stattfindet, oder (ii) man bestimmt anhand der Übergangsraten die Zeitpunkte der Zustandswechsel, die dann die variable Schrittweite der Simulation bestimmen.

Beide Methoden haben ihre Vor- und Nachteile: wählt man feste Teilschritte, so muß man diese klein genug wählen, damit man keine Zustandsänderungen “übersieht”, was gegen die

²Dieses Vorgehen erinnert an die Lösungsmethoden der Quantenmechanik. Auch dort können nur die einfachsten Modelle analytisch gelöst werden, schon das 3-dimensionale Ising-Modell kann nur noch numerisch gelöst werden. Oftmals versucht man durch “geschickte” Linearisierung der Differentialgleichungen eine analytische Lösung zu konstruieren [Feynman 1965, Dirac 1928, Sakurai 1994].

³Neben der Tatsache, daß sich diese Aufgabe beliebig schwierig gestalten kann, tritt noch das weitere Problem auf, daß im Falle unendlich vieler Zustände die entfernten Zustände in der zu berechnenden Zeitspanne nur selten “besucht” werden.

Simulationszeit abgewogen werden muß. Wählt man variable Teilschritte, so vermindert man zwar die Anzahl der Simulationsschritte, allerdings muß man die für Bestimmung der Länge des Teilschrittes jedes Mal einen Logarithmus berechnen, was Rechenzeit benötigt. In unseren Experimenten haben wir die Methode der festen Zeitschritte gewählt, da bei einer Zahl von bis zu 108 parallelen Zufallsprozessen, die in einer Simulationsperiode aktiv waren, die Vermutung nahe liegt, daß es zu mindestens einem Zustandswechsel pro Periode kommt⁴. Darüberhinaus war bei unseren Experimenten die Dauer der Simulation keine kritische Größe, sodaß wir von der Komplikation der Bestimmung der variablen Schrittweite Abstand genommen haben⁵.

Aufgrund des stochastischen Charakters solcher Simulationen werden diese in der fachwissenschaftlichen Literatur auch als Monte-Carlo-Simulationen bezeichnet [Honerkamp 1990, Schnakenberg 1995]. Monte-Carlo-Simulationen finden mittlerweile in der Wissenschaft ein breites Einsatzspektrum bei der Untersuchung komplexer stochastischer Systeme; einen Überblick hierüber geben zum Beispiel Gould und Schnakenberg [Gould 1989, Schnakenberg 1995].

Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden wir zuerst die Simulation einer einzelnen Trajektorie (s. Abbildung 8.2), d.h. eine Realisierung unseres stochastischen Prozesses, im Detail vorstellen und erläutern. Anschließend werden wir anhand von Monte-Carlo-Simulationen die Verteilung der Kraftstoffverbräuche der angebotenen Fahrzeuge unter verschiedenen Anfangsbedingungen untersuchen.

8.2. Parameter für das Basis-Szenario

8.2.1. Konsumenten

Die Beschreibung der Anfangsbedingungen des Basisszenarios beginnen wir mit der Diskussion der Konsumenten. Insgesamt gibt es in dem Basisszenario 150 Konsumenten, die vier unterschiedlichen Milieus angehören (s. Kapitel 7). Bei der Aufteilung der Konsumenten in die verschiedenen Milieus haben wir uns an den Untersuchungen der Milieuforschung für die Bundesrepublik orientiert [Sozialordnung 1997], wobei wir allerdings, wie in Kapitel 7 dargelegt, mehrere Milieus sinnvoll zusammengefaßt haben.

⁴Die Zahl der 108 Zufallsprozesse setzt sich zusammen aus der oben beschriebenen Anzahl von 9 Prozessen pro Produzent bei einer Anzahl von 12 Produzenten.

⁵Obwohl wir für die Monte-Carlo-Simulationen in Abschnitt 8.4 ca. 12 Stunden Rechenzeit benötigt haben, war diese Dauer für die Durchführung der Experimente nicht kritisch. Allerdings muß man bei Systemen, die eine höhere Komplexität als das hier vorgestellte aufweisen, unter Umständen die Prozessorzeit und -leistung genauer betrachten und gegebenenfalls zu der Bestimmung der variablen Schrittweite übergehen.

Parameter	Etabliertes Milieu	Status-Orientiertes Milieu	Postmodernes Milieu	Konsum-Materialistisches Milieu
Einkommen	150	130	110	80
Vermögen	200	100	80	60
Fahrzeugleistung	1.0	6.0	0.0	1.0
Kraftstoffverbrauch	0.05	0.05	4.0	1.0
Design	8.0	1.0	3.0	-1.0
Fahrzeugpreis	0.1	0.3	0.5	2.5
Neuheit	0.0	0.5	1.0	0.0
Peer-Effekt	0.8	0.48	0.24	0.18
Distinction-Effekt	8.0	0.0	3.0	0.0
Aspiration-Effekt	0.0	14.5	0.0	2.4
Snob-Effekt	0.0	0.0	0.35	0.0
Anzahl der Konsumenten	15	30	45	60

Tabelle 8.1.: Diese Tabelle faßt sowohl das Einkommen und das Sparkapital der Konsumenten als auch die milieuabhängigen Parameter für die Bewertung der Produkteigenschaften und der milieuabhängigen Konsumptionseffekte zusammen. Quelle: eigene.

Das Etablierte Milieu (s. Tabelle 8.1) stellt 10% der Konsumenten entsprechend dem Anteil des Etablierten Milieus in der deutschen Gesellschaft. Dieses Milieu verfügt über ein überdurchschnittliches Einkommen, daß wir in einer Höhe von 150 Geldeinheiten festgelegt haben. Darüberhinaus können die Konsumenten, die diesem Milieu angehören, noch über erhebliche Rücklagen verfügen; im Basisszenario haben wir dieses auf 200 Geldeinheiten festgelegt. Die Konsumenten dieses Milieu legen zwar Wert auf ein leistungsfähiges Fahrzeug, im Vergleich zu den Konsumenten des status-orientierten Milieus ist diese Präferenz aber gering (1.0 statt 6.0). Viel wichtiger sind diesen Konsumenten aber die ausgeprägten Statureigenschaften des Fahrzeuges, in unserem Modell ausgedrückt durch die Produkteigenschaft “Design” (8.0). Der Preis des Fahrzeuges und der Benzinverbrauch spielen für die Konsumenten dieses Milieus aufgrund ihres hohen Vermögens und Einkommens eine untergeordnete Rolle. Innerhalb dieses Milieus macht sich ein “Peer-” oder Nachahmungseffekt der Konsumenten bemerkbar (0.8). Darüberhinaus versuchen diese Konsumenten, sich von den Konsumenten des status-orientierten Milieus bei der Kaufentscheidung abzusetzen (“distinction-effect”, 8.0).

Das Status-orientierte Milieu stellt in unserem Szenario 20% der Konsumenten, das entspricht annähernd dem Anteil des vom Sigma-Institut identifizierten “aufstiegsorientierten” Milieus [Sozialordnung 1997]. Die Mitglieder dieses Milieus verfügen über ein hohes Einkommen, erreichen aber in Bezug auf Einkommen und Rücklagen mit 130 bzw. 100 Geldeinheiten nicht das Niveau der Konsumenten des Etablierten Milieus. Die Konsumenten dieses Milieus legen sehr viel Wert auf die Fahrzeugleistung (6.0), das “Design” des Fahrzeuges

ist für sie hingegen nicht so wichtig (1.0). Diese Konsumenten schenken dem Kaufpreis etwas mehr Beachtung (0.3 statt 0.1) als die Mitglieder des Etablierten Milieus, der Benzinverbrauch des Fahrzeuges ist für diese Konsumenten aber genauso unwichtig (0.05). Die status-orientierten Konsumenten sind dem Reiz des Neuen gegenüber aufgeschlossen; erfährt ein Fahrzeug eine Produktinnovation, so schenken diese Konsumenten dieser Tatsache eine gewisse Aufmerksamkeit (0.5). Bei den milieuhängigen Präferenzen zeigt sich ein etwas anderes Bild als im Etablierten Milieu. Die status-orientierten Konsumenten versuchen auch, ihre Mit-Konsumenten im gleichen Milieu nachzuahmen (0.48); viel wichtiger ist ihnen aber die Nachahmung der Konsumenten des Etablierten Milieus, sie wollen "aufsteigen" (14.5).

Das Postmoderne Milieu umfaßt in den Szenarien 30% der Konsumenten. Die Mitglieder dieses Milieus verfügen in den Szenarien über ein Einkommen von 110 Geldeinheiten und Rücklagen in Höhe von 80 Geldeinheiten. Im Gegensatz zu allen anderen Konsumenten legen die Mitglieder dieses Milieus keinen Wert auf die Fahrzeugleistung, dafür ist für diese Konsumenten der Benzinverbrauch von hoher Bedeutung, sie legen besonders viel Wert auf einen niedrigen Benzinverbrauch. Auch das Design des Fahrzeuges, d.h. die Summierung aller "emotionalen" Eigenschaften ist für diese Konsumenten von hoher Bedeutung (3.0). Aufgrund ihres im Vergleich zu den beiden bisher beschriebenen Milieus geringeren Einkommens ist der Kaufpreis für diese Konsumenten von größerer Bedeutung als bei den beiden oben besprochenen Milieus. Da sich die Mitglieder dieses Milieus vielmals als Vorreiter für neue Ideen begreifen, sind sie für Neuerungen besonders aufgeschlossen (1.0). Die Mitglieder dieses Milieus sind bei ihrer Kaufentscheidung in Bezug auf die Kaufentscheidung der Mit-Konsumenten des eigenen Milieus zwiegespalten. Einerseits verspüren auch sie einen Nachahmungseffekt; man will schließlich zum Milieu dazugehören, andererseits legt man aber auch Wert auf eine gewisse Individualität. Dieser Drang nach Individualität oder Unterscheidung macht sich sowohl gegenüber den Mitgliedern des eigenen Milieus (Snob-Effekt: 0.35) als auch gegenüber den Mitgliedern der anderen Milieus (Distinction-Effekt: 3.0) bemerkbar.

Das Konsum-materialistische Milieu stellt in den Szenarien mit 40% Anteil die größte Konsumentengruppe. Die Konsumenten dieses Milieus verfügen über das geringste Einkommen und die geringsten Rücklagen aller Konsumenten (80 bzw. 60 Geldeinheiten). Für diese Konsumenten ist die Fahrzeugleistung für die Kaufentscheidung wichtig (1.0). Im Gegensatz dazu sind diese Konsumenten einer hohen Ausprägung emotionaler Produkteigenschaften ("Design") sogar abgeneigt (-1.0). Aufgrund der begrenzten finanziellen Ressourcen spielen sowohl der Benzinverbrauch als auch der Kaufpreis des Fahrzeuges für die Konsumenten dieses Milieus eine wichtige Rolle bei der Bewertung der Produktalternativen. Die Kaufentscheidung der anderen Konsumenten wird von den Mitgliedern dieses Milieus einerseits durch Nachahmung des eigenen Milieus (Peer-Effekt: 0.18) als auch durch Nachahmung der

Parameter	Fahrzeugtyp 1	Fahrzeugtyp 2	Fahrzeugtyp 3	Fahrzeugtyp 4
Preis	120.0	100.0	90.0	55.0
Fahrzeugleistung	100.0	120.0	90.0	60.0
Benzinverbrauch	16.0	14.0	9.0	10.0
Design	30.0	16.0	10.0	2.0
Eigenkapital	650	550	450	250
Stückkosten	85.0	80.0	75.0	45.0

Tabelle 8.2.: Diese Tabelle faßt die Produkteigenschaften der vier Fahrzeugtypen zusammen. Darüberhinaus sind in der Tabelle die Kapitalausstattung und die Stückkosten der Produzenten dargestellt. Quelle: eigene.

Konsumenten des Postmodernen Milieus (Aspiration-Effekt: 2.4) berücksichtigt. Die Tabelle 8.1 faßt die Charakterisierung der Konsumenten noch einmal zusammen.

8.2.2. Produzenten

8.2.2.1. Fahrzeugtypen

Aus der Beobachtung der Automobilmärkte kann man den Eindruck gewinnen⁶, daß es eine kundenorientierte Spezialisierung der Produzenten gibt, die aber auch Auflösungstendenzen unterliegt⁷. Bei mangelndem Erfolg ist ein Rückzug der Hersteller in ihren “Kernmarkt” zu beobachten. Offensichtlich scheint ein Hin- und Herpendeln zu existieren. Um dieses Verhalten der Automobilhersteller in dieses Modell einzubeziehen, gehen wir von einer bestimmten Konstellation als Anfangsbedingung aus und schauen, ob sich diese Spezialisierungs- und Schwankungstendenzen beobachten lassen. Wir wählen in diesem Basisszenario einen extremen Ausgangspunkt, der fern vom Gleichgewicht im neoklassischen Sinne ist.

Zu Beginn der Simulation nehmen insgesamt zwölf Produzenten an dem Markt teil. Wir postulieren dabei vier unterschiedliche Fahrzeugtypen und teilen die zwölf Produzenten zu gleichen Teilen auf diese vier Fahrzeugtypen auf. Am Anfang der Simulation stellen also immer drei Produzenten Fahrzeuge mit den gleichen Eigenschaften her. Wie oben beschrieben findet sich diese Spezialisierung der Produzenten auch in der realen Automobilwirtschaft wieder, ein Marktsegment wird von mehrere Produzenten adressiert⁸.

⁶Das Sigma-Institut geht in einer Studie für den Allgemeinen Deutschen Automobilclub sogar soweit, einzelne Fahrzeughersteller eindeutig bestimmten Milieus zuzuordnen [Sigma 1999].

⁷In den letzten Jahren konnte man diese Auflösungstendenzen verstärkt beobachten. Luxushersteller drängen in den Markt der preiswerteren und einfacheren Fahrzeuge (z.B. BMW und Mercedes-Benz), während sogenannte Massenhersteller in den Markt der Luxusfahrzeuge drängen (z.B. Volkswagen) [Süddeutsche Zeitung 2002e, Sddeutsche Zeitung 2002f].

⁸Ein Beispiel hierfür ist die sogenannten Oberklasse, die allein von vier deutschen Herstellern Mercedes-Benz, BMW, Audi und Volkswagen umkämpft ist.

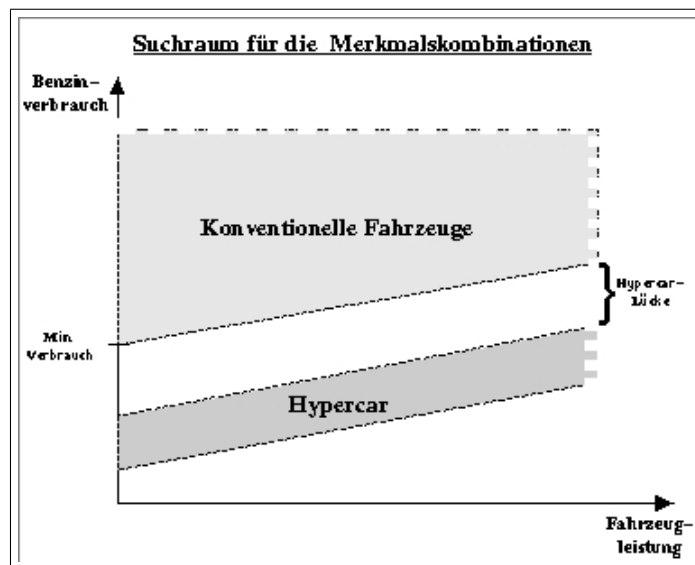


Abbildung 8.3.: Diese Abbildung veranschaulicht die Struktur des Eigenschaftsraumes für die Kombination der Merkmale Benzinverbrauch und Fahrzeugleistung. Quelle: eigene.

Wir haben die Produkteigenschaften so gewählt, daß ein Fahrzeugtyp von den Konsumenten eines Milieus gegenüber den anderen Fahrzeugtypen zu Beginn der Simulation eindeutig bevorzugt wird. Die Produzenten werden dann im Laufe der Simulation versuchen, die Eigenschaften ihres Produktes inkrementell zu verändern, um damit einen temporären Wettbewerbsvorteil gegenüber den Konkurrenten zu erlangen. Dabei kann es geschehen, daß das Fahrzeug aufgrund der veränderten Produkteigenschaften auch für ein anderes Konsumentenmilieu interessant wird. Die Tabelle 8.2 faßt die vier unterschiedlichen Fahrzeugtypen zusammen.

Die Produzenten des Fahrzeugtyps 1 produzieren das teuerste Fahrzeug. Die Fahrzeugleistung dieses Typs ist kleiner als die des Typs 2, die Produzenten haben viel mehr Wert auf eine hohe Ausprägung der Eigenschaft Design gelegt. Dafür nehmen sie auch den höchsten Benzinverbrauch unter allen Wettbewerbern in Kauf. Die hohe Qualität der Fahrzeuge bedingt allerdings, daß die Durchschnittskosten der Produzenten am höchsten sind. Trotzdem erzielen die Produzenten mit diesem hochpreisigen Fahrzeug den höchsten Deckungsbeitrag (Differenz aus Preis und Kosten). Zu Beginn verfügen diese Produzenten, die in den Szenarien durch die Produzenten 1 bis 3 dargestellt werden, über die höchste Kapitalausstattung. Die besonders hohe Qualität der Fahrzeuge erfordert einen besseren und teureren Maschinenpark, darüberhinaus sind die Arbeitskosten aufgrund der aufwendigen Qualitätskontrollen deutlich höher. Dieses erfordert eine höhere Eigenkapitalausstattung der Produzenten von Beginn an. Die Produzenten zielen mit ihrem Produkt auf die Konsumenten des Etablierten Milieus. Im weiteren Verlauf bezeichnen wir diese Produzenten auch als Produzentengruppe

1.

Die Produzenten des Fahrzeugtyps 2 verkaufen das zweit teuerste Fahrzeug, das aber durch die höchste Fahrzeugleistung glänzt. Für diese hohe Fahrzeugleistung nehmen die Produzenten den zweithöchsten Benzinverbrauch in Kauf. Die hohe Leistung ist für diese Produzenten als Verkaufsmerkmal so wichtig, daß sie zwar auf die emotionalen Faktoren Wert legen, aber nicht das Niveau des Fahrzeugtyps 1 erreichen wollen. Aufgrund der technischen Herausforderungen, sowohl hinsichtlich der eingesetzten Technologie als auch der Qualitätserfordernisse, die das Erreichen der hohen Fahrzeugleistung bedingen, stellen diese Produzenten zu den zweithöchsten Stückkosten her. Diese Produzenten, die in den Szenarien durch die Produzenten 4 bis 6 dargestellt werden, erzielen aber die zweithöchste Marge aller Produzenten. Die ausgefeilte Produktionstechnologie erfordert ein hohes Eigenkapital, sodaß die Produzenten zu Beginn auf eine Kapitalaustattung von 550 Geldeinheiten zurückgreifen können. Die Zielgruppe dieser Produzenten ist das Status-orientierte Milieu. Im weiteren Verlauf bezeichnen wir diese Produzenten auch als Produzentengruppe 2.

Der Fahrzeugtyp 3 besitzt als herausragendes Merkmal den niedrigsten Benzinverbrauch aller Konkurrenzprodukte. Die Fahrzeugleistung und das Design liegen jeweils an dritter Stelle in der Rangfolge der Produkte. Der Preis von 90 Geldeinheiten und die Durchschnittskosten von 75 Geldeinheiten deuten auf eine niedrigere Marge hin, die Produzenten müssen ihren Gewinn über das Volumen erreichen. Die Kapitalausstattung der Produzenten beträgt zu Beginn der Simulation 450 Geldeinheiten, was die Produktion von sechs Einheiten erlaubt. Diese Produzenten haben als ihre Zielgruppe das Postmoderne Milieu identifiziert. Im weiteren Verlauf bezeichnen wir diese Produzenten auch als Produzentengruppe 3.

Der Fahrzeugtyp 4 stellt das kostengünstigste Angebot dar. Um dieses zu erreichen, wurde eine geringe Fahrzeugleistung in Kauf genommen und bei den emotionalen Eigenschaften auf alles Überflüssige verzichtet. Um den Kaufpreis möglichst gering zu halten, wurde bei der Konstruktion dieses Fahrzeugtyps auch auf die neueste Technik, die den Benzinverbrauch weiter verringern könnte, verzichtet. Die Produzenten können diesen Fahrzeugtyp zu den geringsten Stückkosten herstellen. Aufgrund des niedrigen Preises ist aber die Gewinnmarge pro Fahrzeug sehr gering, ihren Profit müssen die Produzenten über das Verkaufsvolumen realisieren. Die Kapitalausstattung von 250 Geldeinheiten resultiert aus dem geringeren Kapitalbedarf für die einfachen Fertigungsmethoden und den niedrigeren Qualitätsstandards und erlaubt eine initiale Produktionskapazität von fünf Einheiten. Die Zielgruppe für diese Produzenten, die in den Simulationen von den Produzenten 10 bis 12 dargestellt werden, ist das Konsum-materialistische Milieu. Im weiteren Verlauf bezeichnen wir diese Produzenten auch als Produzentengruppe 4.

Parameter	Wert
Steigung der Verbrauchsgeraden	0.05
Konventionelles Fahrzeug: untere Verbrauchsgrenze $Min.Verbrauch_i$	1.5
Hypercar: obere Verbrauchsgrenze	0.5
Hypercar: untere Verbrauchsgrenze	0.3

Tabelle 8.3.: Die Tabelle faßt die Parameter zusammen, die die Topologie des Eigenschaftsraumes festlegen. Quelle: eigene.

8.2.2.2. Eigenschaftstopologie

In der Abbildung 8.3 ist die Topologie des Parameterraums für die Eigenschaftskombination Fahrzeugleistung/Kraftstoffverbrauch noch einmal dargestellt. Man erkennt jeweils die Grenze der beiden Räume der möglichen Merkmalskombinationen. Die Untergrenze für den konventionellen Fahrzeugtyp wird durch dessen Minimalverbrauch “Min.Verbrauch konv.” und die Steigung der Verbrauchsgeraden in Abhängigkeit von der Fahrzeugleistung bestimmt. Für das Hypercar gilt die gleiche Abhängigkeit in Form der Verbrauchsgeraden, allerdings ist der Minimalverbrauch geringer. Desweiteren führen wir für das Hypercar einen Maximalverbrauch ein, oberhalb dessen eine Lücke bis zum Minimalverbrauch für den konventionellen Fahrzeugtyp besteht.

Ein Beispiel soll die Bedeutung dieser Parameterwahl am Beispiel des Fahrzeugtyps 3 kurz verdeutlichen. Ein solches Fahrzeug besitzt eine Fahrzeugleistung von 90 Einheiten. Die untere Grenze des Verbrauchs-/Fahrzeugleistung-Eigenschaftsraumes beträgt dann $Min.Verbrauch = 1.5 + 90 * 0.05 = 6$. Die obere Verbrauchsgrenze für ein Hypercar mit dieser Fahrzeugleistung beträgt dann $Max.Hypercar = 0.5 + 90 * 0.05 = 5.0$, die untere Grenze hingegen $Min.Hypercar = 0.3 + 90 * 0.05 = 4.8$. Ein Produzent der von der Produktion eines konventionellen Fahrzeuges zu der eines Hypercars wechseln will, muß bei der Produktinnovation genau die Lücke zwischen dem Minimalverbrauch des konventionellen Typs und dem Maximalverbrauch des Hypercar überwinden, in diesem Fall die Lücke von 6 nach 5 Verbrauchseinheiten⁹. Im Gegensatz zu einer Reihe anderer Autoren treffen wir die Annahme eines nicht-zusammenhängenden Eigenschaftsraumes (vgl. [Meyer 1996, Pyka 1999]). Die in dieser Arbeit geforderte Trennung des Eigenschaftsraumes in zwei nicht-zusammenhängende Teilräume erlaubt es, den Wechsel von einem Produkttyp zu einem anderen in Form einer nicht-inkrementellen Innovation zu untersuchen.

⁹Sicher ist das Verbrauchsband für den Hypercar sehr schmal gewählt. Das Ziel dieser Arbeit ist aber die Untersuchung der Umstände, unter denen es zur Überwindung der Hypercar-Lücke kommt, nicht die darauffolgende Exploration des Eigenschaftsraumes des Hypercar-Typs.

Parameter	Wert
Ausgangswissen des Produzenten für die Produkteigenschaft Fahrzeugleistung	0.0
Ausgangswissen des Produzenten für die Produkteigenschaft Kraftstoffverbrauch	0.0
Ausgangswissen des Produzenten für die Produkteigenschaft Design	0.0
Ausgangswissen des Produzenten für die Forschung nach Prozeßinnovationen	0.0
Skalierungsfaktor für den Erfolg von Innovationen für die Produkteigenschaft Fahrzeugleistung	0.00009
Skalierungsfaktor für den Erfolg von Innovationen für die Produkteigenschaft Kraftstoffverbrauch	0.00009
Skalierungsfaktor für den Erfolg von Innovationen für die Produkteigenschaft Design	0.00009
Skalierungsfaktor für den Erfolg von Prozeßinnovationen	0.00012

Tabelle 8.4.: Die Tabelle faßt das initiale Forschungswissen und die Skalierungsfaktoren für den Forschungserfolg der Produzenten zusammen. Quelle: eigene.

8.2.2.3. Parameter für den Forschungserfolg

Der Forschungserfolg der Produzenten in Bezug auf Innovationen ist einerseits von dem angesammelten Wissen (Know-How) des Produzenten und andererseits von externen Faktoren abhängig. In der folgenden Tabelle (s. Tabelle 8.4) sind die initialen Parameter für die Produzenten im Basisszenario dargestellt.

Die Produzenten besitzen zu Beginn der Simulation keinerlei Forschungswissen, weder für Produkt- noch für Prozeßinnovationen. Die Produzenten sind also vollständig darauf angewiesen, sich durch Investitionen in dieses Wissen die Möglichkeit zu Innovationen zu eröffnen. Wie oben in Kapitel 5.3 diskutiert, unterliegt das Wissen aber auch einem Prozeß des Vergessens, sowohl hinsichtlich des Wissens der einzelnen Mitarbeiter als auch aus der Sicht der Unternehmen in organisationaler Form. Um dieses Phänomen zu berücksichtigen, treffen wir hier die Annahme, daß die Produzenten 5% ihres Wissens pro Simulationsperiode vergessen, sofern sie dem nicht mit Forschungsinvestitionen entgegenwirken. In der Modellbeschreibung haben wir schon darauf hingewiesen, daß wir die Produkteigenschaften als separabel postulieren; die Produzenten müssen also für jede der drei Produkteigenschaften (mit Ausnahme des Produktpreises) einzeln Forschungswissen aufbauen.

Das angesammelte Forschungswissen eines Produzenten bestimmt unter Berücksichtigung eines Skalierungsfaktors die Erfolgswahrscheinlichkeit für eine Invention. Wie oben (s. Kapitel 7.2.4.2) schon erwähnt, dient der Skalierungsfaktor dazu, für die Inventionslotterien eine Normierung zwischen 0 und 1 sicherzustellen.

Bei Prozeßinnovationen wollen wir die maximale Senkung der Durchschnittskosten auf

Regel	Forschung	Produkte	Leistung	Verbrauch	Design	Suchrichtung Leistung	Suchrichtung Verbrauch	Suchrichtung Design	Preis-	Investitionen	De-Investitionen
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.002	0.50	0.30
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.50	0.30
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.998	0.50	0.30
3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.50	0.30
4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.998	0.50	0.30
5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.70	0.50
6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.998	0.70	0.50
7	0.1	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.002	0.50	0.30
8	0.1	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.00	0.50	0.30
9	0.1	1.0	1.0	0.0	0.0	-1.0	0.0	0.0	1.00	0.50	0.30
10	0.1	1.0	1.0	0.0	0.0	-1.0	0.0	0.0	0.998	0.50	0.30
11	0.1	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.00	0.50	0.30
12	0.1	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.998	0.50	0.30
13	0.1	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	-1.0	0.0	1.002	0.50	0.30
14	0.1	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	-1.0	0.0	1.00	0.50	0.30
15	0.1	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.002	0.50	0.30
16	0.1	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.00	0.50	0.30
17	0.1	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	-1.0	1.00	0.50	0.30
18	0.1	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	-1.0	0.998	0.50	0.30
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.50	0.30
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.70	0.50

Tabelle 8.5.: Diese Tabelle faßt die Produzentenregeln im Basisszenario zusammen.

5% begrenzen. Eine erfolgreiche Produktinnovation führt in unserem Modell wiederum zu einer Erhöhung der Durchschnittskosten um 2%, womit wir den Umstellungskosten in Folge einer Produktinnovation Rechnung tragen wollen.

8.2.2.4. Produzentenregeln

Wie wir in Kapitel 5.4 diskutiert haben, gibt es eine starke empirische Evidenz, wonach die Produzenten nicht jedesmal den riesigen Parameterraum absuchen, sobald sich in ihrer Umgebung irgendetwas verändert hat. Cyert und March [Cyert/March 1963] haben darauf hingewiesen, daß die Produzenten vielmehr auf bewährte Verhaltensweisen zurückgreifen, nach denen sie ihr Handeln ausrichten; Cyert/March nennen diese Verhaltensweisen “Standard-Operating Procedures”.

Beckenbach [Beckenbach 2002a] betont, daß sich in der Vielfalt der Verhaltensweisen beschränkt rationaler Akteure bestimmte Regelmäßigkeiten entdecken lassen. Diese Regelmäßigkeiten des Verhaltens lassen sich zu unterschiedlichen Verhaltensmodi zusammenfassen. Für die Unternehmen lassen sich in diesem Modell die folgenden Dimensionen der Verhaltensmuster identifizieren:

- die Preissetzung

- das Mengenverhalten (Investitionen)
- das Forschungs- und Entwicklungsverhalten

Aus diesen Dimensionen der Verhaltensmuster setzen sich die verschiedenen “Standard-Operating Procedures” zusammen. Bestimmte Kombinationen der Ausprägung dieser Muster ähneln sich, sie lassen sich sozusagen zu Verhaltensmodi “clustern”. Wie in Kapitel 7.2.6 dargelegt, wechseln die Produzenten zwischen den Verhaltensweisen erst, wenn sie ein bestimmtes Aspirationsniveau, in diesem Modell die Kapitalrendite im Industriedurchschnitt, unterschreiten. Betrachtet man die Ausprägung der “Standard-Operating Procedures” in der Tabelle 8.5, so kann man die verschiedenen “Cluster” erkennen, die wir durch horizontale Linien voneinander getrennt sind. Im Folgenden wollen wir diese Gruppierungen von Verhaltensweisen ausführlicher diskutieren.

Die Regeln 0 bis 2 legen unterschiedliche Preissetzungsverhalten der Produzenten fest. Die erste Regel definiert eine Preiserhöhung, die zweite einen konstanten Preis und die dritte Regel eine leichte Preissenkung. Das Investitionsverhalten ist bei diesen Regeln dahingehend festgelegt, daß der Produzent bei Nachfrageüberschuß die Kapazität um 50% der festgestellten Nachfragerücke erhöht, bei zu geringer Nachfrage hingegen die Kapazität nur um 30% der Überkapazität abbaut. Wir wollen mit solchen Investitionsregeln ein vorsichtiges Agieren des Produzenten darstellen, der Nachfrageschwankungen (positiv oder negativ) nicht sofort vollständig auszugleichen versucht.

Wir haben die Investitions- bzw. De-Investitionsneigung der Produzenten asymmetrisch gewählt, da wir die Annahme treffen, daß die Produzenten eine Abneigung gegen Kapazitätsabbau besitzen. Kapazitäten lassen sich nicht einfach so stilllegen, mit einem Abbau verbunden ist der Verlust von organisationalem Wissen (s. Abschnitt 5.3), das für den korrekten Ablauf benötigt wird. Die Produzenten scheuen den Verlust solchen, spezialisierten Wissens, da es für sie aufwendig, ist, dieses Wissen in der Form von Mitarbeitern im Bedarfsfall wieder zu finden und einzustellen.

Der zweite Teil umfaßt die Regeln 3 bis 6, die das Verhalten des Produzenten in Bezug auf die Prozeßinnovationen bestimmen. Wählt er eine dieser Regeln, so investiert der Produzent 10% seines Umsatzes in das Forschungswissen zu den Prozeßinnovationen und konzentriert die Forschungstätigkeit auf die Prozeßinnovationen. Produktinnovationen treten bei der Ausführung einer dieser Regeln nicht auf. Wir nehmen an, daß der Produzent im Falle einer Prozeßinnovation den Produktpreis entweder konstant hält oder geringfügig verringert. Durch eine Prozeßinnovation versucht der Produzent, einerseits seine Marge zu erhöhen und andererseits seine Wettbewerbsposition z.B. mittels der Preispolitik zu verbessern. Der Produzent kann darüberhinaus zwischen zwei unterschiedlichen Investitions-

verhalten auswählen. Einerseits kann er Nachfrageschwankungen mit 50% bzw. 30% der Nachfragelücke auszugleichen versuchen (zur Erklärung s.o.); die Regeln 5 und 6 hingegen erlauben ihm andererseits ein aggressiveres Investitionsverhalten, das die Lücke zu 70% bzw. 50% zu schließen versucht.

Die Regeln 7 bis 18 beschreiben das Produzentenverhalten in Bezug auf die Produktinnovationen. Hier treffen wir wieder die Annahme, daß der Produzent Nachfrageschwankungen zu 50% bei Überschußnachfrage und zu 30% bei Überkapazitäten zu schließen versucht. Für jede der Produkteigenschaften existieren vier Regeln, die sich gleichen. Die Produzenten sind bei den Produktinnovationen in der Situation, daß sie die Eigenschaftsausprägung sowohl erhöhen als auch verringern können, d.h. ein Produzent kann sich zum Beispiel dazu entschließen, den Benzinverbrauch zu erhöhen oder die Fahrzeugleistung zu verringern. Damit wollen wir den Produzenten in diesem Szenario den größtmöglichen Spielraum lassen und mögliche Attraktoren der Entwicklung der Produkteigenschaften nicht von vornherein ausschließen. Im Falle einer Erhöhung der Eigenschaftsausprägung nehmen wir für die Eigenschaften Fahrzeugleistung und Design an, daß die Produzenten den Preis zu halten oder zu erhöhen versuchen. Bei einer Verringerung der Eigenschaftsausprägung hingegen werden die Produzenten den Preis entweder konstant halten oder verringern. Bei der Produkteigenschaft Benzinverbrauch hingegen postulieren wir genau das Gegenteil: bei einer Verbrauchsenkung versucht der Produzent, den Preis zu halten oder zu erhöhen, bei einer Steigerung des Verbrauchs hält der Produzent den Preis konstant oder er senkt ihn. Im Gegensatz zu den beiden anderen Produkteigenschaften ist eine Erhöhung der Produkteigenschaft Benzinverbrauch über den Benzinpreis und über die durch den Verbrauch verursachten Kosten negativ an das Einkommen der Konsumenten gekoppelt. Steigende Benzinkosten senken also den Nutzen des Konsumenten. An diese Situation passen sich die Produzenten mit dieser Regeldefinition strategisch an.

Die beiden letzten Regeln 19 und 20 in der Tabelle 8.5 bestimmen ein abwartendes Verhalten des Produzenten. Er investiert bei der Wahl einer dieser beiden Regeln nicht in die Forschung, die somit für ihn auch keine Kosten verursachen (s.o.). Auch in Bezug auf den Preis verharret der Produzent bei seinem bisherigen Verhalten, indem er diesen konstant hält. Die einzige Reaktion auf die Marktdynamik, die der Produzent bei Anwendung dieser Regeln zeigt, besteht in der Anpassung der Produktionskapazität an mögliche Nachfrageschwankungen.

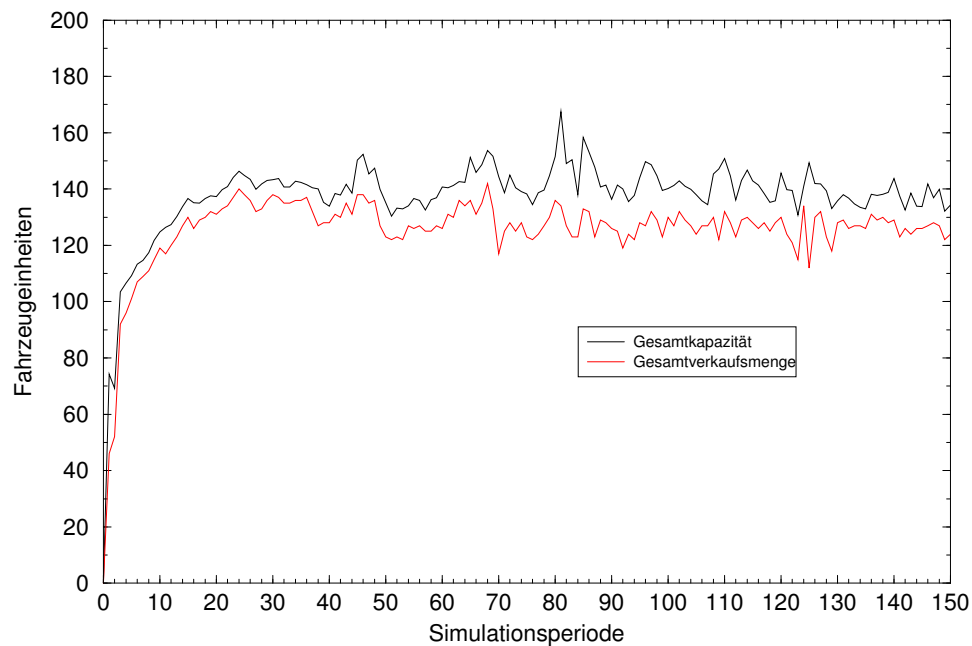


Abbildung 8.4.: Dieses Diagramm zeigt die Gesamtkapazität der Industrie und die Gesamtverkaufsmenge der Produzenten an die Konsumenten. Quelle: eigene.

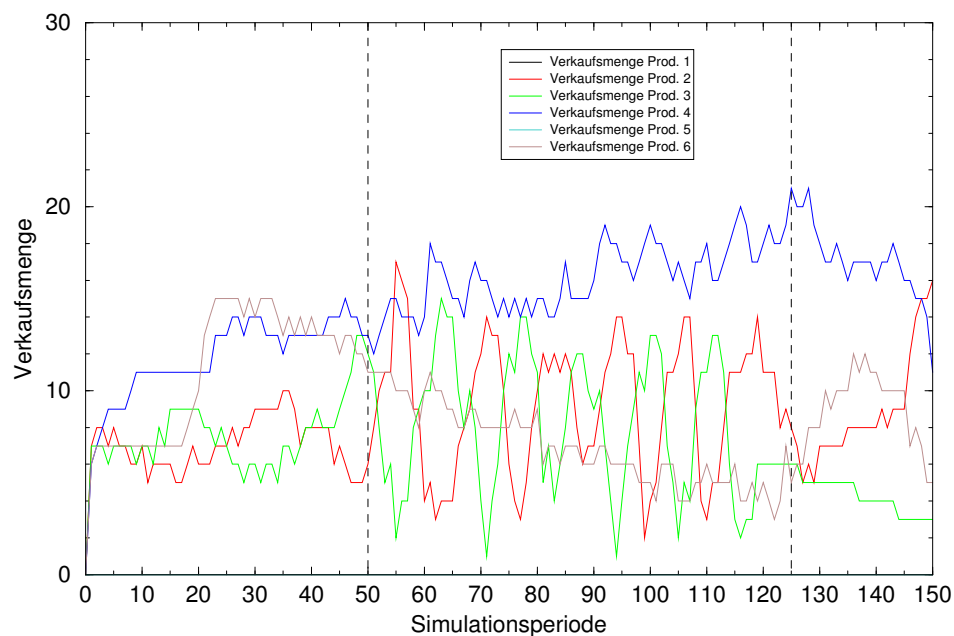


Abbildung 8.5.: Dieses Diagramm zeigt die Verkaufsmengen der Produzenten 1 bis 6, deren Zielgruppen das Etablierte und das Status-Orientierte Milieu sind. Quelle: eigene.

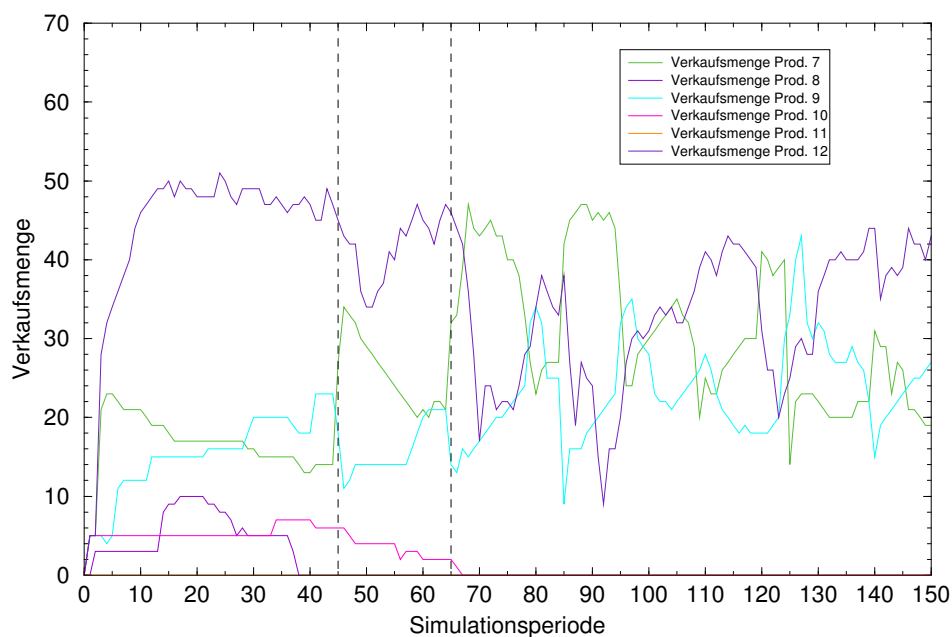


Abbildung 8.6.: Dieses Diagramm zeigt die Verkaufsmengen der Produzenten 7 bis 12, deren Zielgruppen das Postmoderne und das Konsum-Materialistische Milieu sind. Quelle: eigene.

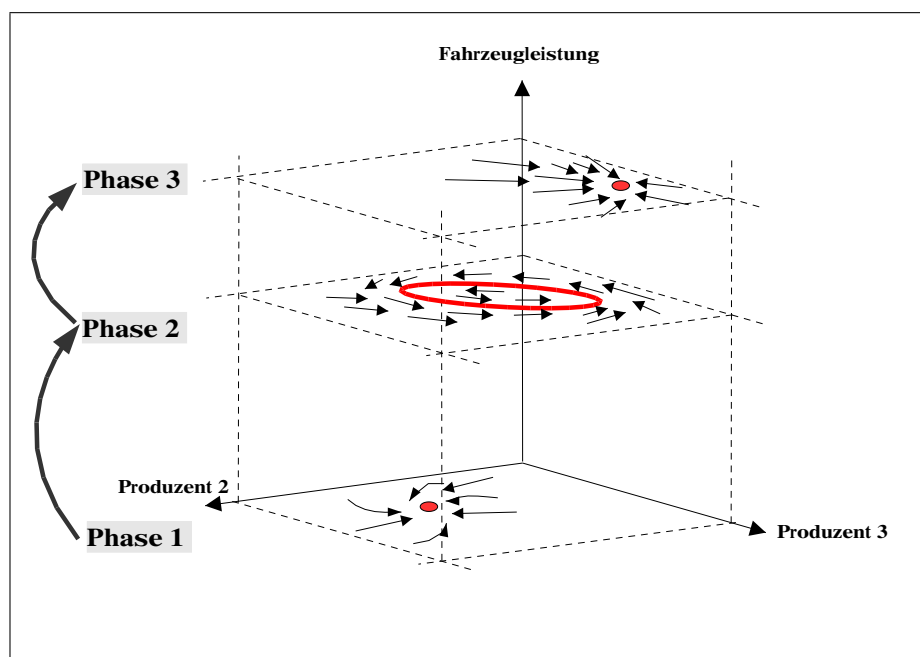


Abbildung 8.7.: Diese Abbildung zeigt schematisch den Übergang zwischen den verschiedenen Phasen aus der Sicht des eines 2-dimensionalen Phasenraumes der beiden Produzenten 2 und 3. Quelle: eigene.

8.3. Basis-Szenario

Eine zentrale Fragestellung der hier vorgestellten Arbeit ist die Untersuchung der Heterogenität der Akteurspopulation und die Folgen dieser Heterogenität für die Dynamik der Marktdiffusion von Produktinnovationen (s. Kapitel 3). Hinsichtlich der Konsumenten wird die Heterogenität der Akteure durch die Einteilung in unterschiedliche Milieus dargestellt (s. Kapitel 7.3). Betrachtet man aber Konsumentenmilieus, so muß man auch die “Kräfte”, die zwischen diesen Milieus wirken, in die Untersuchung einbeziehen. Diese milieuabhängigen Kräfte können eine reichhaltige Dynamik des Konsumentenverhaltens erzeugen, wie Weise und Cowan et.al. herausgearbeitet haben [Weise 1993, Cowan 1998]. Für unser Ausgangsszenario, das wir in diesem Abschnitt ausführlich analysieren wollen, haben wir eine Konstellation gewählt, in der die Wirkung der milieuabhängigen Kräfte sehr prägnant zum Tragen kommt. Die gewählte Konfiguration beinhaltet eine reichhaltige Dynamik mit stabilen Fixpunkten, abrupten Phasenübergängen und zyklischen Schwankungen der Zustandsvariablen. Das Interesse der hier vorgestellten Analyse ist es dann zu untersuchen, ob sich unter variierten Anfangsbedingungen diese reichhaltige Dynamik fern vom Gleichgewicht abschwächt und sich einem gleichgewichtigen Verhalten nähert oder womöglich weiter “explodiert”. Diese Sensitivitätsanalysen werden Gegenstand des nächsten Abschnitts 8.4 sein.

8.3.1. Mengengerüst

8.3.1.1. Verkaufsmengen

Wir beginnen die Diskussion des Basisszenarios mit der Beschreibung der Verkaufsmengen und der Produktionskapazitäten der Produzenten. Bevor wir die Dynamik dieser Variablen für die einzelnen Produzenten im Detail betrachten, wollen wir die zeitliche Entwicklung auf der “Makroebene” der Gesamtindustrie kurz betrachten. In der Abbildung 8.4 sind sowohl die Gesamtkapazität der Industrie als auch deren Gesamtverkaufsmenge dargestellt.

Der Gesamtmarkt durchläuft zu Beginn der Simulation eine Phase des Nachfragewachstums und des Kapazitätsaufbaus. Anschließend geht der Markt in eine relativ stabile Phase über, in der sowohl die Verkaufsmenge als auch die Produktionskapazität um einen Gleichgewichtswert herum schwanken. Diese Schwankungen bewegen sich in der Größenordnung von maximal 15% des Gesamtwertes. Über fast den gesamten Simulationszeitraum sind die Schwankungen in der Gesamtverkaufsmenge mit denen der Gesamtproduktionskapazität nahezu phasengleich, allerdings existiert ein fortwährender Kapazitätsüberhang. Dieser Kapazitätsüberhang liegt wie in Abschnitt 8.2.2 besprochen in den “sunk costs” der

Produzenten, die zögern, ihre bestehende Kapazitäten zügig abzubauen. Dieses Verhalten haben wir mit Hilfe der Produzentenregeln in der Form eines asymmetrischen Investitions-/Deinvestitionsverhaltens abgebildet, das in Tabelle 8.5 im Detail aufgeführt ist.

Nach der Betrachtung des gesamtwirtschaftlichen Mengengerüsts wollen wir jetzt die “Mikroebene” der einzelnen Produzenten betrachten, wobei wir mit den Verkaufsmengen beginnen und diese anschließend mit den Kapazitäten vergleichen.

Die beiden Abbildungen 8.5 und 8.6 zeigen die Gesamtverkaufsmengen der Produzenten. Der Übersichtlichkeit halber haben wir die Darstellung auf zwei Diagramme verteilt; Abbildung (8.5) zeigt die Produzenten 1 bis 6, in der Abbildung 8.6 sind die Verkaufsmengen der Produzenten 7 bis 12 dargestellt. In diesen beiden Abbildungen kann man allerdings die Verkaufsmengen der Produzenten 1, 5 und 11 nicht erkennen, da diese Produzenten zu keinem Zeitpunkt dieser Einzelsimulation eine Einheit ihres Produktes verkaufen können. Der Graph ihrer Verkaufsmengen ist also gleich der X-Achse.

Die Verkaufsmenge der Produzenten wird durch zwei Faktoren bestimmt (s. Kapitel 7.2): (i) die Nachfrage aller Konsumenten nach dem Produkt dieses Herstellers und (ii) die Produktionskapazität des Herstellers. Solange diese Produktionskapazität größer als die Nachfrage ist, kann diese voll befriedigt werden und die Verkaufsmenge entspricht der Nachfrage. Ist die Nachfrage jedoch größer als die Kapazität des Produzenten, so kann dieser nur seine Gesamtproduktion verkaufen, darüberhinausgehende Konsumentenwünsche bleiben in dieser Simulationsperiode unbefriedigt.

Betrachten wir zuerst die Verkaufsmengen der Produzenten 1 bis 6: während die beiden Produzenten 1 und 5 sofort aus dem Markt ausscheiden, läßt sich die Entwicklung der Verkaufsmengen für anderen vier Produzenten in drei Phasen unterteilen. In der ersten Phase, die bis zur Periode 50 reicht, existiert eine stabile Marktaufteilung zwischen den Produzenten.

In der zweiten Phase, die von Periode 50 bis 125 andauert, zeigt sich eine völlig andere Dynamik; die Verkaufsmengen der beiden Produzenten 2 und 3 weisen starke zyklische Schwankungen auf. Bei den Produzenten 4 und 6 hingegen verschieben sich in dieser Phase die Marktanteile hin zum Produzenten 4.

Die letzte Phase dieses Simulationszeitraumes beginnt mit einem abrupten Ende der zyklischen Schwankungen bei den Verkaufsmengen der Produzenten 2 und 3. Der Produzent 2 kann seine Marktposition ausbauen, der Produzent 3 demgegenüber verliert Marktanteile. Die Produzenten 4 und 6 hingegen nähern sich in der verkauften Produktmenge wieder an. Insgesamt stabilisieren sich in dieser Phase die Verkaufsmengen aller Produzenten wieder.

In der Gruppe der Produzenten 7 bis 12 tritt der Produzent 11 direkt aus dem Markt aus, die Entwicklung der Verkaufsmengen der restlichen Produzenten läßt sich wiederum in drei Phasen aufteilen. Die erste Phase bis zur Simulationsperiode 45 ist durch einen stabilen Verlauf gekennzeichnet. Der Produzent 7 kann schnell seine Marktposition ausbauen, verliert aber im Laufe der Zeit wieder Marktanteile, während der Produzent 8 langsam seinen Marktanteil bis zum Erreichen eines Maximums ausbaut, um anschließend bis zu seinem Marktaustritt schrittweise diesen Marktanteil an die Wettbewerber zu verlieren. Der Produzent 9 hingegen steigert bis zur Periode 45 stetig seine Verkaufsmenge. Bei den Produzenten 10 und 12, die das Konsum-Materialistische Milieu als Zielgruppe adressiert, kann der Produzent 10 seinen Marktanteil im Zeitverlauf stabil halten. Der Produzent 12 erreicht von allen Wettbewerbern den größten Marktanteil, nach einer raschen Expansion stabilisiert sich seine Verkaufsmenge auf hohem Niveau.

Die zweite Phase beginnt in Periode 45 und ist gekennzeichnet durch das Auftreten heftiger Schwankungen in den Verkaufsmengen der Produzenten 7 und 9. Bis zur Periode 65 stabilisieren sich die Verkaufsmengen der beiden Produzenten aber wieder auf gleichem Niveau. Mit Periode 45 beginnt der Einbruch der Verkaufsmengen für den Produzenten 10, dessen Marktaustritt sich in Periode 67 vollzieht.

Die letzte Phase, beginnend mit Periode 65, ist durch heftige und abrupte Schwankungen in den Verkaufsmengen für die drei verbliebenen Produzenten 7, 9 und 12 gekennzeichnet. Immer wieder erobert ein anderer Produzent die Vormachtstellung im Markt, allerdings sind diese Phasen der Marktführerschaft nur von kurzer Dauer.

Bei der Betrachtung der zeitlichen Entwicklung der Verkaufsmengen stellen sich drei Fragen:

1. Warum treten diese ausgeprägten Phasen in der zeitlichen Abfolge der Simulation auf?
2. Vergleicht man die beiden Diagramme, so fällt auf, daß die Phasen nicht zeitgleich für die Produzentengruppen 1 und 2 bzw. 3 und 4 auftreten. Was ist der Grund für diese Dynamik?
3. Die beiden Produzenten 8 und 10 treten erst im Laufe der Zeit aus dem Markt aus. Was ist der Grund dafür?

ad 1: Betrachten wir hierzu noch einmal die Verkaufsmengen der Produzenten 1 bis 6 in Abbildung 8.5. Wie in Kapitel 7.4 beschrieben, fußen die Konsumenten ihre Kaufentscheidung sowohl auf der Bedürfnisbefriedigungskapazität der verschiedenen Eigenschaften

der Güter als auch auf den Kaufentscheidungen der anderen Konsumenten. Die Anfangsbedingungen der Simulation sind so gewählt worden, daß die Produzenten, eingeteilt in vier Produzentengruppen, exakt ein Milieu mit dem von ihnen angebotenen Fahrzeug adressieren. Der Peer-Effekt, den wir für jedes Milieu postuliert haben, verstärkt diese Tendenz der Kaufentscheidung noch. Wie aus Kapitel 7.3 weiter hervorgeht, beziehen die Konsumenten aber auch die Kaufentscheidung der Konsumenten anderer Milieus mit ein, z.B. üben die von den Konsumenten des Etablierten Milieus gekauften Fahrzeuge eine große Attraktion auf die Konsumenten des Status-Orientierten Milieus aus. Diese Anfangskonfiguration ist mehr oder weniger stabil, mathematisch gesprochen existieren für die Konsumenten im n -dimensionalen Raum der Produkteigenschaften und der Kaufentscheidungen aller Konsumenten für die einzelnen Milieus singuläre, milieuspezifische Fixpunkte (diese sind hauptsächlich durch den Peer-Effekt bestimmt). Im Laufe der Zeit verändern die Produzenten durch Innovationen die Produkteigenschaften oder sie ändern die Produktpreise. Diese Veränderungen haben nun aber gravierende Folgen: die Bewertung der Produktalternativen durch die Konsumenten verändert sich, was im hier gezeigten Beispiel dazu führt, daß das Produkt des Produzenten 3 für die Konsumenten des Status-Orientierten Milieus die beste Wahl ist. Das Zusammenspiel von Distinktions- und Aspirationseffekt zwischen dem Etablierten und dem Status-Orientierten Milieu dominiert innerhalb weniger Simulationsperioden den Peer-Effekt in den beiden Milieus. Der n -dimensionale Phasenraum verändert sich und es bildet sich für die Kaufentscheidung der Konsumenten des Etablierten Milieus ein Grenzzzyklus heraus. Dieser Grenzzzyklus bestimmt die Verkaufsmenge der beiden Produzenten 2 und 3, was zu den beobachteten Schwankungen führt. Im weiteren Verlauf der Simulation gelingt es einem dieser beiden Produzenten, das Eigenschaftsbündel seines Produktes soweit zu verändern, daß das Produkt für die Konsumenten des Status-Orientierten Milieus nicht mehr attraktiv genug ist; der Phasenraum kollabiert wieder zu einem Fixpunkt, und eine neue Phase der Stabilität beginnt. In der Abbildung 8.7 haben wir versucht, diese zeitliche Entwicklung in einer 3-dimensionalen Graphik für die Verkaufsmengen der Produzenten 2 und 3 darzustellen. In dem Diagramm ist die Aufspaltung des einzelnen Fixpunktes in einen Grenzzzyklus und das nachfolgende Kollabieren in einen Fixpunkt aufgezeichnet.

Bei den Produzenten 7 bis 12 ist die Dynamik etwas anders, aber auch dort wird durch Produktinnovationen bzw. Preisänderungen das Produkt eines Herstellers, in diesem Fall das des Produzenten 7, für die Konsumenten außerhalb seiner Stammkundschaft interessant. Allerdings ist die Kräftekonstellation zwischen dem Postmodernen und dem Konsum-Materialistischen Milieu etwas anders (s. Kapitel 7.3). Während die Mitglieder des Postmodernen Milieus die des Konsum-Materialistischen Milieus nicht beachten, versuchen diese wiederum, den "postmodernen" Konsumenten "nachzueifern". Diese Kräftekonstellation im Zusammenspiel mit Peer- und Snob-Effekt führt dann zu einer abrupten Verschiebung des Fixpunktes.

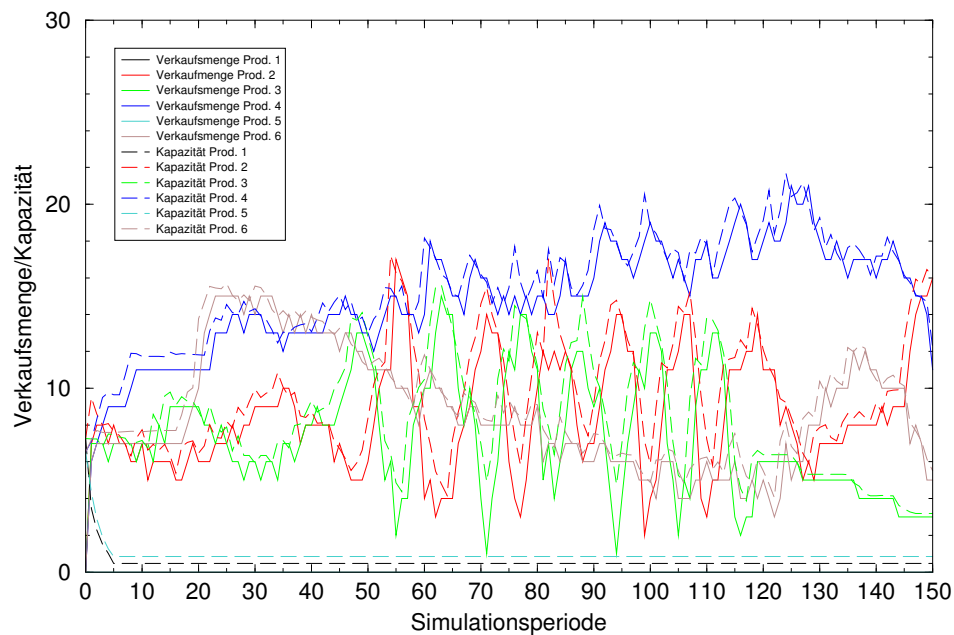


Abbildung 8.8.: Diese Abbildung zeigt den Vergleich der Produktionskapazität mit den Verkaufsmengen für die Produzenten 1 bis 6. Quelle: eigene.

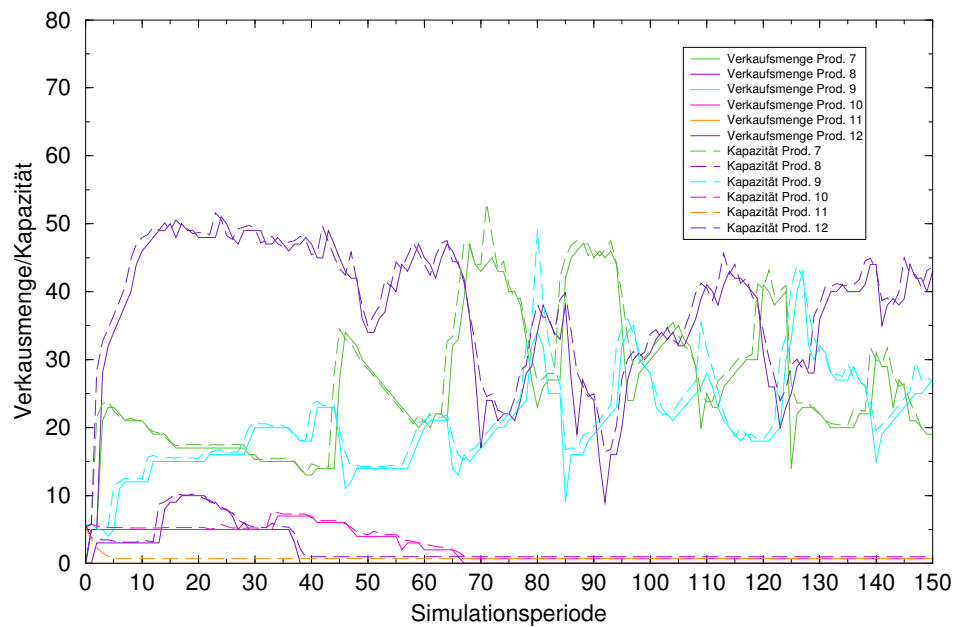


Abbildung 8.9.: Diese Abbildung zeigt den Vergleich der Produktionskapazität mit den Verkaufsmengen für die Produzenten 7 bis 12. Quelle: eigene.

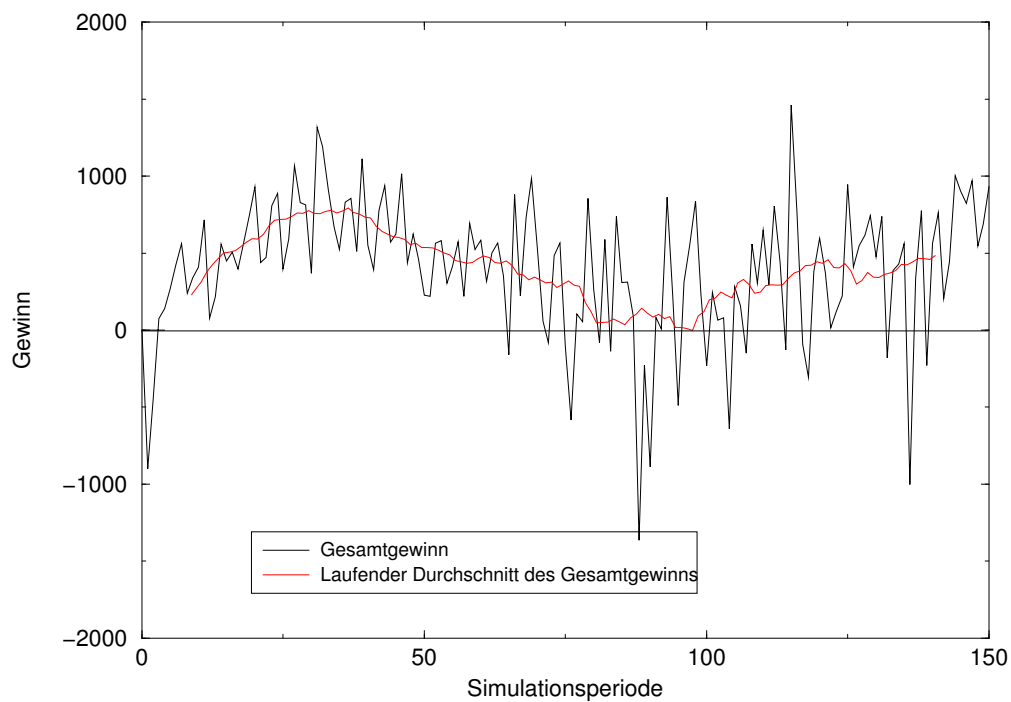


Abbildung 8.10.: Das Diagramm zeigt den Gewinn der Gesamtindustrie und einen laufenden Durchschnitt mit einer Schrittweite von 20 Perioden. Quelle: eigene

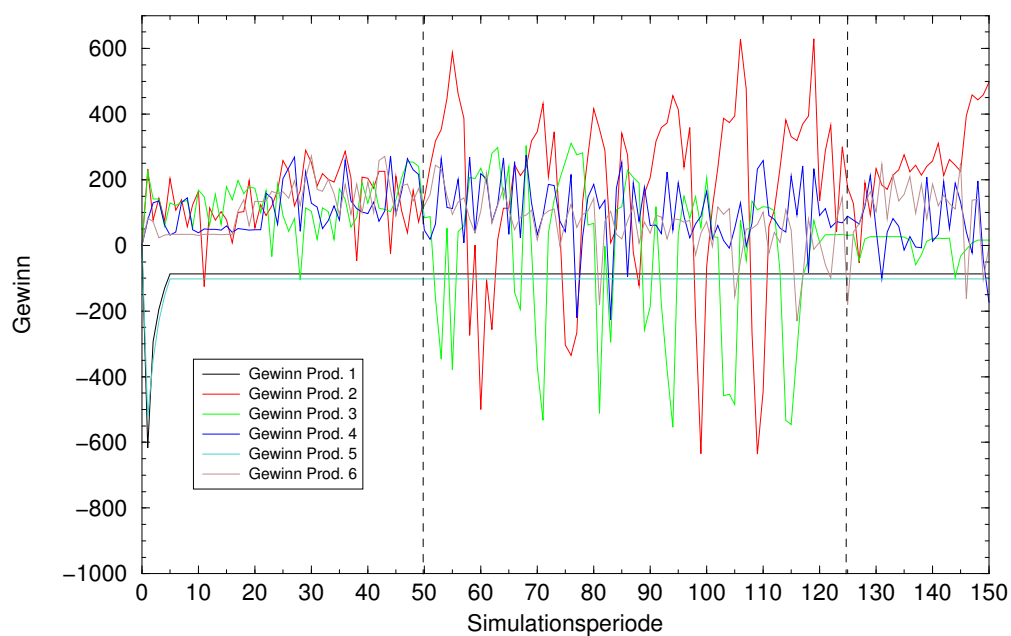


Abbildung 8.11.: Das Diagramm zeigt den Gewinn der Produzenten 1 bis 6. Quelle: eigene

ad 2: Wie in den beiden vorherigen Absätzen beschrieben, ist das Zusammenspiel von milieuabhängigen Kräften und der Bewertung der Gütereigenschaften von Bedeutung. Das zeitlich verschiedene Auftreten der Phasenübergänge ist durch die unterschiedliche Kopplungsstärke zwischen den einzelnen Milieus und durch das zeitlich unterschiedliche Auftreten von “kritischen” Produktinnovationen bzw. Preisänderungen verursacht. Während zwischen dem Etablierten und dem Status-Orientierten Milieu einerseits und dem Postmodernen und dem Konsum-Materialistischen Milieu andererseits die Kopplung in der Form von Aspirations- oder Distinktionseffekt jeweils groß ist, ist die Kopplung zwischen diesen beiden “2-er Gruppen” nur sehr schwach. Diese schwache Kopplung ist die Bedingung für die zeitliche Nicht-Korrelation der Phasenübergänge¹⁰.

ad 3: Die beiden Produzenten 8 und 10 haben sich im Laufe der Simulation aus dem Markt “herausinnoviert” bzw. “herausgepreist”. Verstärkt wird dieser Verlust an Wettbewerbsfähigkeit durch die Existenz des Peer-Effektes innerhalb des eigenen Milieus, die den häufiger gewählten Produzenten noch weiter bevorzugen. Gelingt es den Produzenten dann nicht, in einem anderen Milieu eine Marktnische zu finden, so verschwindet ihre Absatzmöglichkeit. Damit müssen sie ihre Überkapazitäten abbauen, und die entstehenden Verluste zehren die Eigenkapitaldecke auf. Der Ausweg der Kreditfinanzierung ist bei ausbleibender Nachfrage nach den Gütern dieser Produzenten auch versperrt, da die Kreditgewährung durch die Marktattraktivität, d.h. die Produktnachfrage bestimmt ist. Langsam aber sicher steuert der Produzent dann in die Insolvenz.

8.3.1.2. Produktionskapazität der Produzenten

Als nächstes wollen wir die Produktionskapazitäten genauer betrachten und sie den Verkaufsmengen gegenüberstellen. Ziel dieser Analyse ist die Überprüfung, ob der Investitionsalgorithmus, den wir in Kapitel 7.2.3 beschrieben haben, tauglich ist. Zur Erinnerung: in der Modelldefinition haben wir insgesamt sieben Situationen unterschieden, in denen sich der Produzent je nach eigener Nachfrage- und Kapazitätssituation bzw. der Gesamtsituation für Investitionen, Deinvestitionen oder Abwarten entscheidet. Die Höhe der Investitionen bzw. Deinvestitionen bestimmt der einzelne Produzent aus dem Abstand zwischen Nachfrage und Kapazität (entweder eigene oder Gesamtmarkt) und dem in der gewählten Produzentenregel hinterlegten Investitionsverhalten. Darüberhinaus erinnern wir daran, daß die Investitionsentscheidungen der Produzenten mit der Verzögerung einer Simulationsperiode wirken. In Abschnitt 8.2.2.4 haben wir diskutiert, daß die Produzenten ein asymmetrisches Investitionsverhalten zeigen, da sie ihre sogenannten “sunk-costs” retten

¹⁰Diese Kopplung erinnert an das gekoppelte Pendel in der klassischen Mechanik, bei dem die Kopplungsstärke die zeitliche Korrelation der separaten Schwingungen bestimmt [Goldstein 1991].

wollen; sie bauen also ihre Kapazitäten z.B. in der Hoffnung auf eine schnelle Erholung der Nachfrage langsamer ab, als sie diese Kapazitäten im Falle eines Nachfragebooms aufbauen. Die beiden letzten Modelleigenschaften sind der Grund für die anhaltende Überkapazität im Gesamtmarkt, die in Abbildung 8.4 dargestellt ist.

Insgesamt zeigen die beiden Diagramme 8.8 und 8.9, daß die Produzenten sehr gut auf Veränderungen der Nachfrage reagieren können. Natürlich bestehen bei Steigerungen der Verkaufsmengen aus Modellierungsgründen Kapazitätslücken, da wie oben erwähnt die Verkäufe der Nachfrage um eine Simulationsperiode nachlaufen. In der Modelldefinition verkaufen die Produzenten erst ihre Produkte mit der aktuellen Kapazität als Obergrenze, treffen dann aufgrund der (Überschuß-/Unter-)Nachfrage ihre Investitionsentscheidungen und bestimmen damit die maximale Verkaufsmenge für die nächste Periode. Bei einem abrupten Einbruch der verkauften Menge kann der Produzent mit der Investitionsentscheidung direkt reagieren, die aber erst in der nächsten Periode wirksam ist.

8.3.2. Kapitalsituation der Produzenten

8.3.2.1. Gewinne der Produzenten

In diesem Abschnitt wollen wir den Gewinn der Produzenten genauer untersuchen. Zur Erinnerung: der Gewinn der Produzenten bestimmt sich aus dem Umsatz der Produzenten (Verkaufsmenge * Verkaufspreis) abzüglich der Produktionskosten (Produktionskapazität * Stückkosten) und der Aufwendungen für Forschung und Entwicklung (s. Kapitel 7.2.3.1). Bevor wir mit der Analyse der Mikroebene beginnen, untersuchen wir den Gewinn der Gesamtindustrie im Zeitverlauf der Simulation. In der Abbildung 8.10 können wir erkennen, daß der Gesamtgewinn mit einer deutlich größeren Amplitude schwankt als zum Beispiel die Verkaufsmenge (s. Abb.8.4). Die zweite Kurve in dem Diagramm 8.10 zeigt eine Mittelwertbildung, die über die jeweils letzten 20 Perioden vor der aktuellen Periode mittelt. Sie gibt einen Eindruck über den Durchschnittswert des Gesamtgewinns im Zeitverlauf. An dieser Kurve erkennt man, daß die Industrie zu Beginn eine Phase der Prosperität mit steigenden Gewinnen durchläuft, dann in eine Krisenphase mit sinkenden Gewinnen, in einzelnen Perioden sogar mit Verlusten gelangt, bevor gegen Ende der Simulationszeit der Gesamtgewinn wieder ansteigt.

Nach dieser Betrachtung der Makroebene untersuchen wir nun die Gewinnsituation der einzelnen Produzenten im Detail ("Mikroebene"). In den Abbildungen 8.11 und 8.12 ist die Entwicklung der Gewinne bzw. Verluste der Produzenten im Verlauf der Simulation dargestellt.

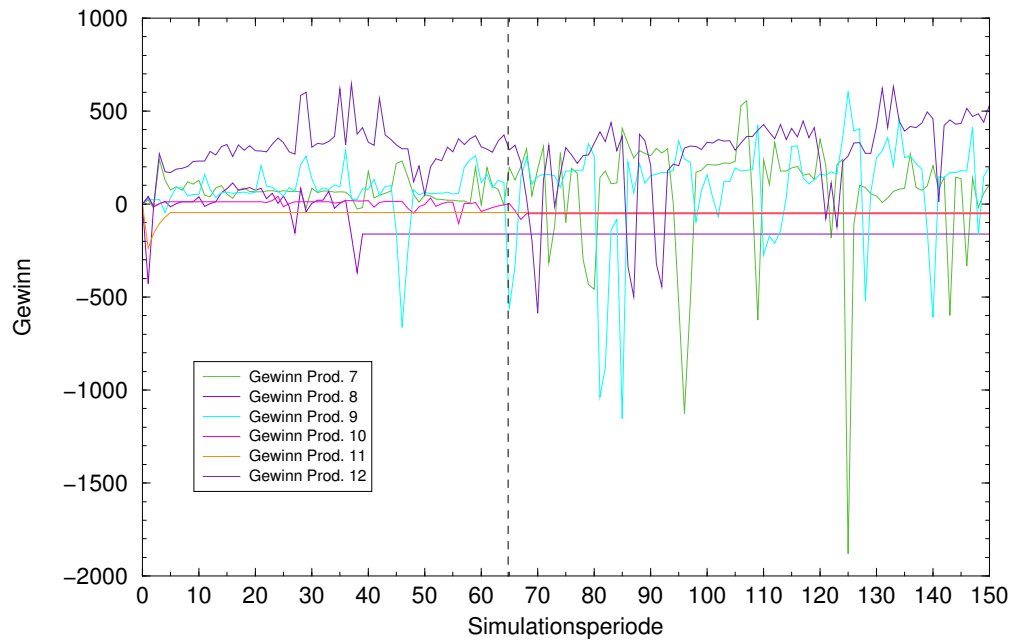


Abbildung 8.12.: Das Diagramm zeigt den Gewinn der Produzenten 7 bis 12. Quelle: eigene

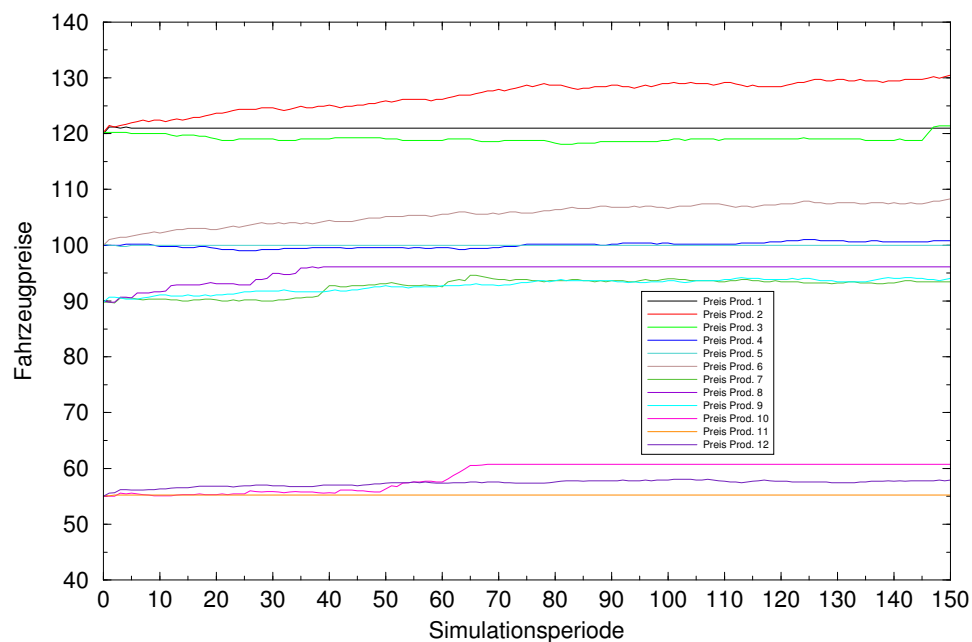


Abbildung 8.13.: Diese Abbildung zeigt die zeitliche Entwicklung der Fahrzeugpreise der Produzenten. Quelle: eigene.

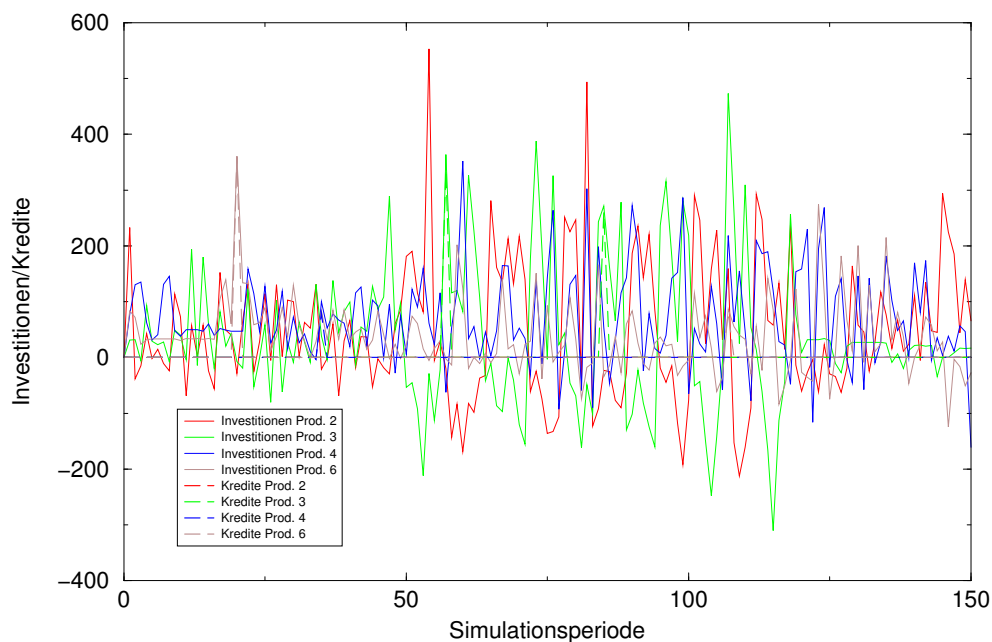


Abbildung 8.14.: Das Diagramm zeigt die Investitionen und Kreditaufnahme der Produzenten 2, 3, 4 und 6. Quelle: eigene

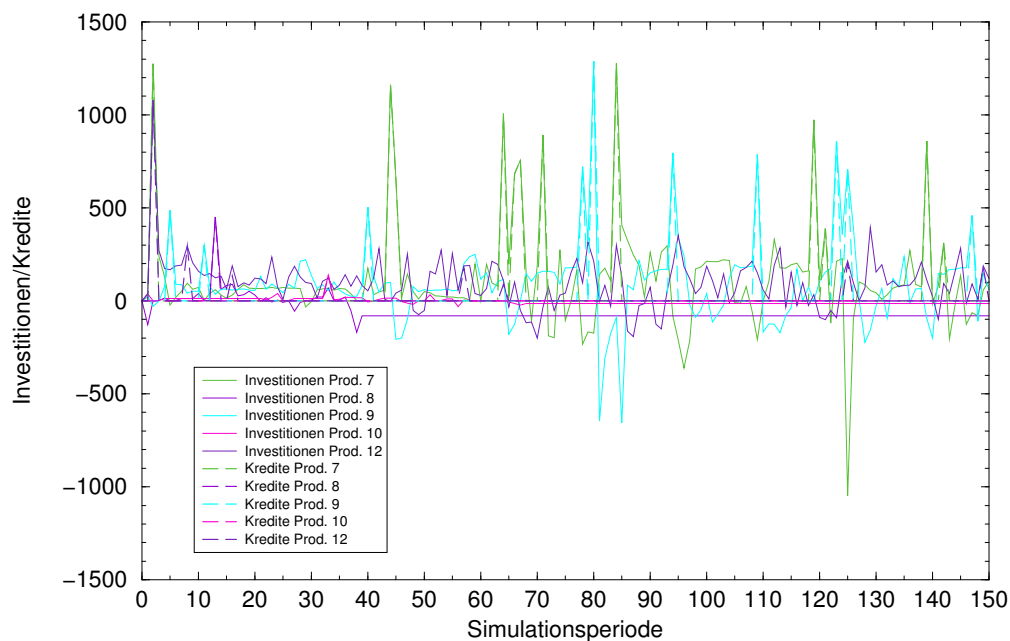


Abbildung 8.15.: Das Diagramm zeigt die Investitionen und Kreditaufnahme der Produzenten 7, 8, 9, 10 und 12. Quelle: eigene

In dem Diagramm der Abbildung 8.11 sind die Gewinne der Produzenten 1 bis 6 wiedergegeben. Wie wir schon aus der Entwicklung der Verkaufsmengen und der Produktionskapazitäten erwarten konnten, unterteilt sich auch die Entwicklung der Gewinne für diese Produzenten in drei Phasen.

In der **Phase I**, die bis zur Periode 50 andauert, können die Produzenten 2, 3, 4 und 6 durchgehend Gewinne erzielen. Diese Gewinne unterliegen zwar Schwankungen, sind aber durchgehend gegeben. Für die Produzenten 2 und 3 gibt es aber zu jeweils drei Zeitpunkten Ausnahmen von der Regel, in denen sie kurzfristig Verluste machen, die allerdings nicht so groß sind, daß sie die Kapitalsituation der beiden Produzenten nachhaltig belasten (s. Abbildung 8.16). Die Schwankungen der Gewinne überschreiten in dieser Phase nicht die Höhe von 300 Geldeinheiten. Die Produzenten 1 und 5 weisen zu Beginn große Verluste aus, die sich wieder verringern, bis sie aus dem Markt ausscheiden. Die Verluste begründen sich in den Produktionskosten, die beide Produzenten für die von ihnen vorgehaltene Kapazität aufwenden, denen aber keine Einnahmen gegenüberstehen. Die Kapazitäten und damit die Kapazitätskosten dieser Produzenten verringern sich dann aber zügig aufgrund der erzwungenen Kapazitätsverringern durch Deinvestitionen.

In der **Phase II** von Periode 50 bis 125 unterliegen die Gewinne der Produzenten dann allerdings auf kurzer Zeitskala großen Schwankungen, die fast um eine ganze Größenordnung die Amplitude der Schwankungen in der **Phase I** übertreffen. Dieses großen Schwankungen im Gewinn treffen insbesondere die beiden Produzenten 2 und 3, deren Verkaufsmengen in dieser Phase zyklischen Schwankungen ausgesetzt sind, die auch bei den Gewinnen wiederzuerkennen sind. Auch für die Produzenten 4 und 6 wird die Gewinnsituation in dieser zweiten Phase instabiler, sie erleiden in einigen Perioden abrupte Gewinneinbrüche. Vergleicht man die Entwicklung der Gewinne mit der der Verkaufsmengen (s. Abbildung 8.5) bei den Produzenten 2 und 3, so erkennt man, daß die Schwankungen phasengleich sind.

Die **Phase III** ab Periode 125 bringt das Ende der großen Schwankungen in den Gewinnen der Produzenten 2 und 3 mit sich, die Gewinnsituation stabilisiert sich wieder für die Produzenten. Allerdings können die Wettbewerber bis auf den Produzenten 2 nicht mehr das Gewinnniveau der **Phase I** erreichen. Für den Produzenten 2 hingegen verbessert sich die Gewinnsituation in dieser dritten Phase.

Betrachtet man in der Abbildung 8.12 die Entwicklung der Gewinne der Produzenten 7 bis 12, so kann man wie bei den Verkaufsmengen dieser Produzenten drei Phasen unterscheiden. Auf den ersten Blick fällt darüberhinaus auf, daß die Gewinnschwankungen für diese Produzenten und insbesondere die Verluste deutlich größer sind als bei den Produzenten 1 bis 6.

In der **Phase I** bis Periode 45 können alle Produzenten bis auf den Produzenten 8 stabile

Gewinne erzielen (der Produzent 11 kann zu keiner Phase in den Markt eintreten und scheidet nach Anfangsverlusten aus). Gegen Ende dieser Phase scheidet der Produzent 8 dann mit Verlusten aus dem Markt aus¹¹.

Die **Phase II** wird mit einem abrupten Gewinneinbruch für den Produzenten 9 eingeleitet, begleitet von einem Gewinnrückgang für den bis dahin sehr erfolgreichen Produzenten 12. Bis zur Periode 65 können die Produzenten ihre Gewinnsituation aber wieder stabilisieren.

Die **Phase III** wird von einem abrupten Verlust des Produzenten 9 eingeleitet, dem dann ein ebenso großer Verlust des Produzenten 12 folgt. Diese Marktphase ist von großen und abrupt auftretenden Schwankungen der Gewinne aller drei verbliebenen Produzenten gekennzeichnet, die immer wieder auch große Verluste erleiden müssen. Die Gewinnsituation ist in dieser Phase weitaus instabiler als in den beiden vorhergehenden Phasen, in denen die Produzenten stetige Gewinne verzeichnen konnten. Im Vergleich mit der Abbildung 8.6 erkennt man, daß die Schwankungen in den Gewinnen für den einzelnen Produzenten phasengleich mit den Schwankungen in den Verkaufsmengen sind.

Die Schwankungen der Gewinne der Produzenten werden sowohl von den Verkaufsmengen als auch von der Produktionskapazität der Produzenten bestimmt. Da die Kapazitätsanpassung der Produzenten mit einer Periode Verzögerung wirkt, erzeugen Überkapazitäten aufgrund der aufgewendeten Produktions- und F&E-Kosten bei mangelnder Nachfrage sofort Verluste. Dieses Verhalten kann man in den beiden Abbildungen 8.11 und 8.12 gut erkennen. Es kommt zu teilweise sehr hohen Verlusten. In Phasen, in denen die Produktnachfrage und damit die Verkaufsmengen stabiler sind, treten geringere Überkapazitäten auf, die Verluste sind geringer. In Phasen großer Schwankungen sind die Gewinne unter Umständen größer, aber auch die möglichen Verluste.

8.3.2.2. Fahrzeugpreise

In der Abbildung 8.13 ist die Entwicklung der Fahrzeugpreise dargestellt. Es fällt auf, daß für die Produzenten 1 - 3 und 4 - 6 eine Preisdifferenzierung zu beobachten ist, während die anderen Produzenten in einem Preiswettbewerb stehen. Der Produzent 2 verfolgt eine Preissteigerungsstrategie, während der Produzent 3 als sein direkter Konkurrent, eine Preissenkungsstrategie verfolgt. Der Produzent 1 (schwarze Linie) scheidet gleich zu Beginn der Simulation aus dem Markt aus¹².

¹¹Bei Marktaustritt haben wir aus technischen Gründen den jeweiligen Produzenten nur inaktiviert, sein Zustand wurde im Modell eingefroren. Für die Auswertung mußten wir den Produzenten aber weiter in den Dateien mitführen. Das führt in den Diagrammen zu diesen "ungewöhnlichen" Geraden für die inaktiven Produzenten.

¹²Aus technischen Gründen wird der Preis in dieser Simulation für inaktive Produzenten eingefroren.

Ein ähnliches Bild bietet sich bei den Produzenten 4 - 6. Der Produzent 4 hält den Preis seines Produktes mit einigen kleineren Schwankungen konstant. Sein direkter Konkurrent in diesem Marktsegment, der Produzent 6, verfolgt eine Preissteigerungsstrategie über den Verlauf der Simulation. In beiden Marktsegmenten existiert am Ende der Simulation eine Preisdifferenzierung zwischen den Produkten in Höhe von 10% der Kaufpreises.

Die Produzenten 7 und 9 führen über den gesamten Verlauf der Simulation einen Preiswettbewerb, in dem abwechselnd die Produzenten versuchen, höhere Preise durchzusetzen. Im Gesamtverlauf erhöht sich der Preis der beiden Konkurrenten leicht auf 93,5 Geldeinheiten. Der Produzent 8 hingegen versucht von Beginn an einen höheren Preis durchzusetzen, er scheidet dann aber nach Periode 40 aus dem Markt aus.

Im letzten Marktsegment dominiert der Produzent 12 (s.auch Abbildung 8.44). Dieser Produzent kann gleich zu Beginn einen erhöhten Preis bei den Konsumenten durchsetzen, den er über den gesamten Verlauf der Simulation nahezu konstant hält. Sein direkter Wettbewerber Produzent 10 unterbietet zu Beginn den Preis, kurz vor dem eigenen Marktaustritt versucht dieser Produzent dann noch einen höheren Preis durchzusetzen.

Warum kommt es zu diesen unterschiedlichen Preisstrategien der Produzenten? Im Post-modernen Milieu existiert als einzigem Milieu ein Snob-Effekt innerhalb des Milieus. Im Gegensatz zum Peer-Effekt, der einen durch die Produkteigenschaften verursachten Wettbewerbsvorteil noch verstärkt, destabilisiert der Snob-Effekt aufgrund der negativen Rückkopplung zwischen Wahl der anderen Konsumenten und der eigenen Wahl, die um eine Periode verzögert ist (s. Kapitel 7.4), die Konfiguration im Raum der Wahlmöglichkeiten. Ist der Snob-Effekt groß genug, so zwingt diese negative Rückkopplung die Produzenten dann in eine Art Preiswettbewerb. Der Peer-Effekt hingegen verstärkt die temporäre Monopolbildung durch Innovationen aufgrund seiner positiven Rückkopplung, die Produzenten werden nicht so sehr in einen Preiswettbewerb gezwungen.

8.3.2.3. Investitionen und Kredite

Die Produzenten können ihre Investitionen entweder aus dem aktuellen Gewinn der Periode oder aus ihren Rücklagen bestreiten. Die beiden Varianten bilden in dem Modell die sogenannten eigenfinanzierten Investitionen (s. Kapitel 7.2.3). Im Gegensatz dazu erlaubt das Modell den Produzenten auch eine Fremdfinanzierung ihrer Investitionen, indem sie Kredite aufnehmen. Die Kreditgewährung basiert auf einer Lotterie, deren Erfolgswahrscheinlichkeit von der Wettbewerbsfähigkeit des Produzenten, die wir durch die Höhe des Nachfrageüberschusses beschreiben, abhängig ist. Dieser Nachfrageüberschuß legt dann auch die Höhe des Kredites fest.

Vergleicht man die Investitionen der Produzenten 2, 3, 4 und 6 mit deren Kreditaufnahme (s. Abbildung 8.14), so erkennt man, daß diese Produzenten fast das gesamte Investitionsvolumen aus den Gewinnen und den Kapitalrücklagen finanzieren. Nur in fünf Simulationsperioden nehmen diese Produzenten Kredite auf, um größere geplante Investitionen zu finanzieren.

Diese Situation unterscheidet sich von der Kreditaufnahme der Produzenten 7, 8, 9, 10 und 12, die in viel größerem Maße kreditfinanzierte Investitionen durchführen (s. Abbildung 8.15). Die beiden Produzenten 7 und 9 finanzieren alle ihre großen Investitionen über Kredite und nicht aus Gewinnen oder Rücklagen. Der Produzent 12 hingegen kann seine Investitionen, nachdem er seine Expansion zu Beginn der Simulation auf Kreditbasis finanziert hat, mit der Ausnahme von 4 Perioden aus eigenen Mitteln finanzieren.

Wie wir aus der Analyse der Verkaufsmengen vermuten konnten, unterliegt gerade das Investitionsverhalten der Produzenten den Schwankungen in der Konsumentennachfrage, die wir in der Verkaufsmenge wiedergespiegelt sehen (s. Abb. 8.5 und 8.6). Bei den Investitionen treten wieder die unterschiedlichen Phasen in der zeitlichen Dynamik auf, die wir oben schon diskutiert haben und die in der sich dynamisch verändernden Wettbewerbsfähigkeit der Produzenten begründet liegt.

8.3.2.4. Kapitalrücklagen der Produzenten

Zum Abschluß dieses Abschnittes wollen wir noch die Kapitalrücklagen der Produzenten betrachten. Wie in der Modellbeschreibung dargestellt (s. Kapitel 7.2.1.4), können die Produzenten aus nicht verbrauchten Gewinnen Rücklagen bilden. Nehmen sie hingegen Kredite auf, so gehen diese negativ in die Kapitalrücklagen ein. Ein negativer Saldo der Rücklagen zeigt in unserem Modell eine Verschuldung des Produzenten an. Die Produzenten treten mit diesen Rücklagen nicht als Anbieter von Krediten auf, die oben beschriebenen Kredite werden exogen bereitgestellt¹³.

In der Abbildung 8.16 ist die zeitliche Entwicklung der Kapitalrücklagen der Produzenten dargestellt. Auf den ersten Blick fällt eine Aufteilung in vier unterschiedliche Typologien auf:

1. Die Produzenten 2 und 12 können im Verlauf der Simulation ihre Kapitalrücklagen immer weiter ausbauen. Während der Produzent 2 von Beginn an Rücklagen bildet, muß sich der Produzent 12 bei seiner kreditfinanzierten Expansion zu Beginn erst

¹³Die Endogenisierung eines geschlossenen Kreditkreislaufes haben wir in dieser Arbeit ausgeschlossen; dieses Thema bietet aber weitere Untersuchungsmöglichkeiten für Anschlußarbeiten.

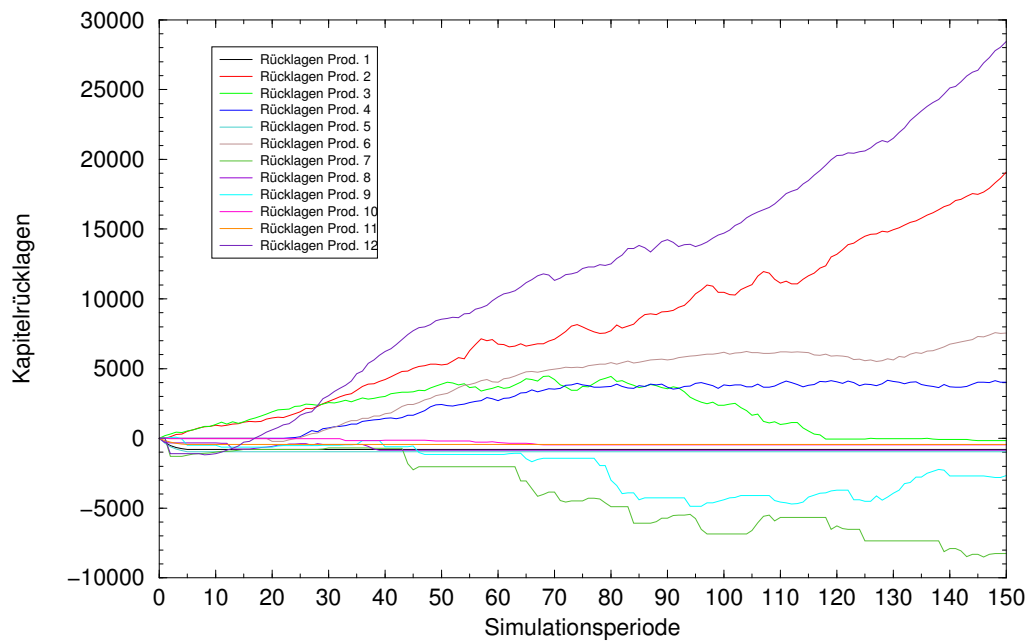


Abbildung 8.16.: Das Diagramm zeigt die Kapitalrücklagen der Produzenten. Quelle: eigene.

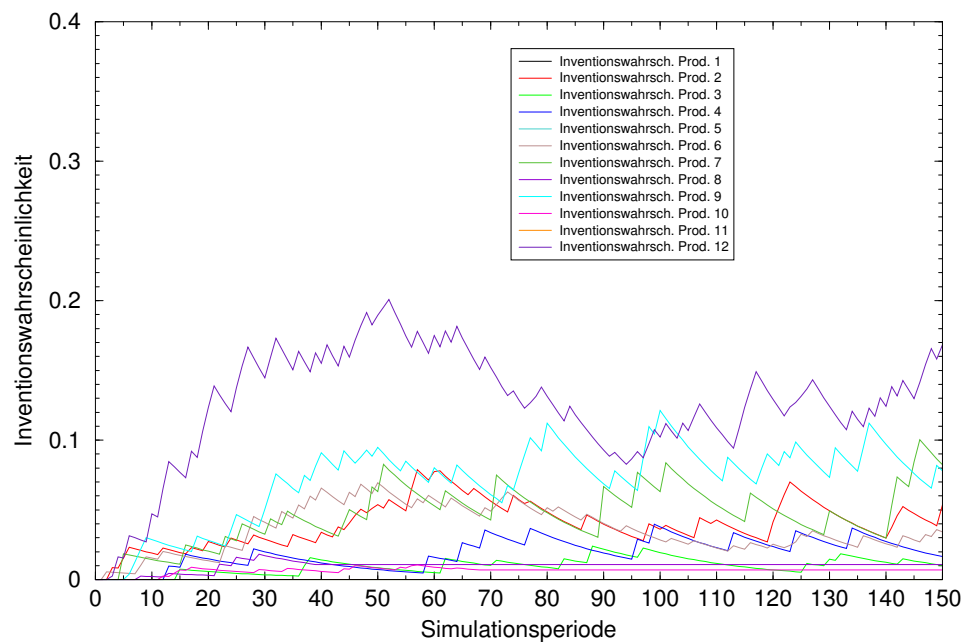


Abbildung 8.17.: Dieses Diagramm zeigt die zeitliche Entwicklung der Erfolgswahrscheinlichkeit von Inventionen bei der Fahrzeugleistung. Quelle: eigene.

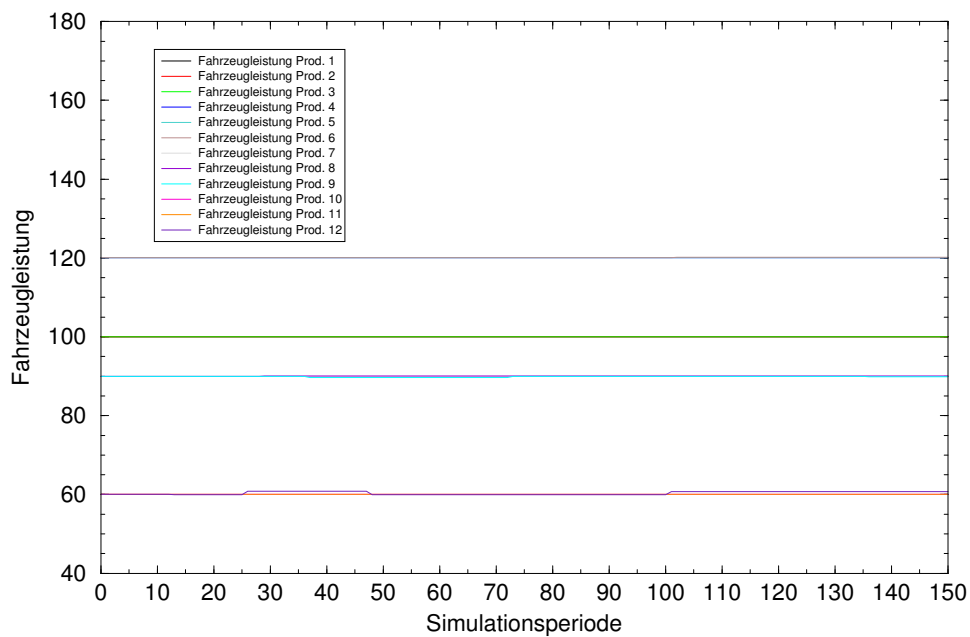


Abbildung 8.18.: Dieses Diagramm zeigt die zeitliche Entwicklung der Fahrzeugleistung der einzelnen Hersteller. Quelle: eigene.

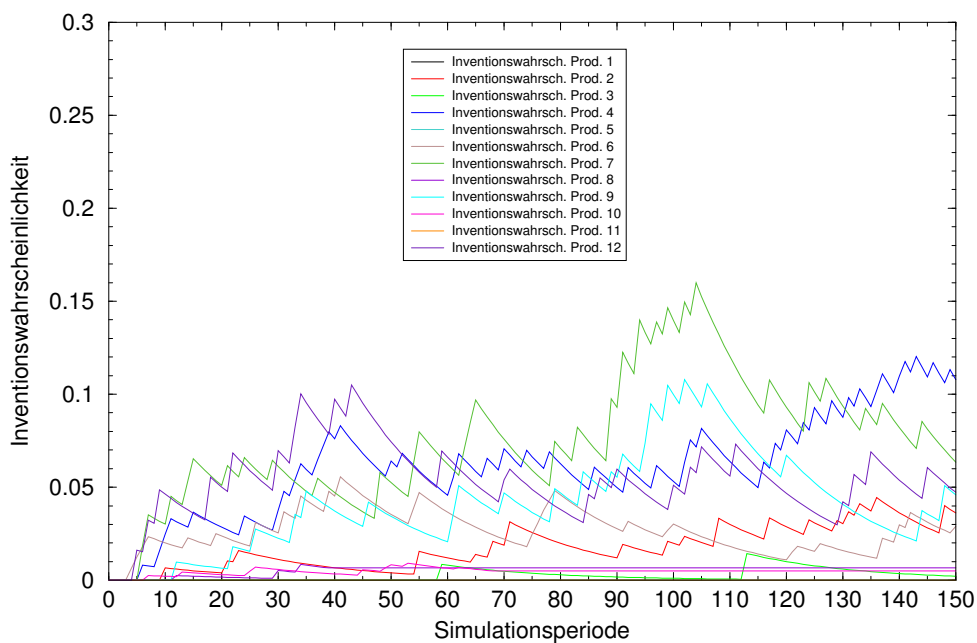


Abbildung 8.19.: Dieses Diagramm zeigt die zeitliche Entwicklung der Erfolgswahrscheinlichkeit von Innovationen beim Fahrzeugdesign. Quelle: eigene.

einmal verschulden. Ab der Periode 20 arbeitet dieser Produzent aber so profitabel, daß er seine Schulden abbauen und Kapitalrücklagen bilden kann¹⁴.

2. Den zweiten Typus stellen die Produzenten 4 und 6, die zu Beginn Kapitalrücklagen kontinuierlich aufbauen, diese aber in der zweiten Hälfte der Simulation konstant halten (gegen Ende der Simulation erhöht der Produzent 6 allerdings seine Rücklagen weiter).
3. Den dritten Typus zeigen die beiden Produzenten 7 und 9. Wie wir schon in der Abbildung 8.15 erkennen konnten, finanzieren diese Produzenten ihre großen Investitionsmaßnahmen mit Hilfe von Krediten. Dieses Verhalten spiegelt sich für die beiden Produzenten auch im Saldo der Kapitalrücklagen wieder. Beide Produzenten begeben sich ab der Periode 45, von der an sie großen Schwankungen in der Produktnachfrage unterliegen, in die anhaltende Verschuldung; sie gründen ihr Geschäft folglich auf "Pump".
4. Während die drei bereits erwähnten Typen in der Simulation jeweils zwei Vertreter aufgewiesen haben, steht der Produzent 3 in seinem Verhalten alleine da. Zu Beginn der Simulation kann dieser Produzent wie sein direkter Konkurrent Produzent 2 schnell Kapitalrücklagen bilden. Im weiteren Verlauf aber, der ja durch zyklische Schwankungen in der Nachfrage und in den Investitionen für diese Produzenten gekennzeichnet ist, muß der Produzent 3 im Gegensatz zum Produzenten 2 auf seine Kapitalrücklagen zurückgreifen, bis er sie aufgebraucht hat. Der Grund für diese Entwicklung liegt in dem niedrigen, zeitweilig negativen Deckungsbeitrag dieses Produzenten. Während der Produzent 2 kontinuierlich seine Stückkosten senkt und gleichzeitig den Produktpreis erhöht, verfolgt der Produzent 3 genau die gegenteilige Strategie, die allerdings seinen Deckungsbeitrag und damit im Laufe der Zeit seine Rücklagen beeinträchtigt.

8.3.3. Forschungsleistungen der Produzenten

In diesem Abschnitt wollen wir das Innovationsverhalten der Produzenten im Basisszenario genauer untersuchen. Wir beginnen mit den Produktinnovationen für die drei Produkteigenschaften. Wir betrachten jeweils den Aufbau des Wissenskapitals und die eigentliche Innovationsleistung der Produzenten zur Änderung der Produkteigenschaften. Anschließend wollen wir die Prozeßinnovationen, die zur Senkung der Stückkosten führen, genauer betrachten.

¹⁴Ein Beispiel für solch einen Produzententyp in der realen Wirtschaft ist die Firma Microsoft Inc., Seattle, von der berichtet wird, daß sie mittlerweile über 50 Mrd. US\$ an Rücklagen gebildet hat [Handelsblatt 2002b].

8.3.3.1. Produktinnovationen

Im Rahmen der Modellbeschreibung in Kapitel 7 haben wir herausgestellt, daß sich in diesem Modell die Produktinnovationen aus drei Schritten zusammensetzen. Wichtig für die weitere Diskussion dieser drei Schritte ist die Unterscheidung zwischen Invention im engeren Sinne und der Innovation, dem eigentlichen Marktauftritt des neuen Produktes. Wie wir oben beschrieben haben, müssen Inventionen im Kontext einer Firma oder eines großen Konzerns nicht immer zu Innovationen werden, vielmehr tritt häufig der Fall ein, daß diese Inventionen, die durch einen oder mehrere Mitarbeiter gemacht werden, nicht bis zur Marktreife weiterentwickelt werden¹⁵.

1. Die Produzenten müssen Wissenskapital aufbauen. Dieses kann z.B. in dem Aufbau oder der Erweiterung einer entsprechenden Forschungs- oder Entwicklungsabteilung für die Verminderung des Benzinverbrauchs bestehen. Wir haben in diesem Modell angenommen, daß die Erfolgswahrscheinlichkeit der Inventionslotterie von der Höhe der Wissenskaptals des einzelnen Produzenten hinsichtlich der Produkteigenschaft proportional abhängig ist.
2. Im zweiten Schritt wird die Tragweite, der Abstand zwischen der alten und der neuen Eigenschaftsausprägung dieser Invention bestimmt. Wir haben die Annahme getroffen, daß dieser Abstand von dem Wissenskapital abhängt. Wie weiter oben in Kapitel 5 bereits dargestellt wurde, ist in einer großen Forschungsabteilung die Wahrscheinlichkeit einer gravierenderen Entdeckung größer als in einem 1-Mann Betrieb.
3. Die Umsetzung der Invention in eine Produktinnovation, die am Markt angeboten wird, wird von strategischen Überlegungen gesteuert. Neben der eigentlichen Entwicklungsleistung müssen je nach Produkt die Vertriebsstrukturen oder das Produktmarketing umgestellt werden. Diesen Aspekt haben wir mit Hilfe der Verhaltensregeln der Produzenten einbezogen. Es kann in unserem Modell also der Fall eintreten, daß zwar eine Invention stattfindet, diese aber nicht in das augenblickliche strategische Konzept paßt und somit nicht auf den Markt gebracht wird.

Während die beiden ersten Schritte auf der individuellen Ebene des einzelnen Mitarbeiters oder der einzelnen Forschungsabteilung stattfinden, ist der dritte ganz eng mit der strategischen Ausrichtung des Unternehmens verbunden. Im weiteren Verlauf dieser Diskussion wollen neben der eigentlichen Änderung der angebotenen Produkteigenschaften (Produktinnovationen) auch untersuchen, inwieweit Inventionen von den einzelnen Herstellern in ebensolche Innovationen umgesetzt werden.

¹⁵Wir haben in diesem Modell nur inkrementelle Innovationen schon bestehender Produkteigenschaften berücksichtigt. Die Entdeckung völlig neuer Produkteigenschaften haben wir ausgeschlossen.

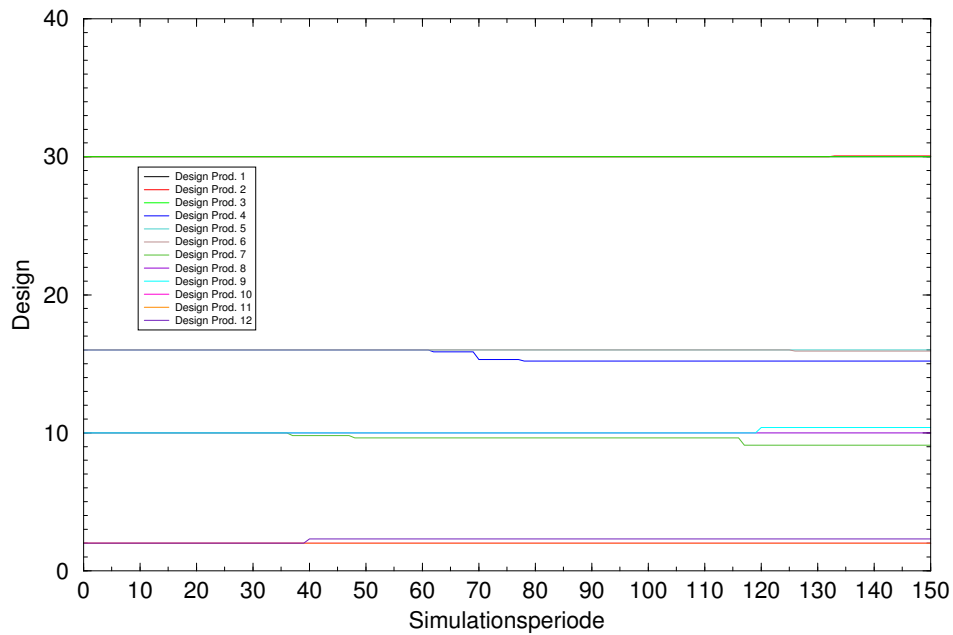


Abbildung 8.20.: Dieses Diagramm zeigt die zeitliche Entwicklung des Fahrzeugdesigns der einzelnen Hersteller. Quelle: eigene.

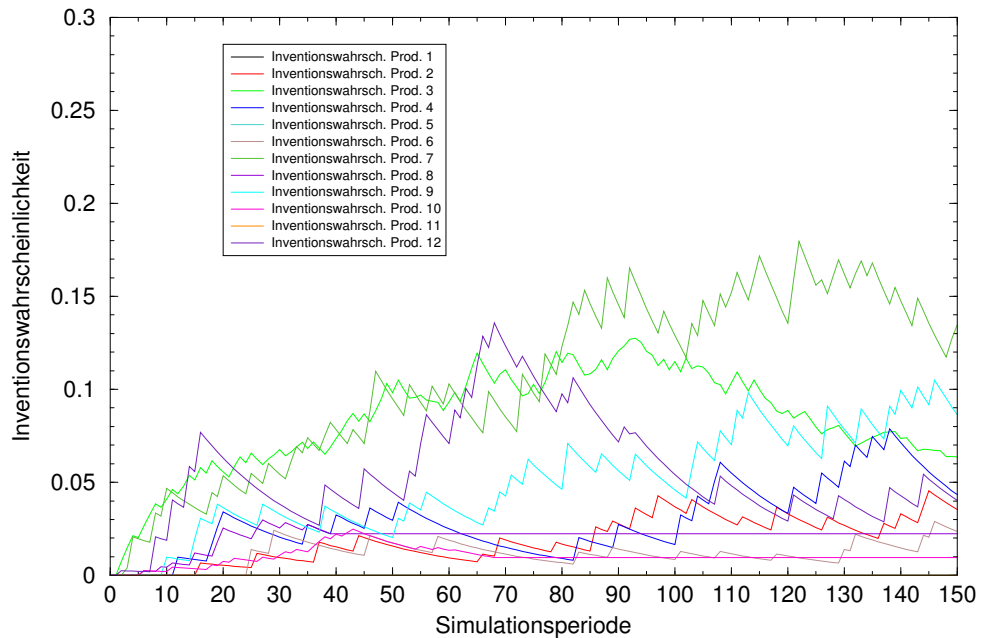


Abbildung 8.21.: Dieses Diagramm zeigt die zeitliche Entwicklung der Erfolgswahrscheinlichkeit von Erfindungen beim Kraftstoffverbrauch der verschiedenen Fahrzeuge. Quelle: eigene.

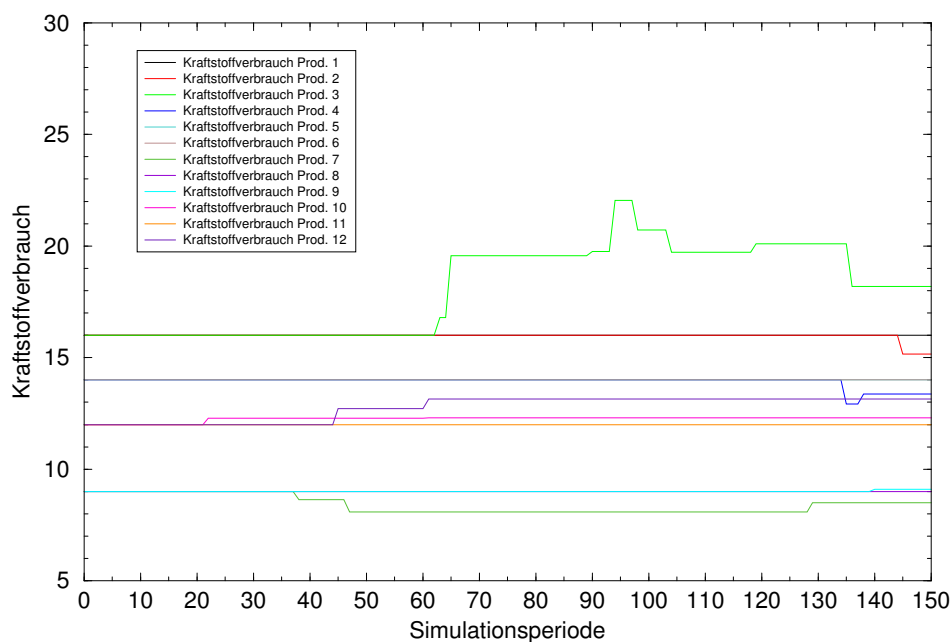


Abbildung 8.22.: Dieses Diagramm zeigt die zeitliche Entwicklung des Kraftstoffverbrauchs der einzelnen Hersteller. Quelle: eigene.

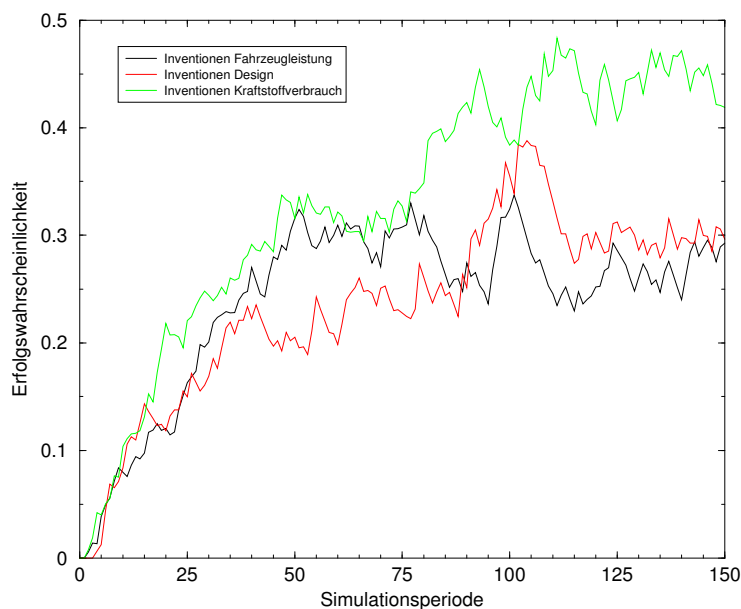


Abbildung 8.23.: Dieses Diagramm zeigt den Vergleich der zeitlichen Entwicklung der Erfolgswahrscheinlichkeit von Inventionen für die drei Produkteigenschaften. Quelle: eigene.

8.3.3.1.1. Fahrzeugleistung In der Abbildung 8.17 ist die Erfolgswahrscheinlichkeit für Inventionen in Bezug auf die Gütereigenschaft Fahrzeugleistung dargestellt. Dem Diagramm kann man entnehmen, daß insbesondere die Produzenten 9 und 12 in ihr Wissenskapital zur Weiterentwicklung der Fahrzeugleistung investieren. Die Erfolgswahrscheinlichkeit dieser Produzenten für eine Invention ist höher als bei den anderen Produzenten.

Die Umsetzung des Wissenskapitals in Innovationen zur Fahrzeugleistung funktioniert aber so gut wie gar nicht. Betrachtet man die Abbildung 8.18, so erkennt man, daß nur die beiden oben genannten Produzenten die Fahrzeugleistung ändern, wobei diese Änderungen jedoch ganz gering ausfallen. Alle anderen Produzenten verändern die Fahrzeugleistung trotz nicht-verschwindender Wahrscheinlichkeit der Inventionen überhaupt nicht. Ganz offensichtlich setzen die Produzenten (aus strategischen Gründen) ihre Inventionen nicht in Innovationen, die sie am Markt anbieten, um.

8.3.3.1.2. Fahrzeugdesign In der Abbildung 8.19 ist die Erfolgswahrscheinlichkeit für Inventionen in Bezug auf die Gütereigenschaft Fahrzeugdesign dargestellt. Im Vergleich zur Inventionswahrscheinlichkeit bei der Fahrzeugleistung fällt auf, daß das Niveau insgesamt etwas niedriger ist.

Die Umsetzung dieses niedrigeren Wissenskapitals in Innovationen hingegen gelingt einigen Produzenten aber effizienter. Betrachtet man die Abbildung 8.20, so erkennt man, daß geringfügig mehr Innovationen in Bezug auf das Design durchgesetzt werden als hinsichtlich der Fahrzeugleistung. Die Eigenschaft Design scheint aus strategischer Sicht der Produzenten in diesem Marktumfeld eine geringfügig höhere Bedeutung zu besitzen.

8.3.3.1.3. Kraftstoffverbrauch Die Untersuchung der Produktinnovationen wollen wir mit der Analyse der zeitlichen Entwicklung des Kraftstoffverbrauchs im Basisszenario abschließen. Beginnen wir wiederum mit der Erfolgswahrscheinlichkeit für die Inventionen, dieses Mal in Bezug auf den Kraftstoffverbrauch. In diesem Diagramm fällt auf, daß der Produzent 7 insgesamt das höchste Niveau der Erfolgswahrscheinlichkeit erreicht, der Produzent 3 hingegen am kontinuierlichsten in den Aufbau und den Erhalt seines Wissenskapitals investiert, was man an den geringen Amplituden der Schwankungen der Wahrscheinlichkeit erkennt.

Die Umsetzung der Inventionen der Forschungs- und Entwicklungsabteilung der Unternehmen in Produktinnovationen gelingt bei dieser Produkteigenschaft den Herstellern 3, 7 und 12 deutlich besser als bei den anderen Produkteigenschaften. Offensichtlich wird dem Kraftstoffverbrauch (indirekt über die Kapitalrendite vermittelt) aus strategischer Sicht

deutlich mehr Beachtung geschenkt und die Umsetzung der Inventionen gelingt diesen Unternehmen besser. Insbesondere der Produzent 3 fällt durch eine rege Innovationstätigkeit in Bezug auf den Kraftstoffverbrauch auf, allerdings scheint sich für diesen Hersteller die Erhöhung des Verbrauches positiv auf seine Kapitalrendite auszuwirken. Diese Beobachtung sollte sich auch bei der Untersuchung der Produzentenstrategien wiederfinden (s. Abbildung 8.26, 8.27).

Abschließen wollen wir diese Betrachtung mit einem Vergleich der Erfolgswahrscheinlichkeit für Inventionen bei den drei Produkteigenschaften jeweils summiert über die gesamte Industrie. An diesem Diagramm kann man erkennen, ob eine bestimmte Eigenschaft höhere Forschungs- und Entwicklungskapazitäten akkumulieren kann. In der Abbildung 8.23 kann man erkennen, daß die gesamte Industrie kontinuierlich in ihr Wissenskapital investiert. Auffällig ist die Tatsache, daß in die Forschungs- und Entwicklungskapazitäten für den Benzinverbrauch in der Gesamtindustrie deutlich mehr investiert wird als für die beiden anderen Eigenschaften. Dieses Verhalten zeigt wenigstens zum Teil, daß seitens der Produzenten gezielt am Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge “gearbeitet” wird.

8.3.3.2. Prozeßinnovationen

Oben haben wir diskutiert, daß die “Mechanik” von Prozeßinnovationen anders gelagert ist als die von Produktinnovationen. Während Produktinnovationen letztendlich über den Markt an den Käufer und damit über die Unternehmensgrenze hinweg transportiert werden, sind Prozeßinnovationen nach innen gerichtet¹⁶. Häufig sind Prozeßinnovationen Veränderungen im Detail, d.h. nur wenige oder sogar nur die einzelne Subeinheit ist von dieser Invention betroffen. Folglich muß eine Prozeßinvention nicht mit der Firmenstrategie in Übereinstimmung gebracht werden, sie kann effizienter und direkter umgesetzt werden und sich als Prozeßinnovation manifestieren.

Betrachten wir nun in Abbildung 8.24 die Akkumulation von Wissenskapital für die Prozeßinnovationen in diesem Basisszenario. In der Abbildung erkennt man, daß der Produzent 12 deutlich mehr in dieses Wissenskapital investiert¹⁷. Die anderen Produzenten investieren nicht so umfangreich in die Prozeßinnovationen.

Betrachten wir nun die Veränderungen der Stückkosten (s. Abb. 8.25), so können wir erkennen, daß die dezentrale Umsetzung der Inventionen zu einer regen Innovationstätigkeit

¹⁶In einem Netzwerk von Produzenten und ihren Zulieferern stellen die Produktinnovationen des Zulieferers für den Produzenten Prozeßinnovationen dar [Gerybadze 1982]. Diesen komplizierten Fall unternehmensübergreifender Prozesse schließen wir in dieser Arbeit allerdings aus, wir beschränken uns auf Prozeßinnovationen, die durch unternehmensinterne Verbesserungen der Abläufe erreicht werden.

¹⁷Wie oben (s. Kapitel 7) schon beschrieben, können diese Investitionen zum Beispiel in Form von Qualitätszirkeln, Umstellung auf Teamarbeit in Fertigungsinseln o.ä. geschehen.

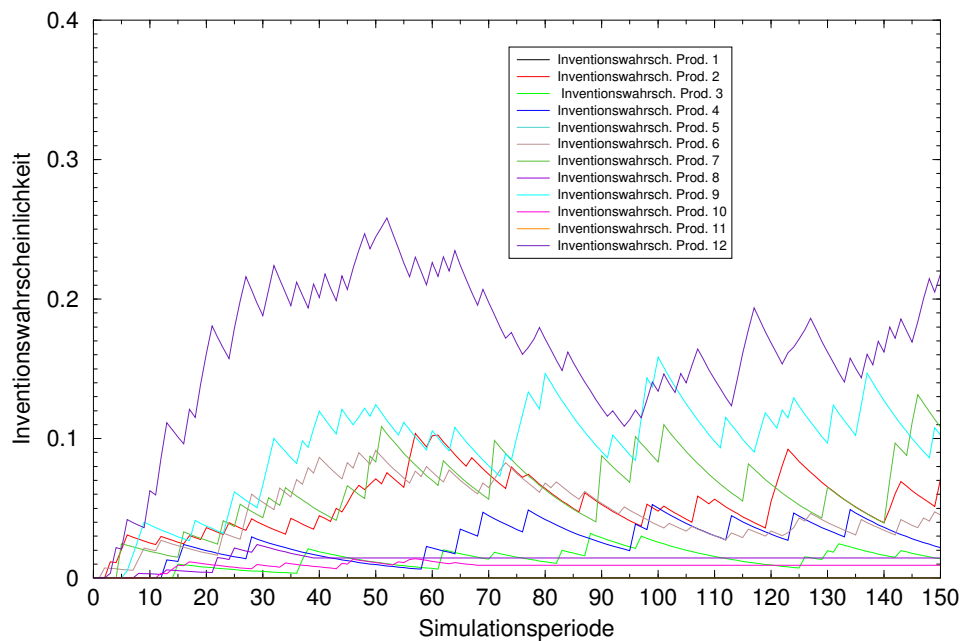


Abbildung 8.24.: Dieses Diagramm zeigt die Erfolgswahrscheinlichkeit für Prozeßinnovationen bei den einzelnen Produzenten. Quelle: eigene.

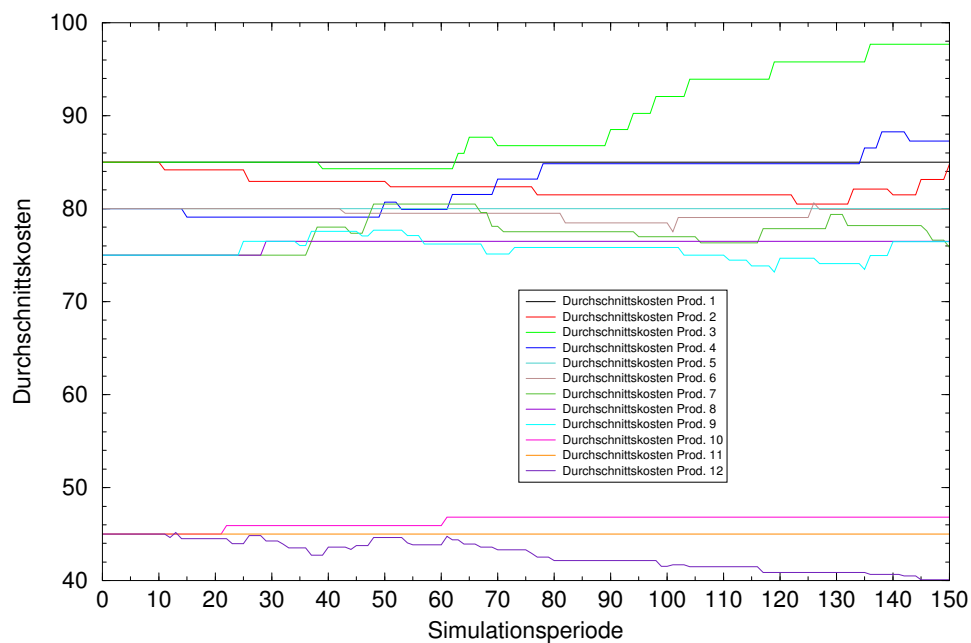


Abbildung 8.25.: Dieses Diagramm stellt die Stückkosten der Hersteller im Verlauf der Simulation dar. Quelle eigene.

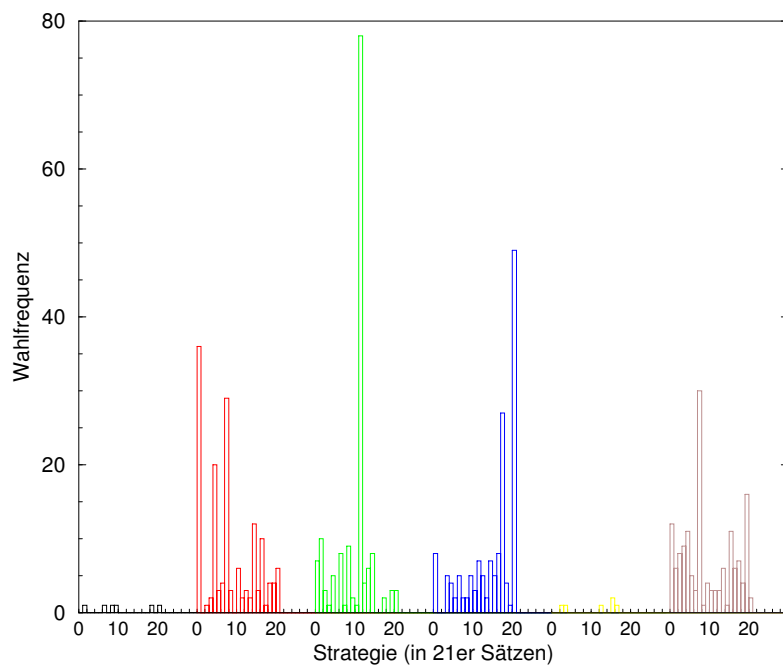


Abbildung 8.26.: Diese Abbildung zeigt die Häufigkeitsverteilung der Strategiewahl der Produzenten 1 bis 6. Quelle: eigene

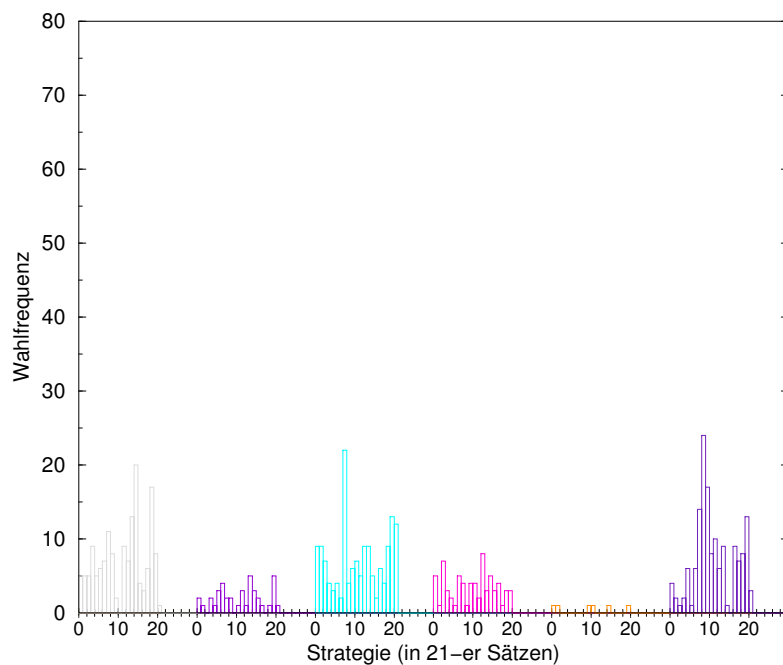


Abbildung 8.27.: Diese Abbildung zeigt die Häufigkeitsverteilung der Strategiewahl der Produzenten 7 bis 12. Quelle: eigene

im Hinblick auf diese Produktionskosten führt. Insbesondere der schon erwähnte Produzent 12 kann seine Stückkosten kontinuierlich senken. Allerdings fällt auf, daß sich bei einigen Produzenten auch diese Kosten erhöhen. Zur Erinnerung: wir haben bei der Modellbeschreibung (s. Kapitel 7) die Annahme getroffen, daß Produktinnovationen auch immer eine Veränderung bzw. Verschlechterung des Produktionsprozesses in der Form von Umstellungsanpassungen mit sich bringen. In dieser Simulation haben wir angenommen, daß sich eine Produktinnovation in einer 2%-igen Erhöhung der Stückkosten niederschlägt. Produzenten, die nun wie der Produzent 3 (s. Abschnitt 8.3.3.1.3) häufiger die Eigenschaften ihres Produktes verändern, werden sich mit Erhöhungen ihrer Produktionskosten konfrontiert sehen. Dieser Produzent kann nicht durch Prozeßinnovationen die Steigerungen seiner Stückkosten auffangen.

8.3.4. Produzentenstrategien

Bei der Modellbeschreibung in Kapitel 7 haben wir herausgestellt, daß die Wahl der Produzentenstrategie auf einer einfachen Replikatordynamik beruht. Der Produzent greift dabei auf eine feste Population von Verhaltensregeln zurück. Je erfolgreicher eine Verhaltensregeln der Population ist, desto häufiger wird sie ausgewählt. Das Maß für den Erfolg eine Verhaltensregel ist durch die Auszahlungsfunktion bestimmt (s. Gleichung 7.62). In dem hier vorgestellten Modell vergleicht der Produzent seine eigene Kapitalrendite mit der des Gesamtmarktes.

Bei der Diskussion der Produktinnovationen in Abschnitt 8.3.3.1 haben wir herausgearbeitet, daß für diese Innovationen die Produzentenregeln bestimmen, inwieweit die Inventionen in Innovationen umgesetzt werden. Dabei haben wir festgestellt, daß sich zwischen den einzelnen Gütereigenschaften bei gleicher Höhe des Wissenskapitals und damit der Inventionswahrscheinlichkeit Unterschiede in der Umsetzung dieser Inventionen in Innovationen gezeigt haben. Diese Unterschiede sollten in der Strategiewahl deutlich werden.

Die Strategiewahl ist über die Auszahlungsfunktion an den Erfolg des Unternehmens gekoppelt. Der Erfolg des jeweiligen Herstellers ist aber durch das individuelle Marktumfeld des Unternehmens mitbestimmt. Die Häufigkeitsverteilung der Strategiewahl und der zeitliche Verlauf dieser Wahl spiegelt folglich indirekt die Marktsituation des Unternehmens wider.

In den beiden Abbildungen 8.26 und 8.27 ist die Häufigkeitsverteilung der Strategiewahl der Unternehmen in der Form eines Histogramms dargestellt. Wir haben die Häufigkeitsverteilungen der einzelnen Produzenten von 1 bis 6 bzw. 7 bis 12 auf der x-Achse jeweils in 21-er Blöcke unterteilt. Zwei Aspekte werden durch diese Art der Diagramme verdeutlicht:

1. Die Fläche unter dem einzelnen Histogramm ist proportional zu der Dauer der Marktpresenz des einzelnen Produzenten ausgeprägt.
2. Die Form des jeweiligen Histogramms zeigt die strategische Ausrichtung des Produzenten.

Im Hinblick auf den ersten Aspekt fällt bei Betrachtung der Diagramme auf, daß die Produzenten 1, 5 und 11 kaum Marktpresenz zeigen, was im Einklang mit den Ergebnissen für die Verkaufsmengen steht. Auch die Produzenten 8 und 10 können nur einen Teil des Simulationszeitraumes auf dem Markt bestehen.

Vor dem Hintergrund der Produktinnovationen ist jedoch die zweite Fragestellung weitaus interessanter. Man erkennt, daß die Form der einzelnen Histogramme sich von Produzent zu Produzent deutlich unterscheiden können. Der Produzent 2 verfügt über mehrere Strategien, die er häufig einsetzt, während der Produzent 3 eine einzige Strategie bevorzugt. Dieser Produzent wählt in mehr als der Hälfte aller Simulationsperioden die Strategie 11, d.h. eine Erhöhung der Verbrauches bei konstantem Produktpreis. Dieses Ergebnis stützt das Ergebnis für die Produktinnovationen; der Produzent 3 hat über den Zeitverlauf der Simulation den Benzinverbrauch seines Fahrzeuges deutlich erhöht, während er die anderen Produkteigenschaften trotz gleichhoher Inventionswahrscheinlichkeit nicht verändert hat. Die anderen Produzenten bevorzugen auch einzelne Strategien, diese dominieren aber bei weitem nicht so die Strategiewahl, wie es beim Produzenten 3 mit der Wahl der Strategie 11 der Fall ist.

Aus der Analyse der Produktinnovationen für den Benzinverbrauch wissen wir, daß der Produzent 3 erst nach einem Drittel der Simulationszeit begonnen hat, den Benzinverbrauch zu erhöhen. Um die Korrelation dieses Innovationsverhaltens mit der Strategiewahl zu überprüfen, wollen wir noch deren zeitlichen Verlauf betrachten. In der Abbildung 8.28 erkennt man, daß die Produzentenregel 11 deutlich die Wahl dominiert und häufig über mehrere Perioden wiedergewählt wird, was den hohen Erfolg dieser Regel bestätigt. Eine längeranhaltende Häufung der Wahl der Verhaltensregel 11 die 5 Perioden überschreitet, läßt sich allerdings nicht ausmachen.

Während Heuss [Heuss 1965] von einer festen Ausrichtung des einzelnen Produzenten ausgeht (man ist innovativ oder "Follower") zeigt diese Arbeit, daß die Produzenten genauso gut zwischen verschiedenen Haltungen und strategischen Vorgehensweisen wechseln können, um sich den Marktgegebenheiten anzupassen.

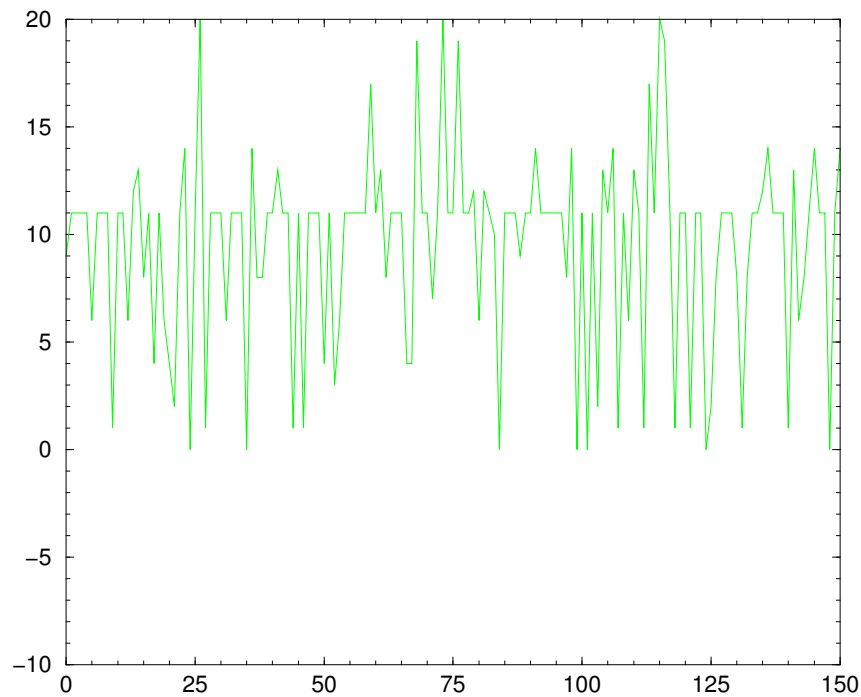


Abbildung 8.28.: Diese Abbildung zeigt den zeitlichen Verlauf der Strategiewahl des Produzenten 3. Quelle: eigene

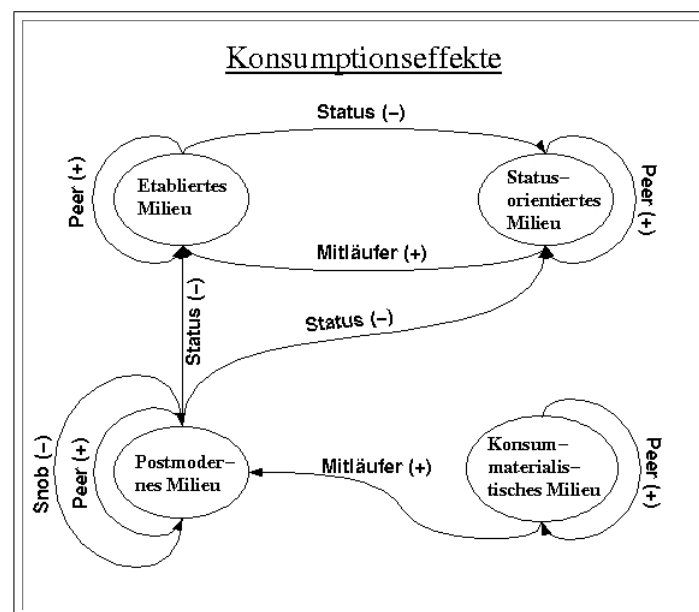


Abbildung 8.29.: Das Diagramm zeigt die Aufteilung der Konsumenten in die vier Milieus und die milieuhängigen Kräfte, die zwischen den Milieumitgliedern wirken. Quelle: eigene

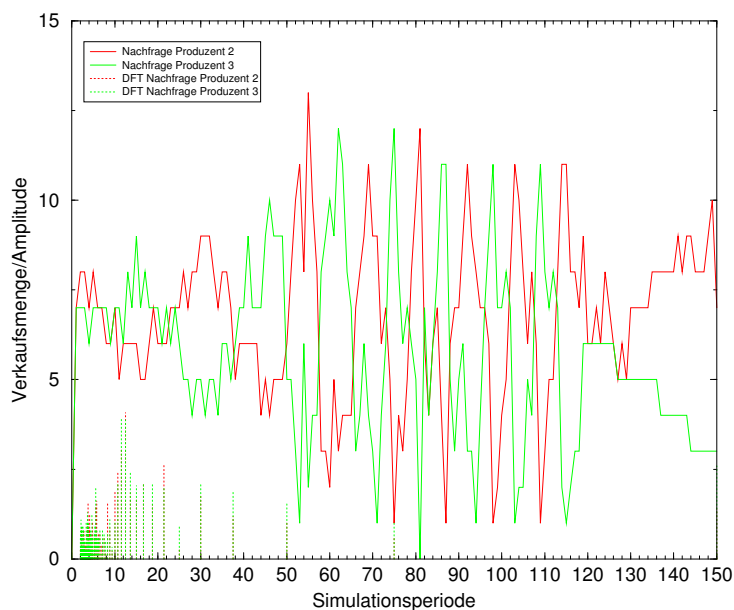


Abbildung 8.30.: Produktnachfrage - Etabliertes Milieu

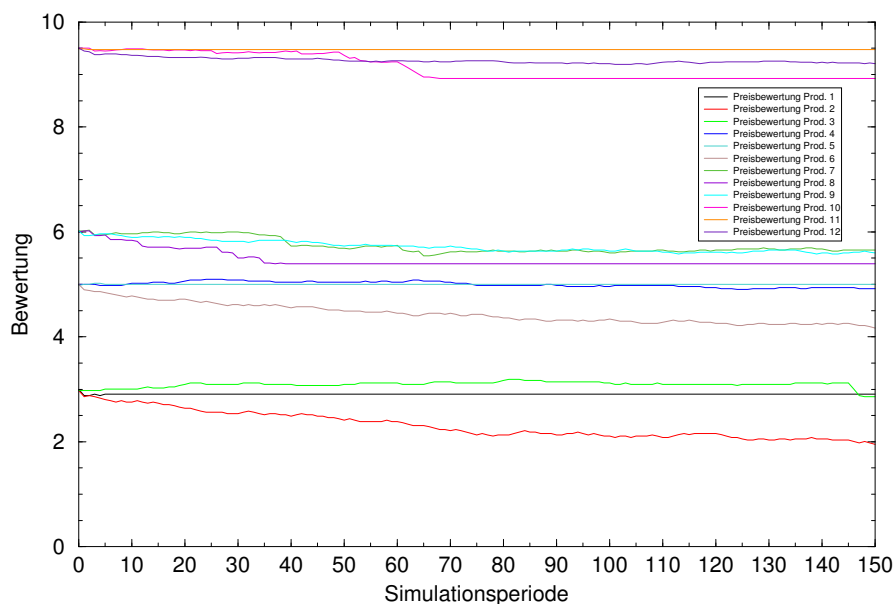


Abbildung 8.31.: Dieses Diagramm zeigt die Bewertung des Produktpreises durch die Konsumenten des Etablierten Milieus. Quelle: eigene.

8.3.5. Konsumentennachfrage

Nachdem wir bisher die Angebotsseite untersucht haben, wollen wir in diesem Abschnitt die Marktdynamik auf der Nachfrageseite im Detail betrachten. In Kapitel 7.3 haben wir die Aufteilung der Konsumenten in vier Milieus und die zugehörigen milieuabhängigen Kräfte vorgestellt. In der Abbildung 8.29 sind die verschiedenen milieuabhängigen Kräfte noch einmal dargestellt. In diesem Abschnitt wollen wir nun betrachten, wie sich die gesamte Verkaufsmenge auf die verschiedenen Milieus verteilt. Hierzu werden wir in jedem Milieu die Verkaufsmenge und die Produktbewertung durch die Konsumenten, auf der ja deren Kaufentscheidung fußt, untersuchen.

8.3.5.1. Etabliertes Milieu

8.3.5.1.1. Produktnachfrage Beginnen wir die Untersuchung der Kaufentscheidungen im Etablierten Milieu mit der Betrachtung der Verkaufsmengen für die Produkte der einzelnen Produzenten, die in Abbildung 8.30 dargestellt sind. In dieser Abbildung erkennt man, daß nur die Produzenten 2 und 3, die ein hochpreisiges und hochqualitatives Fahrzeug auf dem Markt anbieten, in diesem Konsumentensegment ihr Produkt absetzen können. Innerhalb weniger Simulationsperioden hat sich die Verkaufsmenge dieser Produzenten stabilisiert.

Mit Beginn der Periode 50 tritt dann bei der Produktnachfrage im Etablierten Milieu ein Phasenübergang ein. Die Verkaufsmengen der beiden Produzenten beginnen stark zu schwanken, bis sie sich ungefähr zu Periode 120 wieder stabilisieren. Wie wir es in Abschnitt 8.3.1.1 schon besprochen haben, tritt zu den Perioden 50 und 120 ein Wechsel der Konfiguration im Raum der milieuabhängigen Kräfte auf. Zur Periode 50 verändert sich diese Kräftekonstellation von einem Fixpunkt zu einem Grenzzyklus (s. Abb. 8.7). Die Produktnachfrage "schwingt" ab diesem Zeitpunkt zwischen entlang der Phasenraumbahn des Grenzzyklus. Wie kommt es zu dieser Änderung der Konfiguration? Durch die Änderung einer oder mehrerer Produkteigenschaften kann dieses Produkt für die Konsumenten eines anderen Milieus (in diesem Fall das Status-Orientierte Milieu) so attraktiv werden, daß diese Konsumenten auch dieses Fahrzeug kaufen. Damit sinkt aber aufgrund des vorhandenen Distinktionseffektes die Attraktivität des Produktes für das Etablierte Milieu. Diese Konstellation schaukelt sich in diesem Experiment so stark hoch, daß es zu den heftigen Schwankungen in der Produktnachfrage kommt. Je nachdem wie nahe das Teilsystem der Nachfrage im Etablierten Milieu an dem kritischen Punkt des Phasenübergangs liegt, reichen schon geringe Änderungen in den Produkteigenschaften oder wie in diesem Experiment Fluktuationen der Nachfrage, die durch nicht-optimierendes Verhalten bedingt sind¹⁸, da-

¹⁸Wie in Kapitel 7.4 beschrieben, wird die Reihenfolge der Wahl der einzelnen Konsumenten per Zu-

zu aus, den Phasenübergang auszulösen. Zur Periode 120 tritt dann genau die umgekehrte Situation auf, durch geringfügige Änderungen tritt ein Phasenübergang von einem Grenzyklus zurück zu einem Fixpunkt auf.

Um die Hypothese der zyklischen Schwankungen zu untermauern, haben wir eine Fourier-Analyse¹⁹ der Verkaufsmengen im Etablierten Milieu durchgeführt, deren Ergebnis auch in Abbildung 8.30 dargestellt ist. Aus der Fourier-Analyse kann man entnehmen, daß für die beiden Produzenten eine Schwingung von 12 Perioden und für den Produzenten 3 zusätzlich eine von 11 Perioden das Fourier-Spektrum dominieren.

8.3.5.1.2. Produktbewertung Im Rahmen der Modellbeschreibung in Kapitel 7.4 haben wir ausführlich dargelegt, daß die Konsumenten bei der Diskriminierung der verschiedenen Güteralternativen im Sinne der Marketingforschung der sogenannten kompensatorischen

fallsgenerator bestimmt. Da die Produzenten Kapazitätslücken nicht vollständig ausgleichen, kann die Situation auftreten, daß Konsumenten das von ihnen bevorzugte Produkt nicht mehr in dieser Periode erhalten können. Wie oben beschrieben, werden sie in diesem Fall versuchen, daß zweitbeste Produkt in ihrer Rangliste zu kaufen. In diesem Experiment kann das dazu führen, daß mehrere Konsumenten des Status-Orientierten Milieus in Ermangelung besserer Alternativen von den Produzenten 2 und 3 ein Fahrzeug kaufen. Damit kann aber dieser kritische Punkt überschritten und der Phasenübergang zu dem Grenzyklus ausgelöst werden.

¹⁹Eine Fourieranalyse (benannt nach dem französischen Mathematiker Jean-Baptiste Fourier) bestimmt das Spektrum eines periodischen Vorgangs beliebiger Form als ein sogenanntes Linienspektrum. Ausgangspunkt dieser Analyse ist die Tatsache, daß sich jede beliebige mathematische Funktion als eine Fourierreihe bzw. -integral, d.h. eine Überlagerung oder Superposition von Cosinusschwingungen, beschreiben läßt. In der Praxis (Physik, Elektrotechnik) besteht das Problem üblicherweise darin, eine empirisch gegebene, d.h. durch Messungen definierte Funktion $f(t)$ mit den Methoden der Fourieranalyse zu untersuchen, wobei sich die zu untersuchende Funktion nicht in praktikabler Art und Weise analytisch beschreiben läßt. In der Regel muß man eine unendliche Reihe bilden. Um diese Reihenbildung zu vermeiden, begnügt man sich bei der Analyse mit einer hinreichenden Näherung, indem man die Reihe nach einer geeigneten, endlichen Anzahl von Gliedern abbricht. Diese Vorgehensweise wird als Diskrete Fourier Transformation (DFT) bezeichnet. Liegt die zu untersuchende Funktion sogar in der Form von N äquidistanten Meßwerten vor, wie es auch bei unseren Experimenten der Fall ist, so kann man die Reihenbildung beim $N-1$ -ten Glied abbrechen und erreicht trotzdem eine vollständige und exakte mathematische Darstellung der Meßwerte. Die Entwicklung der Funktion nach den orthogonalen Basisfunktionen lautet dann [Gerthsen 1991, Hecht 1990, Honerkamp 1990]:

$$f_j = \sum_{k=0}^{n-1} a_k e^{i\omega_k t} \quad \text{mit} \quad \omega_k = k \frac{2\pi}{T} \quad (8.12)$$

Die Amplitude der einzelnen "Grundfrequenzen" bestimmt sich dann unmittelbar aus der Reihenbildung wie folgt:

$$a_k = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} f_j e^{-i\omega_k t_j} \quad \text{mit} \quad t_j = j \frac{T}{n} \quad (8.13)$$

Diese Amplituden bilden dann das Fourier-Spektrum der zu untersuchenden Funktion. Dieses Spektrum ist für die hier untersuchten Produktnachfragefunktionen dargestellt.

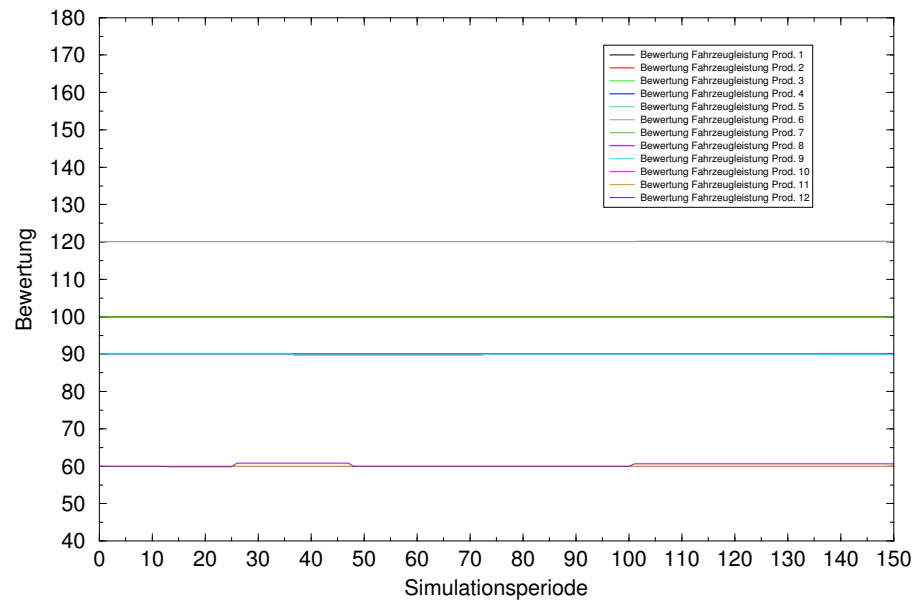


Abbildung 8.32.: Dieses Diagramm zeigt die Bewertung der Fahrzeugleistung durch die Konsumenten des Etablierten Milieus. Quelle: eigene.

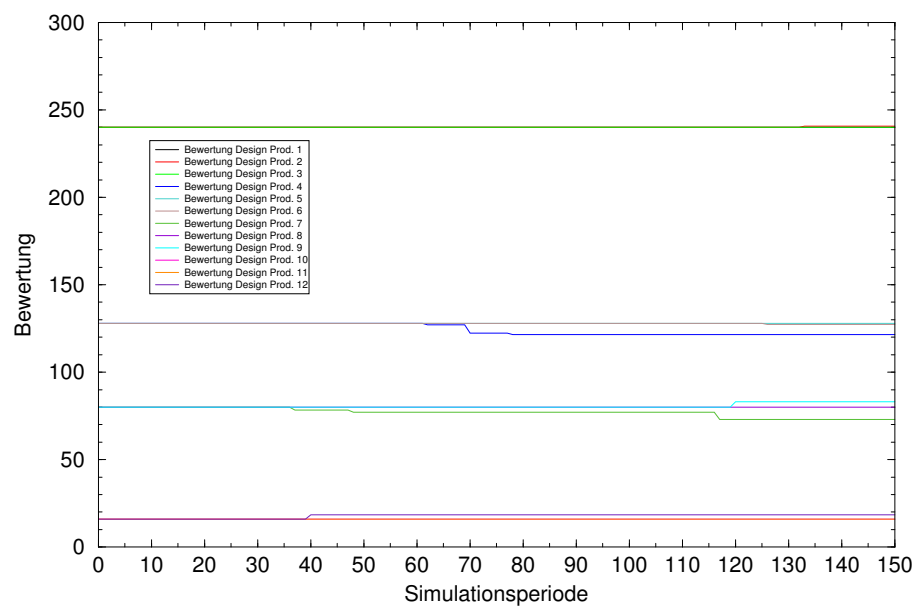


Abbildung 8.33.: Dieses Diagramm zeigt die Bewertung des Fahrzeugdesigns durch die Konsumenten des Etablierten Milieus. Quelle: eigene.

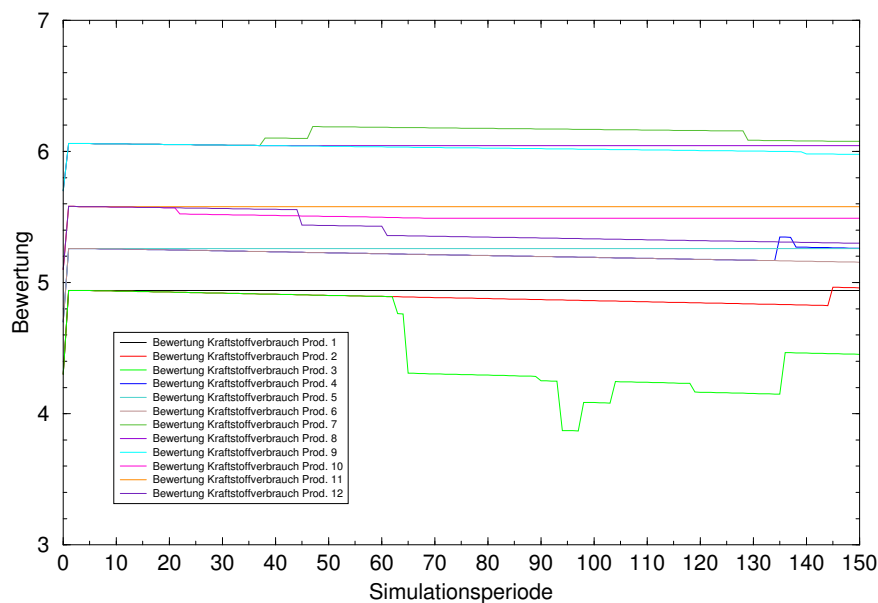


Abbildung 8.34.: Dieses Diagramm zeigt die Bewertung des Kraftstoffverbrauches durch die Konsumenten des Etablierten Milieus. Quelle: eigene.

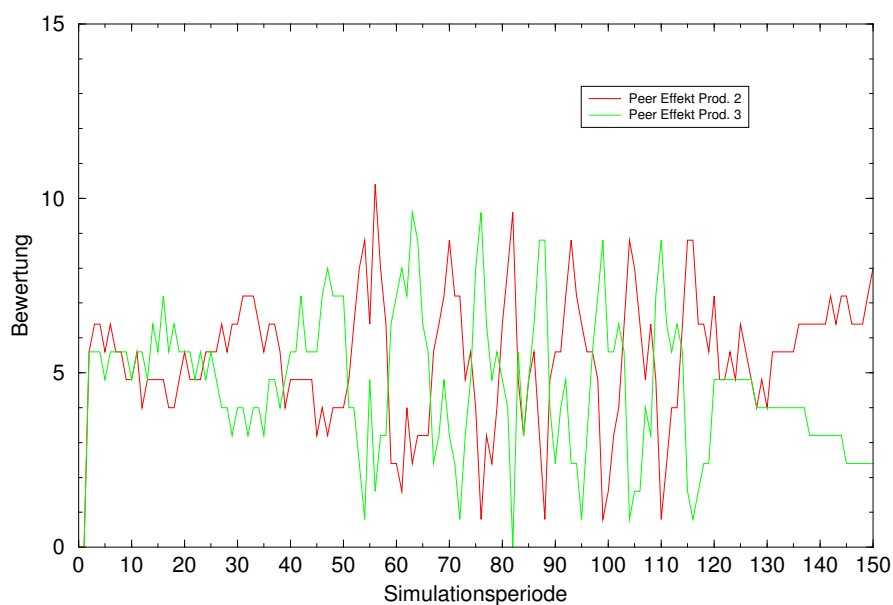


Abbildung 8.35.: Dieses Diagramm zeigt die Bewertung des Peereffektes durch die Konsumenten des Etablierten Milieus. Quelle: eigene.

Regel folgen (s. [Wilkie 1996]): sie ordnen jeder Produkteigenschaft eine bestimmte milieuhabhängige Bedürfnisbefriedigungskapazität zu (s. Kapitel 4.2). Diese verschiedenen Bedürfnisbefriedigungskapazitäten addieren die Konsumenten jetzt auf und bilden auf der Basis der einzelnen Summen eine Rangfolge der Produktalternativen. Für diese Diskriminierung ziehen die Produzenten in diesem Modell sowohl die drei Produkteigenschaften und den Produktpreis als auch die milieuspezifischen Kräfte und ihre Kaufentscheidung der letzten Simulationsperiode in Betracht. Nach der Diskriminierung der Alternativen treffen die Konsumenten dann ihre Wahlentscheidung.

Im Folgenden betrachten wir zuerst die einzelnen Elemente der Produktbewertung (s.o.) separat, um abschließend die aufsummierte Gesamtbewertung zu betrachten. Die Höhe der Bewertung in den verschiedenen Diagrammen spiegelt die Höhe der Bedürfnisbefriedigungskapazität wieder, die von den Konsumenten den einzelnen Produkteigenschaften zugerechnet wird. Wir erinnern daran, daß wir in diesem Experiment insgesamt 150 Konsumenten simuliert haben. Da wir diese Konsumenten hier nicht alle im Detail darstellen können, haben wir einen Konsumenten sozusagen “repräsentativ” [Kirman 1993] ausgewählt und beschrieben.

8.3.5.1.3. Fahrzeugpreise Als erstes wollen wir Bewertung der Produktpreise durch die Konsumenten aus dem Etablierten Milieu betrachten. Vergleicht man die Bewertung der Produktpreise in der Abbildung 8.31 mit der Entwicklung der Fahrzeugpreise in Abb. 8.13, so erkennt man, daß die Konsumenten genau entgegengesetzt bewerten. Hohe Produktpreise erhalten eine niedrige Bewertung, niedrige Produktpreise erhalten eine hohe Bewertung. Die Größenordnung der Bewertung ist bei den Konsumenten in diesem Milieu kleiner als 10 Einheiten.

8.3.5.1.4. Fahrzeugleistung Die Bewertung der Fahrzeugleistung durch die Konsumenten (s. Abbildung 8.32) hingegen ist proportional zu der Entwicklung dieser Produkteigenschaft. Eine hohe Fahrzeugleistung führt zu einer hohen Bewertung durch die Konsumenten. Die Größenordnung der Bewertung ist höher als die der Fahrzeugpreise, ihr Maximalwert beträgt 120 Einheiten.

8.3.5.1.5. Design Auch die Bewertung der Produkteigenschaft Design (s. Abb. 8.33) durch die Konsumenten dieses Milieus ist proportional zu der Entwicklung dieser Produkteigenschaft. Der hohe Bewertungsfaktor, den wir den Konsumenten in diesem Milieu für diese Produkteigenschaft zugeordnet haben, schlägt sich in der sehr hohen Bewertung des Fahrzeugdesigns wieder. Der Maximalwert beträgt 240 Einheiten für die Produkte der Produzenten 2 und 3.

8.3.5.1.6. Kraftstoffverbrauch Die Bewertung des Kraftstoffverbrauches der einzelnen Fahrzeuge durch die Konsumenten in diesem Milieu ist umgekehrt zu der Entwicklung dieser Eigenschaft bei den Fahrzeugen (s. Abb. 8.34). Allerdings führt der niedrige Bewertungsfaktor, den wir für die Konsumenten dieses Milieus angenommen haben, zu einer sehr niedrigen Bewertung durch die Konsumenten.

Wenn wir die Bewertung der verschiedenen Produkteigenschaften durch die Konsumenten dieses Milieus noch einmal zusammenfassen, so finden sich unsere Annahmen wieder. Die Konsumenten aus diesem Milieu legen besonderen Wert auf eine hohe Ausprägung der Produkteigenschaft Design, gefolgt von der Fahrzeugleistung. Der Produktpreis und der Kraftstoffverbrauch sind für diese Konsumenten hingegen bei der Bewertung der Produkte von geringer Bedeutung.

Bevor wir die Bewertung der milieuhängigen Konsumptionseffekte diskutieren, möchten wir noch einmal kurz die dem Modell zugrundeliegende Struktur dieser Effekte ins Gedächtnis rufen (s. Abbildung 8.29). Die Konsumenten aus dem Etablierten Milieu ziehen für ihre Kaufentscheidungen die Entscheidungen der eigenen "Peer-Group" als Mitläufer-Effekt und die der Mitglieder des Status-Orientierten Milieus als Distinktions-Effekt in Betracht. Andersherum gesagt, sie versuchen, die Mitglieder des eigenen Milieus zu imitieren und die des status-orientierten Milieus zu anti-imitieren.

8.3.5.1.7. Peer-Effekt Die Bewertung der verschiedenen Produkte durch die Konsumenten aufgrund des Peer-Effektes spiegelt genau die Entwicklung der Verkaufsmengen im eigenen Milieu wieder, was man aus dem Vergleich der Abbildung 8.35 mit der Abbildung 8.30 erkennt. Auch in der Bewertung treten nach der Periode 50 Zyklen mit einer Periodizität von 11 bzw. 12 Perioden auf.

8.3.5.1.8. Distinktions-Effekt Die Bewertung der Produkte anhand des Distinktions-Effektes (s. Abb. 8.36) wiederum spiegelt genau den Verlauf der Verkaufsmengen im status-orientierten Milieu wieder. Die Bewertung ist allerdings eine Größenordnung höher als die des Peer-Effektes. Die milieuhängigen Konsumptionseffekte werden somit im Etablierten Milieu maßgeblich durch den Distinktions-Effekt gegenüber dem status-orientierten Milieu bestimmt.

8.3.5.1.9. Gesamtbewertung Abschließend wollen wir aus den verschiedenen Einzelbewertungen die Gesamtbewertung der Produktalternativen durch die Konsumenten aus dem Etablierten Milieu entwickeln²⁰.

²⁰Aus simulationstechnischen Gründen haben wir die Gesamtbewertung auf Null normiert.

Die Gesamtbewertung ist in der Abbildung 8.37 dargestellt. Man erkennt, daß die Produzenten 2 und 3 die Bewertung der Produktalternativen in diesem Milieu aufgrund der hohen Bewertung des Fahrzeugdesigns dominieren. Die Bewertung der beiden Produzenten 4 und 6 verringert sich gleich in den ersten Simulationsperioden aufgrund des Distinktions-Effektes. Der Produzent 6 erhält im Verlauf der Simulation aufgrund seiner geringer werdenden Verkaufsmenge im Status-orientierten Milieu eine sich erhöhende Bewertung. Die Produzenten 7 und 9 erhalten eine Bewertung allein auf der Basis der Produkteigenschaften. Durch die Abwertung der Produzenten 4 und 6 (Distinktion) übertrifft die Bewertung der Produzenten 7 und 9 zeitweilig sogar die der Produzenten 4 und 6 trotz der schlechteren Produkteigenschaften.

Die Bewertung der beiden Produkte 2 und 3 ist in den Perioden 50 bis 120 durch Zyklen bestimmt, deren Amplituden maßgeblich durch den Distinktionseffekt bestimmt sind. Das Auftreten einer zyklischen Bewertung steht im Einklang mit den Ergebnissen von Weise [Weise 1993], der bei solch einer Konstellation von Peer-, Aspirations- und Distinktions-Effekten das Auftreten zyklischen Verhaltens im Kaufverhalten der Konsumenten identifiziert.

8.3.5.2. Status-Orientiertes Milieu

8.3.5.2.1. Produktnachfrage Die Abbildung 8.38 zeigt die Verkaufsmenge für die Konsumenten des Status-Orientierten Milieus. Man erkennt, daß zu Beginn des Simulationsexperimentes die Produzenten 4 und 6 (blaue und braune Linie) den Markt in diesem Konsumentenmilieu dominieren. In einer ersten Phase bis Periode 20 kann der Produzent 4 einen leichten Vorsprung erreichen, der Markt befindet sich aber bis zu dieser Periode noch in der Expansionsphase.

In der nächsten Phase, die bis Periode 46 reicht, ist der Markt stabilisiert, die beiden Produzenten 4 und 6 teilen sich den Markt auf, beide erreichen eine Verkaufsmenge, die leicht um 14 Einheiten schwankt. Die Produzenten 2 und 3 können in dieser Phase abwechselnd 2 - 3 Einheiten verkaufen. Die Gesamtverkaufsmenge erreicht 29 - 30 Einheiten.

In der nächsten Phase, die von Periode 45 bis 125 reicht, treten zyklische Schwankungen in der Verkaufsmenge der Produzenten 2 und 3 bei den Konsumenten dieses Milieus auf, deren Periodizität 12 Simulationsperioden beträgt, wie es sich aus der Fouriertransformierten dieser Verkaufsmenge ablesen läßt. Durch den sich vergrößernden Aspirationseffekt aufgrund der steigenden Verkaufsmengen dieser beiden Produkte im Etablierten Milieu werden die Produkte für die Konsumenten des Status-Orientierten Milieus so attraktiv, daß beide Produzenten Marktanteile in diesem Milieu erringen können. Dadurch gehen den beiden

Produzenten 4 und 6, deren Stammkundschaft die Konsumenten dieses Milieus sind, Marktanteile verloren. Allerdings kann der Produzent 4 in dieser Phase seine Verkaufsmenge noch vergrößern, während der Produzent 6 massiv Marktanteile verliert.

Nach der Simulationsperiode 125 sind die zyklischen Schwankungen für die Produzenten 2 und 3 abrupt beendet. Der Produzent 6 kann wieder rasch Marktanteile gewinnen, während der Produzent 4 Marktanteile verliert.

8.3.5.2.2. Produktbewertung der Konsumenten Nachdem wir im vorherigen Abschnitt die Bewertung der einzelnen Produkteigenschaften und der verschiedenen für das Etablierte Milieu relevanten milieuabhängigen Konsumptionseffekte detailliert dargestellt haben, wollen wir uns bei der Diskussion der Bewertung der Produktalternativen durch die Konsumenten der anderen Milieus kürzer fassen und nur die Gesamtbewertung diskutieren; aus dieser lassen sich die Beiträge der Einzeleffekte ebenfalls eindeutig extrahieren.

Betrachten wir die Gesamtbewertung der Produktalternativen durch die Konsumenten des Status-Orientierten Milieus in der Abbildung 8.39, so erkennen wir, daß nicht wie im Etablierten Milieu ein Fahrzeugtyp die Bewertung dominiert, vielmehr konkurrieren zwei Fahrzeugtypen, die von den Produzenten 2 und 3 bzw. 4 und 6 hergestellt werden. Alle anderen Produzenten sind nach dem Marktaustritt von Produzent 5 von geringer Bedeutung für die Bewertung und damit für die Kaufentscheidung der Konsumenten dieses Milieus. In der Abbildung 8.39 erkennt man die bis auf kleine Schwankungen konstante Bewertung der Produkte der Produzenten 4 und 6. Die Produkteigenschaften dieser beiden Alternativen werden in ihrer Kombination von den Konsumenten dieses Milieus am höchsten bewertet. Hierbei kann der Produzent 4 eine etwas höhere Bewertung erreichen, die sich in seinen Verkaufsmengen in diesem Milieu widerspiegelt (s. Abb. 8.38). In der Abbildung 8.39 erkennt man darüberhinaus das rasche Ansteigen der Bewertung der beiden Produkte der Produzenten 2 und 3 innerhalb der ersten fünf Simulationsperioden. Die Bewertung dieser beiden Produktalternativen reicht bis fast an die der Produkte 4 und 6 heran. Im weiteren Verlauf kommt es zu Schwankungen in der Bewertung der beiden Produktalternativen 2 und 3, die direkt die Verkaufsmenge im Etablierten Milieu widerspiegeln (s. Abb. 8.30). Für kurze Zeiträume übertrifft die Bewertung einer der beiden Alternativen die der Produkte 4 und 6, man erkennt geringe Verkaufsmengen der beiden Produzenten 2 und 3 in diesem Milieu in der Abbildung 8.38. Ab der Periode 50 schaukeln sich diese geringeren Schwankungen zu veritablen Zyklen in der Bewertung der beiden Produktalternativen 2 und 3 hoch, was sich aus der Entwicklung der Verkaufsmengen im Etablierten Milieu ergibt (s. Abb. 8.37).

Mit der Abbildung 8.39 können wir noch einmal das Entstehen des Phasenübergangs bei der Verkaufsmenge sowohl im Etablierten als auch Status-Orientierten Milieu verdeutlichen.

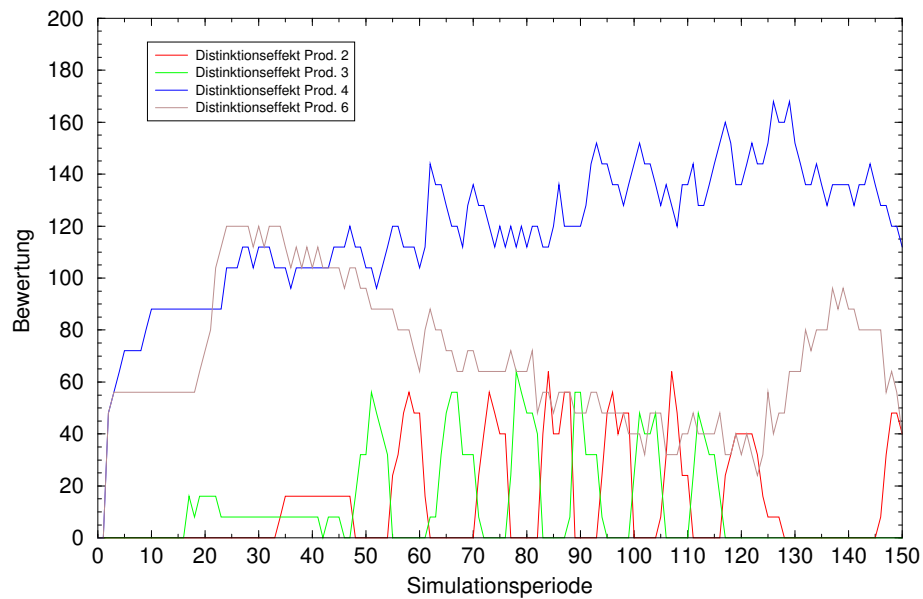


Abbildung 8.36.: Dieses Diagramm zeigt die Bewertung des Distinktionseffektes durch die Konsumenten des Etablierten Milieus. Quelle: eigene

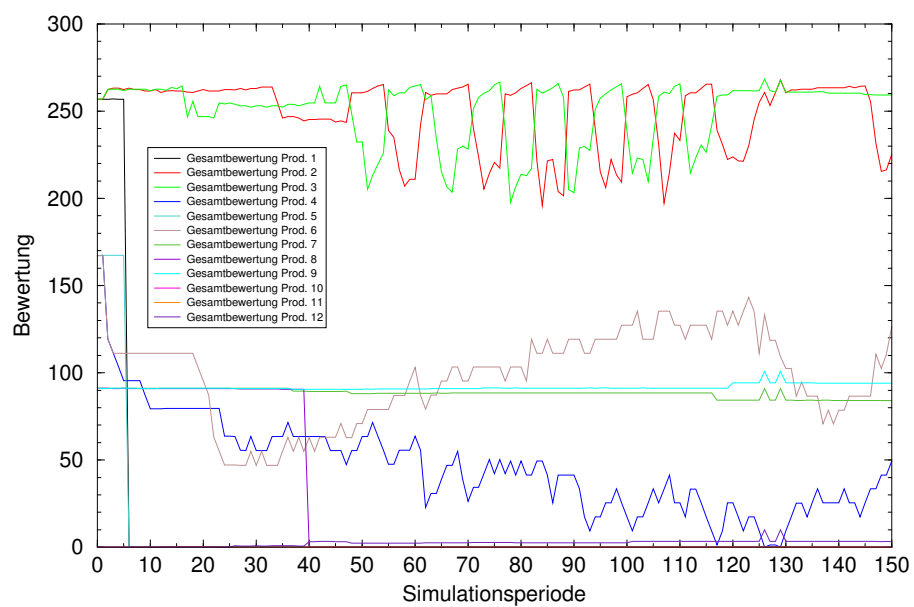


Abbildung 8.37.: Dieses Diagramm zeigt die Gesamtbewertung der Produkte durch die Konsumenten des Etablierten Milieus. Quelle: eigene.

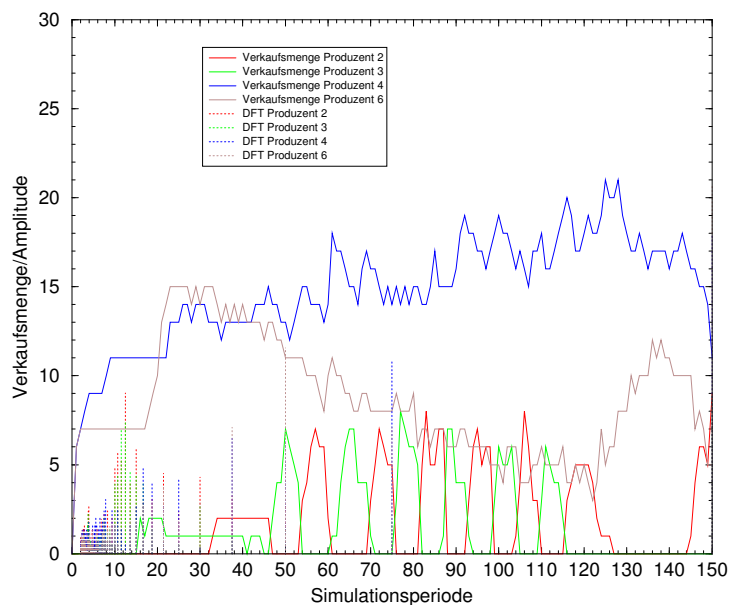


Abbildung 8.38.: Das Diagramm zeigt die Verkaufsmenge im Status-Orientierten Milieu.
Quelle: eigene.

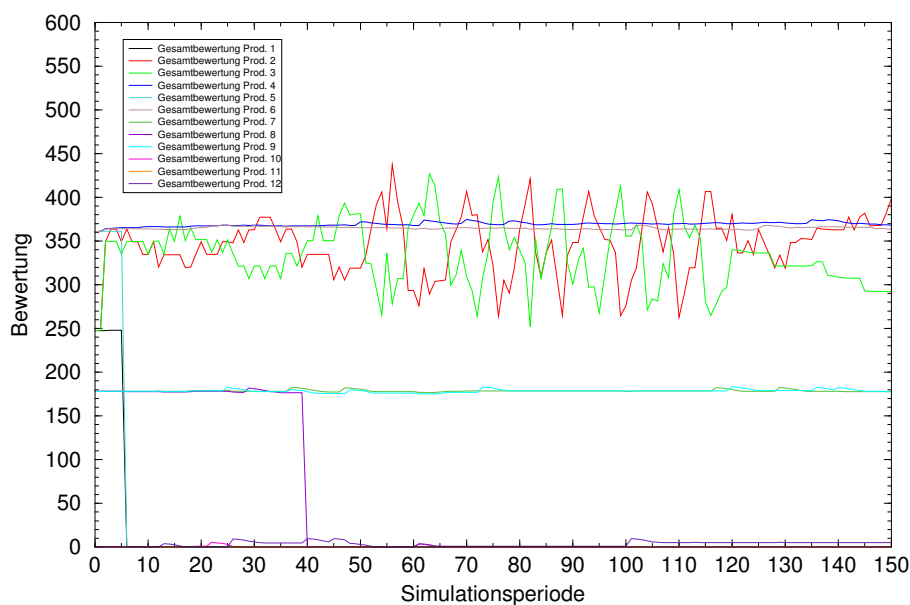


Abbildung 8.39.: Das Diagramm zeigt die Gesamtbewertung der Konsumenten des Status-Orientierten Milieus. Quelle: eigene.

Leichte Abweichungen von der 50%-igen Aufteilung des Marktes der Konsumenten des Etablierten Milieus zwischen den beiden Produzenten 2 und 3 führen dazu, daß die Bewertung der jeweiligen Alternativen durch die Konsumenten des Status-Orientierten Milieus die ihrer “angestammten” Produkte 4 und 6 übersteigt. Daraufhin versuchen auch diese Konsumenten, die entsprechende Produktalternative zu kaufen, z.B. das Produkt 3 in Periode 45 bis 55. Der Distinktions-Effekt unter den Konsumenten des Etablierten Milieus aber führt zu einer raschen Abwertung dieses Produktes durch diese Konsumenten (s. Abb. 8.35 bzw. 8.37) mit einer rapiden Abnahme der Verkaufsmenge dieses Produktes und der Zunahme der Verkaufsmenge des Produktes 2 (s. Abb. 8.30). Für die Konsumenten des Status-Orientierten Milieus nimmt damit die Bewertung des Produktes 3 genauso rapide ab, während sie jetzt das Produkt 3 höher schätzen und versuchen, dieses zu erstehen. Diese Kombination von positiven (Aspiration) und negativen (Distinktion) Rückkopplungen baut sich so in der Phase von Periode 50 bis 120 zu Schwingungen in der Bewertung und den Verkaufsmengen auf.

8.3.5.3. Postmodernes Milieu

8.3.5.3.1. Produktnachfrage Die Abbildung 8.40 zeigt die Verkaufsmengen der Produkte im Postmodernen Milieu. Im Gegensatz zum Etablierten und Status-Orientierten Milieu zeigen sich hier nicht die extremen Schwankungen mit kurzer Periodizität und hoher Amplitude in den Verkaufsmengen.

Die beiden Produzenten 7 und 9 dominieren die Produktnachfrage in diesem Milieu, der Produzent 8 kann als direkter Wettbewerber zwar zu Beginn der Simulation Marktanteile erringen, muß diese aber im weiteren Verlauf wieder abgegeben und tritt aus dem Markt aus.

Wie schon bei den zwei oben betrachteten Milieus tritt auch in diesem Milieu ein Phasenübergang in der dynamischen Entwicklung der Verkaufsmengen auf. Bis ungefähr zur Periode 45 zeigen die Verkaufsmengen einen kontinuierlichen Verlauf, nach dem Phasenübergang entwickeln sich zum Teil heftige Schwankungen in der Nachfrage der Konsumenten. Im Gegensatz zu den Schwankungen der Verkaufsmengen im Etablierten Milieu, die sehr regelmäßiger Natur sind, erscheinen die Schwankungen der Nachfrage im Postmodernen Milieu eher “chaotisch” zu sein.

Um dieses Verhalten der Nachfragedynamik genauer zu verstehen, haben wir wieder eine Fourier-Analyse (s. Abschnitt 8.3.5.1) dieser beiden Funktionen durchgeführt. Das Ergebnis dieser Fourier-Analyse ist auch in der Abbildung 8.40 dargestellt. Diese Analyse legt offen, daß die Hauptanteile eine Fourier-Reihenentwicklung der Verkaufsmengen für den Produzenten Zyklen mit den Perioden 10, 15 und 19 sind, während sich beim Produzenten 9

hauptsächlich Zyklen mit der Periodizität 17, 21 und 37 überlagern.

Die Dynamik solch einer komplexeren Fourier-Reihe ist natürlich deutlich komplizierter. Um dieses zu verdeutlichen, haben wir ein Phasenraumdiagramm erstellt, indem wir die Verkaufsmengen der Produzenten 7 und 9 als genau eine solche Fourier-Reihe mit diesen drei dominierenden Frequenzen berechnet haben²¹. An diesem Diagramm, das in Abbildung 8.42 dargestellt ist, erkennt man, wie komplex die zeitliche Entwicklung der Verkaufsmengen wird. Die x-Achse zeigt die Verkaufsmenge des Produzenten 7 und die y-Achse die des Produzenten 9 an. Während wir in Abschnitt 8.3.5.1 für das Etablierte Milieu einen Phasenübergang von einem Fixpunkt zu einem Grenzyklus beobachten konnten, sieht die Dynamik in diesem Fall deutlich komplexer aus. Zum Vergleich haben wir noch einmal eine Situation, die der in Abschnitt 8.3.5.1 ähnlich ist, in der Abbildung 8.43 dargestellt. In diesem Diagramm ist der Phasenraum der beiden Verkaufsmengen bei einer Überlagerung von zwei Schwingungen gleicher Frequenz dargestellt²².

8.3.5.3.2. Produktbewertung der Konsumenten Die Bewertung der Produktalternativen durch die Konsumenten im Postmodernen Milieu, die in Abbildung 8.41 dargestellt ist, bietet auf den ersten Blick ein unübersichtlicheres Bild als das der anderen Milieus. Erinnern wir uns aber an die Definition der milieuabhängigen Konsumptionseffekte (s. Abb. 8.29), so haben wir dort festgelegt, daß die Konsumenten dieses Milieu gegenüber den Konsumenten des eigenen Milieus eine Überlagerung von Peer- und Snobeffekt in die Bewertung einbeziehen, sich aber gegenüber den Konsumenten aller anderen Milieus absetzen wollen (Distinktionseffekt). Die Gesamtbewertung der Produkte aller Produzenten außer 7 und 9 ist also die Superposition der nahezu konstanten Produkteigenschaften und des schwankungsabhängigen Distinktionseffektes, der von den Verkaufsmengen dieser Produkte in den anderen Milieus abhängt. Dieser Distinktionseffekt, der ja negativ in die Bewertung der jeweiligen Produktalternative eingeht, unterstützt die Dominanz der Produkte 7 und 9 im Postmodernen Milieu. Die Bewertung dieser beiden Produktalternativen schwankt im Verlauf der Marktsimulation bisweilen stark, insgesamt kann aber nie eines der anderen Produkte die Bewertung dieser beiden Produkte durch die Konsumenten des Postmodernen Milieus übertreffen. Diese Tatsachen spiegeln sich dann auch in den Verkaufsmengen dieser Produkte im Postmodernen Milieu wieder (s. Abb. 8.40).

²¹Wir haben die anderen Frequenzen, die zur vollständigen Darstellung der Verkaufsmengen benötigt würden, in diesem Beispiel außer acht gelassen, um die Diskussion so einfach wie möglich zu halten.

²²Die beiden Schwingungen sind in ihrer Phase leicht verschoben, was dazu führt, daß die Figur im Phasenraum eine Ellipse ist; bei exakt gleicher Phase verschwindet der Bauch der Ellipse, und die Ellipse geht in eine Gerade über.

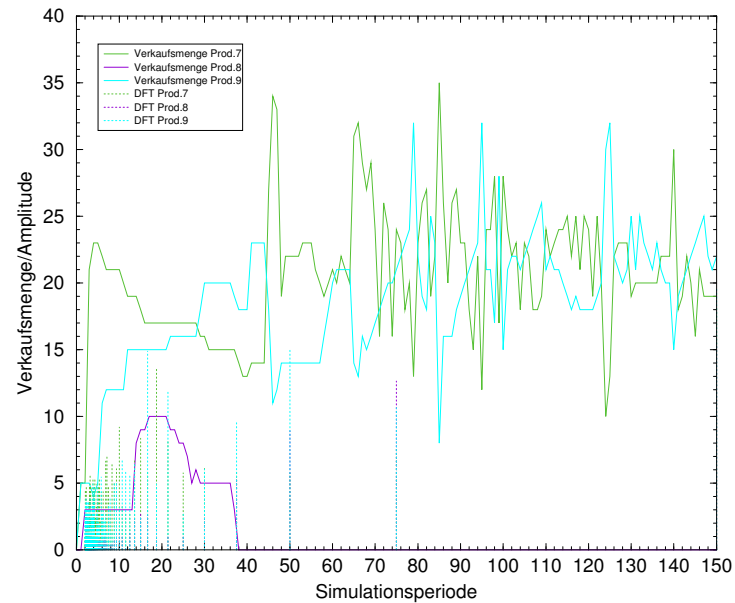


Abbildung 8.40.: Dieses Diagramm zeigt die Verkaufsmenge im Postmodernen Milieu. Quelle: eigene.

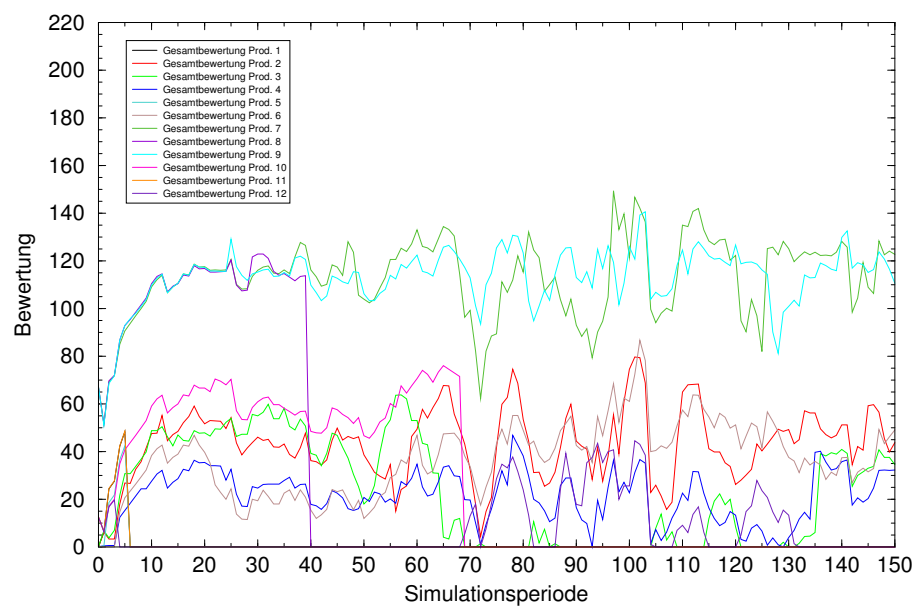


Abbildung 8.41.: Dieses Diagramm zeigt die Gesamtbewertung der Produktalternativen durch die Konsumenten im Postmodernen Milieu. Quelle: eigene.

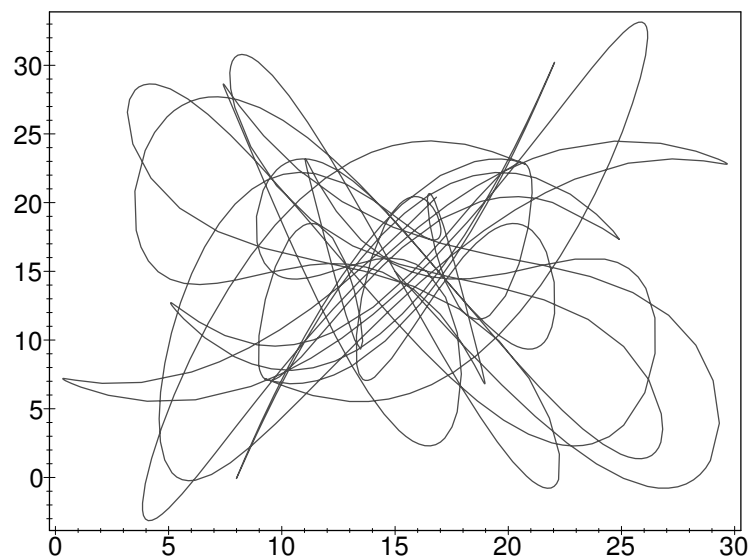


Abbildung 8.42.: Dieses Diagramm zeigt den Phasenraum für die Dynamik der drei wichtigsten Grundfrequenzen der Fourierzerlegung der Verkaufsmengen im Post-modernen Milieu. Quelle: eigene.

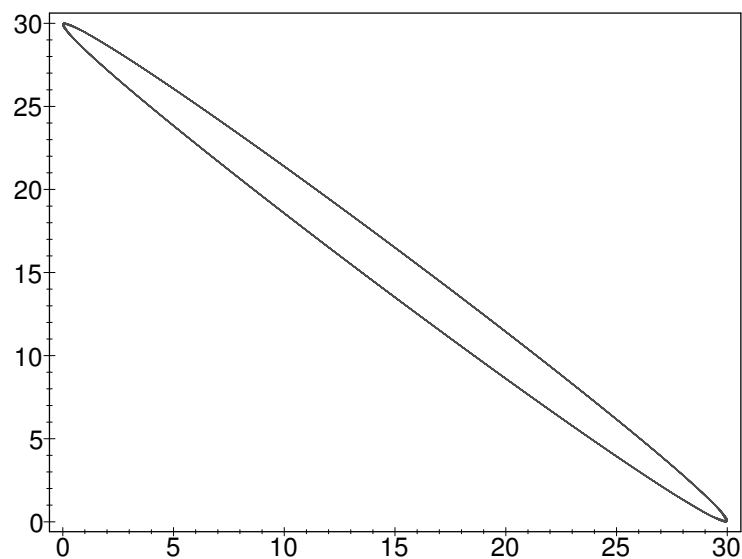


Abbildung 8.43.: Dieses Diagramm zeigt den Phasenraum für die Dynamik der wichtigsten Grundfrequenz der Fourierzerlegung der Verkaufsmengen im Etablierten Milieu. Quelle: eigene.

8.3.5.4. Konsum-Materialistisches Milieu

8.3.5.4.1. Produktnachfrage Die Abbildung 8.44 zeigt die Verkaufsmengen im Konsum-Materialistischen Milieu der Konsumenten. Der Produzent 12 dominiert den Markt über den gesamten Verlauf der Simulation. In der ersten Marktphase bis Periode 65 erreicht dieser Produzent eine Verkaufsmenge von nahezu 50 Einheiten, sein direkter Konkurrent Produzent 10 erreicht nur eine Verkaufsmenge von 5 - 6 Einheiten.

Auch in diesem Marktsegment tritt ein Phasenübergang in der Marktdynamik auf. Zu Periode 65 tritt der Produzent 10 aus dem Markt aus, und der Produzent 7 erobert innerhalb weniger Perioden einen Marktanteil von 50% bzw. 25 Einheiten. Die Verkaufsmenge des Produzenten 12 bricht rasch auf die gleiche Höhe ein.

In dieser zweiten nun folgenden Marktphase muß sich der Produzent 12 dem Wettbewerb durch die beiden Produzenten 7 und 9 erwehren. Es beginnt eine Phase heftiger Schwankungen der Verkaufsmengen für diese drei Produzenten in diesem Marktsegment.

Auch für diesen Teilmarkt haben wir eine Fourier-Analyse der Verkaufsmengen der Produzenten durchgeführt, deren Ergebnisse in der Abbildung 8.44 dargestellt sind. Insbesondere die beiden Produzenten 7 und 12 sind von Interesse, der Produzent 9 kann immer nur für kurze Zeiträume Marktanteile in diesem Konsumentenmilieu erreichen, die er sehr bald wieder an die beiden anderen Produzenten verliert.

Für den Produzenten 7 ergibt die Fourier-Analyse drei dominierende Zyklen mit den Periodizitäten 14, 17 und 19. Die Verkaufsmengen des Produzenten 12 hingegen werden hauptsächlich von drei Grundschwingungen der Periodizitäten 15, 25, und 30 dominiert. Auch für die Verkaufsmengen in diesem Milieu gelten wieder die Betrachtungen hinsichtlich der Komplexität der dynamischen Entwicklung, die wir im vorherigen Abschnitt 8.3.5.3 angestellt haben und in dem Diagramm 8.42 verdeutlicht sind.

8.3.5.4.2. Produktbewertung der Konsumenten Neben den Produkteigenschaften richten die Konsumenten des Konsum-Materialistischen Milieus ihre Kaufentscheidung einerseits an den Konsumenten des eigenen Milieus (Peereffekt) und andererseits an dem Kaufverhalten der Konsumenten des Postmodernen Milieus (Aspirationseffekt) aus, wie es in der Modellbeschreibung in der Abbildung 8.29 dargestellt ist. Der Peer-Effekt im eigenen Milieu ist allerdings im Vergleich zur Imitation des Postmodernen Milieus sehr klein gewählt. Die Kaufentscheidung der anderen beiden Milieus wird von diesen Konsumenten nicht berücksichtigt.

In der Abbildung 8.45 kann man erkennen, daß die Produkte 2, 3, 4 und 6 in der Bewertung der Produktalternativen für die Konsumenten dieses Milieus nur eine geringe Bedeutung haben.

Die Gesamtbewertung der Produkte wird einerseits durch die Bewertung der Produkteigenschaften der Produkte 10 und 12, andererseits durch den Imitationseffekt bei den Produkten 7 und 9 bestimmt. In der Abbildung 8.45 erkennt man die nahezu konstante Bewertung des Produktes des Produzenten 12, der insbesondere bis zur Periode 65 diesen Teilmarkt nahezu beherrscht.

Warum tritt nun dieser Phasenübergang auf? Die Schwankungen in den Verkaufsmengen der beiden Produzenten 7 und 9 schaukeln sich im Postmodernen Milieu hoch. Zu Periode 65 erreicht der Produzent 7 im Postmodernen Milieu eine derart hohe Verkaufsmenge, daß über den Aspirationseffekt im Konsum-Materialistischen Milieu die Bewertung dieses Produktes die des Fahrzeuges des Produzenten 12 übertrifft. Das wiederum führt zu einer Abschwächung der Nachfrage nach Produkt 7 im Postmodernen Milieu, allerdings erst mit einer Verzögerung von einer Simulationsperiode. Diese Abschwächung wirkt dann wieder auf die Gesamtbewertung der Produkte bei den Konsumenten des Konsum-Materialistischen Milieus zurück und umgekehrt. Zyklische Schwankungen in den Verkaufsmengen entstehen und verfestigen sich.

8.4. Monte-Carlo Simulationen

8.4.1. Einleitung

Nachdem wir im vorherigen Abschnitt für unser Basisszenario einen Simulationslauf im Detail betrachtet haben, wollen wir in diesem Abschnitt von der singulären zu einer statistischen Betrachtung übergehen. Hierzu bedienen wir uns der Methode der Monte-Carlo Simulationen. Wie oben beschrieben (s. Kapitel 8.1) stellt eine Monte-Carlo Simulation N Realisierungen solcher Einzelsimulationen dar, sodaß man eine Stichprobe vom Umfang N besitzt. Auf der Basis dieser Stichprobe kann man die gewünschte Untersuchungsgröße als statistische Größe behandeln [Honerkamp 1990]. Verändert man die Simulationsparameter, so kann man unterschiedliche Experimente durchführen, und die Untersuchungsgrößen statistisch auswerten und miteinander vergleichen.

Das von uns in dieser Arbeit vorgestellte Modell läßt eine Vielzahl verschiedener Untersuchungen zu, wie die detaillierte Diskussion des einzelnen Simulationsexperiments im

vorherigen Abschnitt andeutet. In dieser Arbeit ist allerdings die Entwicklung des Kraftstoffverbrauches der Fahrzeuge die zentrale Fragestellung, sodaß wir uns bei der Untersuchung mit Hilfe der Monte-Carlo Simulationen darauf konzentrieren wollen. Hierzu werden wir die statistischen Verteilungen der Kraftstoffverbräuche genauer analysieren.

In allen Experimenten wurden als Simulationszeitraum des einzelnen Experiments 150 Zeitschritte gewählt²³. Insgesamt wurde im Rahmen jeder einzelnen Monte-Carlo Simulation mit gleichem Parametersatz eine Stichprobe vom Umfang 100 erhoben.

Das hier vorgestellte Modell läßt die Variation einer Vielzahl von Versuchsparametern zu. Für alle Szenarien, deren Ergebnisse wir in diesem Abschnitt darstellen, haben wir als Ausgangspunkt das Basisszenario aus dem vorhergehenden Abschnitt (s. Kapitel 8.3), das wir im Folgenden wieder als Basisszenario bezeichnen werden, gewählt. Ausgehend von der Parameterkonstellation in diesem Szenario haben wir für die einzelnen Experimente jeweils einen Parameter geändert, um isoliert dessen Wirkung zu analysieren. Für die Experimente haben wir die folgenden Parameter (in dieser Reihenfolge) verändert:

- **Erfolgswahrscheinlichkeit der Inventionen:** Im Basisszenario haben wir für das Verhältnis von akkumuliertem Forschungswissen und der Erfolgswahrscheinlichkeit einer Invention eine feste Ausprägung für diesen Parameter angenommen. Dieser Parameter wird aber maßgeblich durch solche Faktoren wie die Ausbildung der Mitarbeiter, die innerbetriebliche Weiterbildung der Mitarbeiter, die interne Organisation (z.B. "Ideenmanagement") oder die individuelle Entscheidungskompetenz der Mitarbeiter bestimmt. Um die Wirkung dieser Einflußfaktoren im Hinblick auf unsere Fragestellung der Diffusionsdynamik von Produktinnovationen untersuchen zu können, haben wir in diesem Experiment die Parameter für die Erfolgswahrscheinlichkeit der Produktinnovationen um den Faktor 6 erhöht. Diese Erhöhung kann wie oben angedeutet z.B. das Ergebnis eines höheren Ausbildungsniveaus der Mitarbeiter sein²⁴.

²³In vielen physikalischen Untersuchungen steht die Analyse eines stationären Zustandes im Mittelpunkt[Honerkamp 1990, Koch 1998, Schnakenberg 1995]. Die Untersuchung der Modelldynamik im vorherigen Abschnitt legt nahe, daß das Simulationsexperiment nach 150 Zeitschritten nicht zwingend einen stationären Zustand erreicht hat. Trotzdem nutzen wir diese Methode und wählen willkürlich diesen Simulationszeitraum, da wir im Gegensatz zur Physik keine physikalischen Konstanten oder Gesetzmäßigkeiten untersuchen wollen. Vielmehr ist das Ziel unserer Arbeit, die relativen Unterschiede zwischen verschiedenen Parametersätzen bzw. Experimenten zu untersuchen.

²⁴Neben der Höhe des Ausbildungsniveaus der Mitarbeiter muß man natürlich auch die Zusammensetzung der Mitarbeiterschaft aus verschiedensten Ausbildungsgängen einbeziehen. Betrachtet man alleine die akademische Ausbildung, so findet man dort spezialisierte Studiengänge wie z.B. bei den Ingenieurwissenschaften oder der Betriebswirtschaft, die eine spezifische Fachausbildung darstellen. Im Gegensatz dazu gibt es aber auch Studienfächer, die eher generalistisch angelegt sind, wie z.B. Physik oder Volkswirtschaftslehre. Deren Absolventen dienen in Unternehmen im Gegensatz zu den Spezialisten aus den Ingenieur- oder Betriebswissenschaften in vielen Fällen als "Allzweckwaffen", die sich leicht in die

- **Hohes Bedürfnis der Konsumenten nach niedrigen Energieverbräuchen:** In der ökologischen Diskussion wird immer wieder eine Änderung der Werthaltung der Konsumenten als ein Baustein für die Erreichung des Zieles eines nachhaltigen Wirtschaftens in die Diskussion eingebracht (“gut leben statt viel haben” bzw. “Ökobewußtsein” [BUND/Misereor 1996]). Um diese Hypothese vor dem Hintergrund der Diffusion ökologischer Produktinnovationen zu untersuchen, haben wir in dem folgenden Experiment die Annahme getroffen, daß die Konsumenten einem niedrigen Kraftstoffverbrauch eine deutlich angehobene Bedürfnisbefriedigungskapazität (s. Abschnitt 4.1, 4.2) zurechnen.
- **Keine Distinktions- und Aspirationseffekte:** In der Diskussion des Basisszenarios haben wir die Wirkung von Distinktions- und Aspirationseffekten für die Produktnachfrage herausgearbeitet. Diese beiden Konsumptionseffekte verursachen zyklische Schwankungen bei den Verkaufsmengen der einzelnen Produzenten (s. Abschnitt 8.3.1). Diese zyklischen Schwankungen ziehen für die Produzenten Investitions-/De-Investitionszyklen hinter sich her. In diesem Experiment haben wir diese beiden Konsumptionseffekte ausgeschlossen, um zu überprüfen, ob sich damit ein stetigeres Innovationsverhalten der Produzenten entwickelt.
- **Keine Peer-, Snob-, Distinktions- und Aspirationseffekte:** Die Existenz von Peer- und Snobeffekten innerhalb einzelner Konsumentenmilieus kann zu einer Verstärkung oder Abschwächung des Kaufverhaltens innerhalb dieses Milieus führen, die die Bewertung der eigentlichen Produkteigenschaften dominiert (“Herdenverhalten”). Dieses kann dazu führen, daß die Kaufentscheidungen der Konsumenten abweichende Innovationssignale an die Produzenten übermitteln. In diesem Experiment wollen wir die Existenz milieuabhängiger Konsumptionseffekte ausschließen, um zu überprüfen, ob die Bewertung der Alternativen ausschließlich auf der Basis der Produkteigenschaften ausreichende Innovationssignale an die Produzenten übermittelt.
- **Steigende Benzinpreise:** Im Rahmen der Theorie der induzierten Innovation [Binswanger 1978, Popp 2002] wurde auf die Bedeutung der Preise für die Entstehung und die Diffusion von Innovationen hingewiesen. Dabei wurde auch auf die steuernde Wirkung der Preise für die Durchsetzung ökologischer Innovationen abgehoben [Popp 2002]. In diesem Experiment wollen wir diese Hypothese genauer untersuchen, indem wir eine deutliche Verknappung der Ressource annehmen. Auf dem kompetitiven Markt für die nicht-erneuerbare Ressource führt diese Verknappung zu einer Steigerung des Ressourcenpreises auf das 3,5 - 4-fache des Ausgangspreises im

verschiedensten Arbeitsgebiete einarbeiten können. Je nach Marktsituation sind für ein Unternehmen entweder die Spezialisten oder die Generalisten wertvoller.

Verlauf der Simulation. Zum Vergleich: im Basisszenario beläuft sich die Preissteigerung im Verlauf der Simulation hingegen auf lediglich 4%.

Geänderte Innovationsstrategien der Unternehmen: In Abschnitt 8.2.2.4 haben wir die “Standard Operating Procedures” der Produzenten im Basisszenario vorgestellt und diskutiert. In Abschnitt 8.3.3.1 haben wir festgestellt, daß gerade diese “Standard Operating Procedures” die tatsächliche Umsetzung der Inventionen, die dezentral in den Unternehmen (z.B. Forschungs- und Entwicklungsabteilungen) entstehen, in Innovationen beträchtlich beeinflussen. Die jeweilige Invention muß zum Beispiel mit der strategischen Ausrichtung übereinstimmen, damit auch das Marketing oder der Vertrieb die entsprechenden Ressourcen bereitstellen, die den Marktauftritt und anschließenden Markterfolg der Invention unterstützen. Sind die Inventionen nicht mit diesen unternehmensinternen Prozessen synchronisiert, gelingt die Umsetzung der Inventionen in Innovationen in der Regel nicht. Es liegt die Vermutung nahe, daß unterschiedliche “Standard Operating Procedures” auch eine andere Dynamik dieser Umsetzung bedingen. Um diese Hypothese genauer zu untersuchen, werden wir eine andere Menge von “Standard Operating Procedures” experimentell analysieren. Aufgrund der großen Bedeutung dieser Verhaltensregeln der Produzenten für deren Marktverhalten werden wir diese geänderte Menge von Verhaltensregeln sowohl in der Parameterkonstellation des Basisszenarios als auch für jede der oben angesprochenen Sensitivitätsanalysen verwenden. Die Ergebnisse dieser Experimente werden im Abschnitt 8.4.3 diskutiert.

Kombination der Parameteränderungen: Bei den oben angesprochenen Sensitivitätsanalysen in den Abschnitten 8.4.2 und 8.4.3 haben wir einzelne Parameteränderungen isoliert betrachtet. In dem Abschnitt 8.4.4 haben wir verschiedene Parameteränderungen miteinander kombiniert, um zu untersuchen, ob sich diese gegenseitig verstärken oder hemmen.

Einfluß der Grundlagenforschung für nicht-inkrementelle Innovationen: Die Produzenten verfolgen in diesem Modell inkrementelle Innovationen, deren “Sprungweite” durch das angesammelte Wissenskapital des einzelnen Produzenten bestimmt wird. Neben der industriellen Forschung gibt es aber auch Forschung im öffentlichen bzw. halböffentlichen Rahmen (z.B. die Fraunhofer Gesellschaft). Dieses Forschungswissen kann durch Veröffentlichungen, Patente oder Technologietransfer der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt werden [Cohen 2002, Nelson 2002]. Der freie Zugang zu solchem Wissen ermöglicht unter Umständen dem einzelnen Produzenten eine Invention, die mit dem intern verfügbaren Wissenskapital nicht möglich wäre. In dem Abschnitt 8.4.5 werden wir untersuchen, inwieweit solches Wissen, die Diffusion von energiesparenden Fahrzeugen erleichtert und insbesondere das Überspringen der “Technologielücke”, die wir in der Abbildung 7.7 darge-

stellt haben, erleichtert.

Entwicklung des Flottenverbrauchs: Neben der Verteilung der Kraftstoffverbräuche wird in der Diskussion um die Bedeutung energiesparender Fahrzeuge immer wieder der Begriff des Flottenverbrauches verwendet. Darunter wird üblicherweise die folgende Definition verstanden [Diaz 1998]: Summiert man die Einzelverbräuche der in einer Periode verkauften Fahrzeuge, so erhält man den Gesamtverbrauch der Fahrzeugflotte; teilt man diese Summe durch die Anzahl der verkauften Fahrzeuge, so erhält man den durchschnittlichen Verbrauch der Flotte. Diesen durchschnittlichen Verbrauch der Fahrzeugflotte bezeichnet man gemeinhin als Flottenverbrauch. Im letzten Abschnitt wollen wir exemplarisch für einige der untersuchten Experimente die Verteilung der Flottenverbräuche für die Monte-Carlo Simulationen darstellen und miteinander vergleichen. Sinkt der Flottenverbrauch deutlich, so hat sich die Energieeffizienz in der Gesamtindustrie erhöht.

8.4.2. Produzententyp I

In diesem Abschnitt untersuchen wir die Produzenten, die wir auch im Basisszenario betrachtet haben. Die “Standard Operating Procedures” der Produzenten sind in der Tabelle 8.5 zusammengefaßt. Das Verhaltensrepertoire der Produzenten besteht aus “reinen” Prozeduren. Die Produzenten konzentrieren sich in ihrem Verhalten isoliert auf einzelne Aspekte, d.h. nur auf Preisänderungen, Prozeßinnovationen oder Produktinnovationen zu einer Gütereigenschaft. Eine Verhaltensregel beschreibt also ein fokussiertes Verhalten des Produzenten.

8.4.2.1. Basisszenario

Ausgangspunkt unserer weiteren Untersuchung ist das im vorherigen Abschnitt diskutierte Basisszenario. Die statistische Verteilung der Kraftstoffverbräuche der Fahrzeuge ist als Histogramm in der Abbildung 8.46 dargestellt. Die x-Achse des Diagramms stellt den Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge nach 150 Zeitschritten, eingeteilt in 0,5-Liter Schritten²⁵, dar. Die Y-Achse gibt die Häufigkeit des jeweiligen Kraftstoffverbrauches wieder.

Im Basisszenario haben wir vier Produzentengruppen angenommen, die unterschiedliche Fahrzeugtypen am Markt anbieten (s. Abschnitt 8.2.2.1). In dem Histogramm sind die Fahrzeuge eines Typs bzw. einer Produzentengruppe in unterschiedlichen Farben wiedergegeben

²⁵Im englischen Sprachraum benutzt man für diese Einteilungen den Begriff “bin”, d.h. Mülleimer. Im deutschen Sprachraum existiert keine griffige Bezeichnung dieser Einteilungen, weswegen wir auf die Begriffsbildung “Schritte” zurückgreifen mußten.

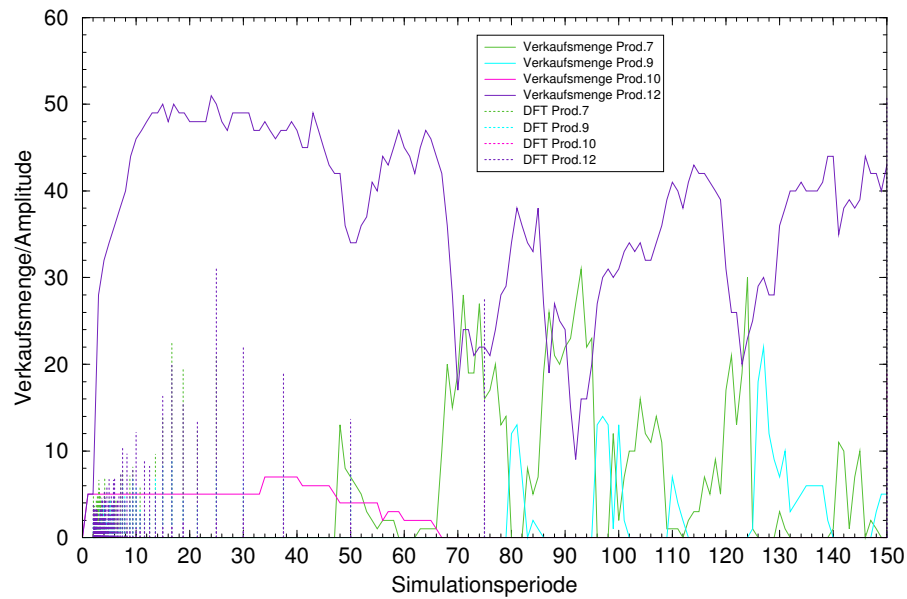


Abbildung 8.44.: Dieses Diagramm zeigt die Verkaufsmenge im Konsum-Materialistischen Milieu. Quelle: eigene.

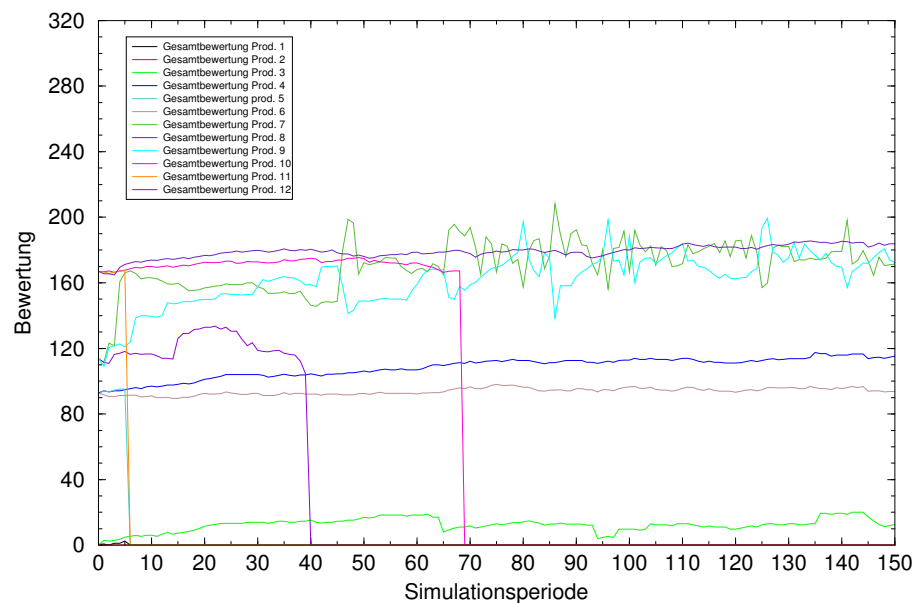


Abbildung 8.45.: Dieses Diagramm zeigt die Gesamtbewertung der Produktalternativen durch die Konsumenten im Konsum-Materialistischen Milieu. Quelle: eigene.

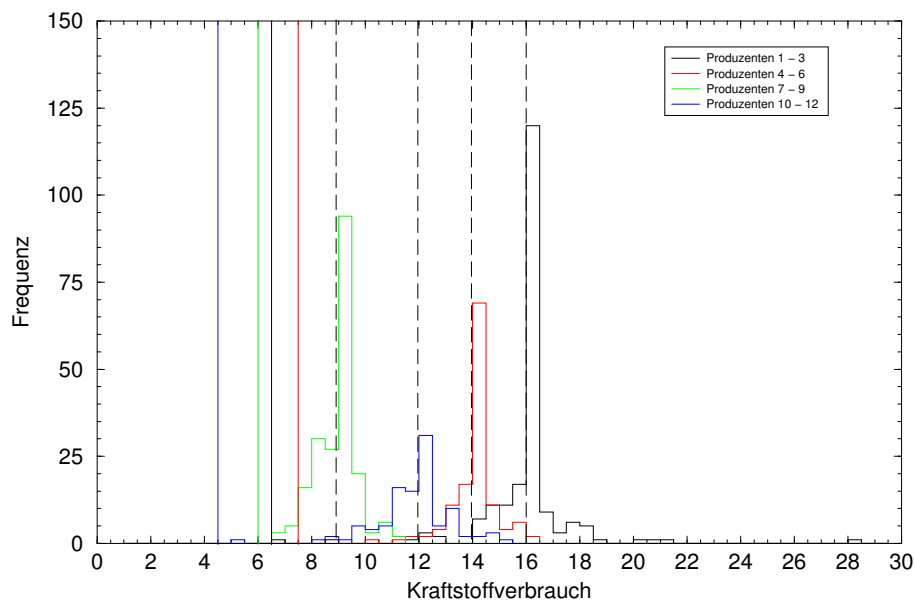


Abbildung 8.46.: Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Basisszenario. Quelle: eigene.

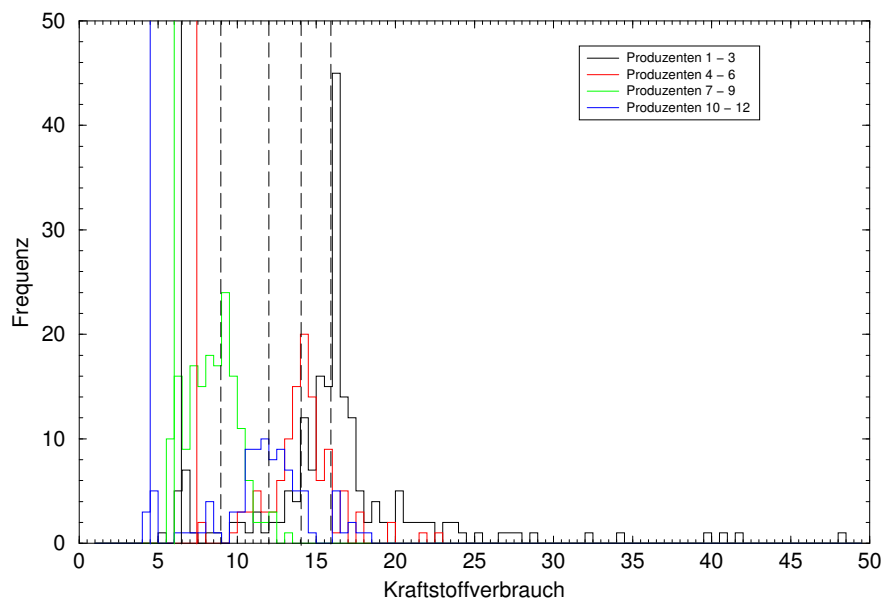


Abbildung 8.47.: Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Fall einer hohen Erfolgswahrscheinlichkeit für Innovationen. Quelle: eigene.

(s. Abb. 8.46). Dieses Vorgehen haben wir aus Darstellungsgründen gewählt. Zu einer Produzentengruppe gehören in diesen Experimenten immer alle Produzenten, die zu Beginn der Simulation ein Produkt mit den gleichen Fahrzeugeigenschaften anbieten. Wie wir im vorherigen Abschnitt gesehen haben, können einzelne Produzenten insolvent werden und aus dem Markt ausscheiden. Diese Produzenten verfälschen aber das Ergebnis nach 150 Zeitschritten, da sie zu diesem Zeitpunkt ihr Fahrzeug nicht mehr auf dem Markt anbieten. Diese insolventen Produzenten müssen aus der statistischen Betrachtung folglich eliminiert werden. Innerhalb einer Monte-Carlo-Simulation (Stichprobe von 100 Experimenten) können in den einzelnen Simulationsläufen jeweils andere Produzenten einer Produzentengruppe insolvent werden. Faßt man die Produzenten einer Gruppe zusammen, so konzentriert man die Analyse auf die Entwicklung des Fahrzeugtyps und nicht auf die Entwicklung einzelner Produzenten, mit anderen Worten: wir mitteln in dieser Darstellung über den Fahrzeugtyp.

Die Fahrzeuge der insolventen Produzenten sind aus diesen Histogramm ausgeklammert; das Diagramm gibt nur die statistische Verteilung des Kraftstoffverbrauchs der nach 150 Zeiteinheiten noch angebotenen Fahrzeuge wieder. Damit enthalten die einzelnen Verteilungen aber auch noch eine weitere Information: die Fläche unter der Verteilung entspricht der Anzahl der Produzenten, die am Ende der Simulation noch aktive Marktteilnehmer sind, summiert über die 100 Experimente. Ist diese Fläche unter einem Histogramm also groß, so überleben relativ viele Hersteller dieser Produzentengruppe.

Die Abbildung 8.46 zeigt sehr ausgeprägte Spitzen in der Verteilung der Kraftstoffverbräuche der Fahrzeuge. Die Spitzen der Verteilung fallen mit dem initialen Kraftstoffverbrauch der einzelnen Produktgruppen zusammen. Die vier gestrichelten Linien zeigen den Verbrauch der Fahrzeuge der vier Produzentengruppen in der Simulationsperiode 1 an (9, 12, 14 und 16 Einheiten). Die farbigen, durchgehenden Linien hingegen zeigen den Minimalverbrauch zu der jeweiligen Fahrzeuleistung, d.h. die Technologiesgrenze für die Fahrzeuge der vier Produzentengruppen an. Man erkennt, daß die Verteilung auf den beiden Seiten der einzelnen Spitzen sehr rasch abfällt, die Produzenten verändern den Kraftstoffverbrauch ihrer Fahrzeuge nicht signifikant. Die einzelnen Verteilungen der Produktgruppen sind weitgehend symmetrisch, woraus sich folgern läßt, daß in diesem Szenario keine ausgeprägte Innovationsrichtung existiert. Die Produzenten betreiben keine auffälligen Anstrengungen, den Kraftstoffverbrauch ihrer Fahrzeuge zu senken. Insgesamt ist die Wahrscheinlichkeit energiesparender Innovationen sehr gering. In einigen wenigen Fällen werden in diesem Experiment von den Produzenten der Gruppe 1 sogar Fahrzeuge mit hohem Kraftstoffverbrauch hergestellt; es lohnt sich für diesen Produzenten offensichtlich, solch ein Fahrzeug auf dem Markt anzubieten.

Der Abbildung 8.46 kann man desweiteren entnehmen, daß deutlich weniger Produzenten der Gruppe 4 am Ende der Simulation noch im Markt vertreten sind als bei den anderen

Produzentengruppen (kleinere Fläche unter der blauen Verteilung). Der Grund findet sich im Aspirationseffekt der Stammkundschaft dieser Produzenten des Konsum-Materialistischen Milieus, die versucht, die Konsumenten des Postmodernen Milieus nachzuahmen. Das führt zu einer Absorption der Mitglieder des Konsum-Materialistischen Milieus durch die Produkte der Produzentengruppe 3. Einen ähnlichen, wenn auch nicht so stark ausgeprägten Effekt erkennt man bei den Produzentengruppen 1 und 2, bei denen die erstere Gruppe die Stammkundschaft der Gruppe 2 absorbiert.

8.4.2.2. Hohe Erfolgswahrscheinlichkeit der Inventionen

Wie wir in der Einleitung zu diesem Abschnitt dargelegt haben, wollen wir in diesem Experiment die Wirkung einer höheren Erfolgswahrscheinlichkeit für Inventionen in den Unternehmen analysieren. Der Grund für eine solche Erhöhung der Inventionswahrscheinlichkeit kann zum Beispiel in einer besseren Ausbildung der Mitarbeiter oder in einer “erfindungsfreundlicheren” Arbeitsorganisation innerhalb der Unternehmen begründet sein. In diesem Experiment haben wir die Inventionswahrscheinlichkeit um den Faktor 6 erhöht.

Das Ergebnis ist in der Abbildung 8.47 dargestellt. Auch hier erkennen wir wieder die Verteilung der Kraftstoffverbräuche, unterteilt nach den vier Produzentengruppen. Die Spitzen der Verteilung sind in diesem Computereperiment aber weitaus niedriger als im Basisszenario, und die einzelnen Verteilungen nach Produktgruppen sind deutlich breiter. In diesem Experiment erhöht sich gegenüber dem Basisszenario die Wahrscheinlichkeit, daß die Produzenten energiesparende Fahrzeuge herstellen.

Andererseits existieren in diesem Experiment aber auch einige wenige Fahrzeuge, die einen sehr hohen Kraftstoffverbrauch besitzen, der sogar deutlich höher ist als im Basisszenario. Der Grund hierfür liegt in der Kombination einer erhöhten Inventionswahrscheinlichkeit und der Tatsache, daß für die Konsumenten des Etablierten Milieus der Benzinverbrauch keine Bedeutung für die Kaufentscheidung besitzt. Es können also auch Produzenten erfolgreich sein, die solche Fahrzeuge produzieren; eine erfolgreiche Verbrauchssteigerungsstrategie verstärkt sich über den Replikatormechnanismus der Strategiewahl (s. Kapitel 7.2.6) selbst.

Während die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Kraftstoffverbräuche der angebotenen Fahrzeuge im Basisszenario nahezu symmetrisch sind, verlaufen die Verteilungen in diesem Experiment asymmetrisch. Die Wahrscheinlichkeit, daß ein Fahrzeug mit einem niedrigeren Benzinverbrauch als zu Beginn des Simulationslaufes angeboten wird, ist deutlich höher als die Wahrscheinlichkeit, daß dieser Fahrzeugtyp mit einem höheren Benzinverbrauch angeboten wird. Es besteht in diesem Experiment also eine eindeutige Vorzugsrichtung der Produktinnovationen im Hinblick auf den Benzinverbrauch. Dieses ist besonders bei den

Produzenten der Gruppe 3 zu erkennen, deren Stammkundschaft, die Konsumenten des Postmodernen Milieus, eine hohe Präferenz für niedrigen Energieverbrauch besitzen. Für diese Produzenten lohnt es sich offensichtlich, den Kraftstoffverbrauch der eigenen Fahrzeuge zu senken. Zu einem gewissen Anteil werden die Fahrzeuge dieser Produzenten aufgrund des Nachahmungseffektes von den Konsumenten des konsum-materialistischen Milieus nachgefragt.

Dem Diagramm läßt sich darüberhinaus noch ein interessanter Aspekt entnehmen: Bei den Produzenten der Gruppen 1 und 4 erkennt man eine deutliche Erhöhung der Wahrscheinlichkeit, daß diese Produzenten Fahrzeuge an der Technologiegrenze, d.h. mit einem Verbrauch von 6.5 Einheiten (Gruppe 1) bzw. 4.5 Einheiten (Gruppe 4), herstellen. Offensichtlich können einzelne Hersteller dieser Produzentengruppen eine Verbrauchssenkungsstrategie erfolgreich umsetzen²⁶.

8.4.2.3. Hohes Bedürfnis der Konsumenten nach niedrigen Energieverbräuchen

In diesem Experiment besitzen die Konsumenten eine andere Werthaltung in ihrem Konsumstil; sie messen einem niedrigen Energieverbrauch eine weitaus größere Bedeutung zu. Solch ein veränderter Konsumstil ist immer wieder in die Diskussion um die Erreichung von Nachhaltigkeitszielen eingebracht worden [BUND/Misereor 1996]. Im Etablierten und Status-Orientierten Milieu haben wir die Präferenz für den Energieverbrauch um den Faktor 60, im Postmodernen Milieu die schon hohe Bewertung um den Faktor 4 und im Konsum-Materialistischen Milieu um den Faktor 8 erhöht.

In dem Diagramm in der Abbildung 8.48 ist die Verteilung der Kraftstoffverbräuche der einzelnen Produzentengruppen dargestellt. Es fällt auf, daß die Produzenten der Gruppe 4 nicht mehr dargestellt sind; sie überleben in keinem der Experimente bis zum Ende der Simulation. Vielmehr absorbieren die Produzenten der Gruppe 3 die Konsumenten des Konsum-Materialistischen Milieus. Diese Konsumenten bewerten nun den Benzinverbrauch der Fahrzeuge so hoch, daß die Produkte der Gruppe 3 für diese Konsumenten die höchste Attraktivität besitzen.

Die Verteilungen der anderen Produzentengruppen sind auch in diesem Experiment leicht asymmetrisch, was Ausdruck einer leicht erhöhten Wahrscheinlichkeit der Produktion energiesparenderer Fahrzeuge ist. Dieser Effekt ist aber nur bei der Produzentengruppe 3 deut-

²⁶Eine detailliertere Untersuchung mit Hilfe einer Einzelsimulation wie wir sie im Kapitel 8.3 für das Basisszenario durchgeführt haben, könnte den Aufschluß geben, ob diese Produzenten dabei im Zeitverlauf eine andere Konsumentengruppe als Nachfrager gewinnen. Allerdings verzichten wir aus Platzgründen auf diese weitergehende Analyse.

lich zu identifizieren; deren Stammkundschaft, das Postmoderne Milieu, besitzt die höchste Präferenz für niedrige Energieverbräuche.

Verglichen mit dem Basisszenario überrascht es, daß auch weiterhin ein Großteil der Fahrzeuge nach 150 Simulationsperioden mit dem jeweiligen Initialverbrauch hergestellt wird. Betrachtet man allerdings im Detail den Anteil der Bewertung des Kraftstoffverbrauches an der Gesamtbewertung des jeweiligen Fahrzeugs, so erkennt man im Etablierten und Status-Orientierten Milieu zwar eine Bedeutungszunahme, weiterhin dominieren aber die anderen Bewertungskriterien (Fahrzeugleistung, Design, milieuabhängige Konsumptionseffekte) die Gesamtbewertung durch die Konsumenten dieser Milieus. Innovationen die den Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge verändern, haben unter diesen Randbedingungen keinen Einfluß auf die Kaufentscheidung der Konsumenten. Die Produzenten erhalten für solche Innovationen keine meßbare und sich im Zeitverlauf akkumulierende Belohnung, es gibt kein Lock-in hinsichtlich der Regelwahl für Innovationen im Hinblick auf niedrige Energieverbräuche. Ausnahmen bilden Produzenten, die in eines der beiden anderen Konsumentenmilieus vorstoßen.

Bei den Produzenten der Gruppe 3 hingegen werden Innovationen, die den Kraftstoffverbrauch senken, belohnt. Diese Belohnung ist aber gering, da die Konsumenten der beiden anderen Milieus (Etabliertes und Status-Orientiertes Milieu) gleich zu Beginn der Simulation Produkte dieser Herstellergruppe 3 wählen und bei diesen verbleiben. Der Energieverbrauch dominiert dabei die Bewertung der anderen Eigenschaften. Da alle Hersteller der Gruppe 3 aber einen ähnlichen Kraftstoffverbrauch vorweisen, bestimmen die milieuabhängigen Effekte die weitere Auswahlentscheidung zwischen diesen drei Produzenten der Gruppe 3. Aufgrund der zyklischen Schwankungen, die durch den Aspirations- bzw. Distinktionseffekt auftreten, entwickelt sich ein scharfer Wettbewerb zwischen den drei Produzenten, der durch repetitive Investitions-/De-Investitionszyklen bestimmt ist. Dieser schmälert die Gewinnmarge der Produzenten, sodaß diese verstärkt Prozeßinnovationen bzw. reine Preis- und Kapazitätsanpassungen als Strategien auswählen. Das Budget für Produktinnovationen sinkt und damit auch deren Erfolgswahrscheinlichkeit.

Die Betrachtung der Kapitalrücklagen der Produzenten bekräftigt diese Analyse. Die Produzenten der Gruppen 1 und 2 steigern sukzessive ihre Kapitalrücklagen, sie arbeiten kontinuierlich profitabel. Die Produzenten der Gruppe 3 hingegen begeben sich aufgrund der ständigen Investitions- und De-Investitionszyklen in eine starke Verschuldung.

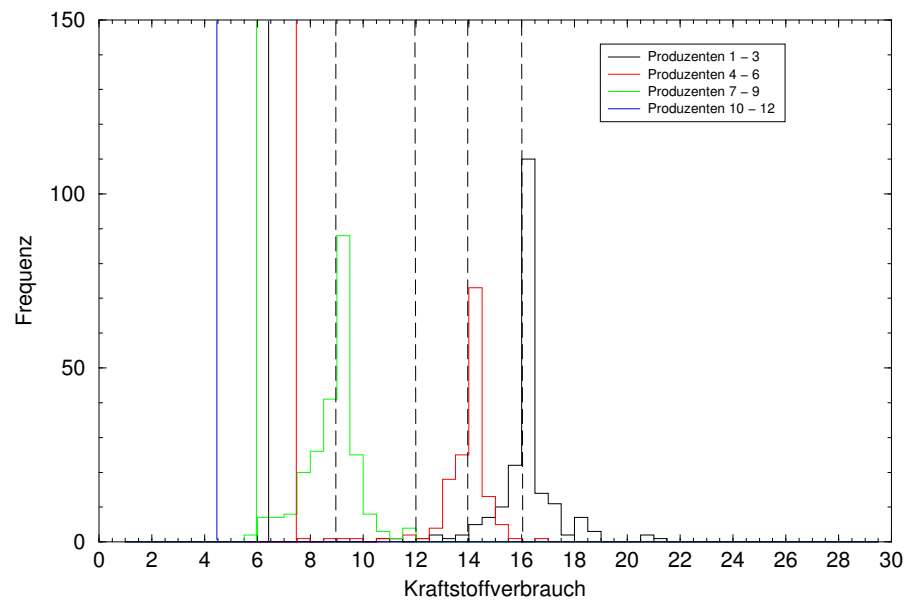


Abbildung 8.48.: Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Fall einer hohen Präferenz der Konsumenten für niedrige Kraftstoffverbräuche. Quelle: eigene.

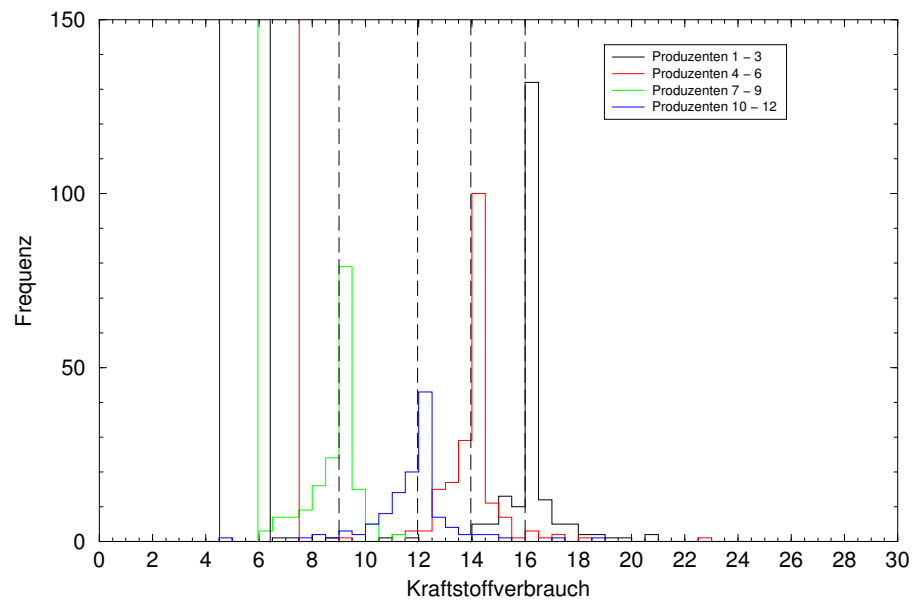


Abbildung 8.49.: Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Experiment ohne Distinktions- und Aspirationseffekte zwischen den Konsumentenmilieus. Quelle: eigene.

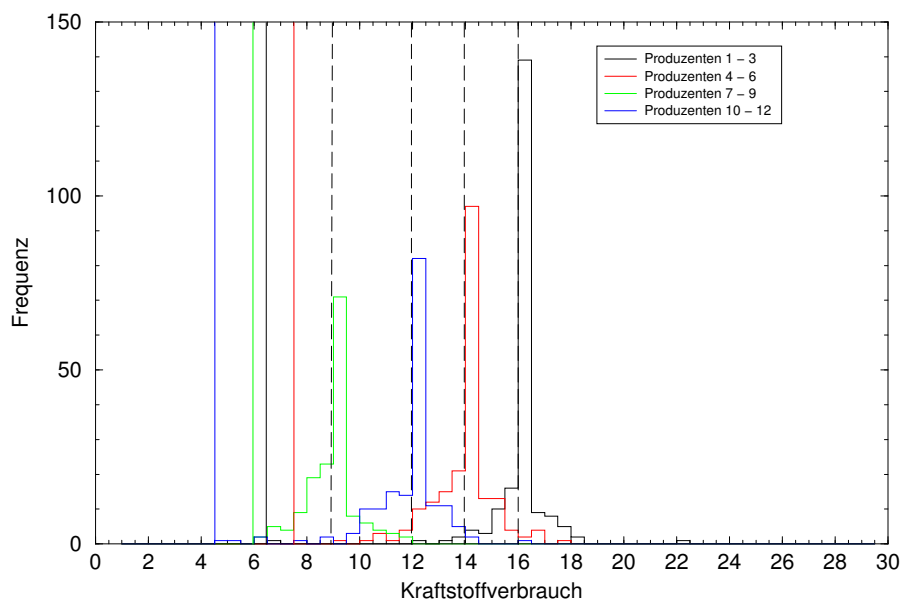


Abbildung 8.50.: Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Experiment ohne milieuhängige Konsumptionseffekte. Quelle: eigene.

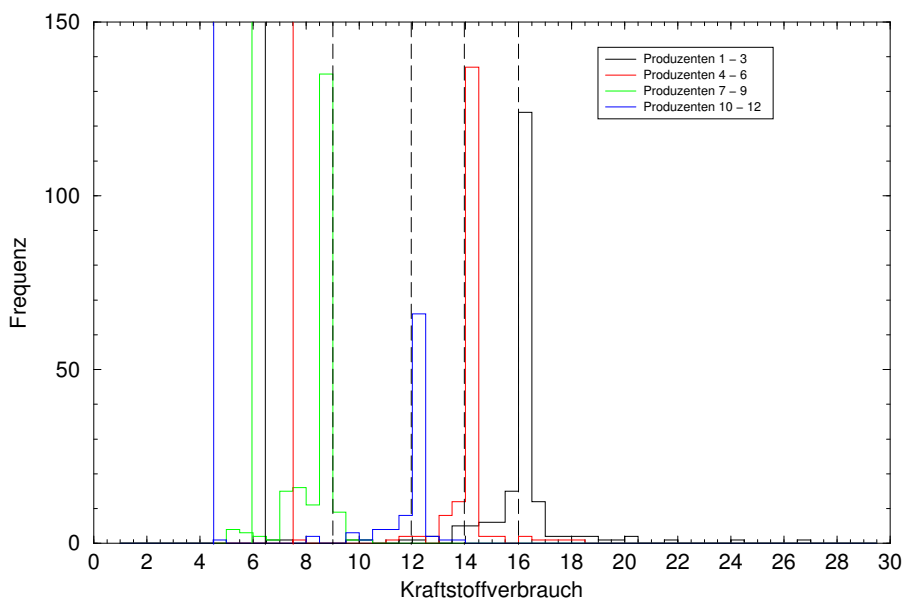


Abbildung 8.51.: Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Fall steigender Preise für die nicht-erneuerbare Ressource. Quelle: eigene

8.4.2.4. Keine Distinktions- und Aspirationseffekte

Weise [Weise 1993] und Cowan [Cowan 1998] haben in ihren Untersuchungen der verschiedenen Konsumptionseffekte herausgearbeitet, daß in bestimmten Konstellationen Distinktions- und Aspirationseffekte zyklische Schwankungen in der Konsumnachfrage erzeugen können. Diese Schwankungen konnten wir bei der Einzelbetrachtung des Basisszenarios zum Beispiel bei den Konsumenten des Etablierten und des Status-Orientierten Milieus identifizieren (s. Abb. 8.30). Dort haben wir gesehen, daß diese zyklischen Effekte eine langfristige Ausrichtung der Produzentenstrategie verhindern, da diese zu sehr diesen kurzfristigen Nachfrageschwankungen folgen müssen. In diesem Experiment wollen wir untersuchen, ob sich die Innovationstätigkeit im Hinblick auf den Benzinverbrauch bei Ausschluß dieser Effekte erhöht.

In der Abbildung 8.49 ist das Histogramm für dieses Szenario dargestellt. Im Vergleich mit dem Basisszenario kann man leichte Unterschiede erkennen, die Verteilung der Kraftstoffverbräuche in den einzelnen Produktgruppen besitzt eine leichte Asymmetrie, die Wahrscheinlichkeit des Angebotes von Fahrzeugen mit niedrigeren Kraftstoffverbräuchen ist etwas erhöht. In diesem Szenario entfallen die im Basisszenario starken milieuübergreifenden Konsumptionseffekte, die Bewertung der Produkteigenschaften und des Peer- und Snob-Effektes bei den Konsumenten innerhalb eines Milieus bestimmen die Kaufentscheidung der Produzenten. Da alle Milieus, wenn auch in unterschiedlichem Maße, einen geringeren Kraftstoffverbrauch positiv bewerten, erhöht sich der Anreiz für die Produzenten, kraftstoffsparende Fahrzeuge zu bauen.

In den Produzentengruppen 1 und 2 ist dieser Anreiz allerdings noch sehr gering. Für die Stammkundschaft dieser Produzenten fällt der Benzinverbrauch der Fahrzeuge für die Produktwahl faktisch nicht ins Gewicht. Durch den Wegfall der starken milieuübergreifenden Konsumptionseffekte ist die Nachfrage innerhalb der beiden Milieus für "ihre" Produzentengruppe sehr stabil. Im Konsum-Materialistischen Milieu, der Stammkundschaft der Produzentengruppe 4, ist der Einfluß des Energieverbrauches auf die Kaufentscheidung etwas größer, er dominiert die anderen Bewertungskriterien aber nicht, sodaß Innovationen beim Kraftstoffverbrauch sich so gut wie nicht im wirtschaftlichen Erfolg dieser Produzenten niederschlagen. Bei den Produzenten der Gruppe 3 hingegen reagiert die Stammkundschaft stark auf Veränderungen des Kraftstoffverbrauches. Im Basisszenario wird allerdings die Kaufentscheidung innerhalb der Produzentengruppe 3 durch die milieuübergreifenden Effekte bestimmt. Diese fallen nun weg, sodaß sich Änderungen des Benzinverbrauches neben dem Peer- und dem Snob-Effekt stärker auf die Kaufentscheidung auswirken. Insgesamt ist die Wahrscheinlichkeit, daß energiesparende Fahrzeuge produziert werden, etwas höher als im Basisszenario.

8.4.2.5. Keine Peer-, Snob-, Distinktions- und Aspirationseffekte

In der Diskussion des Basisszenarios in Abschnitt 8.3 haben wir gesehen, wie die Peer- und Snobeffekte die Kaufentscheidung der Konsumenten dominieren können. Nicht die eigentlichen Produkteigenschaften sind dann für die Konsumenten die entscheidenden Kriterien, sondern mehr das “Herdenverhalten” innerhalb der eigenen “Peer-Group”. Das heißt aber mit anderen Worten, daß die Rückkopplung zwischen den Produktinnovationen der Hersteller und der Kaufentscheidung der Konsumenten zumindest gestört oder sogar irreführend sein kann. In diesem Experiment wollen wir die milieuabhängigen Effekte bei der Kaufentscheidung der Konsumenten vollständig ausschließen, während wir im vorherigen Abschnitt ja nur den Distinktions- und Aspirationseffekt ausgeschlossen haben. Damit ist die Kaufentscheidung der Konsumenten nur noch von den Produkteigenschaften abhängig. Die Produktinnovationen werden also direkt an den Erfolg der Produzenten gekoppelt.

Auch in diesem Experiment, das in der Abbildung 8.50 dargestellt ist, erkennen wir wieder sehr schmale und ausgeprägte Verteilungen für die einzelnen Produktgruppen. Im Vergleich mit dem Basisszenario fällt direkt auf, daß aus der Produktgruppe 3 viel weniger Produkte am Ende der Simulationen im Markt verblieben sind. Durch den Wegfall des Aspirationseffektes des konsum-materialistischen Milieus gegenüber dem Postmodernen Milieu, das die Stammkundschaft für die Produktgruppe 3 darstellt, werden diese Produkte nicht mehr so häufig nachgefragt, es überleben weniger Produzenten dieser Produktgruppe. Im Gegenzug ist die Überlebenswahrscheinlichkeit für die Produzenten der Produktgruppe 4, den Stammlieferanten für das konsum-materialistische Milieu, erhöht. Die Entwicklung energiesparender Fahrzeuge wird durch den Wegfall dieser milieuabhängigen Konsumtionseffekte nicht wesentlich forciert bzw. erleichtert.

8.4.2.6. Steigende Benzinpreise

Wie oben schon beschrieben, nehmen wir in diesem Experiment die Diskussion zu der prätiellen Steuerung von ökologischen Produktinnovationen auf. Wir treffen in diesem Experiment die Annahme, daß die Reserven an der nicht-erneuerbaren Ressource deutlich verringert sind. Auf dem kompetitiven Markt für diese Ressource hat das zur Folge, daß im Verlauf der Simulation der Preis für diese Ressource auf das 3,5 - 4-fache ansteigt. Im Vergleich dazu beläuft sich die Preissteigerung im Basisszenario auf nur 4%. Wir wollen also untersuchen, ob solche massiven Preissteigerungen die Entwicklung kraftstoffeffizienter Fahrzeuge positiv beeinflussen.

In der Abbildung 8.51 ist das Histogramm für die Verteilung der Kraftstoffverbräuche der Fahrzeuge in diesem Szenario dargestellt. In dieser Abbildung erkennt man, daß die Vertei-

lungen für die vier Produktgruppen noch schmäler als im Basisszenario sind. Darüberhinaus kann man aus den Daten extrahieren, daß weniger Produzenten in diesem Markt überleben, was man auch daran erkennt, daß die Fläche unter den Verteilungen kleiner als im Basisszenario ist. Allerdings ist die Anzahl der Produzenten, die mit einer Strategie des “Nicht-Änderns” überleben, um ein Drittel höher als im Basisszenario. Einzig in der Produktgruppe der Produzenten 7 bis 9 werden einige etwas sparsamere Fahrzeuge gebaut. Die Produzenten der Produktgruppe 4, die ja die niedrigste Einkommensklasse bedienen, können in diesem Szenario bei weitem nicht so gut überleben wie im Basisszenario.

Betrachtet man die Industriekapazität und die Gesamtnachfrage in dem Markt, so klärt sich dieses Ergebnis auf, da beide im Verlauf der Simulation um ein Drittel sinken, während im Basisszenario die Gesamtkapazität und die Gesamtnachfrage nahezu konstant bleiben. Bei genauer Betrachtung der Verkaufsmengen in den einzelnen Konsumentenmilieus erkennt man, daß die massive Erhöhung des Energiepreises einen Einbruch der Verkaufsmenge im Konsum-Materialistischen Milieu zur Folge hat. Dieses Milieu besitzt aber das geringste verfügbare Einkommen, der hohe Benzinpreis führt in diesem Milieu zu einer Streckung der Kaufintervalle, während der Geld angespart wird.

Wir haben in der Modelldefinition die Annahme getroffen, daß die Konsumenten auf steigende Energiepreise nicht mit einer Verringerung der Fahrleistung und auch nicht mit einer Substitution innerhalb ihres Haushaltsbudgets reagieren können. Wir sprechen in diesem Modell folglich von einer starren, preisunelastischen Nachfrage nach automobilen Verkehrsleistungen. Diese Annahme mag auf den ersten Blick zweifelhaft sein, zieht man aber die Zersiedelung in den letzten Jahrzehnten in Betracht, so kann im ländlichen Raum in Ermangelung eines ausreichenden Systems öffentlicher Verkehrsmittel genau von solch einer Situation gesprochen werden. Auch die starre Aufteilung des Haushaltsbudgets ist gerade in den unteren Einkommensschichten häufig anzutreffen [Stat. Bundesamt 2002].

Im Etablierten und Status-Orientierten Milieu hingegen bleiben die Gesamtverkaufsmengen aufgrund des hohen verfügbaren Einkommens nahezu konstant, diese Konsumenten sind nicht gezwungen, intertemporal zu substituieren. Die sinkenden Verkaufsmengen der anderen Produzenten führen zu sinkenden Umsätzen dieser Produzenten. Die Forschungsbudgets sind aber bei dem hier gewählten Verhaltensrepertoire der Produzenten prozentual an den Umsatz gekoppelt, sodaß sie sich im Verlauf der Simulationen verkleinern, wie eine detaillierte Betrachtung bestätigt. Mit sinkenden Forschungsbudgets verringert sich aufgrund des Wissensverfalls auch das Know-How der Produzenten im Hinblick auf die Produktinnovationen und damit auch die Erfolgswahrscheinlichkeit. Im Zeitverlauf kommt es zu immer weniger erfolgreichen Innovationen, es bildet sich ein Lock-in für die Produkteigenschaften bei den initialen Ausprägungen heraus. Für die Produzenten der Gruppen 1 und 2 hingegen besteht bei dieser Länge der Simulation noch kein Anreiz, in die Senkung des Energiever-

brauches zu investieren, da diese keine spürbare Auswirkung auf den wirtschaftlichen Erfolg dieser Produzenten hat.

8.4.2.7. Zusammenfassung

Vergleichen wir abschließend die Ergebnisse dieser Experimente, so müssen wir feststellen, daß nur in zwei der sechs Experimente eine erkennbare Veränderung der Wahrscheinlichkeitsverteilung hin zu energiesparenden Fahrzeugen auftritt: bei einer hohen Erfolgswahrscheinlichkeit der Inventionen und bei hohen Konsumentenpräferenzen für energiesparende Fahrzeuge. Insbesondere bei einer hohen Erfolgswahrscheinlichkeit der Forschung kann sich eine kumulierte Pfadabhängigkeit der Innovationen aufbauen, die zu einer deutlichen Erhöhung der Wahrscheinlichkeit niedriger Verbräuche führt.

Bei hohen Konsumentenpräferenzen hingegen ist dieser Effekt bei weitem nicht so deutlich. In diesem Experiment verschwindet sogar eine Produzentengruppe vollständig aus dem Markt, sie bietet kein attraktives Produkt mehr an. Die milieuübergreifenden Konsumptionseffekte bei den Konsumenten des Postmodernen und des Konsum-Materialistischen Milieus gewinnen in diesem Experiment für die eigentliche Kaufentscheidung zwischen den Produzenten der Gruppe 3 an Bedeutung. Daraus resultieren starke zyklische Schwankungen in der Nachfrage. Als Resultat dieser Nachfrageschwankungen verwickeln sich die Produzenten der Gruppe 3 in einen scharfen Wettbewerb, der sie in eine Verschuldungsfalle führt.

Das Ausschließen der milieuübergreifenden Effekte hingegen zeigt im Vergleich zum Basisszenario kaum Wirkung auf die Innovationstätigkeit der Produzenten. Vielmehr wird das Lock-in der Produzenten innerhalb "ihres" Milieus noch verstärkt. Der Wegfall sämtlicher milieuabhängiger Kräfte beeinflußt die Entwicklung energiesparender Fahrzeuge genausowenig, allerdings ist im Vergleich zu dem vorhergehenden Experiment das Lock-in innerhalb des Milieus nicht so stark ausgeprägt.

Das überraschendste Ergebnis tritt im Fall hoher Energiepreise auf. In diesen Experimenten ist die Wahrscheinlichkeit, daß kraftstoffsparende Fahrzeuge angeboten werden, deutlich niedriger als im Basisszenario. Entgegen der Annahme, daß höhere Benzinpreise die Entwicklung kraftstoffsparender Fahrzeuge initiieren, tritt in diesen Experimenten das gegenteilige Verhalten der Produzenten auf. Die Entwicklung energiesparender Fahrzeuge wird vielmehr durch die steigenden Benzinpreise gehemmt.

Regel	Forschung	Produkte	Leistung	Verbrauch	Design	Suchrichtung Leistung	Suchrichtung Verbrauch	Suchrichtung Design	Preis-	Investitionen	De-Investitionen
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.002	0.50	0.30
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.50	0.30
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.998	0.50	0.30
4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.50	0.30
5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.998	0.50	0.30
6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.70	0.50
7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.998	0.70	0.50
8	0.1	1.0	0.333	0.333	0.333	1.0	1.0	1.0	1.002	0.50	0.30
9	0.1	1.0	0.333	0.333	0.333	1.0	1.0	-1.0	1.000	0.50	0.30
10	0.1	1.0	0.333	0.333	0.333	1.0	-1.0	1.0	1.004	0.50	0.30
11	0.1	1.0	0.333	0.333	0.333	1.0	-1.0	-1.0	1.002	0.50	0.30
12	0.1	1.0	0.333	0.333	0.333	-1.0	1.0	1.0	1.000	0.50	0.30
13	0.1	1.0	0.333	0.333	0.333	-1.0	1.0	-1.0	0.996	0.50	0.30
14	0.1	1.0	0.333	0.333	0.333	-1.0	-1.0	1.0	1.000	0.50	0.30
15	0.1	1.0	0.333	0.333	0.333	-1.0	-1.0	-1.0	0.998	0.50	0.30
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.50	0.30
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.70	0.50

Tabelle 8.6.: Diese Tabelle faßt die Produzentenregeln mit diversifizierten Forschungsstrategien zusammen.

8.4.3. Produzententyp II

Im vorherigen Abschnitt besteht das Verhaltensrepertoire der Produzenten aus “reinen” Innovationsstrategien. Darunter verstehen wir solche Regeln, bei denen sich der Produzent bei der Umsetzung der Inventionen in Produktinnovationen immer auf nur eine Eigenschaft konzentriert. In diesem Abschnitt treffen wir hingegen die Annahme, daß der Produzent seine Innovationsstrategien diversifiziert. Einerseits verteilt er sein Forschungsbudget zu gleichen Teilen auf die Wissensakkumulation bei allen drei Produkteigenschaften, andererseits setzt er auch gleichzeitig bei mehreren Produkteigenschaften Inventionen in Innovationen um. In der Tabelle 8.6 sind die den Produzenten dieses Typs zur Verfügung stehenden Verhaltensregeln aufgelistet. Die Verhaltensregeln 8 - 15 sind jetzt die Regeln, die die Produktinnovationsstrategien der Hersteller bestimmen. Alle anderen Verhaltensregeln zur reinen Preissetzung oder Prozeßinnovation haben wir vom Produzententyp (s. Tabelle 8.5) übernommen. Die Verhaltensregeln 8 - 15 unterscheiden sich nur in Bezug auf die Richtung der Innovationsanstrengung und das jeweilige Preissetzungsverhalten. Für die Preissetzung der Produzenten haben wir die Annahme getroffen, daß in Bezug auf die Produkteigenschaften Fahrzeugleistung und Design eine positive Korrelation existiert, d.h. eine Erhöhung der Eigenschaftsausprägung wird in eine Preissteigerung und umgekehrt wird eine Senkung in eine Preissenkung umgesetzt. Für den Kraftstoffverbrauch hingegen haben wir die umgekehrte Korrelation angenommen, eine Senkung des Kraftstoffverbrauchs wird in eine Preissteigerung umgesetzt.

8.4.3.1. Basisszenario

Um die beiden Produzententypen miteinander vergleichen zu können, haben wir zuerst wieder das Basisszenario untersucht. Die Verteilung für den Kraftstoffverbrauch der einzelnen Produktgruppen ist in der Abbildung 8.52 dargestellt.

Vergleicht man die Verteilungen mit denen des ersten Produzententyps in Abbildung 8.46, so erkennt man ähnliche Verteilungen. Allerdings sind die Verteilungen bei dem Produzententyp 2 nicht so stark ausgeprägt und sie sind insgesamt etwas breiter. Die Wahrscheinlichkeit, vom Ausgangswert verschiedene Kraftstoffverbräuche zu erreichen, hat sich im Vergleich zum Basisszenario für den Produzententyp I leicht erhöht. Diese Ausläufer sind bei der Verteilung für die Produzentengruppe 3 am stärksten ausgeprägt, niedrige Energieverbräuche sind bei dem in diesem Abschnitt betrachteten Produzententyp I häufiger zu finden.

Insgesamt ist die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Produktinnovation für diesen Produzententyp II bei gleichem Forschungswissen höher, da er keine "reinen" Strategien verfolgt.

Der Produzententyp I verfolgt mit seinem Repertoire von Verhaltensregeln immer nur Innovationen bei einer Eigenschaft; Inventionen bei einer anderen Produkteigenschaft werden dann nicht von der Unternehmensstrategie abgedeckt, sie werden von dem Produzenten auch nicht auf dem Markt als Produktinnovationen umgesetzt. Der Produzententyp II hingegen streut seine Innovationsanstrengungen gleichzeitig auf alle drei Eigenschaften, was zur Folge hat, daß bei jeder der Regeln 8 - 15 versucht wird, eine Invention in eine Innovation am Markt umzusetzen.

Die Wahrscheinlichkeit, einen eine halbe Einheit niedrigeren oder höheren Verbrauch zu erhalten, ist deutlich gestiegen; bei höheren Abweichungen fällt diese aber sehr schnell ab und unterscheidet sich kaum von den Ergebnissen des Produzententyps I. Betrachtet man das Experiment nun genauer, so muß man sich bewußt machen, daß die Produktinnovationen kumulativ sind, d.h. sie durchlaufen im Verlauf der Simulation einen bestimmten Pfad im Eigenschaftsraum. Durch die Markov-Annahme kann der nächste Zustand, d.h. die nächste Ausprägung der Eigenschaft Kraftstoffverbrauch, nur von dem aktuellen Zustand mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit erreicht werden. Diese Wahrscheinlichkeit wird durch das Forschungswissen und die Regelwahl der Produzenten bestimmt. Ist nun eine Verhaltensregel für die Senkung des Energieverbrauches für einen Produzenten erfolgreich, so erhöht sich die Wahrscheinlichkeit der erneuten Wahl dieser Verhaltensregel, d.h. einer weiteren Senkung, sodaß sich die Pfadabhängigkeit verstärkt.

In diesem Ausgangsszenario schwankt die Nachfrage aufgrund des zyklischen Konsumentenverhaltens so stark, daß die Verstärkung eines bestimmten Verhaltens auf seiten der Pro-

duzenten immer wieder gestört wird. Eine Pfadabhängigkeit in der Wahl der Innovationsstrategie kann sich nicht aufbauen. Das führt dazu, daß zwar kleine Änderungen gegenüber dem Initialverbrauch häufiger stattfinden, diese Innovationen aber nicht fortgeführt werden. Vielmehr werden diese in vielen Fällen sogar wieder zurückgenommen, da aufgrund der veränderten Marktbedingungen die Rücknahme dem Hersteller vorteilhaft erscheint.

8.4.3.2. Hohe Inventionswahrscheinlichkeit bei den Unternehmen

In der nächsten Monte-Carlo Simulation haben wir die Erfolgswahrscheinlichkeit für Produkt- und Prozeßinnovationen der Produzenten um den Faktor 6 erhöht. Die Ergebnisse dieser Simulation sind in dem Diagramm in der Abbildung 8.53 dargestellt.

Vergleicht man diese Ergebnisse mit dem Basisszenario (s. Abb. 8.52), das wir oben besprochen haben, so sind deutliche Unterschiede zwischen den beiden Simulationen zu erkennen. Bei den Produzentengruppen 1 und 2 sind die Spitzen der Verteilungen nicht so stark ausgeprägt wie im Basisszenario, die Verteilungen haben sich deutlich verbreitert.

Die Verteilung der Produzentengruppe 1 hat ihre Symmetrie verloren, höhere Kraftstoffverbräuche sind jetzt wahrscheinlicher als niedrige. Offensichtlich lohnt sich eine solche Innovationsrichtung für diese Produzenten, und eine höhere Inventionswahrscheinlichkeit unterstützt diese Strategie mit einem kontinuierlicheren Ideenfluß.

Bei der Produzentengruppe 2 hingegen hat sich die monomodale Verteilung aus dem Basisszenario in eine bimodale Verteilung der Kraftstoffverbräuche entwickelt. Während eine Spitze in dem Segment 13 - 13.5 Einheiten zu finden ist, hat sich eine zweite Spitze der Verteilung bei einem leicht höheren Kraftstoffverbrauch zwischen 15 und 15.5 Einheiten herausgebildet. Diese Verteilung zeigt darüberhinaus eine leichte Asymmetrie hin zu niedrigen Energieverbräuchen.

Bei der Produzentengruppe 3 sind die Unterschiede im Vergleich zum Basisszenario am deutlichsten. Für diese Produzentengruppe wird die Randlösung im Eigenschaftsraum an der Untergrenze des Energieverbrauches für konventionelle Fahrzeuge erreicht. Die Form der Verteilung entspricht nicht mehr einer Normalverteilung, vielmehr erinnert sie an eine Poissonverteilung. Insgesamt ist der Kraftstoffverbrauch für Fahrzeuge dieser Produzentengruppe in diesem Szenario deutlich gesenkt.

Bei den Produzenten der Gruppe 4 hat sich die Verteilung der Kraftstoffverbräuche deutlich verbreitert, wobei die Verteilung eine leichte Asymmetrie hin zu niedrigeren Verbräuchen aufweist. Die Verteilung hat darüberhinaus nicht mehr die eindeutige Spitze wie im Basis-

szenario, sondern zeigt zwei Schwerpunkte mit einem niedrigeren und einem höheren Energieverbrauch.

Vergleicht man die beiden Produzententypen unter sonst gleichen Parametern, so erkennt man, daß die Randlösungen bei dem Produzenten des Typs II eine höhere Wahrscheinlichkeit besitzen. Bei den Produzenten der Produzentengruppe 1 ist hingegen die Verteilung für den Typ II breiter und betont zudem die Entwicklung höherer Kraftstoffverbräuche.

Die deutliche Erhöhung der Erfolgswahrscheinlichkeit erhöht den Ideenfluß innerhalb der Unternehmen. Die Wahrscheinlichkeit, daß diese Ideen in Innovationen umgesetzt werden, ist aufgrund der breiteren Streuung der Produzentenstrategien im Vergleich zum Verhaltenstyp I deutlich höher. Für den zugrundeliegenden Markov-Prozeß hat das zur Folge, daß die weiter vom Initialwert entfernt liegenden Kraftstoffverbräuche weitaus häufiger erreicht werden. Insbesondere bei der Produzentengruppe 3 kumulieren sich diese bedingten Wahrscheinlichkeiten im Zusammenspiel mit der Nachfrage der Konsumenten, insbesondere des Postmodernen und des Konsum-Materialistischen Milieus, zu einer Häufigkeitsverteilung, die die Randlösung an der Technologieschwelle betont.

8.4.3.3. Hohes Bedürfnis der Konsumenten nach niedrigen Energieverbräuchen

In diesem Experiment besitzen die Konsumenten in allen Milieus eine deutlich höhere Präferenz für einen niedrigen Energieverbrauch der Fahrzeuge. Alle anderen Parameter gleichen denen im Basisszenario.

Betrachtet man die Ergebnisse für die Verteilung der Kraftstoffverbräuche in der Abbildung 8.54, so erkennt man, daß die Produzenten der Gruppe 4 sich unter diesen Marktbedingungen nicht behaupten können. Dieses entspricht auch den Ergebnissen für dieses Experiment bei den Produzenten des Typs I im vorherigen Abschnitt.

Im Vergleich zum Basisszenario sind die Verteilungen asymmetrischer geworden, was insbesondere für die Produzentengruppe 3 auffällt. Aber auch bei den Produzentengruppen 1 und 2 erkennt man eine leichte Asymmetrie der Verteilung hin zu niedrigen Verbräuchen. Die Spitzen der Verteilungen sind hingegen weitaus weniger ausgeprägt als bei der Produzentengruppe 3.

Etwas genauer muß man nun noch die Produzentengruppe 3 betrachten. Im Vergleich mit dem Basisszenario ist in diesem Experiment die Wahrscheinlichkeit für niedrige Energieverbräuche deutlich höher. Die Verteilung weist eine deutliche Asymmetrie hin zu niedrigeren Verbräuchen auf. Im Vergleich mit dem gleichen Szenario für den Produzententyp I erkennt

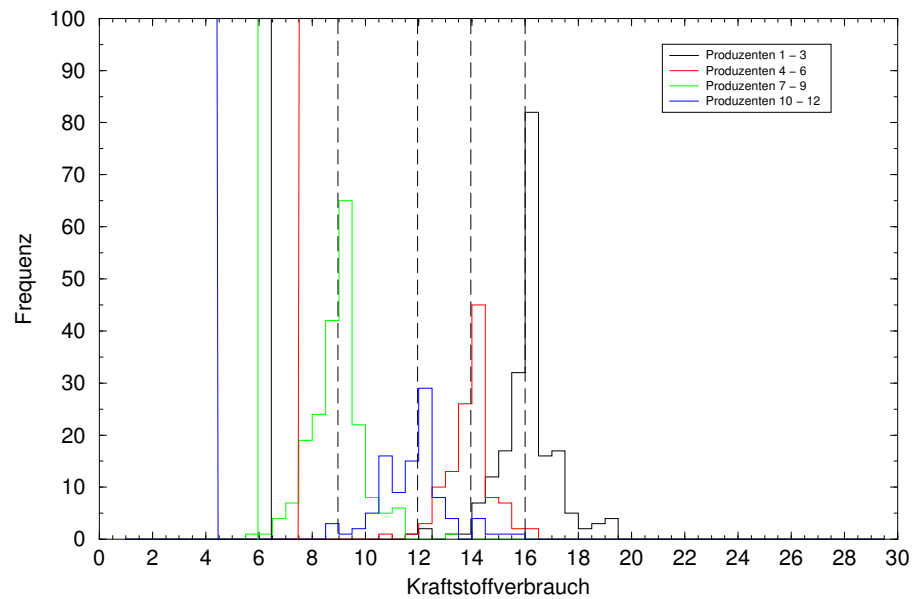


Abbildung 8.52.: Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Basisszenario für den Produzententyp II. Quelle: eigene.

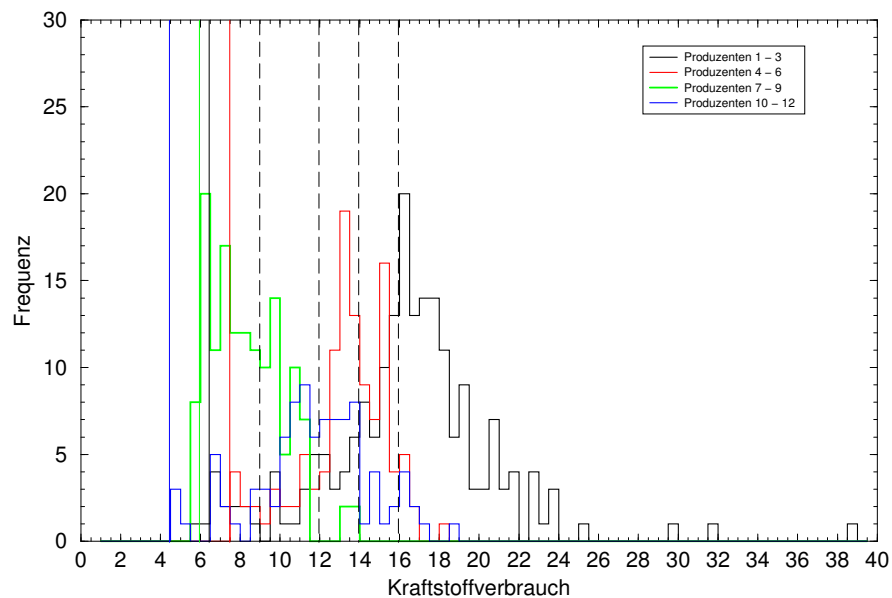


Abbildung 8.53.: Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Fall hoher Erfolgswahrscheinlichkeit für Innovationen. Quelle: eigene.

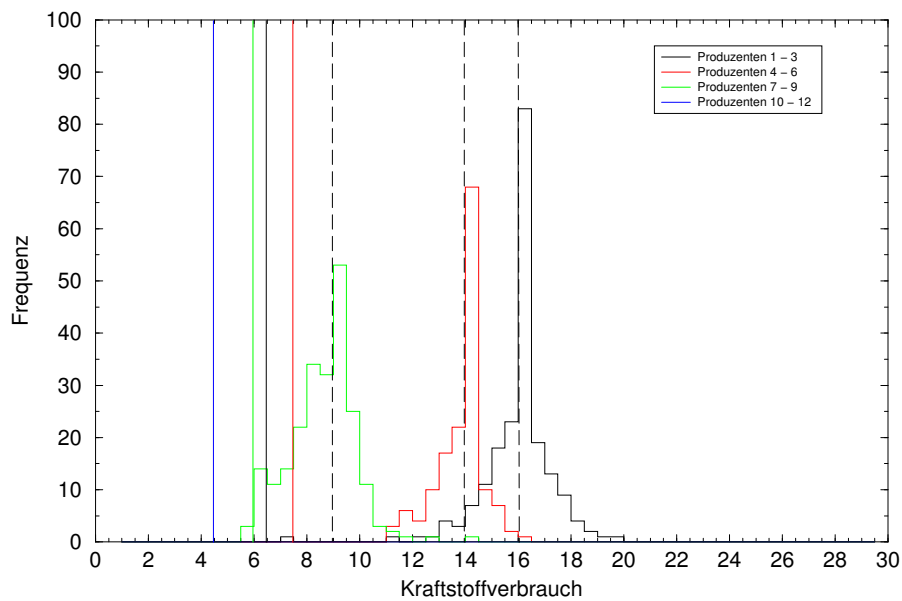


Abbildung 8.54.: Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Fall einer hohen Präferenz der Konsumenten für niedrige Energieverbräuche der Fahrzeuge. Quelle: eigene.

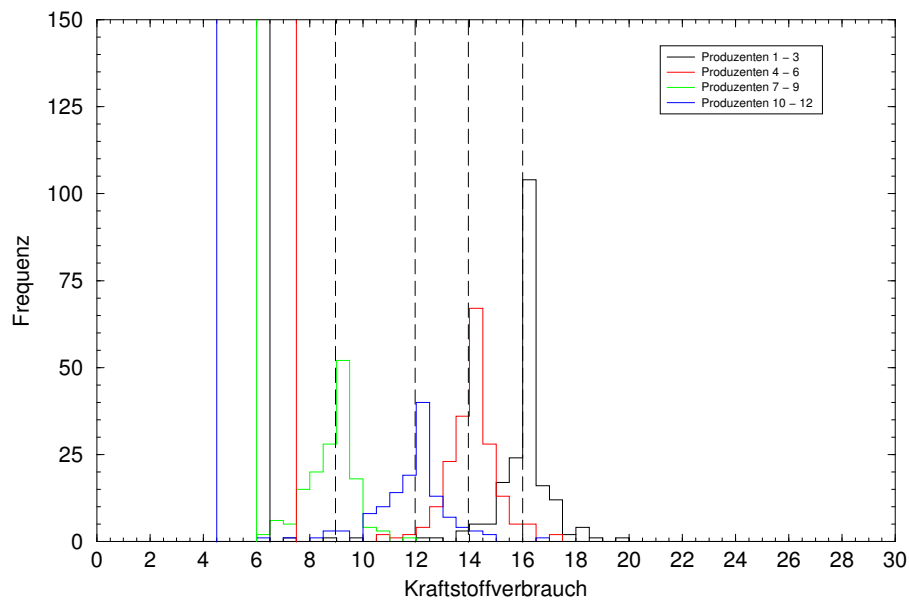


Abbildung 8.55.: Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Experiment ohne Distinktions- und Aspirationseffekte zwischen den Konsumentenmilieus. Quelle: eigene.

man eine weitaus flachere Verteilung, deren linker Arm deutlich höhere Wahrscheinlichkeiten aufweist.

Obwohl sich in diesem Experiment deutliche Veränderungen in der Marktstruktur zeigen, so verwundert es doch, wie gering der Effekt der doch deutlichen Erhöhung der Konsumentenpräferenzen für niedrige Energieverbräuche der Fahrzeuge ist. Es zeigt sich zwar eine leichte Betonung niedrigerer Verbräuche in den Verteilungen, eine Dominanz energiesparender Fahrzeuge tritt in diesem Experiment aber nicht auf. Offensichtlich sind die Marktsignale, die über die Kaufentscheidung der Konsumenten an die Produzenten übermittelt werden, nicht eindeutig genug, sodaß diese zu einer bevorzugten Verbrauchssenkungsstrategie der Produzenten führen.

8.4.3.4. Keine Distinktions- und Aspirationseffekte

In diesem Experiment haben wir, wie schon in dem ähnlichen Experiment im vorherigen Abschnitt, die milieuübergreifenden Konsumptionseffekte ausgeschlossen, was zur Folge hat, daß die zyklischen Schwankungen, die im Basisszenario zwischen verschiedenen Milieus auftreten, verschwinden. Die Ergebnisse dieser Monte-Carlo Simulation sind im Diagramm der Abbildung 8.55 zu sehen.

Vergleicht man die Ergebnisse mit dem Basisszenario für diesen Produzententyp, so erkennt man, daß die Spitzen der Verteilungen etwas niedriger ausfallen, diese dafür aber etwas breiter sind. Die Produzenten führen also leicht verstärkt innovative Aktivitäten erfolgreich durch. Eine geringe Asymmetrie der Verteilungen hin zu niedrigen Energieverbräuchen ist zu erkennen, der Energieverbrauch gewinnt bei der Beurteilung der Produktalternativen durch die Konsumenten an Bedeutung. Die zyklischen Schwankungen in der Produktnachfrage verschwinden in diesem Experiment gegenüber dem Basisszenario für diesen Produzententyp, sodaß sich die Wahrscheinlichkeiten, bei einer Forschungsstrategie zu verbleiben, erhöhen und sich die Innovationsergebnisse kumulieren.

Im Vergleich der beiden Produzententypen (s. Abb. 8.49 bzw. 8.55) zeigen sich für den Produzententyp II für alle Produzentengruppen breitere Verteilungen mit niedrigeren Spitzen. Die Wahrscheinlichkeit, Fahrzeuge mit niedrigerem Energieverbrauch vorzufinden, ist für den Typ II leicht erhöht. In diesem Experiment werden Inventionen häufiger auf dem Markt ausprobiert, sodaß sich die Innovationen etwas stärker kumulieren können und größere Änderungen des Kraftstoffverbrauches häufiger auftreten. Durch die (leichte) Präferenz der Konsumenten für niedrige Energieverbräuche der Fahrzeuge wird diese Innovationsrichtung der Produzenten etwas mehr belohnt, sodaß sich die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens geringfügig erhöht.

8.4.3.5. Keine Peer-, Snob-, Distinktions- und Aspirationseffekte

In diesem Experiment haben wir die milieuabhängigen Konsumptionseffekte vollständig eliminiert, die Konsumenten bewerten die Produktalternativen nur anhand der Eigenschaften und des Produktpreises. Die Ergebnisse dieses Experimentes sind in dem Diagramm der Abbildung 8.56 dargestellt.

Vergleicht man dieses Szenario mit dem Basisszenario für den Produzententyp II, so treten die Arme der Verteilungen etwas deutlicher hervor. Die Produzenten engagieren sich in diesem Experiment etwas stärker in innovativen Aktivitäten. Hierbei betonen die Produzenten in ihren innovativen Tätigkeiten ganz leicht niedrigere Energieverbräuche, die Verteilungen zeigen ein geringes Maß an Asymmetrie. Vergleicht man die Ergebnisse mit den Produzenten des Typs I, so sind die Verteilungen in diesem Experiment etwas breiter, und sie besitzen eine niedrigere Spitze.

In diesem Experiment bewerten die Konsumenten die Fahrzeugalternativen nur noch aufgrund der Produkteigenschaften; produktspezifische Änderungen wirken sich nun direkt auf die Produktwahl aus. Im Falle der Existenz milieuabhängiger Konsumptionseffekte hingegen bestimmen die Produkteigenschaften zwar die Produzentengruppe, die eigentliche Wahl des Fahrzeuges innerhalb der Gruppe wird aber durch diese milieuabhängigen Effekte bestimmt.

Die Änderung der bedingten Wahrscheinlichkeit für die Wahl der Innovationsrichtung ist in diesem Experiment nun direkt von den Produktinnovationen bestimmt. Die bedingten Wahrscheinlichkeiten für den Erfolg dieser Produktinnovationen sind nun über den gesamten Simulationsverlauf höher als bei den Produzenten des Typs I, da die Produzenten nun, wie oben schon mehrfach betont, gemischte Strategien verfolgen. So können sich die Produktinnovationen leichter kumulieren, größere Abweichungen gegenüber dem Initialwert sind nun wahrscheinlicher. Da alle Konsumenten, insbesondere aber die des Postmodernen Milieus, deren bevorzugte Produzenten die der Gruppe 3 sind, eine Präferenz für niedrige Energieverbräuche besitzen und damit eine Produktion derartiger Fahrzeuge belohnt wird, zeigen die Verteilungen für die Kraftstoffverbräuche eine geringfügige Asymmetrie hin zu niedrigeren Energieverbräuchen.

8.4.3.6. Große Benzinpreissteigerungen

In diesem Experiment haben wir wie schon beim Produzententyp I den Ressourcenbestand zu Beginn der Simulation deutlich verringert. Das hat zur Folge, daß sich der Preis des Energieträgers im Verlauf der Simulation um den Faktor 3,75-4 erhöht, während die Preissteigerung im Basisszenario nur 4% beträgt.

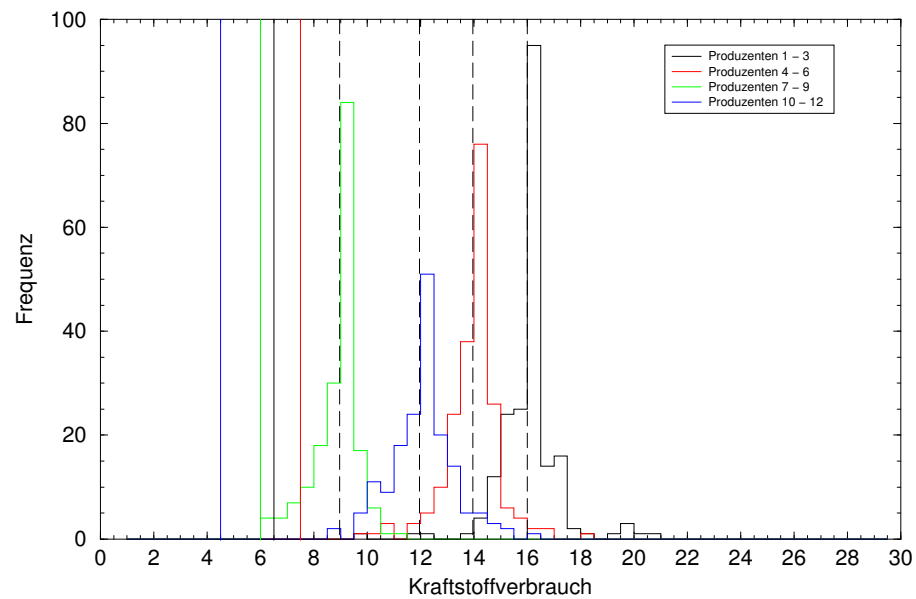


Abbildung 8.56.: Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Experiment ohne milieuhängige Konsumptionseffekte. Quelle: eigene.

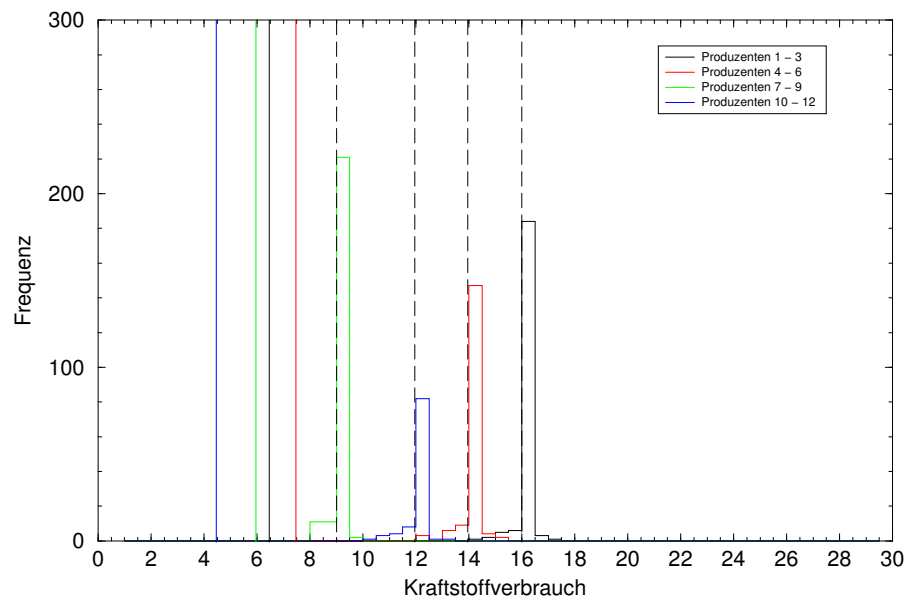


Abbildung 8.57.: Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Fall stark ansteigender Preise für die nicht-erneuerbare Ressource. Quelle: eigene.

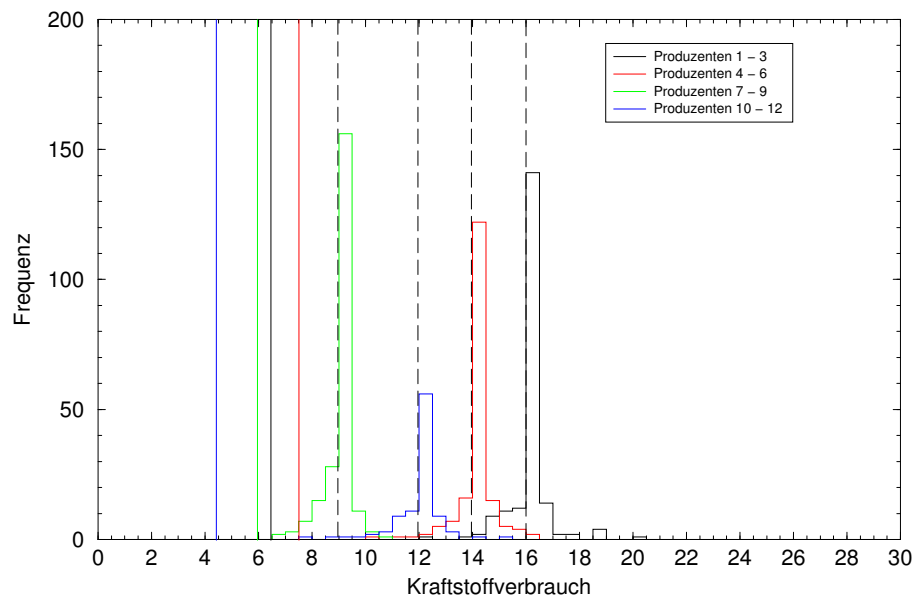


Abbildung 8.58.: Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Szenario mit der Kombination der Einzelexperimente “Hohe Inventionswahrscheinlichkeit” und “Steigende Kraftstoffpreise” für den Produzententyp I. Quelle: eigene.

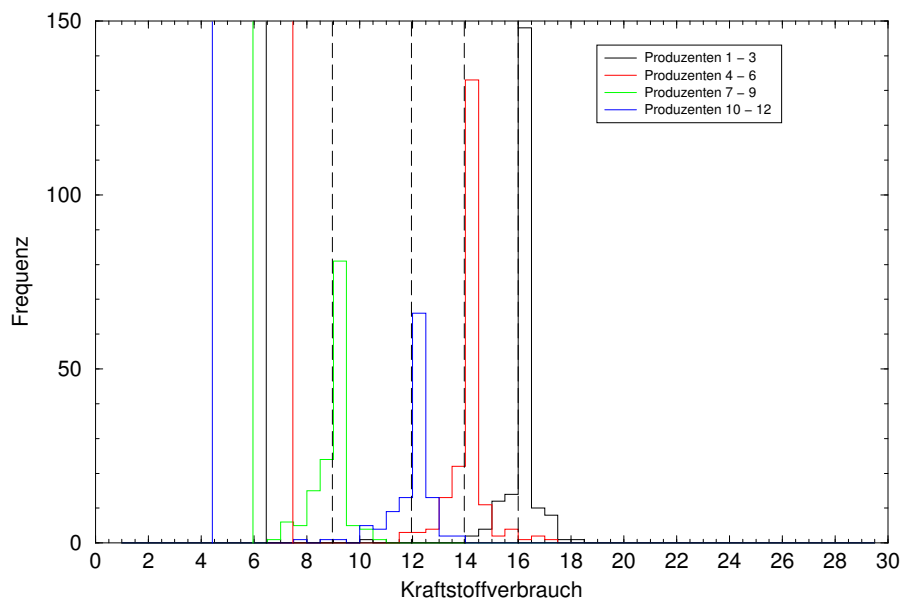


Abbildung 8.59.: Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Szenario mit der Kombination der Einzelexperimente “Hohe Inventionswahrscheinlichkeit”, “Steigende Kraftstoffpreise” und “Keine Distinktions- und Aspirationseffekte” für den Produzententyp I. Quelle: eigene.

Die Ergebnisse dieses Experiments, die in dem Diagramm in der Abbildung 8.57 wiedergegeben sind, zeigen sehr deutlich schmale, hohe Wahrscheinlichkeitsverteilungen mit einer sehr geringen Breite. Diese Verteilungen sind für alle Produzentengruppen im Vergleich zum Basisszenario für den Produzententyp II sehr schmal, es finden kaum innovative Aktivitäten der Produzenten im Hinblick auf den Kraftstoffverbrauch statt. Die Wahrscheinlichkeit, daß ein Produzent ein energiesparendes Fahrzeug produziert, ist im Vergleich zum Basisszenario für diesen Produzententyp deutlich verringert.

Auch im Vergleich mit dem verwandten Experiment für den Produzententyp I erkennt man die deutlich schmaleren und ausgeprägteren Verteilungen. Insbesondere bei der Produzentengruppe 3 ist die Frequenz der Verteilungsspitze doppelt so hoch wie in dem Szenario für den Produzententyp I. Offensichtlich existiert für die Produzenten in diesem Szenario keine eindeutige Innovationsrichtung.

Untersucht man diese Simulation etwas genauer, so erkennt man wie schon in dem ähnlichen Experiment des vorherigen Abschnittes für den Produzententyp I, daß die Wettbewerbsfähigkeit in der Produzentengruppe 4 gegenüber dem Basisszenario deutlich abnimmt. Durch die hohen Kraftstoffkosten werden die Konsumenten des Konsum-Materialistischen Milieus und zum Teil auch die des Postmodernen Milieus aus dem Markt als Nachfrager herausgedrängt. Diese Konsumenten können sich bei den stark ansteigenden Ressourcenpreisen im Simulationsverlauf aufgrund ihrer begrenzten finanziellen Mittel nur in immer größer werdenden Abständen ein neues Fahrzeug leisten. Die Gesamtverkaufsmenge nimmt im Verlauf der Simulationen auf ein Niveau von ungefähr 75 Einheiten, d.h. auf die Hälfte der Gesamtverkaufsmenge im Basisszenario II ab.

Diese Verringerung der Gesamtverkaufsmenge geht bei den Produzenten mit einer Verringerung des Umsatzes einher, was wiederum aufgrund der Kopplung von Forschungsaufwendungen und Umsatz zu einer Verringerung der individuellen Forschungsanstrengungen der Produzenten führt.

Im Vergleich zu dem Produzententyp I sind bei diesem Produzententyp aufgrund der Diversifizierung der Forschungsanstrengungen die absoluten Aufwendungen für die Forschung bei den einzelnen Produkteigenschaften aber niedriger. Das hat zur Folge, daß für die einzelnen Produkteigenschaften nicht soviel Forschungswissen aufgebaut und gehalten werden kann wie im Basisszenario. Der Ideenfluß ist verringert, und es wird für die Produzenten im Verlauf der einzelnen Simulation immer schwieriger, einen kumulierten Innovationspfad zu verfolgen.

8.4.3.7. Zusammenfassung

Vergleicht man die Experimente dieses Abschnitts miteinander, so ergibt sich ein ähnliches Bild wie im vorherigen Abschnitt bei der Diskussion der Produzenten des Typs I. In zwei Experimenten, bei hoher Erfolgswahrscheinlichkeit der Produktinnovationen und bei hoher Präferenz der Konsumenten für niedrige Energieverbräuche, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, daß solche Fahrzeuge hergestellt werden, deutlich. Insbesondere im Falle einer hohen Erfolgswahrscheinlichkeit verstärken die Produzenten der Gruppe 3 ihre Innovationsanstrengungen sehr deutlich in Richtung einer Senkung des Energieverbrauchs.

Im Vergleich der beiden Produzententypen wollen wir zwei Experimente näher beleuchten: (1) im Falle einer hohen Erfolgswahrscheinlichkeit der Inventionen senken die Produzenten des Typs II die Kraftstoffverbräuche ihrer Fahrzeuge deutlicher als die Produzenten des anderen Typs. (2) Die Diversifikation der Produzenten, die unterschiedliche Inventionen gleichzeitig in Innovationen umsetzt und die sich nicht auf eine Kompetenz fokussiert, erhöht den Fluß neuer Innovationen und ist folglich besonders förderlich für die Diffusion energiesparender Fahrzeuge; auch in diesem Experiment, in dem mit hoher Wahrscheinlichkeit die Randlösung an der Technologiegrenze für den Kraftstoffverbrauch erreicht wird, gelingt es den Produzenten allerdings nicht, die vorhandene Technologielücke zum Hypercar zu überspringen.

Im Falle stark steigender Energiepreise hingegen erweist sich die Diversifikation der Innovationsstrategien offensichtlich als kontraproduktiv. In diesem Experiment können die Produzenten aufgrund des "Crowding-Out" der Hälfte der Konsumenten kein hohes Forschungsbudget aufwenden, das Wissen der Mitarbeiter veraltet und sinkt ab. Das hat wiederum zur Folge, daß die Wahrscheinlichkeit erfolgreicher Produktinventionen und damit auch von Produktinnovationen sinkt. Da sich die erfolgreichen Produktinnovationen aber kumulieren müssen, um niedrige oder auch hohe Kraftstoffverbräuche für die Fahrzeuge zu erreichen, gibt es in diesem Experiment für die Produzenten ein noch stärkeres Verharren beim initialen Kraftstoffverbrauch.

8.4.4. Kombination der Einzelszenarien

8.4.4.1. Einleitung

Nachdem wir in den beiden vorhergehenden Abschnitten 8.4.2 und 8.4.3 jeweils einzelne Parameter gegenüber dem Basisszenario verändert haben, um die Wirkung dieser Veränderung untersuchen zu können, wollen wir in diesem Abschnitt verschiedene Parameteränderungen aus den vorherigen Abschnitten miteinander kombinieren. Ziel dieses Abschnitts ist

die Analyse der Fragestellung, inwieweit sich diese Parameteränderungen sinnvoll ergänzen oder aber gegenseitig in ihrer Wirkung aufheben.

Wir haben die Kombination der einzelnen Sensitivitätsanalysen so gewählt, daß sich eine Folge von aufeinander aufbauenden Experimenten entlang eines Pfades im Raum der Modellparameter ergibt. Die Abfolge der Experimente haben wir dabei wie folgt gewählt:

1. Zu Beginn untersuchen wir die Kombination des Experiments mit einer hohen Erfolgswahrscheinlichkeit mit dem Szenario eines stark ansteigenden Preises für die nicht-erneuerbare Ressource.
2. Im zweiten Experiment ergänzen wir das obige Experiment dahingehend, daß wir nun auch die Existenz des Distinktions- und Aspirationseffektes zwischen den Milieus ausschließen.
3. Das dritte und letzte Experiment dieser Folge von Szenarien postuliert zusätzlich zu den Annahmen der beiden vorhergehenden Experimente die Annahme, daß die Konsumenten eine hohe Präferenz für einen niedrigen Energieverbrauch der Fahrzeuge besitzen, sie also einem Wertewandel unterliegen.

Diese Parameteränderungen gegenüber dem Basisszenario für die beiden Produzententypen I und II haben wir von den Einzelszenarien der Abschnitte 8.4.2 und 8.4.3 übernommen. Die verschiedenen Experimente haben wir sowohl für den Produzententyp I mit reinen Innovationsstrategien als auch für den Typ II mit diversifizierten Innovationsstrategien durchgeführt.

8.4.4.2. Produzententyp I

8.4.4.2.1. Hohe Inventionsrate & steigende Kraftstoffpreise Die Ergebnisse dieses Experiments sind in der Abbildung 8.58 wiedergegeben. Die Verteilungen für die Kraftstoffverbräuche weisen hohe Spitzen und eine geringe Breite auf, die Produzenten engagieren sich also nur in geringem Maße in innovative Aktivitäten. Vergleicht man dieses Experiment mit dem Basisszenario für diesen Produzententyp (s. Abb. 8.46), so erkennt man ausgeprägtere Spitzen und geringere Breiten der Verteilungen.

Vergleicht man diese Simulation nun mit den beiden Einzelszenarien (geringe Ressource bzw. hohe Erfolgswahrscheinlichkeit für Inventionen), so findet man sehr ausgeprägte Spitzen. Besonders auffällig ist der Unterschied gegenüber dem Szenario mit hoher Erfolgswahrscheinlichkeit für Inventionen, bei dem sich ja eine deutliche Veränderung der Verteilungen, insbesondere der Produzentengruppe 3, gezeigt hat, die in diesem Experiment aber nicht

zur Geltung kommt. Der Einfluß der geringen Ressourcenmenge auf das Handeln der Produzenten und Konsumenten ist so groß, daß die Produzenten kaum innovative Aktivitäten durchführen.

Auch in diesem Szenario zeigt sich der hemmende Einfluß hoher Ressourcenpreise auf die Innovationsdynamik des Marktes. Der durch die stark sinkende Nachfrage verringerte Umsatz führt zu geringeren Forschungsbudgets der Produzenten, die wiederum weniger Forschungswissen akkumulieren können. Dieses geringere Forschungswissen kann in diesem Szenario auch durch die Erhöhung der Erfolgswahrscheinlichkeit für die Inventionen um den Faktor 6 nicht kompensiert werden. Die hohen Ressourcenpreise und die sich daraus ergebenden geringeren Umsätze der Produzenten verringern deren Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in einem erheblichen Maße.

8.4.4.2.2. Abschnitt 8.4.4.2.1 + keine Distinktions- und Aspirationseffekte Im nächsten Experiment haben wir zusätzlich zu den Änderungen im vorherigen Experiment die milieuübergreifenden Konsumptionseffekte in der Simulation ausgeschlossen. Die zyklischen Schwankungen, die im Basisszenario I deutlich die Konsumentennachfrage nach den Produkten beeinflussen, treten in dieser Konstellation nicht mehr auf. Die Kaufentscheidungen der Konsumenten sollten nicht mehr so stark schwanken.

Betrachtet man die Ergebnisse in dem Diagramm der Abbildung 8.59, so macht sich dieses Verhalten in den Verteilungen im Vergleich zum vorherigen Szenario kaum bemerkbar. Eine leichte Verbreiterung der Verteilung zusammen mit einer geringen Asymmetrie hin zu niedrigen Energieverbräuchen läßt sich konstatieren, wenn auch in sehr geringem Maße.

Der Wegfall der milieuübergreifenden Konsumptionseffekte wirkt sich in Kombination mit den beiden anderen Effekten allerdings auf die Höhe der Maxima der Verteilungen für die Produzenten der Gruppen 3 und 4 aus. Der Aspirationseffekt bei den Konsumenten des Konsum-Materialistischen Milieus hat dazu geführt, daß diese die Konsumenten des Postmodernen Milieus nachahmen, deren bevorzugte Fahrzeuge von den Produzenten der Gruppe 3 hergestellt werden. Dieser Nachahmungseffekt entfällt nun, wodurch sich mehr Produzenten der Gruppe 4 im Markt behaupten können und sich deren Frequenz im Diagramm gegenüber den Produzenten der Gruppe 3 erhöht. In dem Diagramm 8.59 erkennt man das an der größeren Fläche unter der Verteilung für die Produzentengruppe 4.

Auch in diesem Experiment ist die Gesamtnachfrage wie in dem vorherigen Experiment auf ungefähr 75 Einheiten gesunken. Die geringe Innovationsdynamik besitzt die gleichen Ursachen wie im vorherigen Experiment, auch der Wegfall der milieuübergreifenden Konsumptionseffekte kann dieses nicht kompensieren.

8.4.4.2.3. Abschnitt 8.4.4.2.2 + hohe Präferenz für niedrigen Energieverbrauch Das nächste Experiment erweitert die vorhergehenden um eine hohe Präferenz der Konsumenten für niedrige Energieverbräuche der Fahrzeuge.

In dem Ergebnis in Abbildung 8.60 erkennt man wie schon bei dem einfachen Szenario in Abschnitt 8.4.2.3, daß die Produzenten der Gruppe 4 sich unter diesen Bedingungen nicht mehr im Markt behaupten können. Die Verteilungen der drei anderen Produzentengruppen sind etwas breiter und weniger stark ausgeprägt in der Spitze als im Basisszenario. In dieser Simulation sind die Verteilungen darüberhinaus wieder deutlich asymmetrisch mit einer Betonung der niedrigeren Energieverbräuche. Dieses Ergebnis tritt besonders bei der Produzentengruppe 3 hervor.

Im Vergleich mit dem einfachen Szenario, in dem nur die Konsumentenpräferenz verändert wurde, sind in diesem Experiment die niedrigeren Energieverbräuche etwas stärker betont. Insgesamt bestehen aber weniger Produzenten im Markt, da die geringen Reserven der nicht-erneuerbaren Ressource wie schon in den beiden Vorgängerexperimenten zu kräftig steigenden Ressourcenpreisen und damit geringeren Verkaufsmengen insbesondere im Konsum-Materialistischen Milieu führen.

Dieser Umstand verhindert auch eine etwas stärkere Innovationsdynamik, die man auf der Basis der Ergebnisse der beiden vorherigen Abschnitte bei der Kombination von hohem Forschungserfolg und hoher Präferenz der Konsumenten für niedrige Energieverbräuche erwarten konnte. In der Summe verändern sich die Kraftstoffverbräuche der Fahrzeuge über die drei Experimente hinweg nur in sehr geringem Maße, offensichtlich behindern die hohen Energiepreise alle Innovationsanstrengungen der Produzenten zur Verringerung des Kraftstoffverbrauches.

8.4.4.3. Produzententyp II

Nachdem wir im vorherigen Abschnitt drei Experimente, die eine Kombination der Einzelexperimente aus dem Abschnitt 8.4.2 darstellen, für den Produzententyp I untersucht haben, wollen wir in diesem Abschnitt vergleichend diese Experimente für den Produzententyp II durchführen. Dieser Vergleich soll einen Aufschluß geben, inwieweit eine veränderte strategische Ausrichtung der Produzenten, dargestellt durch eine andere Menge von "Standard Operating Procedures", Einfluß auf die Marktdynamik unter sonst gleichen Bedingungen hat. Beginnen wollen wir wie im vorherigen Abschnitt mit dem Experiment, bei dem wir eine erhöhte Erfolgswahrscheinlichkeit für Inventionen in den Unternehmen und steigende Kraftstoffpreise annehmen.

8.4.4.3.1. Hohe Inventionsrate & steigende Kraftstoffpreise Im ersten Experiment dieses Abschnittes zeigen sich für den Produzententyp II im Gegensatz zu dem gleichen Experiment für den Produzententyp I deutliche Veränderungen der Verteilung der Kraftstoffverbräuche. Die Verteilungen sind allgemein breiter geworden und weisen niedrigere Spitzen auf. In dem Diagramm in der Abbildung 8.62 erkennt man, daß die Verteilungen für die Produzentengruppen 1 und 2 weiterhin symmetrisch sind mit einem eindeutigen Mittelwert. Die Verteilung für die Produzentengruppe 4 ist hingegen sehr flach und breit, sodaß kaum ein eindeutiger Mittelwert identifiziert werden kann. Für die Produzentengruppen 1 und 4 ist darüberhinaus erkennbar, daß im Gegensatz zu den bisher diskutierten Experimenten die Randlösung bei niedrigen Energieverbräuchen mit einer endlichen Wahrscheinlichkeit erreicht wird.

Besondere Aufmerksamkeit wollen wir der Produzentengruppe 3 widmen. Bei diesen Produzenten zeigen sich die deutlichsten Veränderungen; die Verteilung besitzt jetzt zwei Schwerpunkte, einerseits nahe des Ausgangsverbrauchs zu Beginn der Simulation und andererseits als Randlösung an der unteren Grenze des Eigenschaftsraumes.

Diese Bimodalität der Verteilung legt die Vermutung nahe, daß eine Bifurkation im Phasenraum der zeitlichen Entwicklung existiert. Wie kann man sich das vorstellen? Diese Vermutung wollen wir anhand des Diagramms in Abbildung 8.61 näher erläutern²⁷. Das Diagramm zeigt den zeitlichen Verlauf mehrerer Entwicklungspfade des Kraftstoffverbrauchs. Diese Entwicklungspfade werden durch die Innovationstätigkeit des Produzenten bestimmt.

Im Szenario I hat der Produzent den Kraftstoffverbrauch seines Fahrzeugs nur geringfügig gesenkt; derartige Produzenten werden in dem Diagramm 8.62 durch die Spitze der Verteilung für die Produzentengruppe 3 nahe dem Ausgangsverbrauch zwischen 8 und 8,5 Einheiten Kraftstoffverbrauch repräsentiert. Die Produzenten müssen in diesem Szenario keine oder nur geringe Forschungsinvestitionen für den Kraftstoffverbrauch aufwenden und können somit in diesem Markt überleben, ohne große Wettbewerbsvorteile zu erringen.

Andererseits existiert das Szenario III, das diejenigen Produzenten repräsentiert, die schon zu Beginn der Simulation versucht haben, den Kraftstoffverbrauch ihres Fahrzeuges deutlich zu senken. Diese werden in der Abbildung 8.62 durch die Spitze der Verteilung zwischen 5,5 und 6,5 Einheiten repräsentiert. Diese Produzenten haben sich durch die frühzeitigen Innovationen einen Wettbewerbsvorteil verschafft, der ihnen ihre Umsätze sichert. Diese Umsätze re-investieren diese Produzenten in die weitere Forschung zur Senkung des Kraftstoffverbrauches, da sich diese Strategie für die Produzenten als erfolgreich erwiesen hat

²⁷In diesem Diagramm folgen wir einer Methodik, die z.B. Erdmann in die Diskussion eingeführt hat [Erdmann 1993].

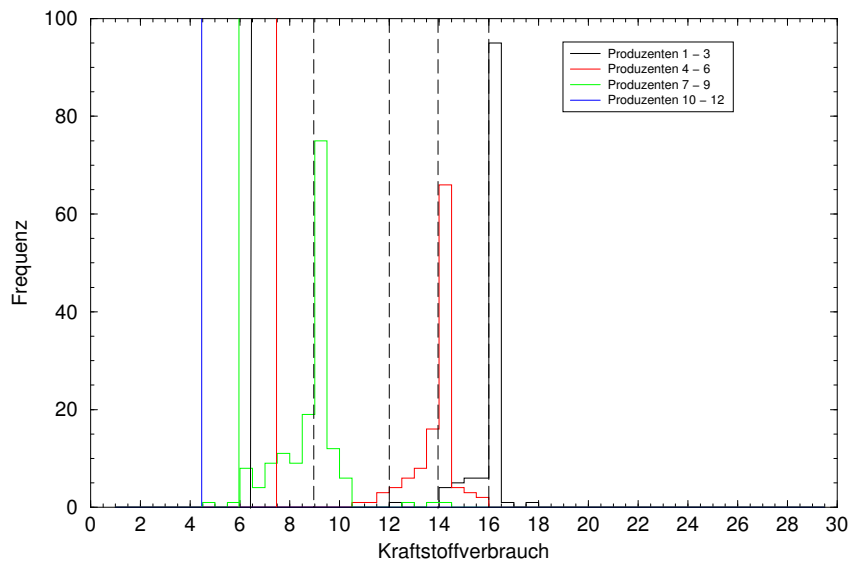


Abbildung 8.60.: Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Szenario mit der Kombination der Einzelexperimente “Hohe Inventionswahrscheinlichkeit”, “Steigende Kraftstoffpreise”, “Keine Distinktions- und Aspirationseffekte” und “Hohe Konsumentenpräferenz für niedrigen Kraftstoffverbrauch” für den Produzententyp I. Quelle: eigene.

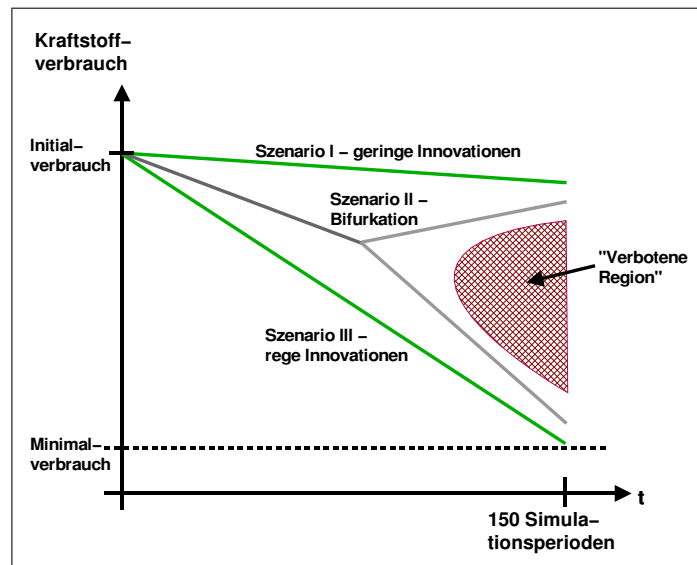


Abbildung 8.61.: In dieser Abbildung ist das Bifurkationsdiagramm für das Experiment in Abschnitt 8.4.4.3.1 dargestellt. Quelle: eigene.

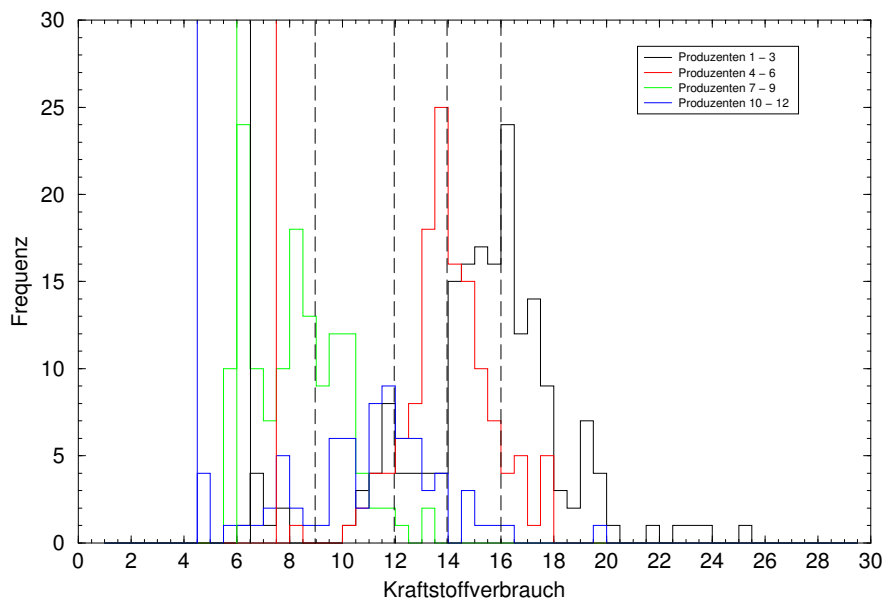


Abbildung 8.62.: Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Szenario mit der Kombination der Einzelexperimente “Hohe Inventionswahrscheinlichkeit” und “Steigende Kraftstoffpreise” für den Produzententyp II. Quelle: eigene.

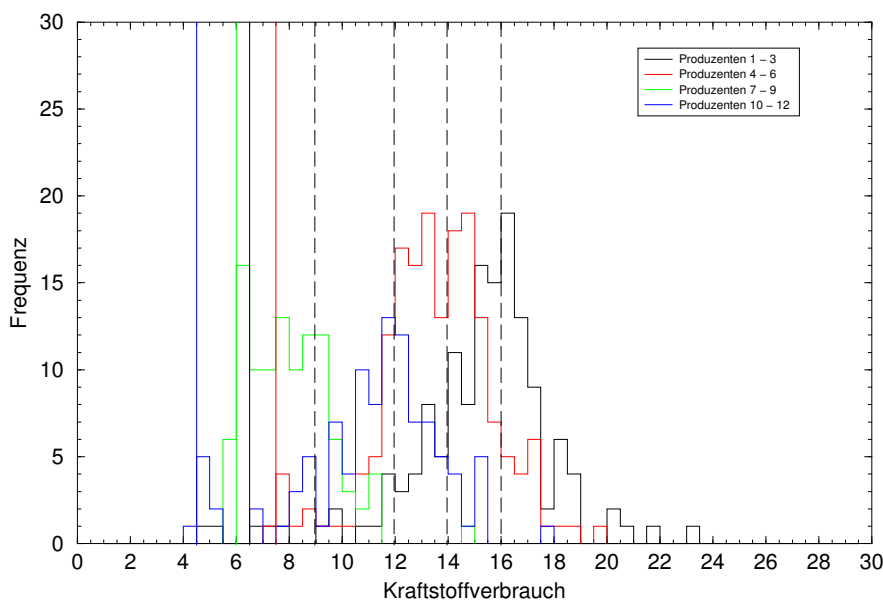


Abbildung 8.63.: Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Szenario mit der Kombination der Einzelexperimente “Hohe Inventionswahrscheinlichkeit”, “Steigende Kraftstoffpreise” und “Keine Distinktions- und Aspirationseffekte” für den Produzententyp II. Quelle: eigene.

(Lernalgorithmus). Diese Produzenten erreichen durch das Verfolgen dieser Strategie die Untergrenze des Kraftstoffverbrauchs und sichern so ihr Überleben.

Durch den steigenden Kraftstoffpreis werden auch für die Konsumenten des Postmodernen Milieus Fahrzeuge mit höherem Energieverbrauch unattraktiver. Nun existiert ein Band von möglichen Kraftstoffverbräuchen, die für die Konsumenten unattraktiv sind, aber von den Produzenten deutliche Investitionen in die Forschungs- und Entwicklung dieser Verbrauchssenkungen erfordern. Die Kombination dieser beiden Effekte führt jetzt dazu, daß sich diese Verbräuche als unattraktiv oder nicht-profitabel für die Produzenten darstellen. Diese Situation haben wir versucht, in dem Diagramm 8.61 durch die rot-schraffierte Region darzustellen, die wir als “verboten” gekennzeichnet haben²⁸. Jetzt kann es Produzenten geben, die zu Beginn des Experiments entlang des Entwicklungspfades des Szenarios II den Kraftstoffverbrauch gesenkt haben. Durch die steigenden Energiepreise erreichen sie dann aber einen Punkt, an dem sie entweder gezielt den Energieverbrauch weiter senken oder die Forschungsinvestitionen in die Senkung des Verbrauches einstellen. Aufgrund der steigenden Preise ist ein “Business-As-Usual” nicht mehr profitabel; diejenigen Produzenten, die trotzdem so weiter vorgehen, müssen rasch den Markt verlassen. Für den Produzenten stellt sich diese Situation als Bifurkation im Phasenraum der zeitlichen Entwicklung der Produkteigenschaft “Kraftstoffverbrauch” dar, wie wir es in der Abbildung 8.61 dargestellt haben. Solch eine Bifurkation ist der Grund für das Auftreten einer bimodalen Verteilung der Kraftstoffverbräuche bei den Produzenten der Produzentengruppe 3.

8.4.4.3.2. Abschnitt 8.4.4.3.1 + keine Distinktions- und Aspirationseffekte In dem nächsten Experiment schließen wir aufbauend auf dem Experiment in Abschnitt 8.4.4.3.1 die Distinktions- und Aspirationseffekte zwischen den Konsumentenmilieus aus.

Die Ergebnisse dieses Experiments sind in der Abbildung 8.63 wiedergegeben. Veränderungen gegenüber dem vorherigen Experiment treten nun insbesondere bei den Produzentengruppen 2 und 4 auf. Die Stammkundschaft dieser beiden Gruppen, das Status-Orientierte und das Konsum-Materialistische Milieu, orientiert sich nun nicht mehr so stark an den anderen Milieus. Die Konsumenten messen vielmehr den Produkteigenschaften und dem Kaufverhalten im eigenen Milieu mehr Bedeutung bei. Damit wird die Marktstellung der Produzenten der Produzentengruppen 2 und 4 gestärkt; die innovativen Aktivitäten sind bei den Produzenten der Gruppe 2 stärker ausgeprägt, während bei den Produzenten der Gruppe 4 die Verteilung nunmehr einen eindeutigen Mittelwert aufweist.

Bei den Produzenten der Gruppe 3 ist die Bimodalität der Verteilung etwas geringer aus-

²⁸Diese Region ist natürlich nicht verboten; vielmehr ist es äußerst unwahrscheinlich, daß eine solche Merkmalskombination für den Produzenten unter diesen Marktbedingungen profitabel ist.

geprägt, durch den Wegfall der Nachahmungseffekte durch die Konsumenten des Konsum-Materialistischen Milieus ist die Nachfrage nach den Produkten dieser Produzenten im Vergleich zum vorherigen Experiment etwas gesunken. Bei den Produzenten der Gruppe 4 hingegen ist eine geringe Bimodalität zu erkennen, neben der Verteilung um den Initialwert herum existiert noch eine kleine Spitze der Verteilung im Bereich der Randlösung an der Technologiegrenze. Die im Vergleich zum vorherigen Experiment klarere Ausprägung läßt sich auf die höhere Bindung der Konsumenten des Konsum-Materialistischen Milieus an die Produzenten dieser Gruppe begründen. Für die Existenz solch einer Bimodalität der Verteilungen verweisen wir auf unsere Diskussion im Abschnitt 8.4.4.3.1.

8.4.4.3.3. Abschnitt 8.4.4.3.2 + hohe Präferenz für niedrigen Energieverbrauch In dem letzten Experiment das wir für die Produzenten des Produzententyps II vorstellen wollen erhöhen wir wieder die Präferenz der Konsumenten für niedrigen Energieverbrauch der Fahrzeuge deutlich.

Dieses Experiment weist nun einen qualitativen Sprung gegenüber den vorherigen Szenarien auf, wie das Diagramm in der Abbildung 8.64 zeigt. Die hohe Präferenz der Konsumenten für niedrige Energieverbräuche führt auch in dieser Simulation dazu, daß sich die Produzenten der Gruppe 4 unter diesen Marktbedingungen nicht halten können.

Die Verteilungen der Kraftstoffverbräuche unterscheiden sich nun deutlich von dem Basisszenario. Die Verteilungen sind nicht mehr symmetrisch, es existiert eine hohe Wahrscheinlichkeit für die Produktion energiesparender Fahrzeuge. Während für die Produzentengruppe 1 die Verteilung noch die geringste Veränderung aufweist, nähert sich die für die Produzentengruppe 2 nahezu einer Gleichverteilung zwischen dem Ausgangsverbrauch und der technologischen Grenze. Die Verteilung der Produzentengruppe 3 wiederum erinnert an eine Poisson-Verteilung, deren Schwerpunkt hier an der technologischen Grenze für den konventionellen Fahrzeugtyp liegt. Diese Verteilung fällt dann hin zu den höheren Energieverbräuchen schnell ab. Insgesamt hat sich die Produktion in diesem Experiment eindeutig hin zu den energiesparenden Fahrzeugen verschoben.

Bislang haben die Produzenten immer nur den Kraftstoffverbrauch bis auf das Minimum, das technologisch bei einer bestimmten Fahrzeugleistung, möglich ist gesenkt. In diesem letzten Experiment hingegen deutet es sich an, daß zumindest ein Produzent die technologische Lücke überwinden konnte und auf dem Markt ein nicht-konventionelles Fahrzeug anbietet.

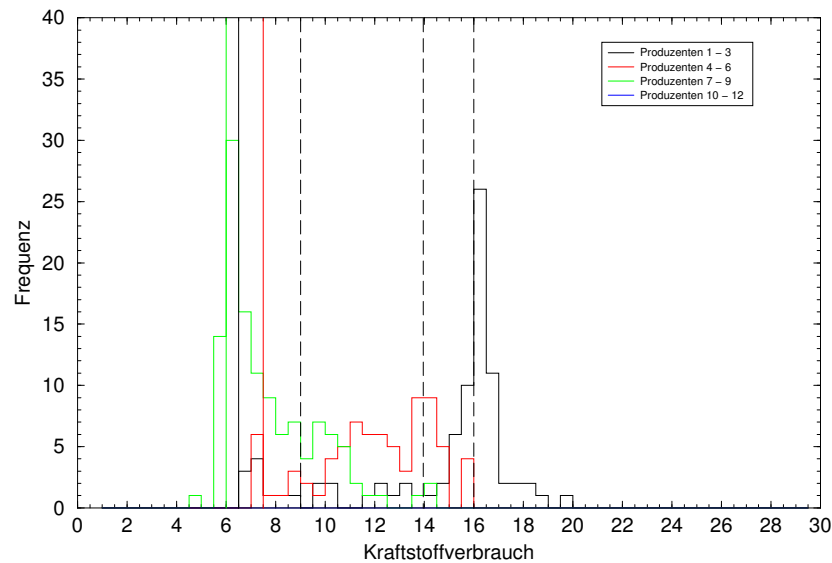


Abbildung 8.64.: Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Szenario mit der Kombination der Einzelerperimente “Hohe Inventionswahrscheinlichkeit”, “Steigende Kraftstoffpreise”, “Keine Distinktions- und Aspirationseffekte” und “Hohe Konsumentenpräferenz für niedrigen Kraftstoffverbrauch” für den Produzententyp II. Quelle: eigene.

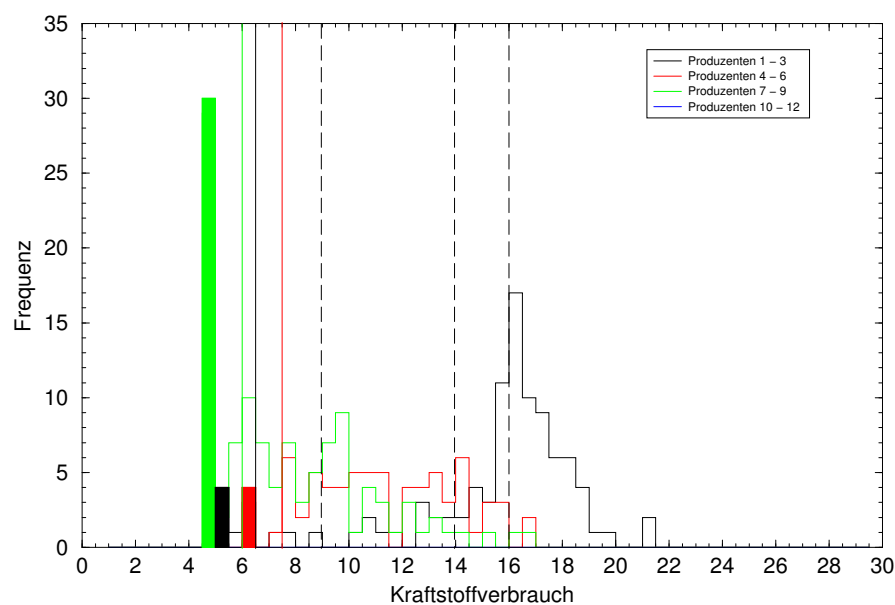


Abbildung 8.65.: In diesem Diagramm ist das Experiment dargestellt, bei dem genügend öffentliches Wissen vorhanden ist, sodaß die Überwindung der Technologielücke erheblich vereinfacht wurde. Quelle: eigene.

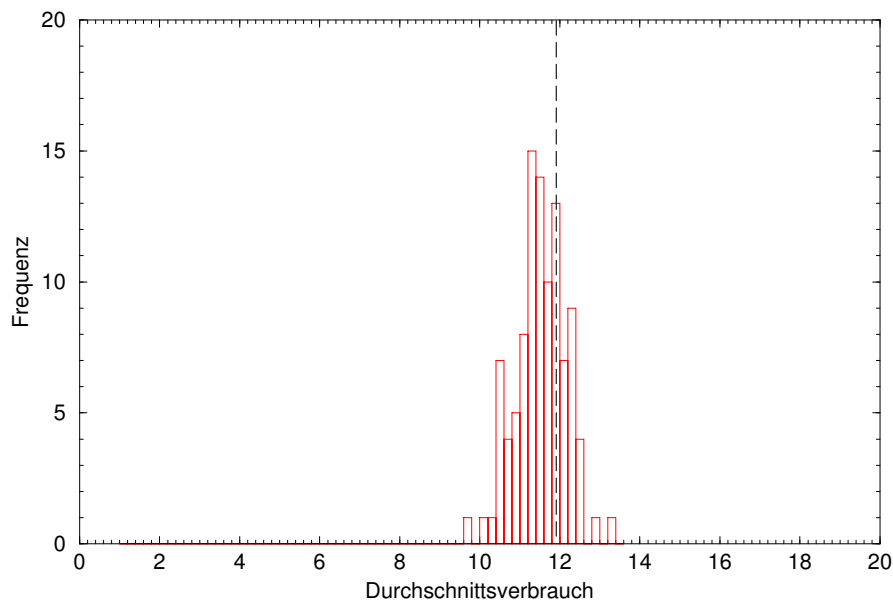


Abbildung 8.66.: Dieses Diagramm zeigt die Verteilung für den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch aller angebotenen Fahrzeuge im Basisszenario für den Produzententyp I. Quelle: eigene.

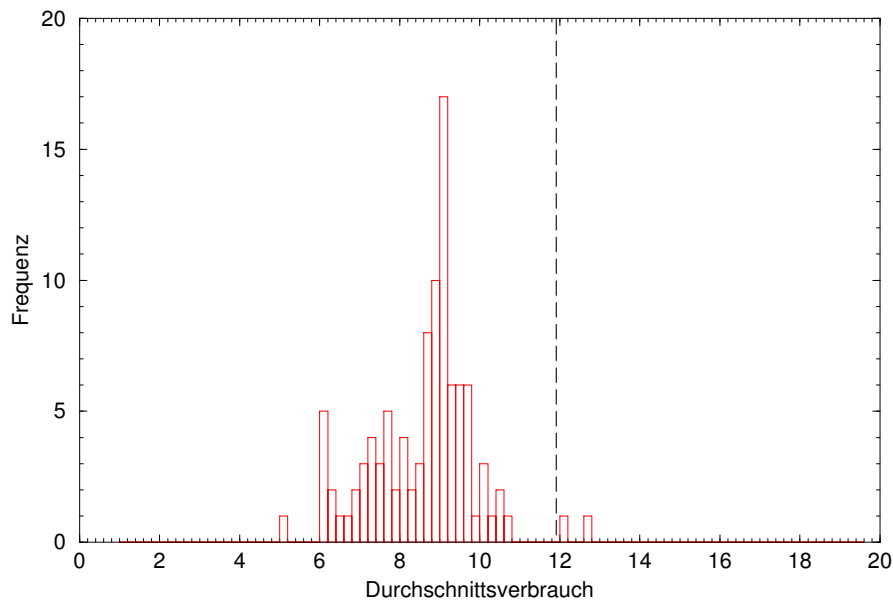


Abbildung 8.67.: Dieses Diagramm zeigt die Verteilung für den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch aller angebotenen Fahrzeuge für den Produzententyp I im Experiment mit der Kombination der Einzelerperimente "Hohe Inventionswahrscheinlichkeit", "Steigende Kraftstoffpreise", "Keine Distinktions- und Aspirationseffekte" und "Hohe Konsumentenpräferenz für niedrigen Kraftstoffverbrauch". Quelle: eigene.

8.4.5. Bereitstellung externen Wissens

Wie wir es in der Modellbeschreibung in Kapitel 7 dargestellt haben, existieren in diesem Simulationsmodell zwei ökonomisch sinnvolle Teilräume für die angebotenen Fahrzeuge, der der konventionellen und der der nicht-konventionellen Fahrzeuge (“Hypercar”). Alle Hersteller beginnen in den Simulationsszenarien mit der Anfangskonfiguration eines konventionellen Fahrzeugs, das sie zu Beginn herstellen.

Durch inkrementelle Innovationen nähern sich die Hersteller je nach Einzelexperiment mehr oder weniger stark dem möglichen Minimalverbrauch zu der angebotenen Fahrzeugleistung. Wir haben dabei die Annahme getroffen, daß bei inkrementellen Innovationen eine Verbesserung gleicher Größe nahe der Effizienzgrenze mehr Forschungs- und Entwicklungsaufwand benötigt als bei weiterer Entfernung von der Effizienzgrenze.

Je mehr sich ein Produzent der ökonomischen- oder Effizienz-Grenze genähert hat, desto höher sind die Aufwendungen die er kumuliert für die Vielzahl von inkrementellen Innovationen investiert hat. In seiner augenblicklichen Produkt- und Produktionstechnologie sind hohe “sunk costs” verborgen. Diese hohen “sunk costs” verhindern es aber, daß der Produzent die alte Technologie kurzfristig aufgibt und zu einer neuen Technologie wechselt, er müßte dann diese “sunk costs” in seiner Bilanz abschreiben.

Durch die Bereitstellung externen Wissens, z.B. in der Form von Grundlagen- oder angewandter Forschung²⁹ ist es aber möglich, daß Produzenten nicht nur inkrementelle Innovationssprünge tätigen. Dieses öffentlich bereitgestellte Wissen ermöglicht es den Produzenten dann, frühzeitig auf die neuen Technologien überzuwechseln, ohne hohe “sunk costs” für die inkrementellen Innovationen aufgewandt zu haben und folglich abschreiben zu müssen.

In den vorherigen Experimenten hat den Herstellern kein öffentliches Wissen für diese nicht-inkrementellen Innovationen zur Verfügung gestanden. Wir haben in diesen Experimenten gesehen, daß keiner der Produzenten ein nicht-konventionelles Fahrzeug hergestellt hat; die Hersteller haben nicht genügend Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen aufgewandt, um die technologischen Herausforderungen solch eines Technologiesprungs zu überwinden.

In diesem Experiment haben wir die Annahme getroffen, daß solches externes Wissen für die Herstellung nicht-konventioneller Fahrzeuge öffentlich zur Verfügung steht. Somit wollen wir untersuchen, inwieweit die Bereitstellung externen Wissens, in der Form von Grundlagenforschung, die Marktdynamik hin zur Herstellung nicht-konventioneller Fahrzeuge verändert bzw. unterstützt.

²⁹Ein Beispiel für solche Art der angewandten Forschung sind in Deutschland die Fraunhofer Institute, die immer wieder vermarktungsnahe Produkte entwickeln.

Das Ergebnis dieses Experimentes ist in dem Diagramm in der Abbildung 8.65 dargestellt. Betrachtet man die Verteilungen der Kraftstoffverbräuche, so unterscheiden sich diese in ihrer Form nur geringfügig von den Verteilungen des vorangegangenen Experiments die in der Abbildung 8.64 wiedergegeben sind. Allerdings tritt hier eine signifikante Veränderung auf: mit einer endlichen Wahrscheinlichkeit, die sich je nach Gruppe unterscheidet, überwinden Produzenten die Technologielücke und stellen nicht-konventionelle Fahrzeuge her.

Mit farbigen Hilfslinien haben wir die Untergrenze des Kraftstoffverbrauchs für konventionelle Fahrzeuge in der Abbildung 8.65 gekennzeichnet. An diesen Hilfslinien läßt sich erkennen, daß in den drei verbliebenen Produzentengruppen mit einer endlichen Wahrscheinlichkeit nicht-konventionelle Fahrzeuge hergestellt werden; in dem Diagramm in Abbildung 8.65 haben wir diese Fahrzeuge als ausgefüllte Balken dargestellt.

Für alle drei Produzentengruppen erkennt man, daß sich die Modalität der Verteilung gegenüber dem vorherigen Szenario (s. Abb. 8.64) noch einmal erhöht. Auch in diesem Experiment besitzen die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs ein (lokales) Maximum in Höhe des Initialkraftstoffverbrauchs, wobei dieses Maximum bei weitem nicht so ausgeprägt ist wie bei einigen der vorherigen Experimente (s. Abb. 8.46, 8.58, 8.59). Es existieren nach 150 Simulationsperioden mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit Hersteller, die den Kraftstoffverbrauch ihres Produktes nicht verändert haben.

Das zweite Maximum existiert für alle Produzenten bei der Randlösung, d.h. bei der unteren Grenze des konventionellen Fahrzeugtyps, wie es auch schon im vorherigen Experiment (s. Abb. 8.64) deutlich zu erkennen war.

Das dritte neu auftretende Maximum kann man an den ausgefüllten Balken erkennen. Betrachtet man die Verteilung der Produzentengruppe 3, so erkennt man die Randlösung an der Technologiegrenze des konventionellen Fahrzeuges mit einem Verbrauch zwischen 6 und 6,5 Einheiten. Die Verteilung fällt dann hin zu niedrigeren Kraftstoffverbräuchen sehr schnell ab um ein lokales Minimum zwischen 4,5 und 5 Einheiten Kraftstoffverbrauch zu erreichen. Die Obergrenze für nicht-konventionelle Fahrzeuge liegt bei diesem Fahrzeugtyp bei 4,5 Einheiten Kraftstoffverbrauch. Die Verteilung für den Kraftstoffverbrauch dieser Produzentengruppe erreicht ihr globales Maximum zwischen 4,0 und 4,5 Einheiten, also unterhalb der Grenze für nicht-konventionelle Fahrzeuge. Summiert man das Histogramm auf, so produzieren in diesem Experiment innerhalb dieser Produzentengruppe die Hersteller mit einer Wahrscheinlichkeit von ungefähr 30% am Ende des Simulationszeitraumes ein nicht-konventionelles Automobil. Vergleicht man dieses Experiment mit dem vorherigen (s. Abb. 8.64), so erkennt man, daß das Maximum an der Technologiegrenze deutlich niedriger ist, wohingegen das globale Maximum der Verteilung jetzt ein nicht-konventionelles Automobil darstellt. Offensichtlich stellt in diesem Experiment die Technologielücke kein

unüberwindbares Hindernis dar.

Für die beiden anderen Produzentengruppen ist die Struktur der Verteilung ähnlich angelegt, d.h. diese Produzenten besitzen auch jeweils ein Maximum für den Initialverbrauch, eines bei der Randlösung und das andere für nicht-konventionelle Fahrzeuge. Allerdings sind bei diesen beiden Gruppen die beiden Maxima für niedrige Verbräuche nur gering ausgeprägt. Die Verteilung für die Produzentengruppe 2 zeigt eine deutliche Betonung niedriger Kraftstoffverbräuche; nur wenige Hersteller produzieren Fahrzeuge, die höhere Verbräuche zeigen. Die Produzenten der Gruppe 1 hingegen produzieren genauso gut auch Fahrzeuge, die einen höheren Verbrauch besitzen.

Insgesamt läßt sich zu diesem Experiment sagen, daß im Vergleich zum vorherigen Experiment (s. Abb. 8.64) die untere Technologiegrenze an Bedeutung verloren hat; ein Großteil der Hersteller, deren Innovationstätigkeit vorher an dieser Grenze endete, können sie nun überwinden und nicht-konventionelle Fahrzeuge herstellen.

8.4.6. Flottenverbrauch

In der politischen Diskussion um den Energieverbrauch von Kraftfahrzeugen wird von Seiten der Hersteller immer wieder als Kennzahl der sogenannte Flottenverbrauch eingebracht. Dieser Flottenverbrauch ist ein Durchschnittsverbrauch der Fahrzeugflotte, zu dessen Berechnung im ersten Schritt aus dem Bestand/Verkaufsmenge der angebotenen Fahrzeuge mit einer durchschnittlichen Fahrleistung gewichtet der Gesamtverbrauch ermittelt wird. Dieser Gesamtverbrauch wird dann durch die Gesamtzahl der betrachteten Fahrzeuge (Bestand bzw. Verkaufsmenge) geteilt, um so den durchschnittlichen Verbrauch, auch Flottenverbrauch genannt, zu ermitteln (vgl.[Diaz 1998]).

Um die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit besser in diesen Diskussionstrang einordnen zu können, haben wir für einige ausgewählte Monte-Carlo Simulationen, die wir in den vorangegangenen Abschnitten vorgestellt haben, für jeden Simulationslauf diesen Durchschnittsverbrauch ermittelt und daraus eine statistische Verteilung der Flottenverbräuche für das jeweilige Experiment gewonnen. Um diese Diskussion aus Platzgründen kurz zu halten, stellen wir in diesem Abschnitt für die beiden Produzenten jeweils das Basisszenario für diesen Produzententyp dem Experiment mit der größten Kraftstoffverbrauchssenkung aus den Abschnitten 8.4.4 bzw. 8.4.5 gegenüber.

8.4.6.1. Flottenverbrauch - Vergleich Produzententyp 1

Die Abbildung 8.66 zeigt die Verteilung des Flottenverbrauchs im Basisszenario für diesen Produzententyp. Die gestrichelte Hilfslinie stellt den Ausgangsflottenverbrauch von 11,2 Einheiten unter der Annahme dar, daß alle Konsumenten ein Fahrzeug aus ihrer bevorzugten initialen Produzentengruppe benutzen. Betrachtet man nun die Verteilung der 100 Simulationsläufe, so erkennt man, daß sich der Schwerpunkt der Verteilung etwas erhöht hat.

In der Abbildung 8.67 hingegen ist die Verteilung des Flottenverbrauchs für das vollständig ausgeprägte Szenario dargestellt. Hier erkennt man eine weitaus breitere Verteilung, deren Spitze bei ungefähr 9 Einheiten liegt. Die Verteilung besitzt eine leichte Schiefe hin zu niedrigeren Verbrauchswerten. Insgesamt wird deutlich, daß sich der Flottenverbrauch gegenüber dem Basisszenario verringert hat.

8.4.6.2. Flottenverbrauch - Vergleich Produzententyp 2

In der Abbildung 8.68 ist die Verteilung im Basisszenario für den Produzententyp II wiedergegeben. Man erkennt in diesem Diagramm im Vergleich mit dem Produzententyp I kaum Unterschiede. Nach 100 Simulationsläufen hat sich der Mittelwert der Verteilung gegenüber dem Ausgangswert von 11,2 Einheiten leicht erhöht, wie man an der Hilfslinie erkennen kann.

Die Abbildung 8.69 hingegen zeigt die Verteilung der Flottenverbräuche im vollständig ausgeprägten Experiment, bei dem zusätzlich die Wahrscheinlichkeit zur Überwindung der Technologielücke deutlich erhöht wurde (s. Abschnitt 8.4.5). In dem Histogramm erkennt man eine deutliche Absenkung des Flottenverbrauches, bei einer allerdings großen Breite. Die Verteilung nimmt nun eine Form an, die an eine Poisson-Verteilung erinnert. Der Höchstwert der Verteilung, der gleichzeitig auch die untere Grenze darstellt, liegt nun bei 4,5 Einheiten. Die Wahrscheinlichkeit in diesem Experiment, einen niedrigen Flottenverbrauch zu erhalten, ist groß.

8.5. Zusammenfassung

In diesem Abschnitt wollen wir die Ergebnisse der durchgeführten Simulationsexperimente noch einmal zusammenfassen. In dieser Zusammenfassung werden wir die Resultate der Einzelsimulation denen der Monte-Carlo Simulationen gegenüberstellen. Für das Basisszenario hatten wir ein komplexes Szenario mit einer vielfältigen Dynamik ausgewählt, an dem

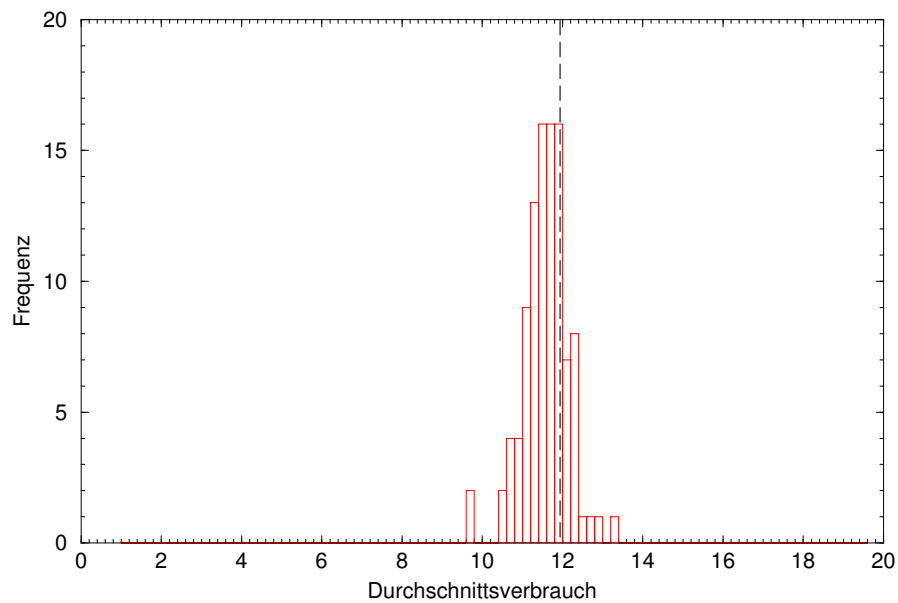


Abbildung 8.68.: Dieses Diagramm zeigt die Verteilung für den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch aller angebotenen Fahrzeuge im Basisszenario für den Produzententyp II. Quelle: eigene.

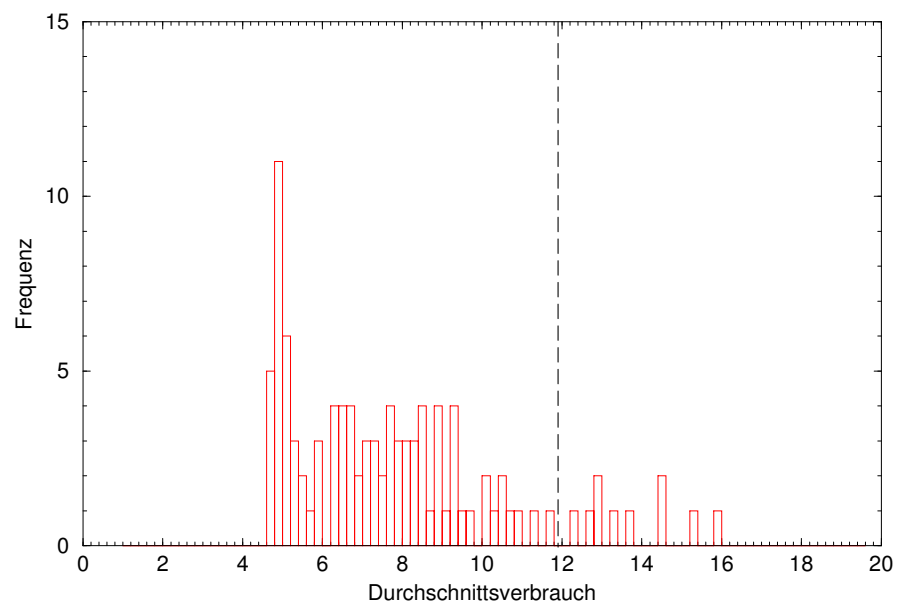


Abbildung 8.69.: Dieses Diagramm zeigt die Verteilung für den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch aller angebotenen Fahrzeuge für den Produzententyp 2 im Experiment mit der Kombination der Einzelerperimente “Hohe Inventionswahrscheinlichkeit”, “Steigende Kraftstoffpreise”, “Keine Distinktions- und Aspirationseffekte” und “Hohe Konsumentenpräferenz für niedrigen Kraftstoffverbrauch”. Quelle: eigene

wir die einzelnen Elemente des Simulationsmodells gut untersuchen und veranschaulichen konnten.

Wir haben in diesem Innovations- und Wettbewerbsmodell insgesamt 12 Produzenten zu Beginn der einzelnen Simulation gegeneinander antreten lassen. Diese 12 Produzenten lassen sich in vier Gruppen unterteilen; jeweils drei Produzenten haben zu Beginn Fahrzeuge mit den gleichen Produkteigenschaften hergestellt. Den Produzenten standen 150 Konsumenten, die insgesamt vier Milieus entstammten, gegenüber. Die Konsumenten bewerten im Basisszenario nicht nur die Produkteigenschaften einer Alternative, sondern fußen ihre Kaufentscheidung auch auf dem Kaufverhalten der anderen Konsumenten ihres Milieus bzw. der anderen Milieus.

Um die Dynamik des Simulationsmodells im Detail zu betrachten, haben wir für das Basisszenario die Entwicklung der verschiedenen Modellvariablen im Zeitverlauf untersucht. Demgegenüber haben wir anschließend versucht, die Analyse der Wirkung verschiedener Parameteränderungen (Sensitivitätsanalysen) mit Hilfe von Monte-Carlo Simulationen auf eine statistische Basis zu stellen.

Begonnen haben wir die Analyse des Basisszenarios mit einer Betrachtung der aggregierten Verkaufsmengen und der Produktionskapazität aller Produzenten. Hier konnten wir nach einem initialen Anstieg eine Stabilisierung der beiden Größen feststellen. Um dieses stabile Niveau herum existieren in dem Basisszenario Schwankungen der aggregierten Verkaufsmengen und der Produktionskapazität in der Größenordnung von ca. 10%. In dieser Makrosicht des Marktes kann man von einem mehr oder weniger stabilen Markt sprechen. Anders lautet aber der Befund, wenn man die aggregierte Makrosicht verläßt und die Mikroebene der einzelnen Unternehmen untersucht. Dort treten im Laufe der Simulation sowohl stabile als auch instabile Phasen auf. Diese beiden Phänomene sind in mehrfacher Kombination bzw. Abfolge aufgetreten. Die instabilen Phasen kann man noch weiter unterscheiden nach zyklischen Schwankungen und abrupten Einbrüchen der Verkaufsmengen. Die zyklischen Schwankungen treten bei der Kombination von Aspirations- und Distinktionseffekt zwischen zwei oder mehreren Milieus in Kombination mit einem Peer-Effekt innerhalb der einzelnen Milieus auf³⁰. Die abrupten Einbrüche in der Verkaufsmenge hingegen treten in der Nähe von kritischen Punkten in der Bewertung der Produktalternativen durch die Konsumenten auf. An diesen Punkten können dann zum Beispiel Änderungen an den Produkteigenschaften oder den Produktpreisen zum Auslösen von Herdeneffekten führen, die durch den Peer- oder Aspirationseffekt verstärkt werden. Die Stabilität der Verkaufsmengen kann dabei wie

³⁰In dem Einzelexperiment konnten wir Phasenübergänge zwischen stabilen Zuständen und einem Grenzzyklus erkennen ähnlich den Ergebnissen von Cowan et.al. die für die Kombination solcher Konsumptionseffekte das Phänomen des "Durchdiffundierens" der zyklischen Schwankungen in einem Konsumentenmilieu entdeckt haben [Cowan 1998].

in unserem Basisszenario von Milieu zu Milieu gänzlich unterschiedlich sein. Während also die Makroebene das Bild der Stabilität vermittelt, ist auf der Mikroebene eine deutliche Dynamik zu identifizieren.

Mit Hilfe des Lernalgorithmus und der Investitionsregeln konnten die Produzenten ihre Kapazitäten gut an die Verkaufsmengen anpassen. Allerdings sind bei abrupten Änderungen der Verkaufsmengen an Punkten hoher Kritizität der Konsumentennachfrage Über- bzw. Unterkapazitäten aufgetreten, die die Produzenten aber innerhalb weniger Perioden beseitigen konnten.

Die Produzenten konnten mit Hilfe des Lernalgorithmus in genügend ruhigen Marktphasen dauerhaft Gewinne erzielen; die Auszahlungsfunktion, die sich am durchschnittlichen Gewinn in dem Gesamtmarkt orientiert, kann dieses offensichtlich sicherstellen. Allerdings muß angemerkt werden, daß diese Auszahlungsfunktion nur kurzfristige Ziele unterstützt, für die Untersuchung längerfristiger Ziele müßte eine andere Auszahlungsfunktion, z.B. in Abhängigkeit vom Marktanteil, gewählt werden. In wirtschaftlich instabilen Phasen, wie zum Beispiel bei den zyklischen Schwankungen der Verkaufsmengen im Etablierten Milieu, können die Gewinnschwankungen sehr groß werden. In diesen Phasen treten insbesondere an den Scheitelpunkten der Schwankungen Über- bzw. Unterkapazitäten auf, die die Gewinnsituation erheblich beeinflussen.

In der Einzelsimulation können wir je nach Produktgruppe sowohl Preisdifferenzierung als auch Preiswettbewerb beobachten. Wir konnten in dem Experiment erkennen, daß eine Preisdifferenzierung insbesondere bei den Produkten aufgetreten ist, bei denen die Kaufentscheidung durch die Konsumenten von den milieuabhängigen Konsumptionseffekten dominiert wurde. Hier hat eine Preisänderung nicht die Kaufentscheidung der Konsumenten und somit auch nicht die Wettbewerbssituation des jeweiligen Produzenten negativ oder positiv beeinflußt. Es fehlt die negative Rückkopplung zwischen Preisen und Wettbewerbsfähigkeit. In der Produktgruppe 3, dessen Hauptkundschaft das Postmoderne Milieu ist, das nur geringen milieuabhängigen Konsumptionseffekten unterliegt, kommt es hingegen zum Preiswettbewerb. Die Preisänderungen wirken sich umgehend über die negative Rückkopplung auf die temporäre Wettbewerbssituation des jeweiligen Produzenten aus, es kommt zum Preiswettbewerb.

In dem dargestellten Einzelexperiment kann man die Bedeutung eines Kreditmechanismus für den Gesamtmarkt gut erkennen. Die Kredite an die Produzenten helfen diesen, in wirtschaftlich instabilen Phasen notwendige Investitionen zu finanzieren, die die Produzenten nicht aus ihrem Cash-Flow oder ihren Kapitalrücklagen bestreiten können³¹. Mit der

³¹Ein Teil der Kapitalrücklagen eines Herstellers kann zum Beispiel in Immobilien oder Beteiligungen an anderen Firmen liegen. Diese Rücklagen können nicht immer innerhalb kürzester Zeit aufgelöst werden.

Betrachtung der Kapitalrücklagen³² können wir in dem Einzelexperiment die nachhaltige Gewinnsituation der einzelnen Produzenten untersuchen. Einige der Hersteller konnten in dem Experiment stetig ihre Gewinne steigern, während sich andere Produzenten in eine Art "Schuldenfalle" begeben haben (s. Abb. 8.16).

Bei der Untersuchung der Produkt- und Prozeßinnovationen der Hersteller kann man die Kumulativität dieser Innovationen erkennen. Ein Produzent, der im Besitz eines bestimmten Wissenskapitals (z.B. Anzahl Mitarbeiter in einer F&E-Abteilung) ist, kann dann mit Ausnahme von Zufällen eine Produkteigenschaft nur zu einem bestimmten Grad verändern. In vielen Fällen ist die Entwicklung im industriellen Rahmen mit der Produktion von Innovationen gleichzusetzen, es werden systematisch kleine Änderungen ausprobiert und evaluiert, selten wird der "große Wurf" gewagt [Nelson 1982]. Die Anzahl der möglichen "Mutationen" des bisherigen Produktes ist dann mit der Größe der betroffenen Forschungsabteilung korreliert. Nehmen wir an, ein Hersteller besitzt eine durchschnittliche Schrittweite³³ von 0,3 Einheiten für Innovationen des Kraftstoffverbrauches seiner Fahrzeuge. Einen Sprung von 7,0 auf 6,4 Verbrauchseinheiten kann er dann statistisch nur in zwei Schritten, zuerst auf 6,7 Einheiten und anschließend auf 6,4 Einheiten, vollziehen. Er muß also seine Produktinnovationen kumulieren.

In unserem Experiment konnten die Produzenten eine Produkteigenschaft in "zwei" Richtungen verändern, sie konnten den Wert senken oder vergrößern. Durch die Kumulativität der Produktinnovationen kann man ermessen, wie wichtig eine konsistente und über einen längeren Zeitraum hinweg kontinuierlich verfolgte Strategie ist. Hätte der Produzent in dem vorherigen Beispiel nach Erreichen der 6,7 Verbrauchseinheiten seine Strategie geändert und sich bei der nächsten Innovation für eine Verbrauchserhöhung entschieden, wäre er bei Erfolgseintritt wieder zum Ausgangspunkt, den 7,0 Verbrauchseinheiten, zurückgekehrt. Um einen auf Produktinnovationen gegründeten Wettbewerbsvorteil zu erlangen, muß ein Hersteller eine bestimmte Strategie, die aus einer oder mehreren Verhaltensregeln bestehen kann, kontinuierlich verfolgen.

In instabilen Marktphasen, die zum Beispiel durch zyklische Schwankungen der Verkaufsmengen bedingt sind, wird die Bedeutung solch einer Strategie noch weiter verdeutlicht. Die bloße Reaktion der Produzenten auf die heftig schwankenden Verkaufsmengen, wie sie z.B. die Produzenten der Gruppen 1 und 2 verfolgen, führt zu einer Vernachlässigung konsistenter und zielgerichteter innovativer Tätigkeiten. Ist nun aber die Dominanz der milieuabhängigen Konsumptionseffekte, die in diesem Experiment die zyklischen Schwankungen verursachen, nicht sehr groß, so können diese Zyklen gerade in solch einer Marktsituation durch beherrschte

³²Eine Verschuldung der Produzenten wird in diesem Modell als negative Rücklagen erfaßt.

³³Das ist die Standardabweichung der Normalverteilung für dieses Innovationslos, diese ist proportional zum akkumulierten Forschungswissen.

Produktinnovationen durchbrochen werden, sofern es gelingt, das Produkt in den Augen der Konsumenten soweit zu verbessern oder attraktiver zu machen, daß diese sich aufgrund der neuen Eigenschaften für das Produkt entscheiden.

Desweiteren konnten wir in diesem Simulationsexperiment beobachten, wie wichtig das Zusammenspiel zwischen der Tätigkeit der Forschungs- und Entwicklungsabteilung und der Firmenstrategie ist. Wir haben in dem Modell den gesamten Prozeß der Änderung der Produkteigenschaften in eine Phase der Invention und eine der Innovation auf dem Markt getrennt. In dem Basisszenario für den Produzententyp I wurden aufgrund des häufigen Strategiewechsels der Produzenten die Inventionen der Forschungs- und Entwicklungsabteilungen nicht in Innovationen umgesetzt. Einzig ein Produzent hat wiederholt über mehrere Perioden hinweg eine bestimmte Strategie verfolgt, die ja durch eine bestimmte Verhaltensregel beschrieben wird, und im Verlauf der Simulation die Inventionen seiner F&E-Abteilung erfolgreich in Produktinnovationen umsetzen können.

In dem vorgestellten Experiment kann man erkennen, wie sich im Verlauf der Simulation unterschiedliche Produzententypen herausbilden. Allen Produzenten steht das gleiche Verhaltensrepertoire zur Verfügung, je nach Produkt, Marktnische und Erfolg des Unternehmens entwickelt sich der Typus des Produzenten endogen. Die Häufigkeit der Wahl einer bestimmten Verhaltensregel kann man dann für die verschiedenen Hersteller in Form eines Histogramms aufzeichnen (s. Abb. 8.26, 8.27), das die unterschiedlichen Produzententypen verdeutlicht. Die Form der Häufigkeitsverteilung der Verhaltensregelmahl charakterisiert den jeweiligen Produzententyp.

Diese Feststellung erinnert an die Ergebnisse der Untersuchung von Heuss [Heuss 1965], der insgesamt vier Produzententypen identifiziert hat. Jeder dieser vier Typen ist für eine bestimmte Phase des Marktes idealtypisch und in ebendieser Phase erfolgreich. Allerdings hat Heuss postuliert, daß ein Produzent immer nur eine bestimmte Verhaltensausrprägung annimmt; in seinem Modell gibt es also eine Population von Produzenten, deren Zusammensetzung in Bezug auf die vier Typen sich zeitlich verändert. Wir haben im Gegensatz dazu festgestellt, daß es eine kontextabhängige Wahl der Verhaltensneigung aus einem größeren Pool von Verhaltensregeln gibt, der Produzent sich also, so er dazu in der Lage ist, dem Umweltkontext anzupassen versucht. Dieses haben wir an einem Produzenten verdeutlicht, der eine besonders auffällige Verteilung der Verhaltenswahl gezeigt hat. Dieser Produzent zeigt ein zeitabhängiges Muster bei der Wahl der Verhaltensregel (s. Abbildung 8.28); er besitzt eine bevorzugte Regel, die er über mehrere Perioden wiederholt wählt.

In dem hier vorgestellten Experiment haben wir nur eine begrenzte Menge von Verhaltensregeln (Anzahl: 20) benutzt, was wiederum die Differenzierungsmöglichkeiten der Produzenten stark begrenzt hat, da nur zwei Investitionsregeln existieren und die Gesamthöhe

der prozentualen Aufwendungen für Forschung und Entwicklung fix sind.

Die Bedeutung eines anderen Satzes von “Standard Operating Procedures” der Produzenten für die Dynamik des Gesamtmarktes können wir im Vergleich der beiden Produzententypen, die wir für die Monte-Carlo Simulationen benutzt haben, erkennen.

Bei der Untersuchung der Konsumentennachfrage konnten wir den Einfluß der verschiedenen Konsumptionseffekte [Weise 1993, Cowan 1998] auf die Kaufentscheidung der Konsumenten, nach verschiedenen Milieus differenziert, analysieren. Die verschiedenen Konsumptionseffekte bilden ein komplexes dynamisches Geflecht. Die milieuabhängigen Effekte, für die wir in unseren Experimenten fixe Parameter angenommen haben, legen für das jeweilige Milieu eine komplexe Landschaft von Attraktoren fest, die das Konsumptionsverhalten der Konsumenten bestimmen. Die Form dieser Landschaft wird durch die Art und Stärke der verschiedenen Effekte festgelegt; Peer- und Aspirationseffekte alleine erzeugen einen oder mehrere Fixpunkte als Attraktoren, eine Kombination von Aspirations-, Distinktions- und Peer-Effekten zwischen Milieus hingegen kann zu Attraktoren höherer Ordnung wie zum Beispiel zu Grenzzyklen führen (s. Abbildung 8.7). Legt man über diese Verhaltenslandschaft die Bewertung der Produkteigenschaften durch die Konsumenten (Superposition [Dirac 1928, Feynman 1965]), so kann zum Beispiel eine Produkteigenschaft bestimmen, welcher der multiplen Fixpunkte erreicht wird. Eine Produktinnovation kann dann dazu führen, daß es zu einem abrupten Übergang von einem Fixpunkt zu einem anderen in der von den Milieueffekten begründeten Verhaltenslandschaft kommt (s. Abbildung 8.7), sie wird also ein Phasenübergang zwischen verschiedenen Attraktoren auslösen. Je nach relativer Stärke der einzelnen Bewertungskriterien (Konsumptionseffekte) kann aber auch die Situation auftreten, daß eine weitgehende Produktinnovation einen Grenzzyklus dominiert, und diesen milieuabhängigen Effekt damit für die Kaufentscheidung bedeutungslos werden läßt³⁴.

Neben den Einzelsimulationen hat diese Arbeit auch gezeigt, daß eine statistische Behandlung eines solch komplexen stochastischen Prozesses notwendig ist. An den Ergebnissen der Monte-Carlo Simulationen, die wir weiter oben vorgestellt haben, kann man erkennen, daß eine Einzelsimulation in bestimmten Experimenten repräsentativ sein kann, unter anderen Experimentbedingungen hingegen nur ein singuläres Ergebnis darstellt, das statistisch gewichtet in ein Ergebnisspektrum eingebettet werden muß, um eine belastbare Aussage treffen zu können.

³⁴Die Bedeutung der Einzeleffekte sowohl der Produkteigenschaften als auch der milieuabhängigen Effekte ist ganz eng mit der Auswahlroutine der Konsumenten verbunden. In diesem Simulationsmodell wurde die sogenannte kompensatorische Regel der Wahlentscheidung zugrunde gelegt [Wilkie 1996], die Konsumenten wählen das Produkt mit der individuell höchsten Bedürfnisbefriedigungskapazität. Hätten wir im Gegensatz dazu die lexikographische Auswahlroutine gewählt, so sähe die Dynamik bei der gewählten Parameterkonstellation deutlich anders aus.

Im Rahmen der Monte-Carlo Simulationen haben wir ausgehend vom Basisszenario, Sensitivitätsanalysen für bestimmte Parameteränderungen durchgeführt, deren Ergebnisse wir hier noch einmal zusammenfassen wollen. In den jeweiligen Experimenten haben wir einzelne Parameter wie z.B. die Erfolgswahrscheinlichkeit der Entwicklungstätigkeit, die Konsumptionseffekte oder die Preissteigerungen der nicht-erneuerbaren Ressource variiert, um daraus den singulären Einfluß dieser Änderung zu isolieren. Diese Experimente haben wir für zwei Produzententypen mit unterschiedlichem Verhaltensrepertoire durchgeführt, um die Bedeutung des Produzententyps untersuchen zu können. Anschließend haben wir eine Folge von Experimenten untersucht, indem wir die Parameteränderungen der Einzelexperimente nacheinander übernommen und uns so immer weiter von der Ausgangssituation des Basisszenarios entfernt haben.

Im Basisszenario für den Produzententyp I haben die Produzenten nur in geringem Maße versucht, den Kraftstoffverbrauch zu verändern. Die Veränderungen besaßen nur für eine Produzentengruppe eine bevorzugte Richtung, bei den anderen Produzenten gab es sowohl Verbrauchserhöhungen als auch -senkungen. Die Verteilungen der Kraftstoffverbräuche über 100 Simulationen besitzen in diesem Experiment eindeutige Maxima in der Höhe der Ausgangsverbräuche, der Großteil der Produzenten hat den Verbrauch nicht oder nur kaum verändert.

Eine hohe Erfolgswahrscheinlichkeit (Erhöhung um den Faktor 6) für Inventionen der Produzenten wirkt sich positiv auf die Veränderung der Kraftstoffverbräuche aus. Dieses Ergebnis erscheint nicht überraschend, von Interesse ist aber der zugrundeliegende Wirkungszusammenhang, den wir noch einmal kurz zusammenfassen wollen. Eine Produktinnovation kann für den Produzenten zu temporären Wettbewerbsvorteilen führen; diese hängen allerdings sehr stark von der Konstellation der Konsumptionseffekte ab (s.o.). Kann der Produzent aber durch solch eine Innovation einen temporären Wettbewerbsvorteil erlangen, so erhöht sich die Nachfrage nach seinem Produkt. In unserem Experiment verursacht eine erhöhte Nachfrage aufgrund der angenommenen Margen der Produzenten in den meisten Fällen auch einen erhöhten Gewinn der Produzenten³⁵. Ein erhöhter Gewinn wiederum verstärkt über die Positivität der Auszahlungsfunktion des Lernalgorithmus die gewählte Verhaltensregel. Die Wahrscheinlichkeit einer erneuten Wahl dieser Verhaltensregel steigt. Damit erhöht sich aber auch die Wahrscheinlichkeit einer erneuten Produktinnovation für diese Eigenschaft. Der Produzent investiert in die Forschungs- und Entwicklungstätigkeit, sein diesbezügliches Wissen wächst und damit auch die Erfolgswahrscheinlichkeit weite-

³⁵Die Gewinneinbrüche sind in dem vorgestellten Einzelexperiment durch Kapazitätsüberhänge verursacht. Wie wir gesehen haben, sind die Produzenten aber sehr gut in der Lage, innerhalb weniger Perioden (≤ 2) solche Kapazitätslücken zu schließen. Eine erhöhte Nachfrage wird dann in den meisten Fällen auch einen erhöhten Gewinn mit sich bringen, da die Gewinnspanne zwischen Verkaufspreis und Kosten groß genug ist.

rer Inventionen und Innovationen. Dieses erhöht wiederum die Wahrscheinlichkeit weiterer temporärer Wettbewerbsvorteile. So kann sich in bestimmten Konstellationen eine positive Rückkopplungsschleife aufbauen und verfestigen, die wiederum die Grundlage für anhaltende Innovationen ist, die zu einer deutlichen Änderung der Produkteigenschaft wie z.B. einer Senkung des Kraftstoffverbrauches führt. Das von uns hier vorgestellte Modell besitzt eine Art Replikatormechanismus für die Auswahl der Verhaltensregel.

Im nächsten Experiment haben wir die Erhöhung der Konsumentenpräferenzen für niedrige Kraftstoffverbräuche untersucht. Hierbei konnten wir zwei Effekte herausarbeiten: (1) Einerseits beeinflußt diese Parametervariation die Richtung der Innovationsanstrengungen der Produzenten, eine Senkung des Energieverbrauches durch den Produzenten ist wahrscheinlicher als eine Erhöhung. (2) Andererseits hat die hohe Präferenz der Konsumenten dazu geführt, daß diese die anderen Konsumptionseffekte soweit dominiert hat, daß die Konsumenten im Laufe der Simulation von den Produzenten der Gruppe 3 absorbiert wurden mit der Konsequenz, daß die Produzenten der Gruppe 4 vollständig aus diesem Markt ausgetreten sind. Die hohe Präferenz bestimmt jetzt bei den Konsumenten des Postmodernen und des Konsum-Materialistischen Milieus welche Produzentengruppe sie wählen. Die eigentliche Entscheidung für ein Fahrzeug innerhalb der Produktgruppe wird dann wieder durch die milieuabhängigen Konsumptionseffekte bestimmt.

Innerhalb dieses gegebenen Entscheidungsrahmens der Konsumenten können wir zwei Fälle unterscheiden: geringe (1) oder hohe (2) Innovationswahrscheinlichkeit. Im ersten Fall kommt es nur in wenigen Perioden zur Produktdifferenzierung, die milieuabhängigen Konsumptionseffekte dominieren weiterhin die Kaufentscheidung der Konsumenten. Der wirtschaftliche Erfolg des Herstellers korreliert dann nicht mit dessen Produktinnovationen, es existiert keine positive Rückkopplung und der Hersteller führt keine nachhaltigen Innovationsanstrengungen durch. Im zweiten Fall kann es eintreffen, daß der Produzent mit seinen Produktinnovationen einen Schwellwert überschreitet, was dazu führt, daß bei bestimmten Konsumenten die Bewertung des Kraftstoffverbrauchs die der milieuabhängigen Effekte dominiert. Dann kommt es zu einer lawinenartigen Änderung der Nachfrage dieser Konsumenten, dieser Effekt wird durch die Existenz von Peer-Effekten innerhalb eines Milieus noch verstärkt ("increasing returns of adoption")³⁶. Diese Nachfrageänderung führt dann zu einer Erhöhung des Gewinns (s.o.), die wiederum durch die positive Auszahlung im Lernalgorithmus zu einer Verstärkung dieser Verhaltensregel führt. Damit erhöht sich die Wahrscheinlichkeit einer erneuten Wahl dieser Regel durch den Produzenten und damit auch die Wahrscheinlichkeit eines erneuten Innovationserfolges. So kommt es zu einer positiven Rückkopplung, die dazu führt, daß ein Produzent diese Produkteigenschaft nachhaltig

³⁶Mathematisch korrekt formuliert wechseln die Konsumenten von einem Fixpunkt ihrer Verhaltenslandschaft zu einem anderen (s.o.).

ändert, z.B. durch eine starke Senkung des Kraftstoffverbrauches.

Wir haben bei der Diskussion der Einzelsimulation gesehen, wie stark die milieuübergreifenden Konsumptionseffekte die Marktdynamik beeinflussen können, im Basisszenario trat dieser Effekt insbesondere im Etablierten und Status-Orientierten Milieu auf. Cowan et.al. [Cowan 1998] und Weise [Weise 1993] haben in früheren Arbeiten herausgefunden, daß bestimmte Kombinationen von milieuübergreifenden Konsumptionseffekten (Aspirations- und Distinktionseffekte) zyklische Schwankungen in der Produktnachfrage der Konsumenten verursachen können. Im Basisszenario dominieren diese Effekte die Kaufentscheidung der Konsumenten im Etablierten und Status-Orientierten Milieu vollständig. Die Präferenzen dieser Konsumenten für die Produkteigenschaften haben nur noch eine geringe Bedeutung für die Produktwahl. Für die Produzenten der Gruppen 1 und 2 hat das wiederum zur Folge, daß sie aufgrund von Über- und Unterkapazitäten, die durch die verzögerte Anpassung an die Nachfrageänderungen entstehen, ständigen großen Gewinnschwankungen ausgesetzt sind. Vormalig profitable Verhaltensregeln werden innerhalb weniger Perioden unprofitabel, sie werden abgewertet und der Produzent wechselt seine Verhaltensregel. Diese "Strategiewechsel" verhindern eine zielgerichtete Innovationstätigkeit der Produzenten, sodaß am Ende der Simulation kaum weitergehende Änderungen der Produkteigenschaften erreicht worden sind (Kumulativität der Produktinnovationen). Der Ausschluß dieser milieuabhängigen Konsumptionseffekte führt zum Wegfall dieser Attraktoren (Grenzzyklen), die Nachfragedynamik wird einfacher und abseits kritischer Punkte stabiler. Auch in diesem Szenario kann man zwei Fälle unterscheiden: niedrige (1) oder hohe (2) Peer-/Snob-Effekte. (1) Im ersten Fall dominieren die Produkteigenschaften die Kaufentscheidung, die Produzenten genießen dann einen direkten Wettbewerbsvorteil/-nachteil durch ihre Produktinnovationen, der sich im Gewinn des Produzenten widerspiegelt. Das wiederum verursacht eine Verstärkung oder Abschwächung der gewählten Verhaltensregel; im Fall der Verstärkung erhöht sich die Wahrscheinlichkeit weiterer Innovationen mit dieser Zielrichtung, sodaß der Wettbewerbsvorteil des Produzenten erhalten oder sogar ausgebaut werden kann. (2) Im zweiten Fall hingegen dominieren die Peer-/Snob-Effekte die Kaufentscheidung der Konsumenten, die Ausnahme bilden hier Situationen hoher Kritizität, in denen die Produktinnovation "das Zünglein an der Waage spielt". Der Erfolg einer Innovation korreliert dann nicht mehr mit der Kaufentscheidung der Konsumenten, es können widersprüchliche oder gegensätzliche Signale für den Produzenten auftreten. Die Wahrscheinlichkeit einer zielgerichteten Innovationstätigkeit sinkt. In dem hier vorgestellten Szenario haben wir Peer- bzw. Snob-Effekte berücksichtigt, die groß genug waren, daß sie geringfügige Innovationen sozusagen "weggepuffert" haben, und diese geringfügigen Innovationen somit wirkungslos blieben. Größere Veränderungen hingegen, die natürlich seltener auftreten, konnten sich gegen diese beiden milieuabhängigen Effekte durchsetzen. Es kam zu einer erwarteten, geringfügig höheren Innovationstätigkeit als im Basisszenario.

Ohne die milieuabhängigen Konsumptionseffekte, d.h. ohne Distinktions-, Aspirations-, Peer- und Snobeffekt, beeinflussen nur noch die Produkteigenschaften die Kaufentscheidung der Konsumenten. Die Wahlentscheidung der Konsumenten wird dann durch die Produkteigenschaft bestimmt, die in der Bewertung dominiert. Für die Marktdynamik ist es dann entscheidend, ob die Veränderung einer bestimmten Produkteigenschaft dazu führt, daß einer oder mehrere Konsumenten ihre Bewertungsrangfolge der Produkte ändern. Ist dieses nicht der Fall, so bleibt die Nachfrage konstant und die gewählte Verhaltensregel wird verstärkt, da in solchen Fällen die Produzenten einen Gewinn erzielen können (s.o.). Verfolgt diese Verhaltensregel eine Innovationsstrategie, so steigt die Wahrscheinlichkeit weiterer Innovationen dieser Richtung. Erfolgreiche Verhaltensregeln, die durch Innovationen zu Wettbewerbsvorteilen führen, koppeln direkt an die Auszahlungsfunktion der Produzenten zurück, die Pufferwirkung der milieuübergreifenden Konsumptionseffekte entfällt. Im Vergleich zum Basisszenario sind Produktinnovationen in diesem Experiment geringfügig häufiger aufgetreten.

In einem weiteren Experiment haben wir die verfügbare Ressourcenmenge so weit abgesenkt, daß im Verlauf der Simulation ca. 90% des Ressourcenbestandes aufgebraucht wird. Die Angebotsfunktion für diese nicht-erneuerbare Ressource ist dergestalt modelliert, daß der Scheitelpunkt der Cobb-Douglas-artigen Funktion bei ca. 20% der Gesamtmenge liegt. Wird dieser Betrag der Restmenge unterschritten, steigt der Preis mit wachsendem Grenzpreis (Steigung) an. In dem Experiment mit niedriger Ressourcenmenge führt das dazu, daß im ersten $\frac{3}{4}$ der Simulationszeit der Preis dieser Ressource nur um ungefähr 20% steigt. In den restlichen 35 Simulationsperioden hingegen steigt der Preis dann rapide auf das 3,5 - 4-fache des Ausgangspreises an. In diesem Experiment besitzen die Konsumenten ein festes Budget, das sie für den Autokauf und die Kraftstoffkosten verwenden können. Ein Substitution mit anderen Ausgaben haben wir genausowenig modelliert wie eine Einschränkung der Fahrleistung des Konsumenten³⁷. Den Konsumenten verbleibt somit als Ausweichreaktion auf die steigenden Energiepreise nur die Verlängerung der Kaufzyklen für die Fahrzeuge. Dieser Effekt ist allerdings milieuabhängig. Der prozentuale Anteil der Energiekosten am verfügbaren Budget ist insbesondere im Konsum-Materialistischen Milieu höher als im Etablierten oder Status-Orientierten Milieu, diese Konsumenten reagieren viel sensibler auf eine Erhöhung der Kraftstoffpreise. Solange der Kraftstoffpreis niedrig ist, ist der Verbrauch der Fahrzeuge für alle Konsumenten außer denen des Postmodernen Milieus unbedeutend für deren Kaufentscheidung. Für die Produzenten, die diese Milieus mit ihren Fahrzeugen bedienen, besteht kein Anreiz, in energiesparende Fahrzeuge zu investieren. Erst im letz-

³⁷Die Motivation dahinter war, daß gerade in niedrigeren Einkommensschichten die fixen Kosten einen erheblichen Anteil an den Haushaltsausgaben ausmachen und ein Großteil der zurückgelegten Fahrstrecken durch den Pendelverkehr zur Arbeitstätte verursacht sind. Gerade im ländlichen Raum stellt dieser Pendelverkehr eine starre, unelastische Nachfrage nach automobiler Verkehrsleistung dar.

ten Viertel des Simulationszeitraums steigt der Kraftstoffpreis dann rasch an; ab einem bestimmten Preisniveau wird der Benzinverbrauch dann für die Kaufentscheidung einer wachsenden Zahl von Konsumenten wichtig. Dann beginnen die Produzenten zu reagieren. Da aber die erfolgreiche Produktinnovation ein kumulativer Prozeß ist, müssen erst ausreichende Forschungskapazitäten aufgebaut werden. Dieser Aufbau benötigt Kapital und Zeit. Neben dem Aufbau der Forschungskapazitäten müssen die Produzenten aber auch kontinuierlich hinsichtlich der Senkung des Kraftstoffverbrauchs forschen und Neuentwicklungen auf dem Markt einführen. Beides zusammen hat zur Folge, daß die Produzenten in diesem Experiment nicht schnell genug auf die rasch steigenden Energiepreise reagieren können, mit anderen Worten: sie haben sich zu Beginn des Experimentes ihre Zukunft verspielt. Die Konsumenten können nur mit einer Verlängerung der Kaufzyklen reagieren, die Gesamtsätze in der Industrie sinken rapide auf 75 Einheiten gegenüber 150 Einheiten in den anderen Experimenten. Die sinkenden Umsätze führen zu sinkenden Forschungsausgaben, die wiederum die Erfolgswahrscheinlichkeit der Produktinnovationen verringern. Die Konsumenten können sich immer schlechter der veränderten Marktlage anpassen. Es kommt zu einer Abwärtsspirale für die betroffenen Produzenten, die in vermehrtem Marktaustritt endet. Die Produzenten trifft hierbei besonders die Tatsache, daß ihre Strategiewahl von kurzfristigen Kennzahlen (Kapitalrendite) bestimmt wird.

Die oben beschriebenen Sensitivitätsanalysen haben wir auch für einen anderen Produzententyp durchgeführt, der auf ein anderes Verhaltensrepertoire zurückgreifen kann. Dieses Verhaltensrepertoire beschreibt eine Streuung der Innovationstätigkeit der Produzenten auf alle drei Produkteigenschaften gleichzeitig. Wählt der Produzent eine Regel zur Produktinnovation, so beträgt das Gesamtbudget weiterhin 10% des Umsatzes; er konzentriert sich jetzt aber nicht auf nur eine Eigenschaft, sondern verteilt das Forschungsbudget zu gleichen Teilen auf die Produkteigenschaften und verfolgt gleichzeitig die Innovationstätigkeit zu diesen Eigenschaften. Insgesamt ist das akkumulierte Wissen etwas niedriger, aber die Synchronisierung zwischen den Inventionen der Forschungs- und Entwicklungsabteilung und der übergeordneten Unternehmensstrategie gelingt diesem Produzenten besser.

In allen Monte-Carlo Experimenten mit diesem Produzententyp erkennt man eine größere Breite der Verteilungen des Kraftstoffverbrauches im Vergleich zu dem Experiment mit dem Produzententyp I. Diese Produzenten des Typs II forschen kontinuierlicher an den Produkteigenschaften, die Erfolgswahrscheinlichkeit ist insbesondere im frühen Verlauf der Simulationen höher. Für den einzelnen Produzenten kann es dann häufiger zu temporären Wettbewerbsvorteilen kommen. Dieses wird natürlich maßgeblich durch die Konsumptionseffekte auf Seiten der Konsumenten bestimmt. Bei diesem Produzententyp sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Experimenten weitreichender. In einigen der Szenarien verändert sich die Form der Verteilung vollständig. In solchen Erfolgsfällen können die Pro-

duzenten diese temporären Wettbewerbsvorteile ausnutzen, indem sie Folgeinnovationen erfolgreich durchführen, was wiederum ihre Wettbewerbsposition stärkt. Es kommt für diesen Produzententypen leichter zu einer positiven Rückkopplung der Innovationstätigkeit. Die Senkung des Energieverbrauches durch diesen Produzenten kumuliert sich, und einige der Produzenten erreichen sogar die Randlösung, d.h. die Untergrenze des Kraftstoffverbrauchs konventioneller Fahrzeuge. Die Technologielücke zum Hypercar kann aber nicht von den Produzenten überwunden werden.

Im Anschluß an die Einzelszenarien haben wir die verschiedenen Parameteränderungen miteinander kombiniert. Diese kombinierten Experimente zeigen, daß sich die Einzeleffekte sowohl verstärken als auch schwächen können. Bei den kombinierten Szenarien für den Produzententyp 1 können wir sehen, wie eine Kombination der Parameteränderungen die Entwicklung behindern kann, während es bei dem gleichen Experiment für den Produzententyp 2 zu einer Verstärkung der Einzeleffekte kommt.

Das erste kombinierte Szenario erweitert das Experiment mit einer hohen Erfolgswahrscheinlichkeit für die Produktinnovationen um die Änderungen aus dem starken Ansteigen der Preise für die nicht-erneuerbare Ressource. Für den Produzententyp I sind die Verteilungen der Kraftstoffverbräuche noch schmäler als im Basisszenario und den beiden Einzelszenarien. Insbesondere in dem Einzelexperiment mit erhöhter Erfolgswahrscheinlichkeit kam es zu einer deutlichen Inventionsaktivität der Produzenten. Offensichtlich dominieren in diesem Experiment die schnell steigenden Ressourcenpreise die Umsätze der Produzenten so stark, daß die Umsätze der Produzenten sich derart schnell verringern, daß auch durch eine zielgerichtete Innovationstätigkeit zur Senkung des Kraftstoffverbrauches keine diesbezüglichen Kompensationen erzielt werden können. Es entwickelt sich ein "Lock-in" für die Produzenten bei ihrem initialen Kraftstoffverbrauch.

Für den Produzententyp I haben wir zwei weitere kombinierte Szenarien durchgeführt, die auf dem vorherigen kombinierten Szenario aufbauen. In dem ersten Experiment existieren für die Konsumenten keine milieuübergreifenden Konsumptionseffekte, d.h. keine Aspirations- bzw. Distinktionseffekte, die im Basisszenario zu zyklischen Schwankungen in der Nachfrage geführt haben. Das zweite Experiment baut darauf auf, daß wir zusätzlich annehmen, daß die Konsumenten eine hohe Präferenz für niedrige Energieverbräuche besitzen. Auch in diesen Experimenten kommt es kaum zu innovativen Handlungen, obwohl die Erfolgswahrscheinlichkeit für Innovationen der Produzenten weiterhin erhöht ist. Bei allen drei kombinierten Experimenten, die den Produzententyp I nutzen, hemmen die steigenden Ressourcenpreise die Innovationstätigkeit derart, daß sich selbst unter förderlichen Rahmenbedingungen (hohe Erfolgswahrscheinlichkeit für Innovationen, hohe Konsumentenpräferenz für den Kraftstoffverbrauch) kaum eine nachhaltige Innovationstätigkeit der Produzenten entwickelt. Die Erklärung für dieses Ergebnis ist wieder in der Kumulativität der Innovationstätigkeit zu

finden. Die Produzenten müssen Forschungswissen akkumulieren, um eine Invention zu produzieren und kontinuierlich eine Forschungs- und Markteinführungsstrategie verfolgen, z.B. die Senkung des Kraftstoffverbrauches, um diese Invention auf dem Markt durchzusetzen. Erst solch ein Produzentenverhalten erhöht die Wahrscheinlichkeit des Forschungserfolges. Der Produzententyp I verfolgt aber reine Strategien in Bezug auf die Produktinnovationen. Ein Produzent dieses Typs muß kontinuierlich einige wenige Verhaltensregeln befolgen. Um diese Kontinuität sicherzustellen, muß der Produzent eindeutige Erfolgssignale in Form eines Gewinns erhalten, die sein gewähltes Verhalten "verstärken". In allen drei kombinierten Experimenten für den Produzententyp I geschieht dieses nicht in ausreichendem Maße, sodaß die Produzenten ihre Strategien zu Beginn der Simulation häufig wechseln. Die Produzenten entwickeln keine kontinuierliche Forschungs- und Markteinführungsstrategie. Steigen dann im weiteren Verlauf die Preise für den Energieträger rapide an, so haben die Produzenten nicht genügend vorgearbeitet, um ein Sinken der Umsätze zu verhindern. Die sinkenden Umsätze wiederum verhindern aber eine steigende Investition in die Forschung, die zu diesem Zeitpunkt notwendig wäre, um die Umsatzausfälle mit neuen, energiesparenden Fahrzeugen zu kompensieren. Das führt dann zu dem Ergebnis, daß die Produzenten in ihrer Innovationsfalle gefangen sind, sie haben nicht mehr genügend finanzielle Spielräume, um sich daraus zu befreien.

Betrachtet man im Vergleich dazu die gleichen Experimente für den Produzententyp II, so bietet sich ein völlig anderes Bild der Innovations- und Marktdynamik. In allen drei Experimenten findet man eine hohe Innovationstätigkeit der Produzenten vor, die Form der Verteilungen des Kraftstoffverbrauches weicht in vielen Fällen stark von der Normalverteilung des Basisszenarios für beide Produzententypen ab (multiple Maxima, Verschiebung der Maxima hin zur Randlösung, etc.). In allen Szenarien wird die Randlösung des stochastischen Differenzengleichungssystems für den Kraftstoffverbrauch durch einige Produzenten erreicht. Analysiert man diese Ergebnisse, so ist die Diversifizierung der Forschungsleistungen und der Innovationstätigkeit der Produzenten das zentrale Element. Im Vergleich zum Produzententyp I verursacht diese Diversifizierung eine kontinuierlichere Investition in die Forschung und eine kontinuierlichere Verfolgung bestimmter Innovationsziele, wie z.B. der Senkung des Kraftstoffverbrauches. Diese Kontinuität erhöht aber bei gleichem Forschungswissen die Erfolgswahrscheinlichkeit der Produktinnovationen, insbesondere zu Beginn der Simulation. Die Streuung der Forschungsleistung impliziert darüberhinaus, daß die Produzenten bei 4 von 17 Verhaltensregeln eine Senkung des Kraftstoffverbrauches verfolgen, verglichen mit 1 von 21 Verhaltensregeln beim Produzententyp I. Das hat aber wiederum für den Lernalgorithmus der Produzenten zur Folge, daß diese nicht so eindeutige Erfolgssignale für eine bestimmte Strategie benötigen, sondern ein Erfolg bei einer der vier Verhaltensregeln sich über die Lernverstärkung positiv auf die Verfolgung des Ziels "Senkung des Kraftstoffverbrauches" auswirkt. Erfolgreiche Innovationen zur Senkung des Kraftstoffver-

brauches zu Beginn der Simulation sichern dem innovativen Produzenten dann im weiteren Verlauf der Simulation einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil bei rapide steigenden Ressourcenpreisen. Dieser Produzent leidet nicht unter den Umsatzrückgängen, der niedrige Energieverbrauch seiner Fahrzeuge kann die steigenden Preise sogar kompensieren.

Faßt man die Ergebnisse der Experimente für die beiden Produzententypen zusammen, so kann man erkennen, wie wichtig der Zeitpunkt der Innovationserfolge für gesamte die Innovations- und Wettbewerbsdynamik ist. Sind die Produzenten zu Beginn der Simulation erfolgreich, so ergeben sich daraus Wettbewerbsvorteile für diese Produzenten. Diese Wettbewerbsvorteile wiederum verstärken die Strategiewahl des jeweiligen Produzenten über die verbesserte Gewinnsituation. Ein Produzent, der seine Innovationsstrategien diversifiziert, hat darüberhinaus den Vorteil, daß diese Verstärkung der Innovationsstrategie nicht nur auf eine einzige Verhaltensregel beschränkt ist, sondern sich auf mehrere Regeln "streut". Diese Streuung erhöht die Wahrscheinlichkeit, daß der Produzent nachhaltig die gewählte Strategie, zum Beispiel die Senkung des Kraftstoffverbrauches, verfolgt. Der Erfolg nährt sozusagen den weiteren Erfolg, so können die frühen Innovatoren ihre Wettbewerbsposition behaupten. In den hier vorgestellten Experimenten hilft diese kontinuierliche Innovationstätigkeit den Produzenten dann im weiteren Verlauf, die steigenden Ressourcenpreise durch niedrige Fahrzeugverbräuche zu kompensieren, ohne massive Umsatzrückgänge verzeichnen zu müssen.

In den besprochenen Experimenten waren die Produzenten nicht in der Lage, die Technologielücke von den konventionellen Fahrzeugen hin zu neuen Fahrzeugkonzepten ("Hypercar") zu überwinden. Die Produzenten des Typs 2 sind vielmehr an die "Technologiewand" des konventionellen Fahrzeugtyps gestoßen. Um zu untersuchen, unter welchen Bedingungen überhaupt die Produktion solcher neuer Fahrzeuge aufgenommen wird, haben wir im letzten hier vorgestellten Experiment die Annahme getroffen, daß durch die Bereitstellung öffentlichen, frei zugänglichen Wissens die Wahrscheinlichkeit nicht-inkrementeller Innovationen deutlich erhöht ist. In diesem Experiment kann man erkennen, daß eine Reihe von Produzenten in der Tat diese Lücke überwinden und nicht-konventionelle Fahrzeuge herstellen. Die relativen Verhältnisse unterscheiden sich dabei zwischen den Produzentengruppen deutlich; die Produzenten der Gruppe 3, die die "ressourcen-sensiblen" Konsumenten mit ihren Fahrzeugen bedienen, sind eindeutig die Vorreiter dieser Entwicklung. Dieser Übergang zum Hypercar macht sich auch deutlich im Flottenverbrauch für dieses Experiment bemerkbar, der im Vergleich zum Basisszenario merklich absinkt.

9. Schlußbemerkung

Ausgangspunkt dieser Arbeit war die Fragestellung, wie sich Produktinnovationen im Allgemeinen und ökologische Produktinnovationen im Speziellen auf einem Wettbewerbsmarkt durchsetzen können. Die Breite dieser Fragestellung machte es erforderlich, diese beispielhaft auf eine Industrie anzuwenden. Wir haben hierzu die Automobilindustrie gewählt und uns auf die Untersuchung der ökonomischen Prinzipien für die Entwicklung und Marktdiffusion von energiesparenden Kraftfahrzeugen konzentriert.

Motiviert war dieses Forschungsvorhaben einerseits durch frühere Arbeiten des Autors zur Entwicklung des Energieverbrauches und der zugehörigen CO_2 -Emissionen einerseits (s. [Hennicke 1999]) und andererseits der Unzufriedenheit des Autors mit bisherigen Arbeiten zur Theorie des technischen Wandels [Nelson 1982, Gerybadze 1982, Andersen 1994, Meyer 1996, Vosskamp 2002]. Ziel der Arbeit war es, ein Grundverständnis für die “Mechanik” des technischen Wandels im Rahmen von Produktinnovationen am Beispiel einer ausgewählten Industrie zu entwickeln.

Die Mehrzahl bisheriger ökonomischer Modelle zum technischen Wandel konzentrieren sich auf reine Prozeßinnovationen und behandeln darüberhinaus die Nachfrageseite als modellexogen. Witt hat allerdings die Vermutung geäußert, daß für eine Modellierung von Produktinnovationen gerade eine dynamische Integration von Angebots- und Nachfrageseite notwendig ist [Witt 1987]. Ausgehend von dieser Vermutung haben wir in dieser Arbeit ein Simulationsmodell entwickelt, daß beide Marktseiten integriert, um die Marktdiffusion von Produktinnovationen darzustellen. Dabei haben wir die Annahme der Markträumung, die den anderen Diffusionsmodellen zugrundeliegt, aufgegeben; vielmehr findet die Kopplung zwischen Angebot und Nachfrage indirekt über die Gütereigenschaften, Erfolgssignale (der Profit) und soziale Netzwerke, wie z.B. der Kaufentscheidung der anderen Konsumenten, statt.

Für die Implementierung des Simulationsmodells haben wir uns der Methode der Multi-Agenten-Systeme bedient [Ferber 1999]. Ausgangspunkt der Modellierung war die Spezifikation des individuellen Verhaltens einer Population von Unternehmen und Konsumenten. Dieses Verhalten der Individuen war durch Informations- und Kompetenzbeschränkungen,

eine routinen-geleitete Handlungsorientierung und eine Schlußevaluation in der Form der Befriedigung eines Anspruchsniveaus gekennzeichnet. Die Modellierung mit Hilfe eines Multi-Agenten-Systems erlaubte es uns dann, neben den Mikrogrößen auch die Dynamik von Makrogrößen wie z.B. dem Gesamtumsatz der Industrie zu untersuchen. Die Bestimmung dieser Makrogrößen beruht in dieser Arbeit vollständig auf dem individuellen Verhalten der Gesamtpopulation und nicht mehr auf der Extrapolation eines repräsentativen Akteurs [Kirman 1992]. Wir konnten mit Hilfe dieses Multi-Agenten-Systems das Auftreten von Effekten auf der Makroebene, wie z.B. Phasenübergängen, vollständig durch die Analyse des Individualverhaltens der Populationsmitglieder erklären. Gleichzeitig ermöglichte uns diese Simulationsmethode aber auch, die Rückkopplung des kollektiven Verhaltens auf das Einzelverhalten der Individuen zu analysieren.

Neben der Analyse der Wirkungsmechanismen war aber auch die Untersuchung der Wirkung von Parameteränderungen (“wirtschaftspolitischen Maßnahmen”) auf die Marktdynamik Forschungsziel dieser Arbeit. Im Laufe der Arbeit stellte sich heraus, daß für die Analyse eines komplexen, stochastischen Systems dieser Dimension neben der Einzelsimulation, die wesentlich zum Verständnis der Wirkungsmechanismen beiträgt, auch die Nutzung von statistischen Methoden unabdingbar ist. Wir haben uns dabei der Methodik der Monte-Carlo-Simulationen bedient (s. [Schnakenberg 1995, Honerkamp 1990]), die in vielen Bereichen der Natur- und Ingenieurwissenschaften genutzt wird. Erst die Kombination beider Methoden erlaubt es, interessante Szenarien, z.B. mit Phasenübergängen die sich in multimodalen Wahrscheinlichkeitsverteilungen widerspiegeln, mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen zu identifizieren, um deren interne Wirkungsmechanismen anschließend mit Hilfe von Einzelsimulationen im Detail zu analysieren.

Die von uns betrachteten Güter besitzen mehrere Eigenschaften, eine Produktinnovation haben wir in dieser Arbeit als die Änderung der Ausprägung mindestens einer dieser Gütereigenschaften aufgefaßt. In bisherigen Arbeiten zur Untersuchung von Produktinnovationen (s. [Andersen 1994, Meyer 1996, Pyka 1999, Jager 2002, Vosskamp 2002]) besitzen die Produkte einen einzelnen Qualitätsindex, der eine eindeutige Vorzugsrichtung besitzt ($a_i - > \infty$). Diese Wahl reduziert die Untersuchung von Produktinnovationen auf eine Betrachtung analog der von Prozeßinnovationen, die auch eine eindeutige Vorzugsrichtung besitzen. Sie blendet systematisch die Unsicherheiten von Produktinnovationen in einem mehrdimensionalen Raum der Gütereigenschaften aus. Darüberhinaus haben wir die Vorzugsrichtung der Innovationen in Bezug auf die einzelnen Eigenschaften von der Wertorientierung der jeweiligen Konsumenten in den unterschiedlichen Milieus abhängig gemacht, was die Unsicherheit der Produzenten im Hinblick auf deren Innovationsentscheidungen noch weiter erhöht.

Es hat sich in dieser Arbeit gezeigt, daß für den Erfolg einer Produktinnovation die Betrachtung der Nachfrageseite von zentraler Bedeutung ist (“Der Käufer kauft, nicht der

Verkäufer verkauft“). Das “window of opportunity” für eine Produktinnovation wird maßgeblich von den Konsumenten bestimmt. Nur wenn diese einer Produktinnovation eine höhere Bedürfnisbefriedigungskapazität als den existierenden Produkten zurechnen, kann diese Produktinnovation einen Markterfolg erreichen.

Als weiteres Ergebnis dieser Arbeit kann konstatiert werden, daß eine Änderung der Werthaltung der Konsumenten im Hinblick auf die Diffusion ökologischer Produkte ein unterstützender, aber nicht hinreichender Faktor ist. Wir konnten aber die weitreichende Wirkung einer Änderung der Werthaltung der Konsumenten auf die Wettbewerbsdynamik einer Branche analysieren, die zu dem Marktaustritt einer ganzen Produzentengruppe mit dem falschen Produkt führte. Diese Werthaltungen bzw. die Zurechnung einer bestimmten Bedürfnisbefriedigungskapazität zu verschiedenen Produkteigenschaften kann im Rahmen von Marketing aktiv von den Produzenten beeinflusst werden; solche Aktivitäten ergänzen die strategische Nutzung von Produktinnovationen vor dem Hintergrund stabiler Konsumentenmilieus.

In dieser Arbeit haben wir milieuhängige Konsumkräfte gleichwertig neben die Produkteigenschaften als Entscheidungskriterium für die Konsumenten gestellt. Die verschiedenen Konsumkräfte spannen eine vieldimensionale Verhaltenslandschaft auf, die zeitlich recht stabil ist¹. Diese Landschaft weist unterschiedliche Attraktoren² auf, wobei diese verschiedenster Ordnung sein können (z.B. einzelne oder multiple Fixpunkte und Grenzzyklen). Diese Attraktoren in Bezug auf die Konsumententscheidung der einzelnen Konsumenten entstehen aus der kollektiven Interaktion aller Konsumenten. Diese Milieukräfte stehen im Wechselspiel mit den Produkteigenschaften der angebotenen Güter. Je nach Stärke der einzelnen Effekte können Phasenübergänge zwischen verschiedenen Attraktoren auftreten, die durch die Produktinnovation eines oder mehrerer Produzenten ausgelöst werden und nicht mehr nur rein statistischer Natur sind [Erdmann 1993, Haken 1990]. Mit anderen Worten: über das Vehikel der Produktinnovationen können Produzenten den Phasenraum³ der Kaufentscheidung der Konsumenten aktiv zu ihren Gunsten verändern; das Wissen über die Phasenraumstruktur der Konsumentenentscheidungen kann zur strategischen Auswahl der

¹Die gesellschaftlichen Milieus werden als eine über längere Zeiträume stabile Einteilung der Gesamtgesellschaft in Teilgruppen mit ähnlichen Werthaltungen und Konsummustern aufgefaßt [Sozialordnung 1997].

²Ein Attraktor beschreibt einen Zustand eines dynamischen Systems, der von dem System gegenüber allen anderen möglichen Systemzuständen bevorzugt wird. Diesem Zustand strebt das System (langfristig) zu. Hat das System diesen Attraktor erreicht, so wird es diesen aufgrund der Bevorzugung gegenüber den anderen Systemzuständen nicht wieder verlassen, man spricht von einem stationären Zustand. Neben globalen Attraktoren können aber auch lokale Attraktoren für eine bestimmte lokale Umgebung existieren. In einem zeitlich veränderlichen System können sich die Attraktoren und ihre Anzahl verändern. Zur genauen Definition des Begriffes des Attraktors verweisen wir auf die einschlägige Literatur [Goldstein 1991, Zhang 1991].

³Der Phasenraum für ein dynamisches System ist der Raum aller möglichen Systemzustände in generalisierten Koordinaten [Goldstein 1991, Honerkamp 1990, Zhang 1991].

effektivsten Produktinnovation genutzt werden.

Wir haben in dieser Arbeit die Annahme getroffen, daß die Produzenten ihr Verhalten wie z.B. die Investitionsneigung oder ihr Forschungsbudget auf der Basis ihres Gewinns der letzten Periode steuern, sie verfolgen also eine Form der Kurzfriststeuerung. Empirische Befunde zeigen, daß viele Unternehmen eine Kurzfriststeuerung in Form eines “fire departments” als ein zentrales Mittel zu Reduktion von Unsicherheiten, die im Wettbewerb auftreten, nutzen [Cyert/March 1963]. Aus Sicht der Unternehmen ist diese Strategie, die die Reaktionsfähigkeit auf kurzfristig auftretende Schocks erhält, sehr sinnvoll. Allerdings hat diese Art der Steuerung eine gewisse Kurzsichtigkeit des Unternehmens zur Folge, die in diesem Modell im Fall steigender Energiepreise die langfristige Überlebensfähigkeit der Unternehmen signifikant beeinträchtigt. Die Unternehmen verhalten sich kurzfristig sinnvoll (Überleben im Wettbewerb), langfristig betrachtet bringen sie sich um ihre Wettbewerbsfähigkeit.

Neben der Beeinträchtigung der langfristigen Wettbewerbsfähigkeit bewirkt die kurzfristige Unternehmenssteuerung aber auch eine Fixierung der Unternehmen auf inkrementelle Produktinnovationen. Existieren für einen Markt unterschiedliche Produktkonzepte, zwischen denen nicht per inkrementeller Innovation gewechselt werden kann, so sind solche Produktinnovationen nahezu unmöglich. In solchen Fällen kommt der Grundlagenforschung eine besondere Bedeutung zu, sie könnte solche nicht-inkrementellen Innovationen fördern. Allerdings deuten neue Forschungen an, daß ein kompliziertes Wechselspiel zwischen universitärer Forschung und F&E in Unternehmen besteht [Cohen 2002, Nelson 2002]. Auf der Ebene der Inventionen können Forschungserkenntnisse aus den Universitäten durch Publikationen oder den Transfer von Humankapital in die Industrie “überwechseln”; betrachtet man den Aspekt der Umsetzung möglicher Inventionen auf dem Markt, so können z.B. neue Erkenntnisse aus dem Marketing oder der Unternehmensführung diese Umsetzung unterstützen oder ermöglichen. Die Ergebnisse dieser Arbeit deuten an, daß diese Fragestellungen noch erhebliches Forschungspotential aus der Sicht der Ökonomie bergen.

Inspiziert von der Konnotation von Nelson/Winter, die die Trennung von Inventionen und Innovationen in ihren Modellen aufgehoben haben, behandeln die bekannten Innovationsmodelle diese beiden Aspekte immer als einen Komplex [Nelson 1982, Andersen 1994]. Im Hinblick auf die Beschränkung auf Prozeßinnovationen in diesen Arbeiten mag dieses Vorgehen vor dem Hintergrund eines eindeutigen Optimalitätskalküls ausreichend sein. Untersucht man aber Produktinnovationen, so legen die Erkenntnisse der verhaltenswissenschaftlichen Beschreibung von Unternehmen die Vermutung nahe, daß ein grundlegender Unterschied zwischen diesen beiden Konzepten besteht [Cyert/March 1963]. Die empirischen Befunde zeigen, daß in größeren Organisationen aufgrund der Arbeitsteilung organisatorische Trennungen zwischen den Erfindungen (Entwicklungsabteilung) und deren Umsetzung auf dem Markt (Vertriebsabteilung) bestehen. Die Ziele dieser Teileinheiten können miteinander in

Konflikt stehen, z.B. ob des möglichen Markterfolges oder weil die Vertriebsabteilung noch keinen individuellen Gewinn in der Form von Prämien zu solch einem frühen Zeitpunkt des Produktlebenszyklus erkennt. Diese Arbeit hat gezeigt, daß für die Umsetzung einer Invention drei Aspekte intraorganisationaler Konflikte geregelt werden müssen: (1) die Unsicherheit über den Markterfolg muß verringert oder - idealerweise - eliminiert werden, (2) es ist zu klären, ob die Invention mit der Gesamtstrategie der Firma übereinstimmt und ob gegebenenfalls die Firmenstrategie angepaßt werden muß, (3) die Organisation muß sozusagen "auf Linie gebracht" werden, d.h. die potentiellen Konflikte zwischen den Teileinheiten müssen geklärt werden.

Im Rahmen der Theorie der induzierten Innovationen wurde die Bedeutung der Preise für die Steuerung von Innovationen herausgestellt [Binswanger 1978]. Vor dem Hintergrund der von uns adressierten Frage der Diffusion von ökologischen Produktinnovationen besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Theorie der induzierten Innovation und der Fragestellung der Besteuerung von Energie-Ressourcen im Rahmen einer sogenannten "Ökosteuer" mit dem Ziel, die Innovationstätigkeit in Bezug auf Verbrauchsminderung zu beschleunigen und zu verstärken [Weizsäcker 1995, Hennicke 1999, BUND/Misereor 1996]. Die Ergebnisse dieser Arbeit legen allerdings den Befund nahe, daß die Wirkungszusammenhänge viel komplexer sind als gemeinhin angenommen. Aufgrund dieser Komplexität kann es unter Umständen dazu kommen, daß das anvisierte Ziel nicht nur nicht erreicht wird, sondern sich der Eingriff bzw. die kompetitiven Preissteigerungen als kontraproduktiv erweisen. Dabei können Nebeneffekte wie ein massiver Rückgang der Innovationstätigkeit oder ein "Crowding-Out" niedriger Einkommenschichten auftreten, die so nicht a priori antizipiert werden. Die vielfältigen Analysen dieser Arbeit legen es daher nahe, solche Instrumente mit viel Vorsicht und Bedacht zu wählen und genau zu untersuchen, unter welchen sehr eng zu spezifizierenden Randbedingungen sich die erwünschte Wirkung entfalten kann; dieses Ergebnis bestätigen auch neuere, empirische Arbeiten zur induzierten Innovation im Hinblick auf die Diffusion energiesparender Elektrogeräte [Popp 2002]. Im Gegensatz zu Jäger [Jäger 2002] haben wir in dieser Arbeit nicht die Wirkung einer plötzlich auftretenden, deutlichen Preiserhöhung ("Schock-Ökosteuer") untersucht; die Flexibilität des verwendeten Simulationsmodells läßt die Untersuchung dieses Aspektes aber für weitere Arbeiten offen.

Kondensiert man die vielfältigen Ergebnisse dieser Arbeit im Hinblick auf unsere Ausgangsfragestellung der Diffusion ökologischer Produktinnovationen, so muß man konstatieren, daß gerade nicht die singuläre Anwendung einer Maßnahme zur Erreichung des anvisierten Zieles führt; unter Umständen ist solch eine singuläre Maßnahme sogar kontraproduktiv (prätiale Steuerung) [Dörner 1999]. Vielmehr ist eine sinnvolle, mit Bedacht gewählte Kombination der verschiedenen Einzelmaßnahmen notwendig, um das vor dem Hintergrund

einer nachhaltigen Entwicklung wünschenswerte Ziel einer Verbrauchreduktion der Kraftfahrzeuge zu erreichen. Insbesondere schließen wir uns dem Befund von Jager [Jager 2002] für die Untersuchung der Diffusion von ökologischen Produktinnovationen an, daß eine genaue Analyse der Struktur des betroffenen Zielmarktes unerläßlich ist, um einerseits die frühen Adoptoren in diesem Markt zu identifizieren und andererseits den richtigen Mix der unterstützenden wirtschaftspolitischen Maßnahmen auszuwählen.

Teil IV.

Anhang

A. Variablen - Simulationsmodell

A.1. Zustandsvariablen

- $K_i(t)$: Produktionskapital des Produzenten i in t
- $C_{Depr.,i}(t)$: Abschreibung auf das Produktionskapital des Produzenten i in t
- $K_{Savings,i}(t)$: Kapitalrücklagen des Produzenten i in t
- $I_i(t)$: Kapitalinvestitionen des Produzenten i in t
- $\Gamma_i(t)$: Gewinn des Produzenten i in t
- $B_i(t)$: Bankkredit des Produzenten i in t
- $R_i^{prod.,1}(t)$: Wissenskapital für Fahrzeugleistung des Produzenten i in t
- $R_i^{prod.,2}(t)$: Wissenskapital für Benzinverbrauch des Produzenten i in t
- $R_i^{prod.,3}(t)$: Wissenskapital für Design des Produzenten i in t
- $I_i^{prod.,1}(t)$: Forschungsinvestitionen Fahrzeugleistung des Produzenten i in t
- $I_i^{prod.,2}(t)$: Forschungsinvestitionen Benzinverbrauch des Produzenten i in t
- $I_i^{prod.,3}(t)$: Forschungsinvestitionen Design des Produzenten i in t
- $P_i(t)$: Preis des Produktes des Produzenten i
- $A_{1,i}(t)$: Leistung des Produktes des Produzenten i
- $A_{2,i}(t)$: Benzinverbrauch des Produktes des Produzenten i
- $A_{3,i}(t)$: Design/Styling des Produktes des Produzenten i

A.2. Marktoperationen

- $K_i(t)$: Produktionskapital des Produzenten i in t
- $C_{Avg.,i}(t)$: Stückkosten des Produzenten i in t
- $Q_{Cap.,i}(t)$: Produktionskapazität des Produzenten i in t
- $D_i(t)$: Nachfrage nach dem Gut des Produzenten i in t
- $D_{Delta,i}(t)$: Überschußnachfrage nach dem Gut des Produzenten i in t
- $S_i(t)$: Umsatz des Produzenten i in t
- $P_i(t)$: Preis des Produktes des Produzenten i
- $\alpha^{price}(t)$: Preisänderungsfaktor des Produzenten i

A.3. Investitionsmodul

- $\Gamma_i(t)$: Gewinn des Produzenten i in t
- $S_i(t)$: Umsatz des Produzenten i in t
- $Q_{Cap.,i}(t)$: Produktionskapazität des Produzenten i in t
- $C_{Avg.,i}(t)$: Stückkosten des Produzenten i in t
- $C_{RD-total,i}(t)$: Forschungskosten des Produzenten i in t
- $D_i(t)$: Nachfrage nach dem Gut des Produzenten i in t
- $K_{Savings,i}(t)$: Kapitalrücklagen des Produzenten i in t
- $B_i(t)$: Bankkredit des Produzenten i in t
- $b_{Credit}(t)$: Risikoneigung der Banken
- $D_{Delta,i}(t)$: Überschußnachfrage nach dem Gut des Produzenten i in t
- $\alpha_{inv.,i}(t)$: Investitionsneigung des Produzenten i
- $\alpha_{desinv.,i}(t)$: Neigung zum Kapazitätsabbau des Produzenten i
- $Q_{Cap.}(t)$: Gesamt-Produktionskapazität der Industrie in t
- $D(t)$: Gesamtnachfrage nach dem Gütern der Industrie in t
- $I_i(t)$: Kapitalinvestitionen des Produzenten i in t

A.4. Teilmodul - Suchprozeß

- $C_{RD-total,i}(t)$: Forschungskosten des Produzenten i in t
- $\alpha_{RD-total,i}(t)$: Anteil der Forschungskosten am Umsatz des Produzenten i in t
- $S_i(t)$: Umsatz des Produzenten i in t
- $\alpha_{prod.,i}(t)$: Anteil der Produktinnovationen an den Forschungsinvestitionen des Produzenten i in t
- $I_{prod.,i}(t)$: Investitionen in die Forschung zu Produktinnovationen des Produzenten i in t
- $I_{proc.,i}(t)$: Investitionen in die Forschung zu Prozeßinnovationen des Produzenten i in t
- $I_i^{prod.,1}(t)$: Investitionen in die Forschung zur Fahrzeugleistung des Produzenten i in t
- $I_i^{prod.,2}(t)$: Investitionen in die Forschung zur Benzinverbrauch des Produzenten i in t
- $I_i^{prod.,3}(t)$: Investitionen in die Forschung zur Design des Produzenten i in t
- $\alpha_i^{prod.,1}(t)$: Anteil der Fahrzeugleistung an den Forschungsinvestitionen des Produzenten i in t
- $\alpha_i^{prod.,2}(t)$: Anteil der Benzinverbrauch an den Forschungsinvestitionen des Produzenten i in t
- $\alpha_i^{prod.,3}(t)$: Anteil der Design an den Forschungsinvestitionen des Produzenten i in t
- $In_i^{proc.}(t)$: Innovationswahrscheinlichkeit Prozeßinnovationen des Produzenten i in t
- $In_i^{prod.,1}(t)$: Innovationswahrscheinlichkeit Produktinnovationen Fahrzeugleistung des Produzenten i in t
- $In_i^{prod.,2}(t)$: Innovationswahrscheinlichkeit Produktinnovationen Benzinverbrauch des Produzenten i in t
- $In_i^{prod.,3}(t)$: Innovationswahrscheinlichkeit Produktinnovationen Design des Produzenten i in t
- $\beta_i^{proc.}$: Inventionseffizienz Prozeßinnovationen des Produzenten i in t
- $\beta_i^{prod.,1}$: Inventionseffizienz Produktinnovationen Fahrzeugleistung des Produzenten i in t
- $\beta_i^{prod.,2}$: Inventionseffizienz Produktinnovationen Benzinverbrauch des Produzenten i in t
- $\beta_i^{prod.,3}$: Inventionseffizienz Produktinnovationen Design des Produzenten i in t

- $C_{Avg,i}$: Stckkosten des Produzenten i in t
- δ_{proc}^{max} : Maximaler Senkung der Stckkosten des Produzenten i in t
- P_i : Preis des Fahrzeuges des Produzenten i in t
- $A_{1,i}$: Fahrzeugleistung des Fahrzeuges des Produzenten i in t
- $A_{2,i}$: Benzinverbrauch des Fahrzeuges des Produzenten i in t
- $A_{3,i}$: Design des Fahrzeuges des Produzenten i in t
- $A_{1,i}^{pot.}$: Invention Fahrzeugleistung des Fahrzeuges des Produzenten i in t
- $A_{2,i}^{pot.}$: Invention Benzinverbrauch des Fahrzeuges des Produzenten i in t
- $A_{3,i}^{pot.}$: Invention Design des Fahrzeuges des Produzenten i in t
- $a^{conv.}$: Achsenabschnitt der Verbrauchskurve des konventionellen Fahrzeugtyps
- $a_{min}^{hyp.}$: Unterer Achsenabschnitt der Verbrauchskurve des Hypercars
- $a_{max}^{hyp.}$: Oberer Achsenabschnitt der Verbrauchskurve des Hypercars
- b^{slope} : Steigung der Verbrauchskurve beider Fahrzeugtypen
- $d_{power,i}^{conv.}(t)$: Abstand des Produzenten i in t zur Technologiegrenze Fahrzeugleistung konventioneller Fahrzeuge
- $d_{power,i}^{hyp.}(t)$: Abstand des Produzenten i in t zur Technologiegrenze Fahrzeugleistung Hypercar
- $d_{fuel,i}^{conv.}(t)$: Abstand des Produzenten i in t zur Technologiegrenze Benzinverbrauch konventioneller Fahrzeuge
- $d_{fuel,i}^{hyp.}(t)$: Abstand des Produzenten i in t zur Technologiegrenze Benzinverbrauch Hypercar

A.5. Teilmodul - Technischer Wandel

- $C_{Avg,i}(t)$: Stckkosten des Produzenten i in t
- $A_{1,i}$: Fahrzeugleistung des Fahrzeuges des Produzenten i in t
- $A_{2,i}$: Benzinverbrauch des Fahrzeuges des Produzenten i in t
- $A_{3,i}$: Design des Fahrzeuges des Produzenten i in t
- $A_{1,i}^{pot.}$: Invention Fahrzeugleistung des Fahrzeuges des Produzenten i in t

- $A_{2,i}^{pot.}$: Invention Benzinverbrauch des Fahrzeuges des Produzenten i in t
- $A_{3,i}^{pot.}$: Invention Design des Fahrzeuges des Produzenten i in t
- $A_{1,i}^{new}$: Neue Fahrzeugleistung des Fahrzeuges des Produzenten i in t
- $A_{2,i}^{new}$: Neuer Benzinverbrauch des Fahrzeuges des Produzenten i in t
- $A_{3,i}^{new}$: Neues Design des Fahrzeuges des Produzenten i in t
- $\alpha_{1,i}^{strat.}$: Strategische Ausrichtung zu Innovationen zur Fahrzeugleistung des Produzenten i in t
- $\alpha_{2,i}^{strat.}$: Strategische Ausrichtung zu Innovationen zum Benzinverbrauch des Produzenten i in t
- $\alpha_{3,i}^{strat.}$: Strategische Ausrichtung zu Innovationen zum Design des Produzenten i in t
- $a^{conv.}$: Achsenabschnitt der Verbrauchskurve des konventionellen Fahrzeugtyps
- $a_{min.}^{hyp.}$: Unterer Achsenabschnitt der Verbrauchskurve des Hypercars
- $a_{max.}^{hyp.}$: Oberer Achsenabschnitt der Verbrauchskurve des Hypercars
- b^{slope} : Steigung der Verbrauchskurve beider Fahrzeugtypen
- $\lim_{power,i}^{conv.}(t)$: Technologiegrenze Fahrzeugleistung konventionelles Fahrzeug des Produzenten i in t
- $\lim_{power,i}^{hyp-up}(t)$: Obere Technologiegrenze Fahrzeugleistung Hypercar des Produzenten i in t
- $\lim_{power,i}^{hyp-low}(t)$: Untere Technologiegrenze Fahrzeugleistung Hypercar des Produzenten i in t
- $\lim_{fuel,i}^{conv.}(t)$: Technologiegrenze Benzinverbrauch konventionelles Fahrzeug des Produzenten i in t
- $\lim_{fuel,i}^{hyp-up}(t)$: Obere Technologiegrenze Benzinverbrauch Hypercar des Produzenten i in t
- $\lim_{fuel,i}^{hyp-low}(t)$: Untere Technologiegrenze Benzinverbrauch Hypercar des Produzenten i in t

A.6. Strategiewahl

- $\underline{G}_i$: Vektor aller Strategien des Produzenten i
- $\alpha_{RD-total,i}$: Anteil der Forschungsinvestitionen am Umsatz des Produzenten i
- $\alpha_{prod,i}$: Anteil der Produktinnovationen an den Forschungsinvestitionen des Produzenten i
- $\alpha_i^{prod,1}$: Anteil der Fahrzeugleistung an den Forschungsinvestitionen des Produzenten i
- $\alpha_i^{prod,2}$: Anteil der Benzinverbrauch an den Forschungsinvestitionen des Produzenten i
- $\alpha_i^{prod,3}$: Anteil der Design an den Forschungsinvestitionen des Produzenten i
- $\alpha_{1,i}^{strat.}$: Technischer Wandel Fahrzeugleistung des Produzenten i
- $\alpha_{2,i}^{strat.}$: Technischer Wandel Benzinverbrauch des Produzenten i
- $\alpha_{3,i}^{strat.}$: Technischer Wandel Design des Produzenten i
- $\alpha_{inv.,i}$: Investitionsneigung des Produzenten i
- $\alpha_{desinv.,i}$: Neigung zum Kapazitätsabbau des Produzenten i
- $\alpha^{price,i}$: Preisänderungsfaktor des Produzenten i

A.7. Konsumentenmilieus

- n_k : Milieuzugehörigkeit des Konsumenten k
- E_k : Einkommen des Konsumenten k
- $M_k(t)$: Angespartes Kapital des Konsumenten k in t
- $P_{T_k}(t)$: Preis des vom Konsumenten k in t gekauften Fahrzeuges
- $T_k(t)$: Fahrzeugwahl des Konsumenten k in t

A.8. Kaufentscheidung und Konsumentenlernen

- n_i^c : Anzahl der Käufer des Produktes i aus dem Milieu c
- E_k : Einkommen des Konsumenten k
- $P_i(t)$: Preis des Fahrzeuges i in t
- $P_{res}(t)$: Preis der nicht-erneuerbaren Ressource in t
- $\Pi_{i,k}^{price}(t)$: Einflußfaktor für den Preis des Fahrzeuges i für den Konsumenten k in t
- $\Pi_{i,k}^{novelty}(t)$: Einflußfaktor für die Neuheit des Fahrzeuges i für den Konsumenten k in t
- $\Pi_{i,k}^{power}(t)$: Einflußfaktor für die Leistung des Fahrzeuges i für den Konsumenten k in t
- $\Pi_{i,k}^{design}(t)$: Einflußfaktor für das Design des Fahrzeuges i für den Konsumenten k in t
- $\Pi_{i,k}^{fuel}(t)$: Einflußfaktor für den Benzinverbrauch des Fahrzeuges i für den Konsumenten k in t
- $\Pi_{i,k}^{inter}(t)$: Einflußfaktor der Konsumkräfte für das Fahrzeug i für den Konsumenten k in t
- $\Pi_{i,k}(t)$: Gesamtbewertung des Fahrzeuges i durch den Konsumenten k in t
- $p_{i,k}(t)$: Reinforcement des Fahrzeuges i durch den Konsumenten k
- β_k^{price} : Bedürfnisbefriedigungskapazität des Preises für den Konsumenten k
- $\nu_k^{novelty}$: Bedürfnisbefriedigungskapazität der Produktneuheit für den Konsumenten k
- β_k^{power} : Bedürfnisbefriedigungskapazität der Fahrzeugleistung für den Konsumenten k
- β_k^{design} : Bedürfnisbefriedigungskapazität des Designs für den Konsumenten k
- β_k^{fuel} : Bedürfnisbefriedigungskapazität des Benzinverbrauchs für den Konsumenten k
- β_k^{peer} : Bedürfnisbefriedigungskapazität des Peer-Effektes für den Konsumenten k
- β_k^{snob} : Bedürfnisbefriedigungskapazität des Snob-Effektes für den Konsumenten k
- β_k^{status} : Bedürfnisbefriedigungskapazität des Status-Effektes für den Konsumenten k
- $\beta_k^{mitläufer}$: Bedürfnisbefriedigungskapazität des Mitläufer-Effektes für den Konsumenten k
- $\eta_{nov.}$: Gewöhnungsfaktor der Konsumenten an neue Produkte
- $f_{i,T_k}(t)$: Bekanntheit des Produktes i für den Konsumenten k

- $A_{1,i}(t)$: Fahrzeugleistung des Produzenten i in t
- $A_{2,i}(t)$: Benzinverbrauch des Produzenten i in t
- $A_{3,i}(t)$: Design des Produzenten i in t
- ρ_{power} : Elastizität der Produkteigenschaft Fahrzeugleistung für den zugehörigen Einflußfaktor
- ρ_{design} : Elastizität der Produkteigenschaft Design für den zugehörigen Einflußfaktor
- ρ_{fuel} : Elastizität der Produkteigenschaft Benzinverbrauch für den zugehörigen Einflußfaktor
- $T_k(t)$: Fahrzeugwahl des Konsumenten k in t

A.9. Ressourcenmodul

- $Q_{res}(t)$: Bestand der nicht-erneuerbaren Ressource in t
- $D_{res}(t)$: Gesamtnachfrage nach der nicht-erneuerbaren Ressource in t
- $d_{res,k}(t)$: Nachfrage der Konsumenten k nach der nicht-erneuerbaren Ressource in t
- $P_{res}(t)$: Preis der nicht-erneuerbaren Ressource in t

B. Pseudo-Code - Simulationsmodell

B.1. Klassendiagramm

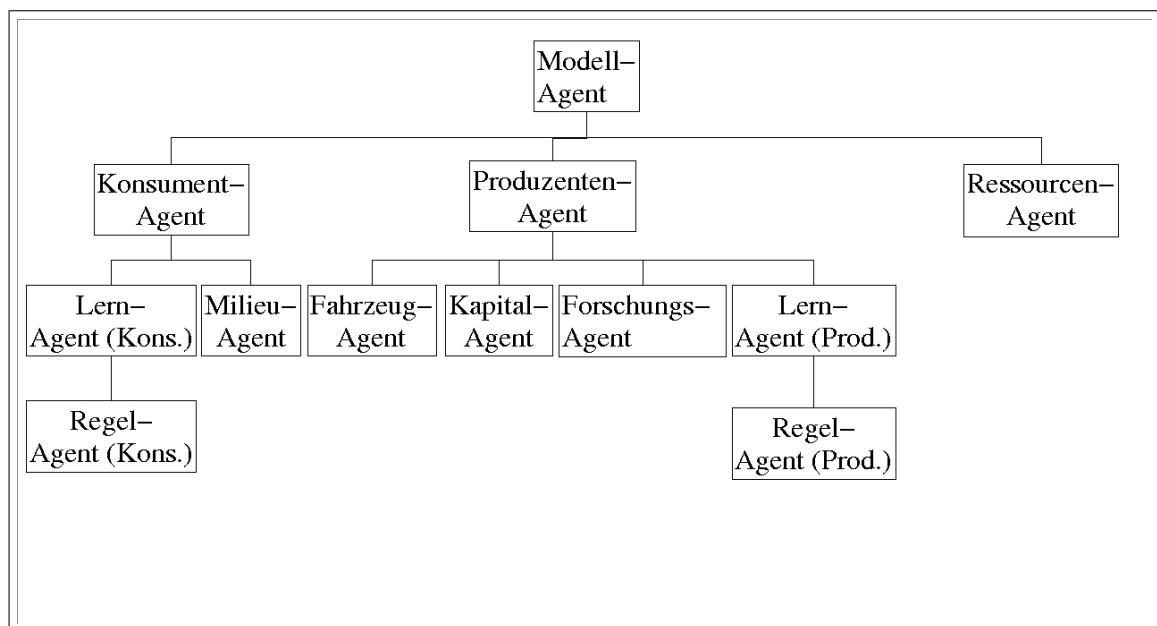


Abbildung B.1.: Dieses Bild illustriert das Klassendiagramm des Simulationsmodells. Es gibt einen Überblick über die benutzten Klassen und deren Instanziierung innerhalb von Oberklassen. Quelle: eigene

B.2. Simulationsklassen

B.2.1. Experiment-Agent

(Klasse, die die Monte-Carlo Simulation steuert.)

Deklarationen

int numModelsRun : Zähler für die Zahl der durchlaufenden Monte-Carlo Simulationen

ModelSwarm *modelSwarm : Zeigervariable für den Modell-Agenten

id model : Modell-Agent

id <OutFile> activeProducers : Anzahl der aktiven Produzenten

id <OutFile> fuelFleetConsumption : Flottenverbrauch des produzierten Fahrzeuge

id <OutFile> averageProfitability : durchschnittliche Profitabilität der Produzenten

id <OutFile> fuelConsumption : Benzinverbrauch der angebotenen Fahrzeuge

...

id <OutFile> consumeGroups : Benzinverbrauch der Fahrzeuge nach Fahrzeuggruppen

id <OutFile> powerGroups : Fahrzeugleistung der Fahrzeuge nach Fahrzeuggruppen

...

id <OutFile> averageSoldQuantity : Durchschnittliche Verkaufsmenge der Produzenten

id <OutFile> averageProfit : Durchschnittlicher Gewinn der Produzenten

Methoden

-buildObjects()

(Instanziere die notwendigen Objekte.)

Super:buildObjects()

(Rufe die Superklasse zur Instanziierung aller notwendigen Objekte für dieses Experiment.)

ControlPanel:setStateStopped()

(Halte das Experiment an.)

Experiment-Swarm:buildResultFiles()

(Instanziere die Speicher-Agenten für das Experiment.)

-buildActions()

(Methode, die alle Aktionen für die Monte-Carlo-Simulation koordiniert.)

loop ((numModelsRun < Anzahl der Monte-Carlo-Simulationen)) *(Hauptschleife, die alle Aktionen für die Einzelsimulationen des Monte-Carlo Experimentes umfat.)*

Experiment-Swarm:buildModel()

(Instanziere einen Modell-Schwarm innerhalb des Experiment-Swarm.)

Modell-Agent:create(self)
(Instanziiere den Modell-Agenten)

Modell-Agent:setOwner(self)
(Weise den Experiment-Swarm als Besitzer des Modell-Agenten zu.)

Modell-Agent:buildObjects()
(Instanziiere die Objekte innerhalb des Modell-Agenten.)

Modell-Agent:buildActions()
(Instanziiere das Objekt zur Ablaufsteuerung - die Hauptschleife - innerhalb des Modell-Agenten.)

ExperimentSwarm:setModel(modelSwarm)
(Weise dem Experiment-Swarm die Instanz des Modell-Agenten als Modell zu.)

Experiment-Swarm:runModel
(Starte einen Simulationslauf des Modell-Agenten.)

Modell-Agent:getActivity(run)
 (Starte den Simulationslauf.)
 (Erhöhe den Zähler für die Simulationsläufe um 1.)

Experiment-Swarm:logResults()
(Speichere die Experimentdaten in den verschiedenen Dateien ab.)

Experiment-Swarm:dropModel()
(Objekt des beendeten Simulationslaufs mit dem Garbage-Kollektor aufräumen.)

ModellAgent:getActivity(drop)
 (Entferne das Objekt zur Ablaufsteuerung.)

ModellAgent:drop()
 (Entferne das Objekt mit dem Garbage-Kollektor.)

Experiment-Swarm:checkToStop()
 (Überprüfe, ob alle Simulationen durchlaufen wurden.)

endloop (Anzahl der Monte-Carlo-Simulationen)

B.2.2. Modell-Agent

(Dieser Agent beschreibt das Multiagenten-System für die Simulation)

Deklarationen

id producerAgent : Zeigervariable auf die Instanzen für die Produzenten

id consumerAgent : Zeigervariable auf die Instanzen für die Konsumenten

id ressourceAgent : Zeigervariable auf die Instanz für den Ressourcen-Agenten

id producerList : Zeigervariable auf die Instanz für Liste der Produzenten

id consumerList : Zeigervariable auf die Instanz für Liste der Konsumenten

int activeProducers : Variable, die die Anzahl der aktiven Produzenten nachhält (verhindert NULL-pointer)

float industryCapacity : Variable, die die Gesamtkapazität der Industrie beschreibt

int industryDemand : Variable, die die Gesamtnachfrage in der Industrie beschreibt

int modelTime : Variable, die die Simulationszeit nachhält

Methoden

-buildActions

(Hauptschleife, die alle Aktionen während einer Simulationsperiode umfat)

loop (Aktuelle Simulationszeit < Maximalzeit)

Modell-Agent: setProducerDemandToZero

(Initialisiere die Konsumentennachfrage.)

Produzenten-Agent: setDemandToZero

(Initialisiere die Nachfrage und die Verkaufsmenge des Kapital-Agenten des Produzenten.)

Modell-Agent: setConsumerSuccessToNO

(Initialisieren die Käuferfolg der Konsumenten.)

Konsumenten-Agent: setSuccess

(Setze den Käuferfolg des Konsumenten auf Null.)

Modell-Agent: chooseProducerStrategy

(Die Produzenten wählen die Verhaltensstrategie für diese Simulationsperiode.)

Produzenten-Agent: chooseWeightedDice

(Aktive Produzenten wählen ihre neue Strategie mit einem gewichteten Würfel.)

ProduzentenLern-Agent: chooseWeightedDice

(Wähle Verhaltensregel mit gewichtetem Würfel.)

Modell-Agent: executeProducerResearch

(Die Produzenten führen die Forschung zu Produkt- und Prozessinnovationen aus.)

loop (Produzenten-Liste)

Produzenten-Agent: executeResearchStrategy

(Produzenten führen ihre Forschung anhand der gewählten Verhaltensregel aus.)

```

    ProduzentenResearch-Agent:executeResearchStrategy
    (Bestimme die Forschungsbudgets und führe Forschungsaktivitäten aus
     für diesen Produzenten.)
    endloop (Produzenten-Liste)
Modell-Agent:setNewPrice
(Produzenten setzen ihren Produktpreis für diese Verkaufsrunde.)
    loop (Produzentenliste)
        Produzenten-Agenten:setNewPrice
        (Ändere den Preis bei den aktiven Produzenten anhand der Verhaltens-
         regel.)
    endloop (Produzentenliste)
Modell-Agent:calculateReinforcementConsumer
(Die Konsumenten bewerten die Produktalternativen.)
    loop (Konsumentenliste)
        Konsumenten-Agenten:calculateReinforcement
        (Berechne die Bewertung der Produktalternativen durch den Konsumenten.)
        KonsumentenLern-Agent:
        (Berechne die Bewertung der Fahrzeugleistung, Benzinverbrauch, De-
         sign, Produktneuheit, Preis und Konsumenteninterdependenzen durch
         den Konsumenten.)
    endloop (Konsumentenliste)
Modell-Agent:chooseCarConsumer
(Die Konsumenten kaufen ein Fahrzeug.)
    loop (Konsumentenliste)
        Konsumenten-Agenten:chooseCar
        (Berechne die Bewertung der Produktalternativen durch den Konsumenten.)
        (Aktualisiere die Kapitalausstattung des Konsumenten.)
    endloop (Konsumentenliste)
Modell-Agent:calculateIndustryCapacity
(Die Gesamtkapazität der Industrie wird berechnet.)
    loop (Produzentenliste)
        (Summiere die Einzelkapazität der Produzenten.)
    endloop (Produzentenliste)
Modell-Agent:calculate IndustryDemand
(Die Gesamtnachfrage aller Konsumenten wird berechnet.)
    loop (Produzentenliste)
        (Summiere die Einzelnachfrage der Produzenten.)

```

```
endloop (Produzentenliste)

Modell-Agent:executeAccountingProducer
(Die Produzenten aktualisieren ihre Finanzkennzahlen.)

    loop (Produzentenliste)
        Produzenten-Agent:executeAccounting
        (Aktualisiere die Finanzkennzahlen des Produzenten.)
    endloop (Produzentenliste)

Modell-Agent:executeRuleUpdateProducer
(Aktualisiere die Bewertung der Verhaltensregeln der Produzenten.)

    loop (Produzentenliste)
        Produzenten-Agent:executeRuleUpdate
        (Aktualisiere die Bewertung der Verhaltensregeln des Produzenten.)
        ProduzentenLern-Agent:calculateRulePayoff
        (Aktualisiere die Bewertung der aktiven Regel.)
    endloop (Produzentenliste)

Modell-Agent:executeProbabilityUpdateProducer
(Aktualisiere den Wahlwahrscheinlichkeit der Verhaltensregeln der Produzenten.)

    loop (Produzentenliste)
        Produzenten-Agent:executeProbabilityUpdate
        (Aktualisiere die Wahlwahrscheinlichkeit der Verhaltensregeln des Produzenten anhand des Arthur-Algorithmus.)
        ProduzentenLern-Agent:calculateProbabilities
        (Berechne die Wahlwahrscheinlichkeit der Verhaltensregeln.)
        ProduzentenLern-Agent:renormStrengths
        (Renormiere die Bewertungstärken.)
    endloop (Produzentenliste)

Modell-Agent:updateStrengthConsumer
(Aktualisiere den Lernalgorithmus für die Konsumenten.)

    loop (Konsumentenliste)
        Konsumenten-Agent:updateStrenghtBrenner
        (Aktualisiere die Bewertungsstärken des Konsumenten.)
        KonsumentenLern-Agent:updateRulesBrenner
        (Aktualisiere die Bewertungsstärken des Konsumenten anhand des Bush-Mosteller-Algorithmus.)
    endloop (Konsumentenliste)

Modell-Agent:consumeRessource
(Berechne den Verbrauch der nicht-erneuerbaren Ressource und ihren neuen Bestand.)
```

Ressourcen-Agent:consumeRessource

(Berechne den Verbrauch der nicht-erneuerbaren Ressource und ihren neuen Bestand.)

Modell-Agent:calculateCarStatistics

(Aktualisiere die Verkaufsstatistik für die Fahrzeuge nach Konsumentenmilieus.)

Modell-Agent:executeLogResults

(Speichere die Experimentdaten für diese Simulationsperiode.)

Modell-Agent:executeMarketExit

(Überprüfe ob Produzenten aus dem Markt austreten.)

loop (Produzentenliste)

(Produzenten ohne Kapitalrücklagen und Kapazität treten aus dem Markt aus.)

endloop (Produzentenliste)

Modell-Agent:stepTime

(Erhöhe die aktuelle Simulationszeit um 1.)

endloop (Hauptschleife über alle Simulationsperioden der Einzelsimulation)

B.3. Produzenten

B.3.1. Produzenten-Agent

(Agent, der die einzelnen Produzenten beschreibt.)

Deklarationen

int producerID: Produzentenidentifikation

BOOL producerActive: Aktiver Produzent

id owner: Zeigervariable auf den Modell-Agenten

id learningAgent: Lern-Agent des Produzenten

id loggingAgent: Agent zur Speicherung des Experimentdaten für diesen Produzenten

id ownProducedCar: Fahrzeug-Agent des Produzenten

id ownCapitalAgent: Kapital-Agent des Produzenten

id ownResearchAgent: Forschungs-Agent des Produzenten

Methoden

-buildObjectsAs(int a, int b)

(Instanziere den Lern-, Fahrzeug-, Kapital- und Forschungsagenten dieses Produzenten und weise die Hierarchiebeziehungen zu. Initialisiere diese Agenten und instanziiere und initialisiere die Regelliste des Lernagenten des Produzenten.)

-setOwner(id a)

(Weise den Modell-Agenten der Zeigervariablen zu.)

-(id)getOwner()

(Rückgabe eines Zeigers auf den Modell-Agenten.)

-setProducerID(int a)

(Weise dem Produzenten die Identifikationszahl a zu.)

-(int)getProducerID()

(Rückgabe der Identifikationszahl des Produzenten.)

-setProducerActive(BOOL a)

(Weise dem Aktivitätsstatus des Produzenten den Wert a zu.)

-(BOOL)getProducerActive()

(Rückgabe des Boole-Wertes für den Aktivitätsstatus des Produzenten.)

-(id)getProducedCar()

(Rückgabe eines Zeigers auf den Fahrzeug-Agenten des Produzenten.)

-(id)getLearningAgent()

(Rückgabe eines Zeigers auf den Lern-Agenten des Produzenten.)

-(id)getLoggingAgent()

(Rückgabe eines Zeigers auf den Speicher-Agenten des Produzenten.)

-(id)getCapitalAgent()

(Rückgabe eines Zeigers auf den Kapital-Agenten des Produzenten.)

-(id)getResearchAgent()

(Rückgabe eines Zeigers auf den Forschungs-Agenten des Produzenten.)

-(int)sellCar(int a)

(Verkaufe ein Fahrzeug solange vorhanden.)

wenn (verfügbare Menge Fahrzeug > a)

Kapital-Agent:setSoldQuantity
(Verkaufe Fahrzeug.)

Kapital-Agent:setDemand
(Erhöhe Nachfrage um a.)

sonst ()
(Erhöhe Nachfrage um a, verkaufe kein Fahrzeug.)

-setDemandToZero()
(Initialisiere den Zähler für die eigene Nachfrage.)

Kapital-Agent:setDemand
(Initialisiere Nachfragezähler.)

Kapital-Agent:setDemand
(Initialisiere Verkaufszähler.)

-setNewPrice()
(Setze neuen Preis anhand der gewählten Verhaltensregel.)

ProduzentenLern-Agent:getActiveRule
(Wähle die aktive Verhaltensregel aus.)

ProduzentenLern-Agent:getAlphaPrice
(Wähle den Preisänderungsfaktor aus.)

Fahrzeug-Agent:setPrice
(Setze den neuen Preis mit Hilfe des Preisänderungsfaktors.)

-chooseMaximumRule()
(Wähle die neue Verhaltensregel mit der Maximalbewertung.)

wenn (Produzent ist aktiv)
ProduzentenLern-Agent:chooseMaximumRule
(Wähle die Verhaltensregel mit der höchsten Bewertung.)

-chooseWeightedDice()
(Wähle die neue Verhaltensregel mittels eines gewichteten Würfels.)

wenn (Produzent ist aktiv)
ProduzentenLern-Agent:chooseWeightedDice
(Wähle die Verhaltensregel mittels eines gewichteten Würfels.)

-executeResearchStrategy()
(Führe die Suche nach Produkt- und Prozeßinnovationen aus.)

Fahrzeugagent:setNewCar
(Setze den Fahrzeugstatus auf (Alt).)

Kapital-Agent:setNewProcess
(Setze den Prozeßinnovationsstatus auf (Alt).)

wenn (Produzent ist aktiv) (Produzent führt Forschung anhand der gewählten Verhaltensregel aus.)

ProduzentenKapital-Agent:calculateBudgetResearch
(Bestimme das Forschungsbudget des Produzenten.)

ProduzentenResearch-Agent:calculateKnowHowPower
(Bestimme das Wissenskapital für die Fahrzeugleistung.)

ProduzentenResearch-Agent:calculateKnowHowConsumption
(Bestimme das Wissenskapital für den Benzinverbrauch.)

ProduzentenResearch-Agent:calculateKnowHowDesign
(Bestimme das Wissenskapital für das Design.)

ProduzentenResearch-Agent:calculateKnowHowProcess
(Bestimme das Wissenskapital für die Prozeßinnovationen.)

ProduzentenResearch-Agent:calculateKnowHowImitation
(Bestimme das Wissenskapital für die Imitationen.)

ProduzentenResearch-Agent:decideProductResearch
(Führe Produktforschung aus und entscheide über Produktinnovationen.)

ProduzentenResearch-Agent:decidePower
(Führe Forschung für die Fahrzeugleistung aus und entscheide Innovationserfolg und Fahrzeugtyp.)

ProduzentenResearch-Agent:searchNewPower
(Führe die Forschung für die Fahrzeugleistung aus und entscheide über die neue Fahrzeugleistung auf der Basis des Merkmalsraumes.)

ProduzentenResearch-Agent:decideConsumption
(Führe Forschung für den Benzinverbrauch aus und entscheide Innovationserfolg und Fahrzeugtyp.)

ProduzentenResearch-Agent:searchNewConsumption
(Führe die Forschung für den Benzinverbrauch aus und entscheide über den neuen Benzinverbrauch auf der Basis des Merkmalsraumes.)

ProduzentenResearch-Agent:decideDesign
(Führe Forschung für das Design aus und entscheide Innovationserfolg und Fahrzeugtyp.)

ProduzentenResearch-Agent:searchNewDesign
(Führe die Forschung für das Design aus und entscheide über das neue Design auf der Basis des Merkmalsraumes.)

ProduzentenResearch-Agent:decideProcessResearch
(Führe Forschung für Prozeßinnovationen aus.)

ProduzentenResearch-Agent:decideProcess
(Führe Forschung zur Prozeßinnovation aus und bestimme die neuen Stückkosten.)

-executeAccounting(float c, int d)
(Aktualisiere die Finanzkennzahlen des Produzenten.)

Kapital-Agent:calculateSales
(Berechne den Umsatz des Produzenten.)

Kapital-Agent:calculateExcessDemand
(Berechne die Überschußnachfrage des Produzenten.)

Kapital-Agent:calculateProfit
(Berechne den Gewinn des Produzenten.)

Kapital-Agent:investProfit
(Tätige die Investitionen.)

Kapital-Agent:calculateSavings
(Aktualisiere die Kapitalrücklagen.)

Kapital-Agent:calculateCapitalStock
(Aktualisiere den Kapitalstock für die Produktion.)

Kapital-Agent:calculateCapacity
(Aktualisiere die Produktionskapazität.)

-executeRuleUpdate()
(Aktualisiere die Bewertung der Verhaltensregeln des Produzenten.)

ProduzentenLern-Agent:calculatePayoffWithCapitalAndProfit
(Aktualisiere die Bewertung der aktiven Regel.)

-executeProbabilityUpdate()
(Aktualisiere die Wahlwahrscheinlichkeit der Verhaltensregeln des Produzenten anhand des Arthur-Algorithmus.)

ProduzentenLern-Agent:calculateTotalStrength
(Berechne die Summe der Bewertungen der einzelnen Verhaltensregeln.)

ProduzentenLern-Agent:calculateProbabilities
(Berechne die Wahlwahrscheinlichkeit der Verhaltensregeln.)

ProduzentenLern-Agent:renormStrengths(int a)
(Renormiere die Bewertungstärken anhand des Arthur-Algorithmus zum Zeitpunkt a.)

B.3.2. Produzenten-Lern-Agent

(Agent, der das Lernen der Produzenten beschreibt.)

Deklarationen

float totalStrength : Summe aller Einzelbewertungen der Verhaltensregeln

id onwer : Zeigervariable auf den eigenen Produzenten

id ruleList : Doppelt verkettete Liste der Verhaltensregeln

id strategyList : Hilfsliste der Verhaltensregeln

id rule : Regel-Agent für die Verhaltensregeln des Produzenten

id quickSort : Sortier-Agent mit dem QuickSort-Verfahren

Methoden

-setOwner(id a)

(Weise den Produzenten-Agenten der Zeigervariablen zu.)

-(id)getOwner()

(Rückgabe eines Zeigers auf den Produzenten-Agenten)

-setQSort()

(Instanziiere den Sortier-Agenten innerhalb des ProduzentenLern-Agenten.)

-(id)getQSort()

(Rückgabe eines Zeigers auf den Sortier-Agenten.)

-buildRuleList(int a)

(Instanziiere die Liste mit den Produzentenregeln für den Produzententyp a.)

List:create(ruleList)

(Instanziiere die Liste für die Verhaltensregeln.)

List:create(strategyList)

(Instanziiere die Hilfs-Liste für die Verhaltensregeln.)

loop (Länge der Regelliste)

ProduzentenRegel-Agent:create(aRule)

(Instanziiere einen ProduzentenRegel-Agenten.)

ProduzentenRegel-Agent:initializeAsRule(int im int a)
(Initialisiere die Produzentenregel als Regel i für den Produzententyp a.)

ProduzentenRegel-Agent:setRuleProbability(aRule)
(Initialisiere die Regelstärke.)

ProduzentenRegel-Agent:setRuleActive(NO)
(Initialisiere das Aktivitätsflag.)

RuleList-Agent:addLast(aRule)
(Hänge die neue Regel an die Regelliste.)

StrategyList-Agent:addLast(aRule)
(Hänge die neue Regel an die Regelliste.)

endloop (Länge der Regelliste)

-initializeRules()
(Initialisiere die Regelstärke der Verhaltensregeln auf 1 und berechne die Gesamtstärke und die Wahrscheinlichkeiten der Regeln.)

RuleList:setRuleStrength(1.0)

ProduzentenLern-Agent:calculateTotalStrength

ProduzentenLern-Agent:calculateProbabilities

-setActiveRule(int a)
(Setze das Aktivitätsflag für die Regel mit der Identifikationszahl a und inaktiviere alle anderen Verhaltensregeln.)

loop (Länge der Regelliste)
 wenn (RegelID = a)
 RuleList:setRuleActive(YES)
 (Setze Aktivitätsflag für diese Regel.)

sonst ()
 RuleList:setRuleActive(NO)
 (Inaktiviere diese Regel.)

endloop (Länge der Regelliste)

-(id)getActiveRule()
(Rückgabe eines Zeigers auf die aktive Verhaltensregel.)

-(id)getRuleList()
(Rückgabe eines Zeigers auf die Verhaltensregelliste.)

-(id)getStrategyList()

(Rückgabe eines Zeigers auf die Hilfsliste.)

-setTotalStrength(float a)

(Weise der Gesamtstärke den Wert a zu.)

-(float)getTotalStrength()

(Rückgabe des Wertes der Gesamtstärke)

-calculatePayoffWithCapitalAndProfit()

(Berechne die neue Bewertungsstärke.)

wenn (neue Bewertungsstärke > 0.0)

(Setze Bewertungsstärke gleich neue Bewertungsstärke.)

sonst ()

(Setze die Bewertungsstärke auf Residualwert.)

-calculateTotalStrength()

(Summiere die Einzelbewertungen zur Gesamtstärke.)

-calculateProbabilities()

(Berechne die Wahrscheinlichkeiten der Verhaltensregeln des Produzenten.)

loop (Länge der Regelliste)

RuleList:setRuleProbability

(Setze die Wahrscheinlichkeit gleich Regelstärke/Gesamtstärke.)

endloop (Länge der Regelliste)

-renormStrengths()

(Renormiere die Bewertungsstärken anhand des Arthur-Algorithmus.)

(Berechne den Annealing-Faktor aus der Simulationszeit.)

loop (Länge der Regelliste)

(Normiere die Regelstärke um den Annealing-Faktor.)

endloop (Länge der Regelliste)

-chooseMaximumRule()

(Wähle die Verhaltensregel mit der Maximalbewertung)

Sortier-Agent:sortObjectsIn(strategyList)

(Sortiere die Hilfsliste der Verhaltensregeln mit absteigender Stärke.)

StrategyList:getFirst(setActive)

(Aktiviere die Regel mit der höchsten Bewertungsstärke.)

(Inaktiviere die restlichen Verhaltensregeln.)

-chooseWeightedDice()

(Wähle die Verhaltensregel anhand eines gewichteten Würfels.)

(Initialisiere die Hilfsvariable für die Summe der normierten Bewertungsstärken.)

(Initialisiere den Hilfszähler für die Regelnummer.)

(Ziehe eine gleichverteilte Zufallszahl zwischen 0 und 1.)

solange (Summe der Bewertungsstärken > Zufallszahl)

(Addiere die Bewertungsstärke der aktuellen Regel (Regelnummer.)

(Setze die aktuelle Regel auf inaktiv.)

(Erhöhe den Hilfszähler für die Regelnummer.)

(Setze die aktuelle Regel auf aktiv.)

(Setze die restlichen Regeln auf inaktiv.)

B.3.3. Produzenten-Verhaltensregeln-Agent

(Agent, der die einzelne Verhaltensregel des Produzenten beschreibt.)

Deklarationen

float ruleStrength : Regelstärke

float ruleProbability : Regelwahrscheinlichkeit

int ruleID : Regelnummer

BOOL ruleActive : Aktive Regel

float alphaResearch : Anteil der Forschungsinvestitionen

float alphaProduct : Anteil der Produkt-Forschungsinvestitionen

float alphaImitation : Anteil der Aufwendungen für Imitation der Konkurrenten

float alphaProductPower : Anteil der Aufwendungen für Fahrzeugleistung an den Produkt-Forschungsinvestitionen

float ...

float alphaSignPower : Richtung der Fahrzeugleistungsforschung

float ...

float alphaPrice : Preisänderungsfaktor

float alphaInvestment : Faktor für die Kapazitätsanpassung

Methoden

-setOwner(id a)

(Weise dem ProduzentenRegel-Agenten den Produzenten a zu.)

-(id)getOwner()

(Rückgabe eines Zeigers auf den eigenen Produzenten.)

-setAlphaResearch(float a)

(Setze den Umsatzanteil a der Forschungsinvestitionen.)

-(float)getAlphaResearch()

(Rückgabe des Umsatzanteils der Forschungsinvestitionen.)

-initializeAsRule(int a)

(Initialisieren den ProduzentenRegel-Agenten für den Produzenten a.)

B.3.4. Forschungs-Agent

(Agent, der die Produkt und Prozeßinnovationen beschreibt.)

Deklarationen

float researchKnowHowPower : Wissenskapazität Forschung Fahrzeugleistung

float ...

float betaProductPower : Wahrscheinlichkeit für Inventionserfolg Fahrzeugleistung

float ...

float probProductPower : Wahrscheinlichkeit für Innovationserfolg Fahrzeugleistung

float ...

Methoden

-setOwner(id a)

(Weise dem Research-Agenten den Produzenten a zu.)

-(id)getOwner()

(Rueckgabe eines Zeigers auf den eigenen Produzenten.)

-initializeAsAgent(int a)

(Initialisieren den Research-Agenten für den Produzenten a.)

-setHypercar(BOOL a)

(Weise der Boole-Variablen den Wert a zu.)

-(BOOL)getHypercar()

(Rueckgabe der Boole-Variablen, die anzeigt, ob das Fahrzeug ein Hypercar ist.)

-calculateKnowHowPower(float a)

(Berechne das Wissenskapital für Forschung in Bezug auf die Fahrzeugleistung aus dem bestehenden Kapital plus den Investitionen (a) abzüglich des Wissenverfalls.)

-calculateKnowHowConsumption(float a)

(...)

-calculateKnowHowDesign(float a)

(...)

-calculateKnowHowProcess(float a)

(...)

-calculateKnowHowImitation(float a)

(...)

-(float)searchNewPower(float a)

[Suche nach einer potentiellen neuen Fahrzeugleistung (Invention).]

(Bestimme den Abstand zwischen der aktuellen Fahrzeugleistung (a) und der Obergrenze für konventionelle Fahrzeuge.)

(Bestimme den Abstand zwischen der aktuellen Fahrzeugleistung (a) und der Obergrenze für den Hypercar.)

wenn (wenn Fahrzeug nicht Hypercar)

wenn (Abstand zur Untergrenze (konventionell) größer als Null)

*(Ziehe normalverteiltes Los (Mittelwert = aktuelle Fahrzeugleistung, Varianz = gewichtetes Wissen*Abstand) als potentielle, neue Fahrzeugleistung.)*

sonst ()

(Setze potentielle, neue Fahrzeugleistung gleich der aktuellen (a).)

sonst ()

wenn (Abstand zur Untergrenze (Hypercar) größer als Null)

*(Ziehe normalverteiltes Los (Mittelwert = aktuelle Fahrzeugleistung, Varianz = gewichtetes Wissen*Abstand) als potentielle, neue Fahrzeugleistung.)*

sonst ()

(Setze potentielle, neue Fahrzeugleistung gleich der aktuellen (a).)

(Rückgabe des Wertes für die neue, potentielle Fahrzeugleistung.)

-(float)searchNewConsumption(float a)

(Suche nach einem potentiellen neuen Kraftstoffverbrauch (Invention).)

(Bestimme den Abstand zwischen dem aktuellen Benzinverbrauch (a) und der Untergrenze für konventionelle Fahrzeuge.)

(Bestimme den Abstand zwischen dem aktuellen Benzinverbrauch (a) und der Untergrenze für den Hypercar.)

wenn (wenn Fahrzeug nicht Hypercar)

wenn (wenn Abstand zur Untergrenze (konventionell) größer als Null)

*(Ziehe normalverteiltes Los (Mittelwert = aktuelle Benzinverbrauch, Varianz = gewichtetes Wissen*Abstand) als potentiellen, neuen Benzinverbrauch.)*

sonst ()

(Setze potentiellen, neuen Benzinverbrauch gleich dem aktuellen (a).)

sonst ()

wenn (Abstand zur Untergrenze (Hypercar) größer als Null)

*(Ziehe normalverteiltes Los (Mittelwert = aktuelle Benzinverbrauch, Varianz = gewichtetes Wissen*Abstand) als potentiellen, neuen Benzinverbrauch.)*

sonst ()

(Setze potentiellen, neuen Benzinverbrauch gleich dem aktuellen (a).)

(Rückgabe des Wertes für den neuen, potentiellen Benzinverbrauch.)

-(float)searchNewDesign(float a)

(Suche nach einem potentiellen neuen Design (Invention).)

wenn (aktuelles Design größer als Null)

wenn (Forschungskapital (Design) größer als Null)

(Ziehe normalverteiltes Los (Mittelwert = aktuelle Design, Varianz = gewichtetes Wissen) als potentielles, neues Design.)

sonst ()

(Setze potentielles, neues Design gleich dem aktuellen (a).)

(Rückgabe des Wertes für das neue, potentielle Design.)

-(float)searchNewProcess(float a)

(Suche nach einem potentiellen neuen Design (Invention).)

(Ziehe ein lognormal-verteiltes Los für die Änderung der Stückkosten mit der Varianz proportional dem Forschungskapital (Prozessinnovation).)

-(float)decidePower(float new, id rule)

(Bestimme die neue Fahrzeugleistung (Innovation).)

(Bestimme die Obergrenze der Fahrzeugleistung zum aktuellen Benzinverbrauch (konventionell).)

(Bestimme die Untergrenze der Fahrzeugleistung zum aktuellen Benzinverbrauch (hypercar).)

(Bestimme die Obergrenze der Fahrzeugleistung zum aktuellen Benzinverbrauch (hypercar).)

wenn (gleichverteiltes Los zwischen Null und Eins kleiner als gewichtetes Forschungskapital (Fahrzeugleistung)) *(Bestimme eine neue potentielle Fahrzeugleistung.)*

wenn (Verhaltensregel gleich Erhöhung der Leistung)pseudo

wenn (potentielle Fahrzeugleistung größer Obergrenze (konventionell))

(Setze neue Fahrzeugleistung gleich neue potentielle Leistung.)

(Setze Fahrzeugtyp gleich konventionell.)

wenn (potentielle Fahrzeugleistung größer als Obergrenze (konventionell) und kleiner als Untergrenze (hypercar))

(Setze neue Fahrzeugleistung gleich Obergrenze (konventionell).)

(Setze Fahrzeugtyp gleich konventionell.)

wenn (potentielle Fahrzeugleistung größer Untergrenze (Hypercar) und kleiner Obergrenze (Hypercar))

(Setze neue Fahrzeugleistung gleich potentielle Fahrzeugleistung.)

(Setze Fahrzeugtyp gleich Hypercar.)

wenn (potentielle Fahrzeugleistung größer Obergrenze (Hypercar))

(Setze neue Fahrzeugleistung gleich Obergrenze (Hypercar).)

(Setze Fahrzeugtyp gleich Hypercar.)

wenn (Verhaltensregel gleich Verringerung der Leistung)

wenn (potentielle Fahrzeugleistung größer Obergrenze (konventionell))

(Setze neue Fahrzeugleistung gleich neue potentielle Leistung.)

(Setze Fahrzeugtyp gleich konventionell.)

wenn (potentielle Fahrzeugleistung größer als Obergrenze (konventionell) und kleiner als Untergrenze (Hypercar))

(Setze neue Fahrzeugleistung gleich Obergrenze(konventionell).)

(Setze Fahrzeugtyp gleich konventionell.)

wenn (potentielle Fahrzeugleistung größer Untergrenze (Hypercar) und kleiner Obergrenze (Hypercar))

(Setze neue Fahrzeugleistung gleich potentielle Fahrzeugleistung.)

(Setze Fahrzeugtyp gleich Hypercar.)

wenn (potentielle Fahrzeugleistung größer Obergrenze (Hypercar))

(Setze neue Fahrzeugleistung gleich Obergrenze (Hypercar).)

(Setze Fahrzeugtyp gleich Hypercar.)

sonst ()

(Setze neue Fahrzeugleistung gleich aktuelle Fahrzeugleistung.)

wenn (neue Fahrzeugleistung nicht gleich aktuelle Fahrzeugleistung)

(Setze Flag erfolgreiche Produktinnovation durchgeführt.)

-(float)decideConsumption(float new, id rule)

(Bestimme den neuen Kraftstoffverbrauch (Innovation).)

(Bestimme die Untergrenze der Fahrzeugleistung zum aktuellen Benzinverbrauch (konventionell).)

(Bestimme die Untergrenze der Fahrzeugleistung zum aktuellen Benzinverbrauch (Hypercar).)

(Bestimme die Obergrenze der Fahrzeugleistung zum aktuellen Benzinverbrauch (hypercar).)

wenn (ein gleichverteiltes Los zwischen Null und Eins kleiner als gewichtetes Forschungskapital (Benzinverbrauch)) *(Bestimme einen neuen, potentiellen Benzinverbrauch.)*

wenn (Verhaltensregel gleich Erhöhung des Benzinverbrauchs)

wenn (potentieller Benzinverbrauch größer Untergrenze (konventionell))

(Setze neue Benzinverbrauch gleich neue potentielle Leistung.)

(Setze Fahrzeugtyp gleich konventionell.)

wenn (potentieller Benzinverbrauch kleiner als Untergrenze (konventionell) und größer als Obergrenze (Hypercar))

(Setze neuen Benzinverbrauch gleich Untergrenze (konventionell).)

(Setze Fahrzeugtyp gleich konventionell.)

wenn (potentieller Benzinverbrauch kleiner Obergrenze (Hypercar) und größer Untergrenze (Hypercar))

(Setze neue Benzinverbrauch gleich potentieller Benzinverbrauch.)

(Setze Fahrzeugtyp gleich Hypercar.)

wenn (potentieller Benzinverbrauch kleiner Untergrenze (Hypercar))

(Setze neuen Benzinverbrauch gleich Untergrenze (Hypercar).)

(Setze Fahrzeugtyp gleich Hypercar.)

wenn (Verhaltensregel gleich Verringerung des Benzinverbrauchs)

wenn (potentieller Benzinverbrauch größer Untergrenze (konventionell))

(Setze neuen Benzinverbrauch gleich neue potentielle Leistung.)

(Setze Fahrzeugtyp gleich konventionell.)

wenn (potentieller Benzinverbrauch kleiner als Untergrenze(konventionell) und größer als Obergrenze(hypercar))

(Setze neuen Benzinverbrauch gleich Untergrenze (konventionell).)

(Setze Fahrzeugtyp gleich konventionell.)

wenn (potentieller Benzinverbrauch kleiner Obergrenze (Hypercar) und größer Untergrenze (Hypercar))

(Setze neuen Benzinverbrauch gleich potentieller Benzinverbrauch.)

(Setze Fahrzeugtyp gleich Hypercar.)

wenn (potentieller Benzinverbrauch kleiner Untergrenze (Hypercar))

(Setze neuen Benzinverbrauch gleich Untergrenze (Hypercar).)

(Setze Fahrzeugtyp gleich Hypercar.)

sonst () *(Setze neuen Benzinverbrauch gleich aktueller Benzinverbrauch.)*

wenn (neuer Benzinverbrauch ungleich aktueller Benzinverbrauch) *(Setze Flag erfolgreiche Produktinnovation.)*

-(float)decideDesign(float new, id rule)

(Bestimmen das neue Fahrzeugdesign (Innovation).)

(Setze Untergrenze Design gleich Null.)

wenn (gleichverteiltes Los zwischen Null und Eins kleiner als gewichtetes Forschungskapital (Design)) *(Bestimme ein neues, potentielles Design.)*

wenn (Verhaltensregel gleich Erhöhung des Design)

(Setze neues Design gleich potentielles Design.)

wenn (Verhaltensregel gleich Verringerung des Design)

wenn (potentielles Design kleiner Untergrenze)

(Setze neues Design gleich Untergrenze.)

sonst ()

(Setze neues Design gleich aktuelles Design.)

sonst () *(Setze neues Design gleich aktuelles Design.)*

wenn (neues Design ungleich aktuelles Design) (*Setze Flag erfolgreich Produktinnovation.*)

-(float)decideProcess(float new, id rule)
(*Bestimme die neue Prozesseffizienz (Innovation).*)

wenn (ein gleichverteiltes Los zwischen Null und Eins kleiner als gewichtetes Forschungskapital (Prozessinnovation))
(*Bestimme potentielle Verringerung der Stückkosten ((float) searchNewProcess (new)).*)

wenn (potentielle Verringerung kleiner maximale Verringerung)
(*Setze neue Stückkosten gleich aktuelle Stückkosten minus Verringerung.*)

sonst ()
(*Setze neue Stückkosten gleich aktuelle Stückkosten minus maximale Verringerung.*)

-decideProductResearch(id caragent, id rule)
(*Starte die Suche und Festlegung von Produktinnovationen*)

(*Versuche Imitation der Produkteigenschaften (imitateNewProduct()).*)

wenn (kein Imitationserfolg)
(*Versuche Produktinnovation Fahrzeugleistung ((float) decidePower (caragent, rule)).*)
(*Versuche Produktinnovation Benzinverbrauch ((float) decidePower (caragent, rule)).*)
(*Versuche Produktinnovation Design ((float) decidePower (caragent, rule)).*)

wenn (Produktinnovation erfolgreich)
(*Erhöhe die Stückkosten um einen konstante Wert.*)

-decideProcessResearch(id a, id rule)
(*Starte die Suche und Festlegung von Prozessinnovationen*)

ResearchAgent:(float)decideProcess(a,rule)
(*Versuche Prozessinnovation ((float)decideProcess(a,rule)).*)

-imitateNewProduct()
(*Starte die Suche und Festlegung von Produktimitationen.*)

wenn (ein gleichverteiltes Los zwischen Null und Eins kleiner als gewichtetes Forschungskapital(imitation))
(*Bestimme Imitationspartner aus den konkurrierenden Produzenten.*)

wenn (Kapitalrendite des Partners größer als eigene Kapitalrendite und Gewinn größer als eigener Gewinn)

(Übernahme die Produkteigenschaften und die Stückkosten des Imitationspartners.)

-(float)imitateNewProcess()

(Starte die Suche und Festlegung von Prozessimitationen)

wenn (ein gleichverteiltes Los zwischen Null und Eins kleiner als gewichtetes Forschungskapital (Imitation))

(Bestimme Minimum der Stückkosten aller Produzenten.)

(Setze neue Stückkosten gleich dem Minimum der Stückkosten aller Produzenten.)

B.3.5. Fahrzeug-Agent

(Agenten-Klasse, die ein Fahrzeug beschreibt.)

Deklarationen

(Deklarationen für die vier Produkteigenschaften Preis, Fahrzeugleistung, Benzinverbrauch und Design.)

(Deklaration einer Boole-Variablen, die die Änderung einer der Fahrzeugeigenschaften anzeigt.)

(Deklaration einer Zeiger-Variablen, die auf den Produzenten dieses Fahrzeuges zeigt.)

Methoden

-initializeAsAgent(int a)

(Initialisiere den Fahrzeug-Agenten als Fahrzeug des Typs a mit den konstanten Werten PRICE_a, POWER_a, CONSUMPTION_a und DESIGN_a.)

-setOwner(id a)

(Weise dem Fahrzeug-Agenten den Produzenten a zu.)

-(id)getOwner()

(Rückgabe eines Zeigers auf den Produzenten dieses Fahrzeug-Agenten.)

-setPrice(float a)

(Weise der internen Variablen Preis den Wert a zu.)

-setPower(float a)

(Weise der internen Variablen Fahrzeugleistung den Wert a zu.)

-setConsumption(float a)

(Weise der internen Variablen Verbrauch den Wert a zu.)

-setDesign(float a)

(Weise der internen Variablen Design den Wert a zu.)

-setNewCar(BOOL a)

(Weise der Boole-Variablen den Wert a (0=keine Änderung, 1=Änderung mind. einer Produkteigenschaft) zu.)

-(float)getPrice()

(Rückgabe des aktuellen Preises des Fahrzeug-Agentens an die aufrufende Methode.)

-(float)getPower()

(Rückgabe der aktuellen Fahrzeugleistung des Fahrzeug-Agentens an die aufrufende Methode.)

-(float)getConsumption()

(Rückgabe des aktuellen Benzinverbrauches des Fahrzeug-Agentens an die aufrufende Methode.)

-(float)getDesign()

(Rückgabe des aktuellen Designs des Fahrzeug-Agentens an die aufrufende Methode.)

-(BOOL)getNewCar()

(Rückgabe der Boole-Variablen, die anzeigt ob mindestens eine der Fahrzeugeigenschaften sich geändert hat.)

B.3.6. Kapital-Agent

(Agent, der die finanziellen und logistischen Kennzahlen des Produzenten verwaltet.)

Deklarationen

float capitalStock : Kapitalbestand

float profit : Gewinn

float sales : Umsatz

float demand : Nachfrage

float soldQuantity : Verkaufsmenge

float capacity : Produktionskapazität

float unitCosts : Stückkosten

float excessDemand : Überschußnachfrage

float savings : Kapitalrücklagen

float investment : Investitionen

float depreciation : Wertverlust

float credit : Kreditschulden

float budgetResearch : Forschungsbudget(Gesamt)

float budgetResearchProduct : Forschungsbudget(Produktinnovation)

float budgetResearchPower : Forschungsbudget(Fahrzeugleistung)

float budgetResearchConsumption : Forschungsbudget(Benzinverbrauch)

float budgetResearchDesign : Forschungsbudget(Design)

float budgetResearchProcess : Forschungsbudget(Prozessinnovation)

float budgetResearchImitation : Budget(Imitation)

id owner : Deklaration einer Zeigervariablen, die auf den Produzenten verweist

int investingStrategy : Deklaration einer Variablen, die die Investitionsstrategie des Produzenten beschreibt

Methoden

-setOwner(id a)

(Weise dem Kapital-Agenten den Produzenten a zu.)

-(id)getOwner()

(Rückgabe eines Zeigers auf den Produzenten dieses Fahrzeug-Agenten.)

-initializeAsAgent(int a)

(Initialisieren den Kapital-Agenten für den Produzenten a.)

-setCapitalStock(float a)

(Weise dem Kapital-Agenten den Kapital-Stock a zu.)

-(float)getCapitalStock()

(Rückgabe des aktuellen Kapitalstocks an die aufrufende Methode.)

-calculateCapitalStock()

*(Berechne den aktuellen Kapitalstock als Kapitalstock + Investitionen * (1 - Wertverlust).)*

-calculateCapacity()

(Berechne die aktuelle Kapazität als Kapitalstock / Stückkosten.)

-calculateProfit()

*(Berechne den aktuellen Profit als Umsatz - (Kapazität * Stückkosten) - Forschungsbudget (gesamt) - Budget (imiationen).)*

-calculateSavings()

(Berechne die aktuellen Kapitalrücklagen als Rücklagen + (Gewinn - Investitionen).)

-calculateExcessDemand()

(Berechne die aktuelle Überschußnachfrage als Nachfrage - Kapazität.)

-calculateSales(float p)

*(Berechne den aktuellen Umsatz als p * Umsatz.)*

-calculateBudgetResearchTotal(float a)

(Der Übergabewert a gibt den Anteil des Forschungsbudget(gesamt) am Umsatz an, dieser Wert wird aus der Verhaltensroutine des Produzenten ermittelt.)

*(Berechne das aktuelle Forschungsbudget (gesamt) als a * Umsatz.)*

-calculateBudgetResearchProduct(float a)

(Der Übergabewert a gibt den Anteil des Forschungsbudget (produktinnovation) am Umsatz an, dieser Wert wird aus der Verhaltensroutine des Produzenten ermittelt.)

*(Berechne das aktuelle Forschungsbudget (produktinnovation) als a * Umsatz.)*

-calculateBudgetResearchPower(float a)

(Der Übergabewert a gibt den Anteil des Forschungsbudget (fahrzeugleistung) am Umsatz an, dieser Wert wird aus der Verhaltensroutine des Produzenten ermittelt.)

*(Berechne das aktuelle Forschungsbudget(fahrzeugleistung) als a * Umsatz.)*

-calculateBudgetResearchConsumption(float a)

(Der Übergabewert a gibt den Anteil des Forschungsbudget (benzinverbrauch) am Umsatz an, dieser Wert wird aus der Verhaltensroutine des Produzenten ermittelt.)
*(Berechne das aktuelle Forschungsbudget (benzinverbrauch) als $a * \text{Umsatz}$.)*

-calculateBudgetResearchDesign(float a)

(Der Übergabewert a gibt den Anteil des Forschungsbudget (design) am Umsatz an, dieser Wert wird aus der Verhaltensroutine des Produzenten ermittelt.)
*(Berechne das aktuelle Forschungsbudget (design) als $a * \text{Umsatz}$.)*

-calculateBudgetResearchProcess(float a)

(Der Übergabewert a gibt den Anteil des Forschungsbudget (prozessinnovation) am Umsatz an, dieser Wert wird aus der Verhaltensroutine des Produzenten ermittelt.)
*(Berechne das aktuelle Forschungsbudget (prozessinnovation) als $a * \text{Umsatz}$.)*

-calculateBudgetImitation(float a)

(Der Übergabewert a gibt den Anteil des Budget (imitation) am Umsatz an, dieser Wert wird aus der Verhaltensroutine des Produzenten ermittelt.)
*(Berechne das aktuelle Budget (imitation) als $a * \text{Umsatz}$.)*

-investProfit(id rule, float IndustryCapacity, int IndustryDemand)

(Investiere den Gewinn in Forschung und Kapazitätsanpassung.)

wenn (Kapazität größer als Nachfrage)

(Verringere den Kapazitätsüberschuß um den De-investitionsfaktor aus der aktuellen Verhaltensregel (Investitionsstrategie 1).)

sonst wenn (Kapazität kleiner als Nachfrage und Kapital verfügbar)

(Berechne die gewünschte Investition aus der Verhaltenslücke und der Kapazitätslücke.)

(Berechne das maximale verfügbare Kapital.)

(Verringere die Kapazitätslücke um das Minimum aus gewünschter Investitionen und verfügbarem Kapital (Investitionsstrategie 2).)

sonst ()

wenn ((Industriekapazität größer als Gesamtnachfrage))

(Verringere die eigene Kapazität um die mit dem De-investitionsfaktor aus der aktuellen Verhaltensregel gewichtete Kapazitätsüberschuß der Gesamtindustrie (Investitionsstrategie 3).)

sonst wenn ((Industriekapazität kleiner als Gesamtnachfrage))

(Berechne die gewünschte Investition aus der Kapazitätslücke der Gesamtindustrie und dem Investitionsfaktor der aktuellen Verhaltensregel.)

(Berechne das maximal verfügbare Kapital.)

(Erhöhe die eigene Kapazität um das Minimum aus gewünschter Investition und verfügbarem Kapital.)

sonst ()

(Setze Investition auf Null.)

sonst ()

(Setze Investition auf Null.)

B.4. Konsumenten

B.4.1. Konsumenten-Agent

(Agent, der den einzelnen Konsumenten beschreibt.)

Deklarationen

int consumerId : Feste Identifikation des Konsumenten-Agenten

BOOL success: KäuferfolgsvARIABLE

id owner: ZeigervARIABLE auf Modell-Agenten

id learningAgent: Lern-Agent des Konsumenten

id ownMilieu: Milieu-Agent des Konsumenten

id loggingAgent: Agent für die Datenspeicherung

Methoden

-buildObjects(int c) int l)

(Instanziere den Lern- und Milieu-Agenten und weise die Hierarchiebeziehung zu.)

(Initialisiere beide Agenten und instanziere die Regelliste des Lernagenten)

-buildLoggingAgent()

(Instanziere den Speicher-Agenten und initialisiere diesen.)

-setOwner(id a)

(Weise den Modell-Agenten der ZeigervARIABLEN zu.)

-(id)getOwner()

(Rückgabe eines Zeigers auf den Modell-Agenten)

-setConsumerID(int a)

(Weise dem Konsumenten die Identifikationszahl a zu.)

-(int)getConsumerID()

(Rückgabe der Identifikationszahl des Konsumenten.)

-(id)getOwnMilieu()

(Rückgabe eines Zeigers auf den Milieu-Agenten des Konsumenten.)

-(id)getLearningAgent()

(Rückgabe eines Zeigers auf den Lern-Agenten des Konsumenten.)

-setSuccess(BOOL s)

(Weise der Käuferfolgsvariablen den Wert s zu.)

-(BOOL)getSuccess()

(Rückgabe des Boole-Wertes für den Käuferfolg des Konsumenten in der aktuellen Periode.)

-(id)getLoggingAgent()

(Rückgabe eines Zeigers auf den Speicher-Agenten des Konsumenten.)

-calculateReinforcementOfProducerOffers(id l, id r, id c)

Bestimme den Bedürfnisbefriedigungskapazität der verschiedenen Produkte.)

KonsumentenLern-Agent:calculatePowerReinforcement

(Berechne den Einflußfaktor für die Fahrzeugleistung bei diesem Konsumenten.)

KonsumentenLern-Agent:calculateConsumptionReinforcement

(Berechne den Einflußfaktor für den Benzinverbrauch bei diesem Konsumenten.)

KonsumentenLern-Agent:calculateDesignReinforcement

(Berechne den Einflußfaktor für das Design bei diesem Konsumenten.)

KonsumentenLern-Agent:calculatePriceReinforcement

(Berechne den Einflußfaktor für den Fahrzeugpreis bei diesem Konsumenten.)

KonsumentenLern-Agent:calculateNoveltyReinforcement

(Berechne den Einflußfaktor für die Fahrzeugneuheit bei diesem Konsumenten.)

KonsumentenLern-Agent:calculateInterAgentReinforcement

(Berechne den Einflußfaktor für die Konsumenteninterdependenzen bei diesem Konsumenten.)

KonsumentenLern-Agent:calculateTotalReinforcement

(Berechne den Gesamt-Einflußfaktor bei diesem Konsumenten.)

KonsumentenLern-Agent:calculateRuleProbability

(Berechne die Wahrscheinlichkeit der Konsumentenregeln.)

KonsumentenLern-Agent:calculateNormalizedRuleProbability

(Berechne die normierte Wahrscheinlichkeit der Konsumentenregeln.)

-chooseCar(id I)

(Kaufe ein Fahrzeug.)

KonsumentenLern-Agent:chooseMaximumRule

(Wähle das Fahrzeug mit der höchsten Bewertung.)

wenn (Fahrzeugpreis < Einkommen + Rücklagen)

wenn (Fahrzeug erhältlich)

(Kaufe das Fahrzeug.)

sonst () *(Wähle das Fahrzeug mit der zweithöchsten Bewertung.)*

wenn (Fahrzeugpreis < Einkommen + Rücklagen)

wenn (Fahrzeug erhältlich)

(Kaufe dieses Fahrzeug.)

sonst ()

(Kaufe kein Fahrzeug.)

wenn (Fahrzeugkauf erfolgreich)

(Konsument bezahlt das Fahrzeug aus Einkommen + Rücklagen.)

sonst ()

(Spare das Einkommen.)

-updateStrenghtBrenner()

(Aktualisiere die Bewertungsregeln des Konsumenten.)

KonsumentenLern-Agent:updateRulesBrenner

B.4.2. Konsumentenlernen-Agent

(Agent, der das Handlungslernen des jeweiligen Konsumenten beschreibt.)

Deklarationen

total : Summe der Einzelwerte der Gesamtbewertung der Fahrzeuge

ruleList : doppelt verkettete Liste von Zeigern auf die Konsumentenregeln

productList : doppelt verkettete Hilfs-Liste von Zeigern auf die Konsumentenregeln

owner : Zeiger auf den Konsumenten

quickSort : Instanz eines Agenten mit Quicksort Algorithmus

Methoden

-buildRuleListWithLength(int a)

(Instanziiere Liste der Länge (a = Anzahl der Produzenten) für die Konsumentenregeln.)

(Instanziiere die Liste für die Regeln.)

(Instanziiere die Liste für die Zeiger auf die Produzenten.)

loop (Anzahl der Produzenten a)

(Instanziiere einen neuen KonsumentenRegel-Agenten.)

(Initialisieren diesen KonsumentenRegel-Agenten.)

(Hänge diesen KonsumentenRegel-Agenten an die beiden Listen an.)

endloop (Anzahl der Produzenten a)

-setOwner(id c)

(Weise dem KonsumentenLernAgenten den Konsumenten c zu.)

-(id)getOwner()

(Rückgabe eines Zeigers auf den Konsumenten des LernAgenten.)

-setQSort()

(Instanziiere den QuickSort-Agenten.)

-(id)getQSort()

(Rückgabe eines Zeigers auf den Quicksort-Agenten.)

-(id)getRuleList()

(Rückgabe eines Zeigers auf die Liste der Konsumentenregeln.)

-(id)getProductList()

(Rückgabe eines Zeigers auf die Hilfs-Liste der Konsumentenregeln.)

-(id)getActiveRule()

(Rückgabe eines Zeigers auf die aktive Konsumentenregel(Agent).)

-(float)getTotal()

(Rückgabe des Wertes für die Summe der Gesamtbewertungen der Fahrzeuge.)

-calculatePowerReinforcement(id l, id m)

(Berechne den Einflußfaktor für die Fahrzeugleistung.)

loop (Länge der Produzentenliste l)

wenn (Produzent noch aktiv)

(Leite einen Zeiger auf den Fahrzeug-Agenten des Produzenten ab.)

(Berechne den Einflußfaktor für die Fahrzeugleistung für diesen Fahrzeug-Agenten des Produzenten.)

endloop (Länge der Produzentenliste l)

-calculateConsumptionReinforcement(id l, id m)

(Berechne den Einflußfaktor für den Benzinverbrauch.)

loop (Länge der Produzentenliste l)

wenn (Produzent noch aktiv)

(Leite einen Zeiger auf den Fahrzeug-Agenten des Produzenten ab.)

(Berechne den Einflußfaktor für den Benzinverbrauch für diesen Fahrzeug-Agenten des Produzenten.)

endloop (Länge der Produzentenliste l)

-calculateDesignReinforcement(id l, id m)

(Berechne den Einflußfaktor für das Design.)

loop (Länge der Produzentenliste l)

wenn (Produzent noch aktiv)

(Leite einen Zeiger auf den Fahrzeug-Agenten des Produzenten ab.)

(Berechne den Einflußfaktor für das Design für diesen Fahrzeug-Agenten des Produzenten.)

endloop (Länge der Produzentenliste l)

-calculateNoveltyReinforcement(id l, id m)

(Berechne den Einflußfaktor für die Produktneuheit.)

loop (Länge der Produzentenliste l)

wenn (Produzent noch aktiv)

wenn (Fahrzeug verändert)

(Setze die Neuheit auf 1.)

sonst ()

(Berechne die Neuheit des Produktes.)

(Berechne den Einflußfaktor für die Produktneuheit für diesen Fahrzeug-Agenten des Produzenten.)

endloop (Länge der Produzentenliste l)

-calculateInterAgentReinforcement(id cl, id m)

(Berechne den Einflußfaktor für die Konsumenteninterdependenzen.)

falls (Eigenes Konsumentenmilieu))

wenn (Etabliertes Milieu))

loop (Länge der Konsumentenregel-Liste (i))

loop (Anzahl der Konsumentenmileus (j))

falls (Anderes Konsumentenmilieu (j))

wenn (Etabliertes Milieu)

(Berechne Snob-Effekt aus Anzahl des Fahrzeuges (i) im Milieu (j).)

(Berechne Peer-Effekt aus Anzahl des Fahrzeuges (i) im Milieu (j).)

wenn (Status-Orientiertes Milieu)

(Berechne Distinktions-Effekt aus Anzahl des Fahrzeuges (i) im Milieu (j).)

endloop (Anzahl der Konsumentenmiliues (j))

endloop (Länge der Konsumentenregel-Liste (i))

(Berechne den Gesamt-Einflußfaktor für die Konsumenteninterdependenzen für diesen Konsumenten-Agenten.)

wenn (Status-Orientiertes Milieu))

loop (Länge der Konsumentenregel-Liste (i))

loop (Anzahl der Konsumentenmileus (j))

falls (Anderes Konsumentenmilieu)

wenn (Etabliertes Milieu)

(Berechne Aspirations-Effekt aus Anzahl des Fahrzeuges (i) im Milieu (j).)

wenn (Status-Orientiertes Milieu)

(Berechne Snob-Effekt aus Anzahl des Fahrzeuges (i) im Milieu (j).)

(Berechne Peer-Effekt aus Anzahl des Fahrzeuges (i) im Milieu (j).)

wenn (Postmodernes Milieu)

(Berechne Aspirations-Effekt aus Anzahl des Fahrzeuges (i) im Milieu (j).)

wenn (Konsum-Materialistisches Milieu)

(Berechne Distinktions-Effekt aus Anzahl des Fahrzeuges (i) im Milieu (j).)

endloop (Anzahl der Konsumentenmiliues (j))

endloop (Länge der Konsumentenregel-Liste (i))

(Berechne den Gesamt-Einflußfaktor für die Konsumenteninterdependenzen für diesen Konsumenten-Agenten.)

wenn (Postmodernes Milieu))

loop (Länge der Konsumentenregel-Liste (i))

loop (Anzahl der Konsumentenmilieus (j))

falls (Anderes Konsumentenmilieu)

wenn (Etabliertes Milieu)

(Berechne Distinktions-Effekt aus Anzahl des Fahrzeuges (i) im Milieu (j).)

wenn (Status-Orientiertes Milieu)

(Berechne Distinktions-Effekt aus Anzahl des Fahrzeuges (i) im Milieu (j).)

wenn (Postmodernes Milieu)

(Berechne Snob-Effekt aus Anzahl des Fahrzeuges (i) im Milieu (j).)

(Berechne Peer-Effekt aus Anzahl des Fahrzeuges (i) im Milieu (j).)

wenn (Konsum-Materialistisches Milieu)

(Berechne Distinktions-Effekt aus Anzahl des Fahrzeuges (i) im Milieu (j).)

endloop (Anzahl der Konsumentenmilieus (j))

endloop (Länge der Konsumentenregel-Liste (i))

(Berechne den Gesamt-Einflußfaktor für die Konsumenteninterdependenzen für diesen Konsumenten-Agenten.)

wenn (Konsum-Materialistisches Milieu)

loop (Länge der Konsumentenregel-Liste (i))

loop (Anzahl der Konsumentenmilieus (j))

falls (Anderes Konsumentenmilieu)

wenn (Status-Orientiertes Milieu)

(Berechne Distinktions-Effekt aus Anzahl des Fahrzeuges (i) im Milieu (j).)

wenn (Postmodernes Milieu)

(Berechne Aspirations-Effekt aus Anzahl des Fahrzeuges (i) im Milieu (j).)

wenn (Konsum-Materialistisches Milieu)

(Berechne Snob-Effekt aus Anzahl des Fahrzeuges (i) im Milieu (j).)

(Berechne Peer-Effekt aus Anzahl des Fahrzeuges (i) im Milieu (j).)

endloop (Anzahl der Konsumentenmilieus (j))

endloop (Länge der Konsumentenregel-Liste (i))

(Berechne den Gesamt-Einflußfaktor für die Konsumenteninterdependenzen für diesen Konsumenten-Agenten.)

-calculatePriceReinforcement(id l, id m)

(Berechne den Einflußfaktor für den Fahrzeugpreis.)

loop (Länge der Produzentenliste l)

wenn (Produzent noch aktiv)

(Leite einen Zeiger auf den Fahrzeug-Agenten des Produzenten ab.)

(Berechne den Einflußfaktor für den Fahrzeugpreis für diesen Fahrzeug-Agenten des Produzenten.)

endloop (Länge der Produzentenliste l)

-calculateTotalReinforcement(id l)

(Berechne den Gesamt-Einflußfaktor für die Konsumentenregel.)

loop (Länge der Konsumentenregel-Liste)

(Summiere die einzelnen Einflußfaktoren.)

endloop (Länge der Konsumentenregel-Liste l)

(Suche die Regel mit dem minimalen Einflußfaktor.)

loop (Länge der Konsumentenregel-Liste)

(Normiere die Konsumentenregeln um den Offset des minimalen Einflußfaktors.)

endloop (Länge der Konsumentenregel-Liste l)

-calculateTotal()

(Berechne die Summe der Gesamt-Einflußfaktoren aller Konsumentenregeln.)

ConsumerLearning:updateRuleStrength()

(Aktualisiere die Bewertungsstärke der Fahrzeuge.)

(Addiere die neue Bewertung zu der alten Bewertung.)

-chooseMaximumRule()

(Wähle das Fahrzeug mit der höchsten Bewertung aus.)

(Suche das Fahrzeug mit der Maximalbewertung in der Konsumentenregel-Liste und markiere dieses als aktiv.)

(Markiere alle anderen Konsumentenregeln als inaktiv.)

-chooseSecondBestRule()

(Wähle das Fahrzeug mit der zweithöchsten Bewertung.)

(Suche das Fahrzeug mit der zweithöchsten Bewertung in der Konsumentenregel-Liste und markiere dieses als aktiv.)

(Markiere alle anderen Konsumentenregeln als inaktiv.)

B.4.3. Konsumenten-Milieu-Agent

(Agent, der die Milieuzugehörigkeit des Konsumenten festlegt.)

Deklarationen

int classId : Milieu des Konsumenten

float income : Einkommen des Konsumenten

float savings : Rücklagen des Konsumenten

float betaPower : Bedürfnisbefriedigungskapazität Fahrzeugleistung des Konsumenten

float betaConsume : Bedürfnisbefriedigungskapazität Kraftstoffverbrauch des Konsumenten

float betaDesign : Bedürfnisbefriedigungskapazität Fahrzeugdesign des Konsumenten

float betaPrice : Bedürfnisbefriedigungskapazität Fahrzeugpreis des Konsumenten

float betaNovelty : Bedürfnisbefriedigungskapazität Neuheit des Konsumenten

float betaPeer : Bedürfnisbefriedigungskapazität Peer-Effekt des Konsumenten

float betaDistinction : Bedürfnisbefriedigungskapazität Distinktions-Effekt des Konsumenten

float betaAspiration : Bedürfnisbefriedigungskapazität Aspirations-Effekt des Konsumenten

float betaSnob : Bedürfnisbefriedigungskapazität Snob-Effekt des Konsumenten

float etaPower : Elastizität zur Fahrzeugleistung

float etaConsumption : Elastizität zum Kraftstoffverbrauch

float etaDesign : Elastizität zum Fahrzeugdesign

float etaInteragent : Elastizität zu den Konsuminterdependenzen

id owner : Zeigervariable für die instanziiierende Klasse

Methoden

-setOwner(id a)

(Weise dem Milieu-Agenten den Konsumenten a zu.)

-(id)getOwner()

(Rückgabe eines Zeigers auf den Konsumenten dieses Milieu-Agenten.)

-initializeAsClass(int i)

(Initialisiere den Milieu-Agenten für den Produzenten Konsumenten des Milieus i.)

-setClassId(int a)

(Setze den Wert für die Milieuzugehörigkeit.)

-setIncome(float a)

(Setze den Wert für das Periodeneinkommen.)

-setSavings(float a)

(Setze den Wert für das Sparkapital.)

-setBetaPower(float a)

(Setze den Parameter für die Präferenz zur Fahrzeugleistung.)

-setBetaConsume(float a)

(Setze den Parameter für die Präferenz zum Benzinverbrauch.)

-setBetaDesign(float a)

(Setze den Parameter für die Präferenz zum Design.)

-setBetaPrice(float a)

(Setze den Parameter für die Präferenz zum Fahrzeugpreis.)

-setBetaNovelty(float a)

(Setze den Parameter für die Präferenz zur Neuheit.)

-setBetaPeer(float a)

(Setze den Parameter für die Präferenz zum Peer-Effekt.)

-setBetaDistinction(float a)

(Setze den Parameter für die Präferenz zum Distinktions-Effekt.)

-setBetaAspiration(float a)

(Setze den Parameter für die Präferenz zum Aspirations-Effekt.)

-setBetaSnob(float a)

(Setze den Parameter für die Präferenz zum Snob-Effekt.)

-setEtaPower(float a)

(Setze den Parameter für den Cobb-Douglas Exponenten zur Fahrzeugleistung.)

-setEtaConsumption(float a)

(Setze den Parameter für den Cobb-Douglas Exponenten zum Kraftstoffverbrauch.)

-setEtaDesign(float a)

(Setze den Parameter für den Cobb-Douglas Exponenten zum Fahrzeugdesign.)

-setEtaInteragent(float a)

(Setze den Parameter für den Cobb-Douglas Exponenten zu den Konsuminterdependenzen.)

-(int)getClassId

(Rückgabe des Wertes für die Milieuzugehörigkeit.)

-(float)getIncome

(Rückgabe des Wertes für das Einkommen des Konsumenten.)

-(float)getSavings

(Rückgabe des Wertes für die Rücklagen des Konsumenten.)

-(float)getBetaPower

(Rückgabe des Parameters für die Präferenz zur Fahrzeugleistung.)

-(float)getBetaConsume

(Rückgabe des Parameters für die Präferenz zum Kraftstoffverbrauch.)

-(float)getBetaDesign

(Rückgabe des Parameters für die Präferenz zum Fahrzeugdesign.)

-(float)getBetaPrice

(Rückgabe des Parameters für die Präferenz zum Fahrzeugpreis.)

-(float)getBetaNovelty*(Rückgabe des Parameters für die Präferenz zur Neuheit.)***-(float)getBetaPeer***(Rückgabe des Parameters für die Präferenz zum Peer-Effekt.)***-(float)getBetaDistinction***(Rückgabe des Parameters für die Präferenz zum Distinktions-Effekt.)***-(float)getBetaAspiration***(Rückgabe des Parameters für die Präferenz zum Aspirations-Effekt.)***-(float)getBetaSnob***(Rückgabe des Parameters für die Präferenz zum Snob-Effekt.)***-(float)getEtaPower***(Rückgabe des Wertes für den Cobb-Douglas Exponenten zur Fahrzeugleistung.)***-(float)getEtaConsumption***(Rückgabe des Wertes für den Cobb-Douglas Exponenten zum Kraftstoffverbrauch.)***-(float)getEtaDesign***(Rückgabe des Wertes für den Cobb-Douglas Exponenten zum Fahrzeugdesign.)***-(float)getEtaInteragent***(Rückgabe des Wertes für den Cobb-Douglas Exponenten zu den Konsuminterdependenzen.)*

B.5. Ressourcen

B.5.1. Ressourcen-Agent

(Agent, der die nicht-erneuerbare Ressource beschreibt.)

Deklarationen

float : Ressourcenbestand**float** : Ressourcenpreis**float** : Ressourcenpreisänderung**float** : Ressourcenpreis(initial)

float : Ressourcepreiselastizität

float : Deklaration einer Zeiger-Variablen die auf den Modell-Agenten weist

Methoden

-initializeRessourceAgent()

(Initialisiere die Variablen für die Preiselastizität, den Ausgangspreis und -bestand.)

-setOwner(id a)

(Weise dem Ressourcen-Agenten den Modell-Agenten zu.)

-(id)getOwner()

(Rückgabe eines Zeigers auf den Modell-Agenten.)

-setEtaRessource(float a)

(Weise der Preiselastizität den Wert a zu.)

-(float)getEtaRessource()

(Rückgabe des aktuellen Wertes für die Preiselastizität.)

-consumeRessource(float consumption)

wenn (Ressourcenbestand größer als Null)

(Verringere den Ressourcenbestand um die verbrauchte Menge (consumption).)

(Berechne den neuen Ressourcenpreis.)

(Berechne die Änderung des Ressourcenpreises.)

Abbildungsverzeichnis

2.1.	Die Abbildung zeigt eine schematische Darstellung des Konzeptes des seriellen Hybridmotors. Quelle:[Lovins 1995a, Maume 2002].	16
2.2.	Die Abbildung zeigt das grundlegende Design-Prinzip des Hypercar-Konzeptes in der Form von selbstverstärkenden Rückkopplungsschleifen dar. Quelle:[Lovins 1995a, Lovins 1995b, Lovins 1997, Lovins 1999].	18
3.1.	Die Abbildung zeigt die Pay-off-Matrix für das vorgestellte Beispielmodell. Quelle: eigene.	34
3.2.	Die Abbildung zeigt die Aufteilung des Parameterraums in die drei Domänen. Quelle: [Beath 1995], eigene.	37
3.3.	Dieses Bild zeigt das allgemeine Ablaufdiagramm für die Modelle von Nelson und Winter. Quelle: [Andersen 1994].	43
4.1.	Dieses Bild zeigt die Indifferenzkurven, Güterkombinationen und Budgetgeraden im Rahmen der traditionellen Haushaltstheorie. Quelle: [Henderson 1995, Herberg 1991].	54
4.2.	In dieser Abbildung ist der Zusammenhang zwischen den Bedürfnissen der Konsumenten und den Eigenschaften der Güter dargestellt. Quelle: eigene. .	56
4.3.	Dieses Bild zeigt die Addition der Eigenschaftsausprägungen der verschiedenen Güter im Raum der Produkteigenschaften. Quelle: [Lancaster 1971]. . .	57
4.4.	Diese Abbildung verdeutlicht den Zusammenhang zwischen den Eigenschaftsausprägungen verschiedener Güter und den Indifferenzkurven der Konsumenten im Rahmen der Haushaltstheorie von Lancaster. Quelle: [Lancaster 1971], eigene.	59
4.5.	Die Abbildung zeigt den sequentiellen Ablauf im Falle vollständiger Wahlrationalität. Quelle: [Beckenbach 2001d].	61
4.6.	Die Abbildung zeigt den Ablauf im Handlungsmodus der Regelrationalität. Quelle: [Beckenbach 2001d].	69
4.7.	Dieses Bild zeigt die verschiedenen Milieus in Deutschland. Die Abbildung zeigt die Diskriminierung der deutschen Gesellschaft nach den beiden Kriterien Schichtzugehörigkeit und Wertorientierung. Quelle: [Sozialordnung 1997].	86
5.1.	Die Abbildung zeigt einen beispielhaften Budgetierungsprozeß in einem größeren Konzern. Quelle: eigene (in Anlehnung an [Dua 2002]).	94

5.2.	Die Abbildung zeigt den Prozeß des Karosseriebaus in einer Automobilfabrik. Quelle: [Vinzens 1998].	95
5.3.	Die Abbildung zeigt die möglichen Merkmalskombinationen innerhalb der verschiedenen Dömanen wie z.B. die Grundlagenforschung oder die angewandte Forschung Quelle: eigene (in Anlehnung an [Gerybadze 1982, Yu 1999]).	103
7.1.	Diese Abbildung faßt die zentralen Elemente des Modells von Nelson und Winter zusammen. Quelle: [Nelson 1982], eigene.	128
7.2.	Diese Abbildung faßt die zentralen Elemente unseres Modells vor. Quelle: eigene.	128
7.3.	Die Abbildung stellt die einzelnen Komponenten des Teilmoduls Marktoperationen und deren Interdependenzen zu anderen Teilmodulen dar. Quelle: eigene.	134
7.4.	Die Abbildung stellt die einzelnen Komponenten des Teilmoduls Investitionen und deren Interdependenzen zu anderen Teilmodulen dar. Quelle: eigene. . .	138
7.5.	Die Abbildung stellt die einzelnen Komponenten der beiden Teilmodule für den Suchprozeß und den technischen Wandel und deren Interdependenzen zu anderen Teilmodulen dar. Quelle: eigene	145
7.6.	Die Abbildung zeigt die Logik der Erfolgslotterie für den Zugang zu Produkt- und Prozeßinnovationen. Quelle: eigene	150
7.7.	Die Abbildung zeigt den zweidimensionalen Teilraum der Produkteigenschaften, der durch die beiden Merkmale Fahrzeugleistung und Benzinverbrauch aufgespannt wird. Quelle: eigene.	154
7.8.	Diese Abbildung zeigt den Suchraum in den Dimensionen Fahrzeugleistung und Benzinverbrauch mit den beiden Teilräumen für konventionelle Fahrzeuge und Hypercars. Die Pfeile deuten Innovationen in Bezug auf die Fahrzeugleistung an. Quelle: eigene.	156
7.9.	Diese Abbildung zeigt den Suchraum in den Dimensionen Fahrzeugleistung und Benzinverbrauch mit den beiden Teilräumen für konventionelle Fahrzeuge und Hypercars. Die Pfeile deuten Innovationen in Bezug auf den Benzinverbrauch an. Quelle: eigene.	158
7.10.	Dieses Diagramm zeigt die für diese Arbeit ausgewählten vier Konsumentenmilieus und ihre Verortung differenziert nach sozialer Schicht und Wertorientierung. Quelle: eigene.	176
7.11.	Die Abbildung faßt die Modellbeschreibung auf der Nachfrageseite in der Form eines Ablaufdiagramms zusammen. Quelle: eigene.	191
8.1.	Dieses Bild illustriert das Kurzzeitverhalten der Übergangswahrscheinlichkeit für die Mastergleichung. Zum Zeitpunkt $t + \tau$ verbleibt das System mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit im Zustand x oder es springt mit der komplementären Wahrscheinlichkeit von $x \rightarrow x''$. Quelle: eigene, nach [Honerkamp 1990]	198

8.2.	Dieses Diagramm stellt die Trajektorie eines Akteurs in einem eindimensionalen Zustandsraum dar. Man erkennt die Sprünge zwischen den verschiedenen Zuständen, die in unterschiedlichen Zeitabständen stattfinden. Quelle: eigene, nach [Honerkamp 1990]	200
8.3.	Diese Abbildung veranschaulicht die Struktur des Eigenschaftsraumes für die Kombination der Merkmale Benzinverbrauch und Fahrzeugleistung. Quelle: eigene.	206
8.4.	Dieses Diagramm zeigt die Gesamtkapazität der Industrie und die Gesamtverkaufsmenge der Produzenten an die Konsumenten. Quelle: eigene.	213
8.5.	Dieses Diagramm zeigt die Verkaufsmengen der Produzenten 1 bis 6, deren Zielgruppen das Etablierte und das Status-Orientierte Milieu sind. Quelle: eigene.	213
8.6.	Dieses Diagramm zeigt die Verkaufsmengen der Produzenten 7 bis 12, deren Zielgruppen das Postmoderne und das Konsum-Materialistische Milieu sind. Quelle: eigene.	214
8.7.	Diese Abbildung zeigt schematisch den Übergang zwischen den verschiedenen Phasen aus der Sicht des eines 2-dimensionalen Phasenraumes der beiden Produzenten 2 und 3. Quelle: eigene.	214
8.8.	Diese Abbildung zeigt den Vergleich der Produktionskapazität mit den Verkaufsmengen für die Produzenten 1 bis 6. Quelle: eigene.	219
8.9.	Diese Abbildung zeigt den Vergleich der Produktionskapazität mit den Verkaufsmengen für die Produzenten 7 bis 12. Quelle: eigene.	219
8.10.	Das Diagramm zeigt den Gewinn der Gesamtindustrie und einen laufenden Durchschnitt mit einer Schrittweite von 20 Perioden. Quelle: eigene	220
8.11.	Das Diagramm zeigt den Gewinn der Produzenten 1 bis 6. Quelle: eigene	220
8.12.	Das Diagramm zeigt den Gewinn der Produzenten 7 bis 12. Quelle: eigene	223
8.13.	Diese Abbildung zeigt die zeitliche Entwicklung der Fahrzeugpreise der Produzenten. Quelle: eigene.	223
8.14.	Das Diagramm zeigt die Investitionen und Kreditaufnahme der Produzenten 2, 3, 4 und 6. Quelle: eigene	224
8.15.	Das Diagramm zeigt die Investitionen und Kreditaufnahme der Produzenten 7, 8, 9, 10 und 12. Quelle: eigene	224
8.16.	Das Diagramm zeigt die Kapitalrücklagen der Produzenten. Quelle: eigene.	229
8.17.	Dieses Diagramm zeigt die zeitliche Entwicklung der Erfolgswahrscheinlichkeit von Inventionen bei der Fahrzeugleistung. Quelle: eigene.	229
8.18.	Dieses Diagramm zeigt die zeitliche Entwicklung der Fahrzeugleistung der einzelnen Hersteller. Quelle: eigene.	230
8.19.	Dieses Diagramm zeigt die zeitliche Entwicklung der Erfolgswahrscheinlichkeit von Inventionen beim Fahrzeugdesign. Quelle: eigene.	230
8.20.	Dieses Diagramm zeigt die zeitliche Entwicklung des Fahrzeugdesigns der einzelnen Hersteller. Quelle: eigene.	233
8.21.	Dieses Diagramm zeigt die zeitliche Entwicklung der Erfolgswahrscheinlichkeit von Inventionen beim Kraftstoffverbrauch der verschiedenen Fahrzeuge. Quelle: eigene.	233

8.22. Dieses Diagramm zeigt die zeitliche Entwicklung des Kraftstoffverbrauchs der einzelnen Hersteller. Quelle: eigene.	234
8.23. Dieses Diagramm zeigt den Vergleich der zeitlichen Entwicklung der Erfolgswahrscheinlichkeit von Inventionen für die drei Produkteigenschaften. Quelle: eigene.	234
8.24. Dieses Diagramm zeigt die Erfolgswahrscheinlichkeit für Prozeßinnovationen bei den einzelnen Produzenten. Quelle: eigene.	237
8.25. Dieses Diagramm stellt die Stückkosten der Hersteller im Verlauf der Simulation dar. Quelle: eigene.	237
8.26. Diese Abbildung zeigt die Häufigkeitsverteilung der Strategiewahl der Produzenten 1 bis 6. Quelle: eigene	238
8.27. Diese Abbildung zeigt die Häufigkeitsverteilung der Strategiewahl der Produzenten 7 bis 12. Quelle: eigene	238
8.28. Diese Abbildung zeigt den zeitlichen Verlauf der Strategiewahl des Produzenten 3. Quelle: eigene	241
8.29. Das Diagramm zeigt die Aufteilung der Konsumenten in die vier Milieus und die milieuabhängigen Kräfte, die zwischen den Milieumitgliedern wirken. Quelle: eigene	241
8.30. Produktnachfrage - Etabliertes Milieu	242
8.31. Dieses Diagramm zeigt die Bewertung des Produktpreises durch die Konsumenten des Etablierten Milieus. Quelle: eigene.	242
8.32. Dieses Diagramm zeigt die Bewertung der Fahrzeugleistung durch die Konsumenten des Etablierten Milieus. Quelle: eigene.	245
8.33. Dieses Diagramm zeigt die Bewertung des Fahrzeugdesigns durch die Konsumenten des Etablierten Milieus. Quelle: eigene.	245
8.34. Dieses Diagramm zeigt die Bewertung des Kraftstoffverbrauches durch die Konsumenten des Etablierten Milieus. Quelle: eigene.	246
8.35. Dieses Diagramm zeigt die Bewertung des Peereffektes durch die Konsumenten des Etablierten Milieus. Quelle: eigene.	246
8.36. Dieses Diagramm zeigt die Bewertung des Distinktionseffektes durch die Konsumenten des Etablierten Milieus. Quelle: eigene	251
8.37. Dieses Diagramm zeigt die Gesamtbewertung der Produkte durch die Konsumenten des Etablierten Milieus. Quelle: eigene.	251
8.38. Das Diagramm zeigt die Verkaufsmenge im Status-Orientierten Milieu. Quelle: eigene.	252
8.39. Das Diagramm zeigt die Gesamtbewertung der Konsumenten des Status-Orientierten Milieus. Quelle: eigene.	252
8.40. Dieses Diagramm zeigt die Verkaufsmenge im Postmodernen Milieu. Quelle: eigene.	255
8.41. Dieses Diagramm zeigt die Gesamtbewertung der Produktalternativen durch die Konsumenten im Postmodernen Milieu. Quelle: eigene.	255
8.42. Dieses Diagramm zeigt den Phasenraum für die Dynamik der drei wichtigsten Grundfrequenzen der Fourierzerlegung der Verkaufsmengen im Postmodernen Milieu. Quelle: eigene.	256

8.43. Dieses Diagramm zeigt den Phasenraum für die Dynamik der wichtigsten Grundfrequenz der Fourierzerlegung der Verkaufsmengen im Etablierten Milieu. Quelle: eigene.	256
8.44. Dieses Diagramm zeigt die Verkaufsmenge im Konsum-Materialistischen Milieu. Quelle: eigene.	263
8.45. Dieses Diagramm zeigt die Gesamtbewertung der Produktalternativen durch die Konsumenten im Konsum-Materialistischen Milieu. Quelle: eigene.	263
8.46. Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Basisszenario. Quelle: eigene.	264
8.47. Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Fall einer hohen Erfolgswahrscheinlichkeit für Inventionen. Quelle: eigene.	264
8.48. Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Fall einer hohen Präferenz der Konsumenten für niedrige Kraftstoffverbräuche. Quelle: eigene.	269
8.49. Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Experiment ohne Distinktions- und Aspirationseffekte zwischen den Konsumentenmilieus. Quelle: eigene.	269
8.50. Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Experiment ohne milieuhabhängige Konsumptionseffekte. Quelle: eigene.	270
8.51. Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Fall steigender Preise für die nicht-erneuerbare Ressource. Quelle: eigene.	270
8.52. Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Basisszenario für den Produzententyp II. Quelle: eigene.	279
8.53. Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Fall hoher Erfolgswahrscheinlichkeit für Inventionen. Quelle: eigene.	279
8.54. Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Fall einer hohen Präferenz der Konsumenten für niedrige Energieverbräuche der Fahrzeuge. Quelle: eigene.	280
8.55. Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Experiment ohne Distinktions- und Aspirationseffekte zwischen den Konsumentenmilieus. Quelle: eigene.	280
8.56. Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Experiment ohne milieuhabhängige Konsumptionseffekte. Quelle: eigene.	283
8.57. Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Fall stark ansteigender Preise für die nicht-erneuerbare Ressource. Quelle: eigene.	283

8.58. Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Szenario mit der Kombination der Einzelexperimente “Hohe Inventionswahrscheinlichkeit” und “Steigende Kraftstoffpreise” für den Produzententyp I. Quelle: eigene.	284
8.59. Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Szenario mit der Kombination der Einzelexperimente “Hohe Inventionswahrscheinlichkeit”, “Steigende Kraftstoffpreise” und “Keine Distinktions- und Aspirationseffekte” für den Produzententyp I. Quelle: eigene.	284
8.60. Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Szenario mit der Kombination der Einzelexperimente “Hohe Inventionswahrscheinlichkeit”, “Steigende Kraftstoffpreise”, “Keine Distinktions- und Aspirationseffekte” und “Hohe Konsumentenpräferenz für niedrigen Kraftstoffverbrauch” für den Produzententyp I. Quelle: eigene. . .	291
8.61. In dieser Abbildung ist das Bifurkationsdiagramm für das Experiment in Abschnitt 8.4.4.3.1 dargestellt. Quelle: eigene.	291
8.62. Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Szenario mit der Kombination der Einzelexperimente “Hohe Inventionswahrscheinlichkeit” und “Steigende Kraftstoffpreise” für den Produzententyp II. Quelle: eigene.	292
8.63. Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Szenario mit der Kombination der Einzelexperimente “Hohe Inventionswahrscheinlichkeit”, “Steigende Kraftstoffpreise” und “Keine Distinktions- und Aspirationseffekte” für den Produzententyp II. Quelle: eigene.	292
8.64. Dieses Diagramm zeigt die Verteilungen des Kraftstoffverbrauchs für die vier Produzentengruppen im Szenario mit der Kombination der Einzelexperimente “Hohe Inventionswahrscheinlichkeit”, “Steigende Kraftstoffpreise”, “Keine Distinktions- und Aspirationseffekte” und “Hohe Konsumentenpräferenz für niedrigen Kraftstoffverbrauch” für den Produzententyp II. Quelle: eigene. . .	295
8.65. In diesem Diagramm ist das Experiment dargestellt, bei dem genügend öffentliches Wissen vorhanden ist, sodaß die Überwindung der Technologielücke erheblich vereinfacht wurde. Quelle: eigene.	295
8.66. Dieses Diagramm zeigt die Verteilung für den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch aller angebotenen Fahrzeuge im Basisszenario für den Produzententyp I. Quelle: eigene.	296
8.67. Dieses Diagramm zeigt die Verteilung für den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch aller angebotenen Fahrzeuge für den Produzententyp I im Experiment mit der Kombination der Einzelexperimente “Hohe Inventionswahrscheinlichkeit”, “Steigende Kraftstoffpreise”, “Keine Distinktions- und Aspirationseffekte” und “Hohe Konsumentenpräferenz für niedrigen Kraftstoffverbrauch”. Quelle: eigene.	296

8.68. Dieses Diagramm zeigt die Verteilung für den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch aller angebotenen Fahrzeuge im Basisszenario für den Produzententyp II. Quelle: eigene.	301
8.69. Dieses Diagramm zeigt die Verteilung für den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch aller angebotenen Fahrzeuge für den Produzententyp 2 im Experiment mit der Kombination der Einzelexperimente “Hohe Inventionswahrscheinlichkeit”, “Steigende Kraftstoffpreise”, “Keine Distinktions- und Aspirationseffekte” und “Hohe Konsumentenpräferenz für niedrigen Kraftstoffverbrauch”. Quelle: eigene	301
B.1. Dieses Bild illustriert das Klassendiagramm des Simulationsmodells. Es gibt einen Überblick über die benutzten Klassen und deren Instanziierung innerhalb von Oberklassen. Quelle: eigene	331

Tabellenverzeichnis

3.1.	Die Tabelle faßt die Klassifizierung der Modelle ökonomischer Diffusionstheorie anhand der identifizierten Kriterien zusammen. Quelle: eigene.	25
7.1.	Die Tabelle faßt die milieuabhängigen Konsumptionseffekte, die von den Konsumenten der verschiedenen Milieus für die Bewertung der Produkte berücksichtigt werden, zusammen. Quelle: eigene.	187
8.1.	Diese Tabelle faßt sowohl das Einkommen und das Sparkapital der Konsumenten als auch die milieuabhängigen Parameter für die Bewertung der Produkteigenschaften und der milieuabhängigen Konsumptionseffekte zusammen. Quelle: eigene.	203
8.2.	Diese Tabelle faßt die Produkteigenschaften der vier Fahrzeugtypen zusammen. Darüberhinaus sind in der Tabelle die Kapitalausstattung und die Stückkosten der Produzenten dargestellt. Quelle: eigene.	205
8.3.	Die Tabelle faßt die Parameter zusammen, die die Topologie des Eigenschaftsraumes festlegen. Quelle: eigene.	208
8.4.	Die Tabelle faßt das initiale Forschungswissen und die Skalierungsfaktoren für den Forschungserfolg der Produzenten zusammen. Quelle: eigene.	209
8.5.	Diese Tabelle faßt die Produzentenregeln im Basisszenario zusammen.	210
8.6.	Diese Tabelle faßt die Produzentenregeln mit diversifizierten Forschungsstrategien zusammen.	275

Literaturverzeichnis

- [Abernathy 78] Abernathy, W., Utterback, J., 1978, A Dynamic Model of Process and Product Innovation, *Omega* 3(6), 639-656
- [AGEB 2002] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB), 2001, Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2001, Berlin
- [TAB 1999] Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag, 2000, Brennstoffzellen-Technologie, TAB-Arbeitsbericht Nr. 67, <http://www.tab.fkz.de>
- [Alchian 1950] Alchian, A.A., 1950, Uncertainty, Evolution and Economic Theory, *Journal of Political Economy* 58, 211-221
- [Allen 1988] Allen, P.M., 1988, Evolution, innovations and economics, in: Dosi, G., et.al. (Hrsg.), *Technical change and economic theory*, London: Pinter Publishers
- [Allen 1998] Allen, P.M., 1998, Modelling Complex Economic Evolution, in: Schweitzer, F. und Silverberg, G. (Hrsg.), *Selbstorganisation Bd.9*, Berlin: Duncker & Humblot
- [Andersen 1994] Andersen, E.S., 1994, *Evolutionary economics: post-Schumpeterian contributions*, London: Pinter Publishers
- [Arifovic 2001] Arifovic, J., 2001, Evolutionary dynamics of currency substitution, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 25(3-4), 395-417
- [Arthur 1988] Arthur, W.B., 1988, Competing technologies: an overview, in: Dosi, G., et.al. (Hrsg.), *Technical change and economic theory*, London: Pinter Publishers
- [Arthur 1989] Arthur, W.B., 1989, Competing Technologies, Increasing Returns and Lock-in by Historical Events, *Economic Journal*, 99, 116-131
- [Arthur 1990] Arthur, W.B., 1990, Positive Feedbacks in the Economy, *Scientific American*, 262, 92-99

- [Arthur 1993a] Arthur, W.B., 1993, On designing economic agents that behave like human agents, *Journal of Evolutionary Economics*, 3, 1- 22
- [Arthur 1993b] Arthur, W.B. und Lane, D.A., 1993, Information contagion, *Structural change and Economic Dynamics*, 4, 81-104
- [Arthur 1994a] Arthur, W.B., 1994, *Increasing Returns and Path Dependence in the Economy*, Ann Arbor: University of Michigan Press
- [Arthur 1994b] Arthur, W.B., 1994, Inductive Reasoning and bounded Rationality (The El Farol Problem), *American Economic Review*, 84, 406-411
- [Arthur 1996] Arthur, W.B., 1996, Increasing Returns and the Two Worlds of Business, *Harvard Business Review*
- [Arthur 1997] Arthur, B., et.al, 1997, *The Economy as an Evolving Complex System II*, Reading, Mass.: Addison-Wesley
- [Arthur 1998] Arthur, W.B., 1998, The End of Certainty in Economics, in: Aerts, D. (ed.), *Einstein meets Magritte*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- [AUDI AG 2002] AUDI AG, Ingolstadt, 2002, Der 3-Liter Audi A2, Audi AG, Ingolstadt, <http://www.audi.com>
- [Bain 1964] Bain, A., 1964, *The Growth of Television Ownership in the UK since the War: A Lognormal Model*, Cambridge University Press, Cambridge, UK
- [Banerjee 1992] Banerjee, A., 1992, A simple model of herd behaviour, *Quarterly Journal of Economics* CVII(3), 797-817
- [Baynard 1995] Baynard, P., et.al., 1995, *Einführung in die Kognitionspsychologie*, München: Verlag Reinhardt
- [Beath 1995] Beath, J., Katsoulacos, Y. and Ulph, D., 1995, Game-Theoretic Approaches to the Modelling of Technological Change, in: Stoneman, P.: *Handbook of the economics of innovation and technological change*, 132-181, Oxford: Blackwell Publishers
- [Beckenbach 2000] Beckenbach, F., 2000, *Beschänkte Handlungsrationalität und Theorie der Unternehmung*, Kassel: Volkswirtschaftliche Diskussionbeiträge 10/00, Universität Kassel
- [Beckenbach 2001a] Beckenbach, F., 2001, Technologische Innovation und Nachhaltigkeit: Ein Beitrag zur Verbindung von evolutorischer und ökologischer Ökonomik, in: Lorenz,

- H.W., Meyer, B., Studien zur evolutorischen Ökonomik IV, 145-181, Berlin: Duncker & Humblot
- [Beckenbach 2001b] Beckenbach, F., 2001, Beschränkte Rationalität und Systemkomplexität. Ein Beitrag zur Ökologischen Ökonomik, Marburg: Metropolis
- [Beckenbach 2001c] Beckenbach, F., 2001, Lernen in Multi-Agenten Systemen, in: Ökonomie und Gesellschaft, Jahrbuch 17 , 163-215, Frankfurt: Campus
- [Beckenbach 2001d] Beckenbach, F., 2001, Jenseits von Homo Oeconomicus und Homo Oecologicus: Auf der Suche nach den handlungstheoretischen Grundlagen der Ökologischen Ökonomik, in: Ökologisches Wirtschaften, Nr.2, 11-13
- [Beckenbach 2001e] Beckenbach, F., 2001, Komplexe Verhaltenstheorie und ökologische Ökonomik - Besprechung von W. Jäger: Modelling Consumer Behaviour, in: Jahrbuch für Ökologische Wirtschaftsforschung, Bd.2, 405-418
- [Beckenbach 2002a] Beckenbach, F., 2002, Evolutorische Mikroökonomik: Überlegungen zu den konzeptionellen Grundlagen, Mimeo
- [Beierle 1999] Beierle, C., Kern-Isberner, G., 1999, Wissensbasierte Systeme, Hagen: Fernuniversität
- [Bell 2001] Bell, A.M., 2001, Reinforcement Learning Rules in a Repeated Game, Computational Economics, 18(1), 89-110
- [Binder 1992] Binder, K., Heermann, D.W., 1992, Monte-Carlo Simulation in Statistical Physics, Berlin, Heidelberg, New York: Springer
- [Binswanger 1978] Binswanger, H.P., Ruttan, V. (eds.), 1978, Induced Innovations, Baltimore: John Hopkins University Press
- [Blümle 1990] Bluemle, G., 1990, Die Rolle der Einkommens- und Gewinnstreuung für die wirtschaftliche Entwicklung, in: Witt, U. (Hrsg.), Studien zur Evolutorischen Ökonomik I (S.145-170), Berlin: Duncker & Humblot
- [Börger & Sarin 1997] Börger, T., Sarin, R., 1997, Learning Through Reinforcement and Replicator Dynamics, Journal of Economic Theory, 26, 318-339
- [Bonabeau 2002] Bonabeau, E., 2002, Predicting the Unpredictable, Harvard Business Review, 2002/3, 109-116
- [Booch 1994] Booch, G., 1994, Objektorientierte Analyse und Design, Reading, Mass.: Addison-Wesley

- [Bower 2001] Bower, J, Bunn, D., 2001, Experimental analysis of the efficiency of uniform-price versus discriminatory auctions in the England and Wales electricity market, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 25(3-4), 561-592
- [Brenner 1995] Brenner, T., 1995, Empirische Modellvalidierung und zeitliche Entwicklung von Entscheidungsprozessen, Dissertation, Universität Stuttgart
- [Brenner 1997] Brenner, T., 1997, Reinforcement Learning in a 2x2 Game and the Relevance of Aspiration Levels, Jena: Papers on Economics & Evolution #9703, Max-Planck-Institut zur Erforschung von Wirtschaftssystemen
- [Brenner 1997] Brenner, T., Witt, U., 1997, Frequency-Dependent Pay-Offs, Replicator Dynamics and Learning unter the Matching Law, Jena: Papers on Economics & Evolution #9706, Max-Planck-Institut zur Erforschung von Wirtschaftssystemen
- [Brenner 1999a] Brenner, T., 1999, Modelling Learning in Economics, Cheltenham: Edward Elgar Publishing
- [Brenner 1999b] Brenner, T., 1999, Consumer Behaviour, Reinforcement Learning and the Dynamics of Fashion, Jena: Papers on Economics & Evolution # 9903, Max-Planck-Institut zur Erforschung von Wirtschaftssystemen
- [Bronstein 1990] Bronstein, I.N., Semendjajew, K.A., 1990, Taschenbuch der Mathematik, Frankfurt/Main: Harri Deutsch
- [BUND/Misereor 1996] BUND/Misereor (Hrsg.), 1996, Zukunftsfähiges Deutschland: Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung, Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser
- [Bush/Mosteller 1955] Bush, R.R., Mosteller, F., 1955, Stochastic Models for Learning, New York: John Wiley & Sons
- [Caccommo 1996] Caccommo, J.-L., 1996, Technological evolution and economic instability: theoretical simulations, *Journal of Evolutionary Economics* 6: 141-155
- [Chamberlin 1953] Chamberlin, E.H., 1953, The Product as an Economic Variable, *Quarterly Journal of Economics* 67, S. 1 - 29
- [Chen 2001] Chen, S., Yeh, C., 2001, Evolving trader and the business school with genetic programming: A new architecture of the agent-based artificial stock market, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 25(3-4), 363-393
- [Cohen 2002] Cohen, W.M. et.al, 2002, Links and Impacts: The Influence of Public Research on Industrial R&D, *Management Science*, 48(1), 1-23

- [Conte 1995] Conte, R., Gilbert, N., 1995, Artificial societies: the computer simulation of life, London: UCL Press Ltd.
- [Cowan 1998] Cowan, R., Cowan, W., Swann, P., 1998, Interacting Consumers, Externalities and Waves in Demand, in: Schweitzer, F. und Silverberg, G. (Hrsg.), Selbstorganisation Bd.9, Berlin: Duncker & Humblot
- [Cross 1973] Cross, J.G., 1973, A Stochastic Learning Model of Economic Behaviour, Quarterly Journal of Economics, 87, 239-266
- [Cyert/March 1963] , Cyert, R.M., March, J.G., 1963, A Behavioral Theory Of The Firm, 2nd ed., New Jersey: Blackwell Publishers Inc.
- [David 1969] David, P.A., 1969, A Contribution to the Theory of Diffusion, Memorandum No. 71, Stanford Center for Research in Economic Growth, Stanford University, Stanford, CA, USA.
- [David 1985] David, P.A., 1985, Clio and the economics of QWERTY, American Economic Review, 75, 332-337
- [Davies 1979] Davies, S., 1979, The Diffusion of Process Innovations, Cambridge: Cambridge University Press
- [Dawid 1998] Dawid, H., Kopel, M., 1998, On economic applications of the genetic algorithm: a model of the cobweb type, Journal of Evolutionary Economics 8, 297-315
- [De Vany 2001] De Vany, A, Lee, C., 2001, Quality signals in information cascades and the dynamic of the distribution of motion picture box office revenues, Journal of Economic Dynamics and Control, 25(3-4), 593-614
- [Diaz 1998] Diaz-Bone, H., 1998, Das Drei-Liter Auto, Basel: Birkhäuser
- [Dirac 1928] Dirac, P.A.M., 1928, The Principles of Quantum Mechanics, 4th ed., Oxford: Oxford University Press
- [DOE 2002a] DOE (Department of Energy - Office of Transportation Technologies), 2002, Crude Oil Prices 1870 - 2000, <http://www.eia.doe.gov>
- [DOE 2002b] DOE (Department of Energy), 2002, Energy Perspectives: Trends and Milestones 1949 - 2000, <http://www.eia.doe.gov>
- [Dörner 1999] Dörner, D., 1999, Die Logik des Mißlingens: Strategisches Denken in komplexen Situationen, Hamburg: Rowohlt

- [Dosi 1982] Dosi, G., 1982, Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change, *Research Policy*, 11(3), 147-162
- [Dosi 1988] Dosi, G., et.al., 1988, *Technical change and economic theory*, London: Pinter Publishers
- [Dosi 1991] Dosi, G., 1991, The Research on Innovation Diffusion: An Assessment, in: Nakićenovic, N., Grübler, A. (eds), *Diffusion of Technologies and Social Behaviour*, 179-208, Berlin: Springer Verlag
- [Dosi 1991b] Dosi, G., Egidi, M., 1991, Substantive and Procedural Rationality: An Exploration of Economic Behaviour under Uncertainty, *Journal of Evolutionay Economics* 1, 145 - 268
- [Dua 2002] Dua, A., 2002, *SAP Labs India Controllers Manual*, Walldorf: SAP AG
- [Duesenberry 1950] Duesenberry, J.S., 1949, *Income, Saving and the Theory of Consumer Behaviour*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press
- [Duffy 2001] Duffy, J., 2001, Learning to speculate: Experiments with artificial and real agents, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 25(3-4), 295-319
- [Ellison 1995] Ellison, G., Fudenberg, D., 1995, Word-of-Mouth communication and social learning, *Quarterly Journal of Economics* CX, 93-125
- [Enquete 1995] Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre des Dt. Bundestages", 1994, *Mehr Zukunft für die Erde - Nachhaltige Energiepolitik für dauerhaften Klimaschutz*, Bonn: Economica Verlag
- [Enquete 1995a] Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre des Dt. Bundestages", 1995, *SStudienprogramm Band 3 Energie Teilband I, "Analyse von Hemmnissen und Maßnahmen für die Verwirklichung von CO2-Minderungszielen"*, Bonn: Bundestagsdrucksache
- [Enquete 1995b] Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre des Dt. Bundestages", 1995, *Studienprogramm Band 3 Energie Teilband II, "Analyse von Hemmnissen und Maßnahmen für die Verwirklichung von CO2-Minderungszielen"*, Bonn: Bundestagsdrucksache
- [Epstein 1996] Epstein, J., Axtell, R., 1996, *Growing Artificial Societies: Social sciences from the bottom up*, Cambridge, Massachusetts: MIT Press

- [Epstein 2001] Epstein, J., 2001, Learning to be thoughtless: Social Norms and Individual Computation, *Computational Economics*, 18(1), 9-24
- [Erdmann 1993] Erdmann, G., 1993, *Elemente einer evolutorischen Innovationsökonomik*, Tübingen: J.C.B. Mohr
- [Erdmann 1996] Erdmann, G., 1996, An Evolutionary Model for Long Term Oil Price Forecast, in Wagener, A., Lorenz, H.-W., *Studien zur Evolutorische Ökonomik III*, Berlin: Duncker & Humblot
- [Farkas-Berning 1997] Farkas-Berning, B., 1997, *Umweltbewusstsein und Konsum*, Daimler-Benz AG, Forschung Gesellschaft und Technik (FT4G), Berlin.
- [Farrell 1982] Farrell, J. and Saloner, G., 1985, Standardization, compatibility and innovation, *Rand Journal of Economics* 16(1): 70-83, Spring
- [Fehr 2002] Fehr, E., et.al., 2002, The Economics of Fair Play, *Scientific American*, January 2002, p.82-87
- [Fehr 2001] Fehr, E., et.al., 2001, In Search of Homo Economicus: Behavioral Experiments in 15 Small-Scale Societies, *American Economic Review*, 91, 73-78
- [Fehr 1999a] Fehr, E., 1999, Neid, Status und Markt: Ökonomische Betrachtungen zu machtvollen Emotionen, *Neue Zürcher Zeitung* vom 27.11.1999
- [Fehr 1999b] Fehr, E., Schmidt, K., A Theory of Fairness, Competition and Cooperation, *Quarterly Journal of Economics*, 114, 817-868
- [Ferber 1999] Ferber, J., 1999, *Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*, Reading/Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company
- [Feynman 1965] Feynman, R.P., 1965, *The Feynman Lectures on Physics III: Quantum mechanics*, Reading, Massachusetts: Addison-Wesley
- [Freeman 1997] Freeman, C., Soete, L., 1997, *The Economics of Industrial Innovation*, 3rd Edition, London: Pinter Publishers
- [Friedman 1953] Friedman, M., 1953, The Methodology of Positive Economics, in: *Essays in Positive Economics*, Chicago: Chicago University Press
- [Gardiner 1985] Gardiner, C.W., 1985, *Handbook of Stochastic Methods*, Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag

- [Geisendorf 2001] Geisendorf, S., 2001, *Evolutorische Ökologische Ökonomie*, Marburg: Metropolis
- [Gerthsen 1991] Gerthsen, C., Kneser, H.-O., Vogel, H., 1991, *Physik*, 16. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York: Springer
- [Gerybadze 1982] Gerabadze, A., 1982, *Innovation, Wettbewerb und Evolution: eine mikro- und makrotheoretische Untersuchung des Anpassungsprozesses von Herstellern und Anwenden neuer Produzentengüter*, Tübingen: J.C.B. Mohr
- [Gillwald 1995] Gillwald, K., 1995, *Ökologisierung von Lebensstilen*, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung, Berlin.
- [Goldberg 1989] Goldberg, D.E., 1989, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Reading, Massachusetts: Addison-Wesley
- [Goldstein 1991] Goldstein, H., 1991, *Klassische Mechanik*, 11., korr. Auflage, Wiesbaden: Aula-Verlag
- [Görz 1993] Görz, G. (Hrsg.), 1993, *Einführung in die künstliche Intelligenz*, Reading, Massachusetts: Addison-Wesley
- [Gould 1989] Gould, H., Tobochnik, J., 1989, *An Introduction to Computer Simulation Methods (Part 2)*, Reading: Addison-Wesley
- [Granovetter 1986] Granovetter, M., Soong, R., 1986, *Threshold Models of Interpersonal Effects in Consumer Demand*, *Journal of Behaviour and Organization* 7, 83-99
- [Grilliches 1957] Grilliches, Z., 1957, *Hybrid corn: an exploration in the economics of technological change*, *Econometrica*, 48, 501-522
- [Grupp 1997] Grupp, H., 1997, *Messung Erklärung des technischen Wandels: Grundzüge einer empirischen Innovationsökonomik*, Berlin, Heidelberg, New York: Springer
- [Güth 1999] Güth, W., 1999, *Spieltheorie und ökonomische (Bei)Spiele*, 2. Aufl., Berlin, New York, Heidelberg: Springer
- [Haken 1990] Haken, H., 1990, *Synergetik: Eine Einführung*, 3. Auflage, Berlin, New York, Heidelberg: Springer
- [Hannan 1984] Hannan, T.H. and McDowell, J.M., 1984, *The Determinants of technology adoption: The Case of the banking firm*, *Rand Journal of Economics* 15, 328-335

- [Handelsblatt 2000a] Das neueste 3-Liter Auto kommt aus den USA: Chrysler Forschungsauto ESX 3 leicht und sparsam, Handelsblatt vom 14.9.2000
- [Handelsblatt 2000b] Bei gleicher Qualität muß Image verkauft werden: Neue Marketingstudie - Das Ansehen einzelner Marken hat sich im Laufe der Jahre stark geändert, Handelsblatt vom 8.6.2000
- [Handelsblatt 2001a] Brennstoffzelle im Auto kommt später als geplant: Hersteller von Kraftfahrzeugen setzen zunächst auf sparsamere Varianten gängiger Motoren, Handelsblatt vom 19.9.2001
- [Handelsblatt 2001b] Minikraftwerk versorgt mobile Computer mit Energie: Die Brennstoffzelle kann jederzeit nachgetankt werden, Handelsblatt vom 4.4.2001
- [Handelsblatt 2002a] Autobauer setzen auf Emotionen: Massenhersteller wollen Kunden stärker an ihr Unternehmen binden, Handelsblatt vom 8.10.2002
- [Handelsblatt 2002b] Microsoft gibt Softwarekunden Kredite, Handelsblatt vom 8.10.2002
- [Handelsblatt 2002c] Design wird wichtigster Wettbewerbsfaktor: Nur mit Technik läßt sich heute kein Auto mehr verkaufen, Handelsblatt vom 16.5.2002
- [Handelsblatt 2002d] Hybridautos haben in Deutschland keine Lobby: Kombiniertes Benzin- und Elektroantrieb findet nur in Japan und USA Anhänger, Handelsblatt vom 9.9.2002
- [Harrington 2001] Harrington, J., Chang, M., 2001, Co-Evolution of Firms and Consumers and the Implications for Market Dominance, Mimeo, John Hopkins University, Baltimore
- [Hayek 1948] Hayek, F.A., 1948, Individualism and Economic Order, Chicago and London: The University of Chicago Press
- [Hayek 1968] Hayek, F.A., 1968, Der Wettbewerb als Entdeckungsverfahren, Kieler Vorträge 56, Institut der Weltwirtschaft an der Universität Kiel
- [Hecht 1990] Hecht, E., 1989, Optik, Reading, Mass.: Addison-Wesley
- [Heinemann 2000] Heinemann, F., 2000, Die Psychologie irrationaler Wirtschaftspolitik am Beispiel des Reformstaus, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW), Mimeo
- [Heiner 1983] Heiner, R.A., 1983, The origin of predictable behaviour, American Economic Review 73(4), 560-595

- [Heiner 1988] Heiner, R.A., 1988, Imperfect Decisions and Routinized Production: Implications for Evolutionary Modelling and Inertial Technical Change, in: Dosi, G. et.al. (Hrsg.), Technical Change and Economic Theory, London: Pinter Publishers
- [Henderson 1983] Henderson, J.M. and Quandt, R.E., 1983, Mikroökonomische Theorie: eine mathematische Darstellung, München: Vahlen
- [Henderson 1995] Henderson, J.M. und Quandt, R.E., 1995, Mikroökonomische Theorie: eine mathematische Darstellung, 3.Auflage, München: Vahlen
- [Hennicke 1999] Hennicke, P., Lovins, A., 1999, Voller Energie. Vision: Die globale Faktor Vier-Strategie für Klimaschutz und Atomausstieg, Frankfurt: Campus
- [Herberg 1991] Herberg, H., 1991, Mikroökonomik, Eine Einführung, Hagen: Fernuniversität-Gesamthochschule
- [Heuss 1965] Heuss, E., 1965, Allgemeine Markttheorie, Tübingen: J.C.B. Mohr
- [Hogarth 1986] Hogarth, R.M., Reder, M.W., 1986, Rational Choice, the Contrast between Economics and Psychology, Chicago: Chicago University Press
- [Holland 1992] Holland, J.H., 1992, Adaption in Natural and Artificial Sciences: an introductory analysis with applications to biology, control and artificial intelligence, Cambridge, Massachusetts: MIT Press
- [Honerkamp 1990] Honerkamp, J., 1990, Stochastische dynamische Systeme: Konzepte, numerische Methoden, Datenanalysen, Weinheim: VCH-Verlagsgesellschaft
- [Horsthemke 1984] Horsthemke, W., Lefever, R., 1984, Noise-Induced Transitions, Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag
- [Hradil 1997] Hradil, S., 1997, Soziale Ungleichheiten, Milieus und Lebensstile in den Ländern der Europäischen Union, in: Hradil, S., Immerfall, S. (Hrsg.), Die Westeuropäischen Gesellschaften im Vergleich, Opladen
- [Ifo 1994] Streck, W.R., 1994, Marktpotentiale neuer Werkstoffe, ifo Institut für Wirtschaftsforschung, ifo Studien zur Industriegewirtschaft: 50, München
- [Iwai 1984a] Iwai, K., 1984, Schumpeterian Dynamics, Part I, Journal of Economic Behaviour and Organization 5, 159-190
- [Iwai 1984b] Iwai, K., 1984, Schumpeterian Dynamics, Part II: Technological Progress, Firm Growth and Economic Selection, Journal of Economic Behaviour and Organization 5, 321-351

- [Jager 2000] Jager, W., 2000, *Modelling Consumer Behaviour*, Groningen: Universal Press
- [Jager 2002] Jager, W., Janssen, M., 2002, Stimulating the diffusion of green products, *Journal of Evolutionary Economics* 12, 283-306
- [Jansen 2001] Jansen, S., 2001, *Mergers & Acquisitions: Unternehmensakquisitionen und -kooperationen*, Wiesbaden: Gabler Verlag
- [Jonard 1998] Jonard, N., Yildizoglu, M., 1998, Technological diversity in an evolutionary industry model with localized learning and network externalities, *Structural Change and Economic Dynamics*, 9(1), 35-55
- [Kaelbling 1996] Kaelbling, L.P., Moore, A.W., 1996, Reinforcement Learning: A Survey, *Journal of Artificial Intelligence Research* 4, 237-285
- [Kagermann 2002] Kagermann, H., 2002, Rede auf dem Vertriebstreffen Region Europa in Nizza, Walldorf: SAP AG
- [Kahneman 1979] Kahneman, D., Tversky, A., 1979, Prospect Theory, *Econometrica* 47, 263-291
- [Kahneman 1986] Kahneman, D., Tversky, A., 1986, Rational Choices and the Framing of Decisions, in: Hogarth, R.M., Reder, M.W. (Hrsg.), *Rational Choice, the Contrast between Economics and Psychology*, Chicago: Chicago University Press
- [Karshenas 192] Karshenas, M. and Stoneman, P., 1992, A flexible model of technological diffusion, *Journal of Forecasting* 11(7), 577-602
- [Karshenas 1993] Karshenas, M. and Stoneman, P., 1993, Rank, stock order and epidemic effects in the diffusion of new process technologies: an empirical model, *Rand Journal of Economics* 24(4), 503-528
- [Katz 1985a] Katz, M and Shapiro, C., 1985, On the licensing of innovation, *Rand Journal of Economics* 16, 504-520
- [Katz 1985b] Katz, M and Shapiro, C., 1985, Network Externalities, Competition and Compatibility, *American Economic Review* LXXV, 424-440
- [Kernighan 1978] Kernighan, B.W., Ritchie, D.M., 1978, *The C Programming Language*, 2nd edition, Englewood Cliffs: Prentice-Hall International
- [Kirman 1992] Kirman, A., 1992, Whom or What Does the Representative Individual Represent?, *Journal of Economic Perspectives*, 6(2), 117-136

- [Kirman 1993] Kirman, A., 1993, Ants, Rationaliy and Recruitment, The Quaterly Journal of Economics, 108, 137-156
- [Kirman 1995a] Kirman, A., Learning in Oligopoly: Theory, Simulation and Experimental Evidence, in A.Kirman & M.Salmon (Hrsg.), Learning and Rationality in Economics (S.127-77), Oxford: Blackwell
- [Kirman 1995b] A.Kirman & M.Salmon, 1995, Learning and Rationality in Economics, Oxford: Blackwell
- [Kirman 1998] Kirman, A., 1998, Self-Organization and Evolution in Economics, in: Schweitzer, F.und Silverberg, G. (Hrsg.), Selbstorganisation Bd.9, Berlin: Duncker & Humblot
- [Kirman 2000] Kirman, A. et.al., 2000, Market Organisation and Trading Relationships, Economic Journal, 110, 411-436
- [Kirman 2001] Kirman, A., Vriend, N.J., 2001 Evolving market structure: An ACE model of price dispersion and loyalty, Journal of Economic Dynamics and Control, 25(3-4), 459-502
- [Koch 1998] Koch, W., 1998, Feldtheorie dynamischer Finite-Size-Effekte in Systemen mit Relaxations- und Diffusionsdynamik, Dissertation an der RWTH Aachen
- [Kopka 2000a] Kopka, H., 2000, LATEX Bd.1: Einführung, 3. überarb. Auflage, Reading, Mass.: Addison-Wesley
- [Kopka 2000b] Kopka, H., 1997, LATEX Bd.2: Ergänzungen, 2. Auflage, Reading, Mass.: Addison-Wesley
- [Kraftfahrtbundesamt 2002] Kraftfahrtbundesamt (KBA), 2002, Zulassungsstatistik für Kraftfahrzeuge, Flensburg, <http://www.kba.de>
- [Kwasnicki 1996] Kwasnicki, W., 1996, Innovation regimes, entry and market structure, Journal of Evolutionary Economics 6, 375-410
- [Kwasnicki 1998] Kwasnicki, W., 1998, Skewed distributions of firm sizes: an evolutionary perspective, Structural Change and Economic Dynamics 9, 135-158
- [Lancaster 1966a] Lancaster, K., 1966, A New Approach to Consumer Theory, Journal of Political Economy 74, 132-157
- [Lancaster 1966b] Lancaster, K., 1966, Change and Innovation in the Technology of Consumption, American Economic Review (papers and proceedings) 56, 14-25

- [Lancaster 1971] Lancaster, K., 1971, *Consumer Demand: A New Approach*, New York: Columbia University Press
- [Lancaster 1991a] Lancaster, K., 1991, *Moderne Mikroökonomie*, Frankfurt: Campus
- [Lancaster 1991b] Lancaster, K., 1991, *Modern Consumer Theory*, Aldershot: Edward Elgar Publishing
- [Lane 1996] Lane, D., *Artificial Worlds and Economics*, Part 1 and 2, *Journal of Evolutionary Economics* 3, 89-108, 177-197
- [Langton 1998] Langton, C., 1998, *Artificial Life III*, Reading, Mass.: Addison-Wesley
- [Lev 2001] Lev, B., 2001, *Intangibles: Management, Measurement, and Reporting*, Washington: The Brookings Institution Press
- [Lovins 1995a] Lovins, A., 1995, *Supercars: Advanced Ultralight Hybrid Vehicles*. Prepared for the *Encyclopedia of Energy Technology and the Environment* (First Edition), Wiley Interscience / Rocky Mountain Institute, Snowmass, Colorado
- [Lovins 1995b] Lovins, A., Brylawski, M. Cramer, D. and Moore, T. , 1995, *Hypercars: Materials, Manufacturing and Policy Implications: A proprietary strategic study by The Hypercar Center*, Rocky Mountains Institute, Snowmass, Colorado
- [Lovins 1997] Lovins, A., Moore, T., Williams, B., 1997, *Speeding the Transition: Designing a Fuel-Cell Hypercar*, Rocky Mountains Institute, Snowmass, Colorado
- [Lovins 1999] Lovins, A., Lovins, H. and Hawken, P., 1999, *Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution*, Little Brown and Company
- [Lucas 1988] Lucas, R.E., 1988, *On the Mechanics of Economic Development*, *Journal of Monetary Economics*, 22(2), p 3-42
- [Lucks 2002] Lucks, K. Meckl, R., 2002, *Internationale Mergers & Acquisitions: Der prozessorientierte Ansatz*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag
- [Lüdtke 1994] Lüdtke, H., 1994, *Technik im Alltagsstil*, Universität Marburg, Marburg.
- [Machlup 1962] Machlup, F., 1962, *The Production and Distribution of Knowledge in the United States*, Princeton: Princeton University Press
- [Machlup 1984] Machlup, F., 1984, *Knowledge: Its Creation, Distribution and Economic Significance*, Vol.3, *The Economics of Information and Human Capital*, Princeton: Princeton University Press

- [Mansfield 1968] Mansfield, E., 1968, *Industrial Research and Technological Innovation: An Econometric Analysis*, New York, NY, USA: Norton & Co.
- [March 1978] March, J.G., Bounded Rationality, Ambiguity and the Engineering of Choice, *Bell Journal of Economics* 9, 58-608
- [Marengo 1997] Marengo, L., Willinger, M., Alternative methodologies for modelling evolutionary dynamics: Introduction, *Journal of Evolutionary Economics* 7, 331-338
- [Marshall 1920] Marshall, A., 1920, *Principles of Economics* (8th ed.), London: MacMillan
- [Maume 2002] Maume, C., 2002, *Systemanalyse und Simulation eines Brennstoffzellen-Hybridfahrzeuges mit autothermer Methanolreformierung*, Dissertation, Technische Universität München
- [McFadden] McFadden, D., 1998, *Rationality for Economists?*, University of California, Berkeley, Mimeo
- [Meffert 2000] Meffert, H., 2000, *Grundlagen des Marketing*, Wiesbaden: Gabler Verlag
- [Menger 1871] Menger, C., 1871, *Grundsätze der Volkswirtschaftslehre*, Wien: Braumüller
- [Neue Zürcher Zeitung 1998] Am Steuer der neuen S-Klasse - Innovatives Stuttgarter Flaggschiff, *Neue Zürcher Zeitung* vom 6.10.1998
- [Metcalf 1988] Metcalfe, J., 1988, The diffusion of innovations: an interpretative survey, in: Dosi, G., et.al. (Hrsg.), *Technical change and economic theory*, London: Pinter Publishers
- [Metcalf 2001a] Metcalfe, J.S., 2001, Consumption, preferences and the evolutionary agenda, *Journal of Evolutionary Economics* 11, 37-58
- [Metcalf 2001b] Metcalfe, J.S., Currie, M., 2001, Firm routines, customer switching and market selection under duopoly, *Journal of Evolutionary Economics* 11: 433-456
- [Meyer 1996] Meyer, B., Vogt, C., Voßkamp, R., 1996, Schumpeterian competition in heterogeneous oligopolies, *Journal of Evolutionary Economics* 6, 411-423
- [Miller 1991] Holland, J., Miller, J.H., 1991, Artificial Adaptive Agents in Economic Theory, *AEA Papers and Proceedings*, 81(2), 365-370
- [Nasbeth 1974] Nasbeth, L. and Ray, G.F., 1974, *The Diffusion of New Industrial Processes*, Cambridge: Cambridge University Press

- [Nelson 1982] Nelson, R.R. and Winter, S.G., 1982, *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge, MA: The Belknap Press of Harvard University Press
- [Nelson 1995] Nelson, R.R., 1995, Recent Evolutionary Theorizing About Economic Change, *Journal of Economic Literature* XXXIII, 48-90
- [Nelson 2002] Nelson, R.R. et.al., 2002, How Do University Inventions Get Into Practice?, *Management Science*, 48(1), 61-72
- [Newell 1999] Newell, R.G. et.al., 1999, The Induced Innovation Hypothesis and Energy-Saving Technological Change, *Quarterly Journal of Economics*, 114(3), 941-975
- [North 1999] North, D.C., Hayeks contribution to understanding the process of economic change, in: Vanberg, V. (Hrsg.), *Freiheit, Wettbewerb und Wirtschaftsordnung: Hommage zum 100. Geburtstag von Friedrich A. Hayek*, Freiburg: Rudolf Haufe Verlag
- [Objective C 1998] *The Objective C Cookbook*, 1998, The NEXT Coporation, Redwood City
- [Ormerod 1998] Ormerod, P., 1998, *Butterfly Economics: A New General Theory of Social and Economic Behaviour*, London: Faber and Faber
- [Oster 1982] Oster, S., 1982, The diffusion of innovation among steel firms: the basic oxygen furnace, *The Bell Journal of Economics* 17, 45-66
- [Pennings 2000] Pennings, J., Kim, H.O., 2000, *Technological Evolution at the Producer-Consumer Interface*, Mimeo, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA
- [Penrose 1959] Penrose, E., 1959, *The Theory of the Growth of the Firm*, Oxford: Basil Blackwell
- [Pfahl 2002] Pfahl, S., *Effizienz und Suffizienz als Determinanten von Nachhaltigkeit*, unveröffentlichte Dissertation, Universität Osnabrück
- [PNGV 2000] The PNGV Initiative, www.pngv.com
- [Polanyi 1958] Polanyi, M., 1958, *The Tacit Dimension*, Garden City, N.Y.: Double Day Anchor
- [Polster 1994] Polster, R., 1994, *Absatzanalyse bei der Produktinnovation: Bedeutung, Erhebung und wissensbasierte Verarbeitung*, Deutscher Universitäts Verlag, Wiesbaden
- [Popp 2002] Popp, D., 2002, Induced Innovation and Energy Prices, *American Economic Review*, 92(1), 160-180

- [Price 1997] Price, T.C., 1997, Using co-evolutionary programming to simulate strategic behaviour in markets, *Journal of Evolutionary Economics*, 7, 219-254
- [Prognos 1996] Prognos AG, 1996, *Energiereport II (2020)*, Stuttgart, Schaeffer-Poeschel
- [Puppe 1990] Puppe, F., 1990, *Problemlösungsmethoden in Expertensystemen*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag
- [Puppe 1991] Puppe, F., 1991, *Einführung in Expertensysteme*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag
- [Pyka 1999] Pyka, A., 1999, *Der kollektive Innovationsprozeß: Eine theoretische Analyse infromeller Netzwerke und absorptiver Fähigkeiten*, Berlin: Duncker & Humblot
- [Ramesohl 2001] Ramesohl, S., 2001, *Entwicklungsbedingungen für Energieeffizienzmärkte im industriellen Mittelstand: Eine empirische Untersuchung der Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen in kleinen und mittleren Betrieben*, Düsseldorf: VDI-Verlag
- [Reilly 1999] Reilly, R.F., Schweih, R.P., 1999, *Valuing Intangible Assets*, New York: McGraw-Hill
- [Reinganum 1981] Reinganum, J., 1981, On the diffusion of new technology: A game theoretic approach, *Review of Economic Studies* 48(3): 395-405
- [Reinganum 1985] Reinganum, J., 1985, Innovation and Industry Evolution, *Quarterly Journal of Economics* 50, 81-99
- [Reinhardt 2002] Reinhardt, R., 2002, *Wissen als Ressource: theoretische Grundlagen, Methoden und Instrumente zur Erfassung von Wissen*, Berlin, Bern: Verlag Peter Lang
- [Rieck 1993] Rieck, C., 1993, *Spieltheorie: Einführung für Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler*, Wiesbaden: Gabler
- [Rogers 1983] Rogers, E.M., 1983, *Diffusion of Innovations*, 3rd Edition, New York: The Free Press
- [Romer 1990] Romer, P.M., 1990, Endogenous Technological Change, *Journal Of Political Economy*, 98, 71-102
- [Rothschild 1974] Rothschild, M., 1974, A Two-Armed Bandit Theory of Market Pricing, *Journal of Economic Theory* 9, 185-202
- [Sakurai 1994] Sakurai, J.J., Tuan, S.F., 1994, *Modern Quantum Mechanics*, Revised Edition, Reading/Massachusetts: Addison-Wesley

- [Salmon 1995] Salmon, M., Bounded Rationality and Learning: Procedural Learning, in A.Kirman & M.Salmon (Hrsg.), Learning and Rationality in Economics (S.236-75), Oxford: Blackwell
- [Saviotti 2001] Saviotti, P.P., 2001, Variety, growth and demand, Journal of Evolutionary Economics 11, 119-142
- [Schnabl 1979] Schnabl, H., 1979, Verhaltenstheorie und Konsumententscheidung: Konstruktion und Ergebnisse eines heuristischen Simulationsmodells, Tübingen: J.C.B. Mohr
- [Schnabl 1996] Schnabl, H., 1996, A close eye on the invisible hand, Journal of Evolutionary Economics 6, 263-283
- [Schnakenberg 1995] Schnakenberg, J., 1995, Algorithmen in der Quantenmechanik und Statistischen Physik, Ulmen: Zimmermann-Neufang
- [Schmidtchen 1990] Schmidtchen, D., Preise und spontane Ordnung - Prinzipien einer Theorie ökonomischer Evolution, 1990, in: Witt, U. (Hrsg.), Studien zur Evolutorischen Ökonomik I, Berlin: Duncker & Humblot
- [Schumpeter 1934] Schumpeter, J.A., 1934, The Theory of Economic Development, Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press
- [Schreyögg 1997a] Schreyögg, H., 1997, Planung, Hagen, Fern-Universität
- [Schreyögg 1997b] Schreyögg, H., 1997, Organisation, Hagen, Fern-Universität
- [Schreyögg 1998] Schreyögg, H., 1998, Unternehmensführung, Hagen, Fern-Universität
- [Schweitzer 1998] Schweitzer, F., Silverberg, G., 1998, Selbstorganisation: Jahrbuch für Komplexität in den Natur-, Sozial- und Geisteswissenschaften, Bd.9, Evolution und Selbstorganisation in der Ökonomie, Berlin: Duncker & Humblot
- [Seidl 1995] Seidl, C., Traub, S., 1995, The Relevance of Irrelevant Alternatives and Other Tales, Discussion Paper No.50, Institut für Finanzwissenschaft und Sozialpolitik, Universität Kiel
- [Selten 2001a] Selten, R., 2001, Rethinking Rationality, in: Bounded Rationality: The Adaptive Toolbox, Gigerenzer, G., p. 1-12, Cambridge, MA: MIT-Press
- [Selten 2001b] Selten, R., 2001, , in: Bounded Rationality: The Adaptive Toolbox, Gigerenzer, G., p. 13-36, Cambridge, MA: MIT-Press

- [Selten 2000] Selten, R., 2000, Eingeschränkte Rationalität und ökonomische Motivation, 129-157, in: Schriften des Vereins für Socialpolitik, NF, Vol.27
- [Selten 1998] Selten, R., 1998, Features of Experimentally Observed Bounded Rationality, European Economic Review, 42(2-5), 413-436
- [Shelton 2001] Shelton, C., 2001, Importance Sampling for Reinforcement Learning with Multiple Objectives, Ph.D. thesis at the Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass.
- [Shelton 2001] Shelton, C., 2001, Reinforcement Learning Networks, Massachusetts Institute of Technology, Mimeo
- [Sigma 1999] Sigma Institut und Allgemeiner Deutscher Automobil Club, 1999, Das Rennen um die Neue Mitte, Mannheim
- [Silverberg 1988] Silverberg, G., Dosi, G., und Orsenigo, L., 1988, Innovation, diversity and diffusion: a self-organization model, Economic Journal (98), 1032-1054
- [Silverberg 1994] Silverberg, G., Verspagen, B., 1994, Learning, Innovation and Economic Growth: A Long-run Model of Industrial Dynamics, Industrial & Corporate Change, Vol.3, 199-223
- [Simon 1947] Simon, H., 1947, Administrative Behaviour, New York: Macmillan
- [Simon 1955] Simon, H., 1955, A Behavioural Model of Rational Choice, Quarterly Journal of Economics 69, 98-118
- [Simon 1956] Simon, H., 1956, Dynamic Programming under Uncertainty with a Quadratic Criterion Function, Econometrica, 24, 74-81
- [Simon 1957] Simon, H., 1957, Administrative Behaviour: a Study of Decision-Making Processes in Administrative Organization, New York: Macmillan
- [Simon 1959] Simon, H., 1959, Theories of Decision Making in Economics, American Economic Review 49, 253-283
- [Simon 1976] Simon, H., 1976, From Substantive to Procedural Rationality, in: Latsis, S.J. (Hrsg.), Method and Appraisal in Economics, Cambridge: London et.al.
- [Simon 1978] Simon, H., 1978, On How to Decide What to Do, Bell Journal of Economics 9, 494-507

- [Simon 1982] Simon, H., 1982, Models of Bounded Rationality, Boston, Massachusetts: MIT Press
- [Simon 1986] Simon, H., 1986, Rationality in Psychology and Economics, in: Hogarth, R.M., Reder, M.W. (Hrsg.), Rational Choice: The Contrast between Economics and Psychology, Chicago: Chicago University Press
- [Simon 1991] Simon, H., 1991, Bounded Rationality and Organizational Learning, Organization Science 2, 125-134
- [Simon 1996] Simon, H., 1996, The Sciences of the Artificial, 3.ed., Cambridge, MA: The MIT Press
- [Smith 1999] Smith, A., 1999, Der Wohlstand der Nationen: Eine Untersuchung seiner Natur und Ursachen, München: Deutscher Taschenbuch Verlag
- [Solow 1956] Solow, R., 1956, A Contribution to the Theory of Economic Growth, The Quarterly Journal of Economics, 70, 65-94
- [Solow 1957] Solow, R., 1957, Technical Change and the Aggregate Production Function, Review of Economics and Statistics, 39, 312-320
- [Sozialordnung 1997] Landesministerium für Arbeit, Gesundheit und Sozialordnung Baden-Württemberg, 1997, Bürgerschaftliches Engagement in Baden-Württemberg: Landesstudie 1997. Ein Bericht des Sozialwissenschaftlichen Institut für Gegenwartsfragen, Stuttgart
- [Stat. Bundesamt 2001] Stat. Bundesamt (Hrsg.), 2001, Statistisches Jahrbuch 2001 für die Bundesrepublik Deutschland, Stuttgart: Metzler-Poeschel
- [Stat. Bundesamt 2002] Stat. Bundesamt (Hrsg.), 2002, Statistisches Jahrbuch 2002 für die Bundesrepublik Deutschland, Stuttgart: Metzler-Poeschel
- [Stoneman 1995] Stoneman, P., Karshenas, M., 1995, Technological Diffusion, in: Stoneman, P.: Handbook of the economics of innovation and technological change, p.265-297, Oxford: Blackwell Publishers
- [Ströbele 1996] Ströbele, W., Rohstoffökonomik, München: Vahlen
- [Stuttgart Zeitung 2002] VW Lupo: Spar-Lauf, Stuttgarter Zeitung vom 25.2.2002
- [Süddeutsche Zeitung 2002a] Das Gefühl von Freiheit und Abenteuer: Mit neuen Marketingstrategien wollen die Hersteller von Öko-Produkten den Niedergang der Branche aufhalten, Süddeutsche Zeitung vom 5.3.2002

- [Süddeutsche Zeitung 2002b] A-Klasse der Extraklasse: Daimler-Chrysler startet Kleinserie mit Brennstoffzelle, Süddeutsche Zeitung vom 12.10.2002
- [Süddeutsche Zeitung 2002c] Mit der Kraft der zwei Herzen: Alternative Antriebe(2) - Hybrid- und Elektro-Autos, Süddeutsche Zeitung vom 6.2.2002
- [Süddeutsche Zeitung 2002d] Haas, S., 2002, Konsumverzicht: Keine Lust auf Urlaub, Süddeutsche Zeitung, 6./7.Juli 2002
- [Süddeutsche Zeitung 2002e] Jahresrückblick 2002 - Mit Vollgas in die Sackgasse: Die Autoindustrie und ihre Manager stehen an einem Wendepunkt, Süddeutsche Zeitung vom 28.12.2002
- [Süddeutsche Zeitung 2002f] Die wachsende Hoffnung auf Abrüstung: Volkswagen liegt mit dem neuen Luxus-Geländewagen auf Augenhöhe mit der süddeutschen Konkurrenz, Süddeutsche Zeitung vom 28.12.2002
- [SuSE Linux 6.3] SuSE Linux 6.3, 2000, SuSE GmbH, Nürnberg
- [Swann 2001] Swann, P., 2001, The demand for distinction and the evolution of the prestige car, *Journal of Evolutionary Economics* 11, 39-73
- [SWARM 2000] The Swarm Group, 2000, Swarm 2.1.1 CD-ROM Development Kit, Santa Fe Institute, Santa Fe, New Mexico, <http://www.santafe.edu/projects/swarm>
- [Tay 2001] Tay, N., Linn, S., 2001, Fuzzy inductive reasoning, expectation formation and the behaviour of security prices, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 25(3-4), 321-361
- [Tesfatsion 2001] Tesfatsion, L., 2001, Structure, behaviour and market power in an evolutionary labor market with adaptive search, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 25(3-4), 419-457
- [Tomer 1987] Tomer, J.F., 1987, *Organizational Capital: The Path to Higher Productivity and Well-being*, New York: Praeger Pub Text
- [Tripsas 2001] Tripsas, M., 2001, *Understanding the timing of technological transitions: the role of user preferences*, Mimeo, Cambridge, MA: Harvard Business School
- [Tritton 1988] Tritton, D.J., 1988, *Physical Fluid Dynamics*, 2nd ed., Oxford: Oxford University Press
- [Troitzsch 1996] Troitzsch, K., Gilbert, N., *Social Science Microsimulation*, Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag

- [Tversky 1972] Tversky, A., 1972, Elimination by Aspect: A Theory of Choice, Psychological Review 79, 281-299
- [Veblen 1898] Veblen, T., Why is Economics not an Evolutionay Science?, Quaterly Journal of Economics 12, 371-397
- [Veblen 1899] Veblen, T., 1899, The Theory of the Leisure Class: An Economic Study of Institutions, London: MacMillan
- [Vinzens 1998] Vinzens, T., 1998, Kann ein Karosserie aus kohlenfaserverstärktem Kunststoff wirtschaftlich sein?: Eine Untersuchung am Beispiel des Hypercar-Konzeptes des Rocky Mountains Institute, Diplomarbeit, Mönchengladbach
- [Volkswagen 2002a] Volkswagen AG, 2002, Vergleich der Leergewichte der vier Generationen des VW Golf, <http://www.volkswagen.com>
- [Volkswagen 2002b] Volkswagen AG, 2002, Der 3 - Liter VW Lupo, <http://www.volkswagen.com>
- [Vosskamp 2002] Vosskamp, R., 2002, Schumpeterscher Wettbewerb, Produktvielfalt und Wachstum, Vortrag auf der Jahrestagung des Ausschuß für Evolutorische Ökonomik im Verein für Sozialpolitik, Marburg, 4.-6.Juli 2002
- [Wadman 2000] Wadman, W., 2000, Variable Quality in Consumer Theory, New York, London: M.E.Sharpe
- [Wakeley 1998] Wakeley, T.M., 1998, Schumpeterian process competition, welfare and laissez-faire: An experiment in artificial economic evolution, Journal of Evolutionary Economics 8, 45-66
- [Waldrop 1994] Waldrop, M., 1994, Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos, New York: Simon & Schuster
- [WEC 1998] World Energy Council, 1998, Global Energy Perspectives, London: WEC Press
- [Weidlich 1983] Weidlich, W., Haag, G., 1983, Concepts and Models of a Quantitative Sociologe, Berlin, Heidelberg, New York: Springer
- [Weise 1990] Weise, P., Der synergetische Ansatz zur Analyse der gesellschaftlichen Selbstorganisation, in: Ökonomie und Gesellschaft, Jahrbuch 8: Individuelles Verhalten und kollektive Phänomene, S.12-64, Frankfurt: Campus
- [Weise 1991] Weise, P., 1991, Neue Mikroökonomie, Würzburg: Physika-Verlag

- [Weise 1993] Weise, P., 1993, Eine dynamische Analyse von Konsumptionseffekten, Zeitschrift für Nationalökonomie 211(1-2), 159-172
- [Weise 1994] Weise, P., 1994, Chaos als misslungene Ordnung, in: Beckenbach / Diefenbacher (Hrsg.), Zwischen Entropie und Selbstorganisation (S.55-74), Marburg: Metropolis
- [Weise 1998] Weise, P., 1998, Der Preismechanismus als ökonomischer Selbstorganisationsprozeß, in: Schweitzer, F. und Silverberg, G. (Hrsg.), Selbstorganisation Bd.9, Berlin: Duncker & Humblot
- [Weißbuch 1996] Weisbuch, G., Gutowitz, H. und Duchateau-Nguyen, G., 1996, Information contagion and the economics of pollution, Journal of Economic Behaviour and Organisation, 29, 389-407
- [Weizsäcker 1995] Weizsäcker, E.U., Lovins, H., Lovins, A., Faktor Vier: Bericht an den Club of Rome, München: Knaur
- [Wilhite 2001] Wilhite, A., 2001, Bilateral Trade and "Small-World" Networks, Computational Economics, 18(1), 111-133
- [Wilkie 1996] Wilkie, W., 1996, Consumer Behaviour, Chichester: John Wiley & Sons
- [Windrum 1998] Windrum, P., Birchenhall, C., 1998, Is product life cycle theory a special case? Dominant designs and the emergence of market niches through coevolutionary learning, Structural Change and Economic Dynamics 9, 109-134
- [Winter 1971] Winter, S.G., 1971, Satisficing, Selection and the Innovating Remnant, Quarterly Journal of Economics 85, 237-261
- [Wirtschaftswoche 2002] Jagd auf den Golf: Deutschlands größter Autobauer gerät in Bedrängnis, Wirtschaftswoche Nr. 44 vom 24.10.2002
- [Witt 1987] Witt, U., 1987, Individualistische Grundlagen der Evolutorischen Ökonomik, Tübingen: J.C.B. Mohr
- [Witt 1989] Witt, U., 1989, Wissen, Präferenzen und Kommunikation - eine ökonomische Theorie, Analyse und Kritik - Zeitschrift für Sozialwissenschaften, 11, 94 - 109
- [Witt 1992] Witt, U., 1992, Evolution as the theme of a new heterodoxy in economics, in: Witt, U. (Hrsg.), Explaining process and change: approaches to evolutionary economics, Ann Arbor, The University of Michigan Press
- [Witt 1994] Witt, U., 1994, Wirtschaft und Evolution, Einige neuere theoretische Entwicklungen, WiSt, Heft 10, 503-512

- [Witt 2001] Witt, U., 2001, Learning to Consume - A theory of wants and the growth of demand, *Journal of Evolutionary Economics*, 11, 23-36
- [Woeckener 1995] Woeckener, B., 1995, Industrieökonomik für die Informationsgesellschaft: Vom Hotelling- zum Mastergleichungs-Ansatz, (S.117-142) in: Witt, U. (Hrsg.), *Studien zur Evolutorischen Ökonomik Bd.3*, Berlin: Duncker und Humblot
- [WRI 2002] World Ressources Institute (WRI), 2002, World Crude Oil Prices 1970 - 2000, <http://www.wri.org>
- [Yildizoglu 1998] Yildizoglu, M., Jonard, N., 1998, Technological diversity in an evolutionary industry model with localized learning and network externalities, *Structural Change and Economic Dynamics*, 9, 35-53
- [Yildizoglu 1999] Yildizoglu, M., 1999, Competing R&D Strategies in an Evolutionary Industry Model, Mimeo
- [Young 1993] Young, H.P., 1993, An Evolutionary Model of Bargaining, *Journal of Economic Theory* 59, 145-168
- [Yu 1999] Yu, T.F., Robertson, P.L., 2001, Austrian and Evolutionary Perspectives on Consumer Demand and Firm Strategy, in: Dow, S., Earl, P., *Economic Organization and Economic Knowledge: Essays in Honour of Brian J. Loasby, Volume I*, Cheltenham: Edward Elgar
- [Die Zeit 2002] Wochenzeitschrift "Die Zeit", 2002, Zulassungstatistik für Personenkraftwagen, Hamburg, <http://www.zeit.de>
- [Zhang 1991] Zhang, W.-B., 1991, *Synergetic Economics*, Berlin, Heidelberg, New York: Springer