

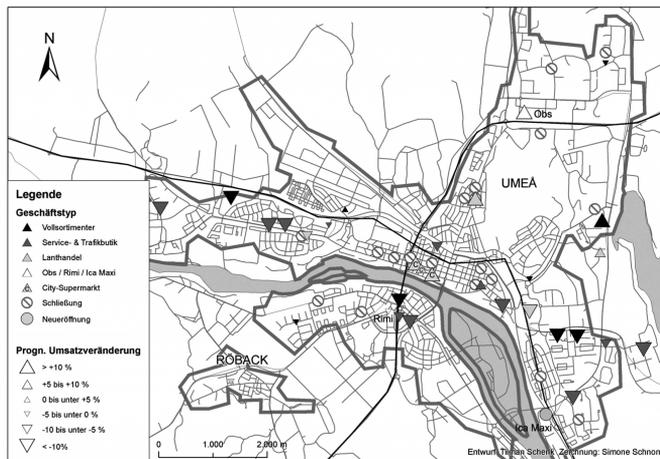
WÜRZBURGER GEOGRAPHISCHE ARBEITEN
Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft Würzburg

Herausgeber: R. Baumhauer – B. Hahn

Heft 101

Tilman A. Schenk

**Multiagentensysteme
zur Simulation von Konsumentenentscheidungen**



2008

Tilman A. Schenk

Multiagentensysteme zur Simulation von Konsumentenentscheidungen

WÜRZBURGER GEOGRAPHISCHE ARBEITEN

Herausgegeben vom Institut für Geographie der Universität Würzburg
in Verbindung mit der Geographischen Gesellschaft Würzburg

Herausgeber: R. Baumhauer – B. Hahn

Schriftleitung: B. Sponholz

WÜRZBURGER GEOGRAPHISCHE ARBEITEN

Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft Würzburg

Herausgeber: R. Baumhauer – B. Hahn

Heft 101

Multiagentensysteme zur Simulation von Konsumentenentscheidungen

Tilman A. Schenk

2008

Im Selbstverlag des Instituts für Geographie der Julius-Maximilians-Universität Würzburg
in Verbindung mit der Geographischen Gesellschaft Würzburg



Die Drucklegung dieses Bandes hat dankenswerterweise unterstützt:

Geographische Gesellschaft Würzburg

Computersatz:

Tilman A. Schenk, Julia Breunig, Winfried Weber, Institut für Geographie der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Druck: Schleunungdruck
Eltertstraße 27
D-97828 Marktheidenfeld

Bezug über den Buchhandel oder direkt bei:

Institut für Geographie der Julius-Maximilians-Universität Würzburg
– *Würzburger Geographische Arbeiten* –
Am Hubland
D-97074 Würzburg
E-Mail: geographie@uni-wuerzburg.de
URL: <http://www.uni-wuerzburg.de/geographie/publikt/wga.htm>

Zuschriften:

Geographische Gesellschaft Würzburg
c/o Institut für Geographie der Julius-Maximilians-Universität Würzburg
Am Hubland
D-97074 Würzburg

© Institut für Geographie der Julius-Maximilians-Universität Würzburg

ISSN 0510-9833

INHALT

	Danksagung	9
	Kurzfassung	10
	Summary	12
	Vorspann	14
1	Zum Einstieg	16
1.1	Motivation und Ziele der Arbeit	16
1.2	Stand der Forschung: MAS in der Geographie	18
1.2.1	Siedlungsstrukturen, urbane Systeme und Verkehr	19
1.2.2	Konsumentenentscheidungen	25
1.2.3	Weitere Verwendungen	26
1.3	Gliederung der Arbeit	28
2	Räumliche Abbilder menschlichen Handelns	28
2.1	Verhalten, Handeln, Entscheiden	28
2.1.1	Verhaltensorientierte Geographie	29
2.1.2	Mikrogeographie	35
2.1.3	Handlungstheorie	38
2.1.4	Institutionentheorie	40
2.1.5	Bewertung und Standortbestimmung	41
2.2	Systematik der Modelle menschlichen Handelns im Raum	42
2.2.1	Gravitations- und Potenzialmodelle	44
2.2.2	Diskrete Entscheidungsmodelle	45
2.3	Einkaufen: Handeln oder Verhalten?	47
3	Agentenbasierte Simulation für geographische Phänomene	48
3.1	Allgemeine Einführung: Motivation und Verfahrensweisen	48
3.2	Multiagentensysteme und agentenbasierte Modellierung	49
3.2.1	Begrifflichkeiten	49
3.2.2	Idee der Agentensimulation	51
3.2.3	Agentensimulation und Raum	52

3.2.4	Handlungsregeln der Agenten und der Umwelt	53
3.2.5	Anforderungen für verschiedene Maßstabebenen	56
3.2.6	Verifikation / Validation	57
3.3	Plädoyer für den Einsatz von MAS in den Sozialwissenschaften	59
4	Die Region Umeå (Schweden)	60
4.1	Datenbeschreibung und -aufbereitung	60
4.1.1	Daten der Nachfrageseite	60
4.1.2	Daten der Angebotsseite	62
4.2	Datenanalyse und -visualisierung	63
4.2.1	Lage und Struktur	63
4.2.2	Demographische und sozioökonomische Aspekte der Bevölkerung	64
4.2.2.1	Soziodemographie: Bevölkerungsstruktur und -verteilung	64
4.2.2.2	Sozioökonomie: Erwerbstätigkeit und Einkommensstruktur	67
4.2.2.3	Mobilität: Pendlerverflechtungen und Kaufkraftströme	69
4.2.3	Aktuelle Trends im Lebensmitteleinzelhandel	72
4.2.3.1	Versorgungsgrad	72
4.2.3.2	Betriebsformenwandel	74
4.2.3.3	Standorte	75
5	Ein Modell zur Simulation individueller Einkaufsentscheidungen	78
5.1	Operationalisierung der Nachfrageseite	79
5.2	Operationalisierung der Angebotsseite	82
5.3	Modellspezifikation	83
5.3.1	Initiale Modellannahmen	83
5.3.2	Modellierung der Nachfrage-Angebot-Interaktionen	85
5.4	Umsetzung des Modells in der Simulation	87
5.4.1	Das Simulationsshell SeSAm	87
5.4.2	Implementierung der Modellakteure als Agenten	88
5.4.3	Schritte der Simulation	88
5.5	Sensitivitätsanalyse und Abgleich mit der Empirie	89
5.5.1	Vergleich mit der Empirie und Festlegung eines Gütemaßes	90
5.5.2	Herausforderungen bei der Kalibrierung	92

5.5.3	Die Geschäftsattribute im Entscheidungsprozess	94
5.5.4	Distanzen und Präferenzen: Individualisierung des Modells	97
5.5.5	Wahrnehmungsfunktionen	98
5.5.5.1	Einführung und Wahl der Funktionsform	98
5.5.5.2	Ein automatisiertes Verfahren zur Parameterbestimmung	100
5.5.5.3	Globale und individuelle Wahrnehmungsfunktionen	101
5.5.5.4	Der Sonderfall der Distanz	102
5.5.6	Einkaufsbiographien	104
5.5.6.1	Bewohner des Ländlichen Raums	106
5.5.6.2	Pendler	108
5.5.6.3	Stadtbewohner	111
5.5.6.4	Bewertung	112
5.5.7	Standorte und Gebietseinheiten	113
5.6	Endstand des Modells	116
6	Modellieren und Simulieren auf verschiedenen Maßstabsebenen	118
6.1	Diskussion um Mikro- und Makromodelle	118
6.2	Diskreter Entscheidungsansatz und Potenzialansatz	119
6.2.1	Formaltheoretische Überführung	119
6.2.2	Ergebnisvergleich eines Mikro- und Makromodells	122
6.3	Simulation mit aggregierten Ausgangsdaten	123
6.3.1	Räumliche Aggregation	123
6.3.2	Inhaltliche Aggregation	125
6.3.3	Auswirkungen auf das Modellergebnis	127
6.4	Fazit zum Aggregatsproblem	130
7	Weitergehende Experimente	131
7.1	Prognose	131
7.1.1	Prognose 2004	132
7.1.2	Prognose 2015	136
7.2	Abschätzung von Verkehrsaufwänden	141
7.3	Modellieren mit <i>Beliefs</i>	144
7.4	Modellieren von Netzwerken	146

7.5	Hybride Konsumenten	148
8	Ausblick und Forschungsbedarf	152
8.1	Übertragbarkeit	152
8.2	Aufgaben für die Zukunft	154
8.2.1	Methodischer Forschungsbedarf	154
8.2.2	Weitere Einsatzmöglichkeiten	155
8.3	Zum Mitnehmen	156
9	Quellen und Literatur	161
10	Anhang	172
10.1	Fragebogen der Konsumentenbefragung (2002)	172
10.2	Erläuterungen zu den Variablen der LOUISE-Daten	174
10.3	Daten für die Lebensmittelgeschäfte	175
10.3.1	Daten aus der Arbeitsstellenstatistik	175
10.3.2	Daten aus eigener Erhebung	176
10.4	Abbildungsverzeichnis	177
10.5	Publikationsverzeichnis	181

DANKSAGUNG

Ich danke:

- Meinen Eltern, die mir besonders in den schwierigen Phasen dieser Dissertation viel Halt gaben;
- Prof. Dr. Günter Löffler, der mich für diese Arbeit begeisterte, mir immer wieder den nötigen Antrieb gab – und der uns viel zu früh verlassen musste;
- Prof. Dr. Jürgen Rauh, der nach diesem tragischen Ereignis ohne Zögern die Betreuung dieser Arbeit übernahm und viel konstruktive Kritik und viele nützliche Hinweise zu früheren Versionen dieses Textes beigetragen hat;
- PD Dr. Ralf Klein für seine Bereitschaft zur Erstellung eines Zweitgutachtens;
- Den Kooperationspartnern im Projekt, allen voran Dr. Franziska Klügl, Prof. Dr. Frank Puppe und Manuel Fehler (alle Lehrstuhl für Künstliche Intelligenz, Institut für Informatik, Universität Würzburg) für ihre technische Unterstützung und ihre Beiträge als hartnäckige Diskussionspartner;
- Prof. Dr. Einar Holm, Dr. Urban Lindgren (Kulturgeografiska institutionen, Umeå universitet) und Dr. Kirsten Holme (Spatial Modelling Centre, Kiruna) für die Bereitstellung der Daten, die Unterstützung bei ihrer Verarbeitung und ihre Gastfreundschaft in Nordschweden;
- Daniel Schrödl, der mir am Arbeitsplatz eine große moralische Stütze war und mich immer wieder aus neuer Perspektive auf die Dinge schauen ließ;
- Den Hilfskräften und Diplomanden im Projekt in der Reihenfolge ihres Erscheinens: Philip Ulrich, Werner Weigelt, Eva Hartmann, Tanja Credner und Simone Schnorr sowie den Kartographen Julia Breunig und Winfried Weber für die vielen kleinen guten Taten.

Das Forschungsvorhaben wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert.

KURZFASSUNG

Städte sehen sich in der Entwicklung ihres Einzelhandelsangebots zunehmend Konkurrenzsituationen zwischen traditionellen Innenstadt- und neu entstehenden Stadtrandlagen ausgesetzt, die einerseits die gestiegenen Flächen- und Produktivitätsansprüche der Unternehmen eher erfüllen, während andererseits Bürger, Politik und etablierter Handel ein ‚Aussterben‘ der Innenstädte befürchten. Die Konsequenzen planerischer Entscheidungen in dieser Hinsicht abzuschätzen, wird zunehmend komplexer. Dafür sind ebenso eine stärkere Individualisierung des Konsumverhaltens verantwortlich, wie eine gestiegene Sensibilität gegenüber Verkehrs- und Emissionsbelastungen. Modellierungen und Simulationen können einen Beitrag zu fundierter Entscheidungsfindung leisten, indem sie durch Prognosen von Szenarien mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen solche Auswirkungen aufzeigen.

In der Vergangenheit wurden Kaufkraftströme durch Modelle abgebildet, die auf aggregierten Ausgangsdaten und Analogieschlüssen zu Naturgesetzen (Gravitations-, Potenzialansatz) oder nutzentheoretischen Annahmen (Diskreter Entscheidungsansatz) beruhten. In dieser Arbeit wird dafür erstmals ein agentenbasierter Ansatz angewendet, da sich so individuelle Ausdifferenzierungen des Konsumentenhandelns wesentlich leichter integrieren und Ergebnisse anschaulicher präsentieren lassen. Ursprünglich entstammt die Idee zur Agententechnologie einem Forschungsfeld der Informatik, der Künstlichen Intelligenz. Ziel war hier, Algorithmen zu entwickeln, die aus einer Menge von kleinen Softwarebausteinen bestehen, die zur Lösung eines Problems miteinander in Kommunikation treten und sich selbst zielbezogen anordnen. Somit schreibt sich der Algorithmus im Grunde selbst. Dieses Konzept kann in den Sozialwissenschaften als Modellierungsparadigma genutzt werden, insofern als dass sie der Idee der Selbstorganisation von Gesellschaften recht nahe kommt. Insbesondere zeichnen sich Multiagentensysteme durch eine dezentrale Kontrolle und Datenvorhaltung aus, die es darüber hinaus ermöglichen, auch komplexe Systeme von Entscheidungsprozessen mit wenigen Spezifikationen darzustellen. Damit begegnet der Agentenansatz vielen Einwänden gegen Analogie- und Entscheidungsmodelle. Durch die konsequente Einnahme einer individuenbezogenen Sichtweise ist die individuelle Ausdifferenzierung von Entscheidungsprozessen viel eher abbildbar.

Für das Forschungsprojekt konnten für einen Untersuchungsraum in Nordschweden (Funktionalregion Umeå, ca. 140.000 Einwohner) individuenbezogene Einwohnerdaten verfügbar gemacht werden. Diese enthielten u.a. Lagekoordinaten des Wohn- und Arbeitsorts, Alter, Geschlecht, verfügbares Einkommen und Angaben zur Haushaltsstruktur. Verbunden mit Erkenntnissen aus empirischen Untersuchungen (Konsumentenbefragung, Geschäftskartierung) stellten sie die Eingabegrößen für ein agentenbasiertes Modell der Einkaufsstättenwahl bei der Lebensmittelversorgung dar. Die Konsumentenbefragung stellte regressionsanalytische Abhängigkeiten zwischen sozioökonomischen Daten und Konsumpräferenzen bezüglich einzelner Geschäftsattribute (Preisniveau, Produktqualität, Sortimentsbreite, Service etc.) her, die gleichen Attribute wurden für die Geschäfte erhoben. Somit können Kaufkraftströme zwischen Einzelelementen der Nachfrage (individuelle Konsumenten) und des Angebots (einzelne Geschäftsstandorte) als individuell variierende Bewertung der Geschäfte durch die Agenten in folgender Form dargestellt werden, gemäß derer die Agenten ihre lebensmittelrelevante Kaufkraft auf die Geschäfte verteilen:

$$W_{a,i} = \frac{1}{d_{a,i}} \sum_k P_{i,k} * A_{a,k} \quad (0.1)$$

mit $W_{a,i}$: Bewertung einer Entscheidungsalternative a aus Sicht des Entscheiders i ; $P_{i,k}$: Gewicht (Präferenz) des Entscheiders i für Kriterium k ; $A_{a,k}$: Attributwert der Alternative a für Kriterium k , $d_{a,i}$: Distanz zwischen einer Entscheidungsalternative a und Entscheider i

Da auf der Angebotsseite die Umsätze der Geschäfte ebenso bekannt sind, können die Summen der von den Agenten dort allozierten Kaufkraftbeträge mit denselbigen verglichen werden. Dies erlaubt die Quantifizierung einer Schätzgüte für die Geschäftsumsätze mittels eines Gütemaßes:

$$R^{(2)} = 1 - \frac{\sum_g (U_{\text{geschätzt},g} - U_{\text{real},g})^2}{\sum_g U_{\text{real},g}^2} \quad (0.2)$$

mit $U_{\text{geschätzt},g}$: geschätzter Umsatz des Geschäfts g , $U_{\text{real},g}$: realer, an die Kaufkraft angepasster Umsatz des Geschäfts g ; $R^{(2)} \in]-\infty; 1]$

Für die Geschäfte der gesamten Region konnten Gütemaßwerte bis 0,7 erreicht werden, für einzelne Betriebsformate auch über 0,9. Dies zeigt, dass auch bei der Verwendung individuenbezogener Modelle, die mit einer deutlich höheren Anzahl Freiheitsgraden behaftet sind als ihre aggregierten Gegenstücke, hohe Prognosequalitäten für Umsatzschätzungen von Standorten erreicht werden können. Gleichzeitig bietet der Agentenansatz die Möglichkeit, einzelne Simulationsobjekte bei ihrer Entscheidungsfindung und ihren Aktivitäten zu verfolgen. Dabei konnten ebenfalls plausible Einkaufsmuster abgebildet werden.

Da die Distanz vom Wohn- bzw. Arbeitsort zum Geschäft Bestandteil des Modells ist, können auch die von den Einwohnern zum Zweck der Grundversorgung zu leistenden Distanzaufwände in verschiedenen Angebotssituationen analysiert werden. Als Fallstudie wurde ein Vergleich von zwei Situationen 1997 und 2004 vorgenommen. Während dieses Zeitraums haben im Untersuchungsgebiet grundlegende Veränderungen der Einzelhandelsstruktur stattgefunden, die zu einem weitgehenden Rückzug des Angebots aus den peripheren ländlichen Gebieten geführt haben. Die Ergebnisse zeigten eine hohe Übereinstimmung mit den auf nationaler Ebene erhobenen Mobilitätsdaten, ließen aber auch einen differenzierten Blick auf die unterschiedliche Betroffenheit der Einwohner der Region zu.

An agentenbasierte Simulationen werden in den Sozialwissenschaften große Erwartungen geknüpft, da sie erstmals ermöglichen, gesellschaftliche Phänomene auf der Ebene ihres Zustandekommens, dem Individuum, zu erfassen, sowie komplexe mentale Vorgänge des Handelns, Lernens und Kommunizierens auf einfache Weise in ein Modell zu integrieren. Mit der vorliegenden Arbeit wurde im Bereich der Konsumentenforschung erstmals ein solcher Ansatz auf regionaler Ebene angewendet, um zu planungsrelevanten Aussagen zu gelangen. In Kombination mit anderen Anwendungen im Bereich der Bevölkerungsprognose, des Verkehrs und der innerstädtischen Migration haben Agentensimulationen alle Voraussetzungen zu einem zukunftsweisenden Paradigma für die Raum- und Fachplanung.

SUMMARY

Concerning the development of their retail location structures, urban areas are increasingly faced with situations of competition between traditional inner-city and spontaneously emerging suburban forms of outlets, which can on one hand rather satisfy augmented demands on sales areas and productivity of retailers, while on the other hand citizens, politicians and established retailers fear the 'death of the centre'. To evaluate the consequences of planning decisions in that respect is gaining in complexity; this can be ascribed to a strong individualisation of consumption habits as well as an enhanced sensitivity towards exposure to emissions from traffic and land consumption. Social simulations can contribute to such decisions as they are able to demonstrate the implications thereof by undertaking prognoses in different planning frameworks and scenarios.

In the past, estimations of buying power flows between elements of demand and supply have been modelled from aggregate input data utilising approaches characterized by analogies to laws from physical sciences (retail gravitation) or utility maximizing assumptions (discrete choice models). This contribution is the first to use an agent-based approach, since it is capable of integrating individually differentiated variations of consumer behaviour and results can be depicted more effectively. The idea of agent-based simulations originated from the research field of artificial intelligence aiming at replacing monolithic algorithms by ranges of software elements that would start mutual communication and thus autonomously organise themselves in order to solve the problem at hand. This concept can be used as a modelling paradigm in the social sciences in so far as it reflects the idea of self-organization of human societies. Multi agent simulations are characterized by a distributed control and organisation of data enabling the representation of complex decision processes with a small number of specifications. With these features, agent-based approaches address many of the objections against analogy and choice models. The strictly individual viewpoint allows for a much better representation of individually variations of decision processes.

For this research project, individual population data for a study area in Northern Sweden (functional region of Umeå with approximately 140,000 inhabitants) were obtained. They included figures on age, sex, disposable income, coordinates of dwelling and workplace, and household structure for every individual in the region. Combined with empirical results from consumer and store surveys they constituted the data base for an agent-based model of store choice in grocery retailing. The consumer survey contributed regression analyses for individual preferences for store attributes such as price, size of assortment, quality of products, service, etc., dependant on socio-demographic characteristics of the sample. The same attributes were observed for the stores. Hence, the buying power flows between single elements of the demand side (individual consumers) and single elements of the supply side (individual stores) can be specified as individually varying evaluations of choice alternatives, by which the agents will distribute their buying power among the stores, as follows:

$$U_{a,i} = \frac{1}{d_{a,i}} \sum_k P_{i,k} * A_{a,k} \quad (0.3)$$

with $U_{a,i}$: total utility of choice alternative a from the viewpoint of agent i ; $P_{i,k}$: weight (preference) of agent i for choice criterion k ; $A_{a,k}$: attribute value of choice alternative a in criterion k , $d_{a,i}$: distance from agent i to choice alternative a

By comparing the sums of buying power collected at the stores with their turnovers, a measure for the quality of the turnover estimation can be given in the form:

$$R^{(2)} = 1 - \frac{\sum_g (T_{est.,g} - T_{real,g})^2}{\sum_g T_{real,g}^2} \quad (0.4)$$

with $T_{est.,g}$: estimated turnover of grocery shop g , $T_{real,g}$: real turnover of grocery shop g , adjusted to total buying power in the study area; $R^{(2)} \in]-\infty; 1]$

For all shops in the region, values of 0.7 for $R^{(2)}$ were achieved, for some store formats even up to 0.9. This demonstrates how individual decision based models of buying power allocation despite their fairly large number of degrees of freedom are suitable for turnover estimation and forecasts of individual stores. Simultaneously, the simulation objects, i.e. the individual agents can be observed on performing their shopping trips to ensure plausible results on the micro level as well.

Since the distance between the places of dwelling and work and the location of the shop is part of the model, changes in transportation demand in different spatial structures of retail outlets can be analysed. As a case study, the situations in the years 1997 and 2004 were compared in that respect. During that period, a remarkable retreat of small area shop formats in the rural regions was observed; about half of the stores in this category closed, while a new hypermarket on the southern edge of the city of Umeå was the only registered opening. The results of how travel distances of the agents changed when confronted with the new situation showed a high accordance with national statistics, but also shed light on the unequal affection of certain groups of population in the region.

Agent-based simulations are raising high expectations in the social sciences, as they are the first to allow to capture social phenomena on the level of their emergence, the individual, as well as to integrate complex cognitive processes such as motivations, learning and communication into such models. This study is the first to apply an agent-based approach in consumption research on a regional level in order to support planning decisions in a regional and urban context. Combined with further applications in the areas of population prognosis, transportation and intra-regional migration, social simulations are a promising tool for future challenges in regional and urban planning.

VORSPANN

„Die Ernüchterung, die in alldem steckt, ob sie nun offensiv formuliert wird oder sich hinter dem Rücken der Künstler herstellt, hat etwas mit dem Zusammenbruch der gewaltigen Theoriegebäude zu tun, die mit der neuen Technik aufkamen. Was wurde da nicht alles gefabelt! Vom Untergang der Wirklichkeit und dem Aufstieg künstlicher Welten, die bald von der Realität nicht mehr zu unterscheiden sein würden. Vom Ende des Subjekts, das seit Nietzsche zwar immer wieder prophezeit worden war, nun aber in sein definitives Stadium treten sollte. Von der Auflösung aller hierarchischen Ordnung in ein organisch wucherndes, moralisch und logisch befreites Chaos. Von der Verflüssigung alles ehemals materiell Gebundenen in einen einzigen Datenstrom, ob Musik oder Malerei oder Literatur, ob ursprünglich von einer Geige, einem Pinsel oder einem Bleistift stammend.“ (JESSEN 2004: 41)

Sozialwissenschaftliche Methoden werden von zwei grundsätzlichen Denkrichtungen bestimmt: Deduktive Ansätze haben die Entwicklung von allgemeingültigen Gesetzmäßigkeiten für soziale Phänomene zum Ziel, häufig in Form von mathematischen Gleichungssystemen. Induktive Ansätze hingegen versuchen, aus einer Vielzahl von meist qualitativen Einzelbeobachtungen zu generalisierten Aussagen zu kommen. Ob sozialwissenschaftliche Simulationen einen gleichberechtigten dritten Erkenntnisweg darstellen, kann noch nicht endgültig beantwortet werden. Fest steht nur, dass sie schwer einer der beiden vorherigen Richtungen zuzuordnen sind: Zwar gehen sie auch von einer scharf umgrenzten Menge von Annahmen aus, unterscheiden sich von der Deduktion jedoch dadurch, dass sie keine Hypothesen beweisen. Stattdessen bilden Einzeleingaben die Grundlage für Generalisierungen auf der Ergebnisseite. Anders als bei klassisch induktiver Vorgehensweise bestehen die Eingabedaten aber nicht aus Beobachtungen sozialer Phänomene sondern aus a priori festgelegten Regeln (SUN 2006: 6).

Diese Form der Generalisierung (Emergenz) stellt das zentrale Erkenntnisinteresse sozialwissenschaftlicher Simulation dar. Emergente Phänomene sind solche, für die Beobachtungen auf einer aggregierten Ebene nicht mit denen auf einer unteren Ebene konsistent sind. Was hier anklingt, ist die Jahrzehnte alte Suche nach der Verbindung zwischen Mikro- und Makroebene, der „unsichtbaren Hand“, die einzeln und auf ihre eigenen Ziele gerichtet handelnde Individuen dazu bewegt, eine soziale Funktion zu erfüllen (GILBERT 2006: 429; SUN 2006: 15). Auf diesen Mikro-Makro-Dualismus wird häufig auch durch die Gegenüberstellung mit den gegensätzlichen Begriffspaaren lokal – global, individuell – kollektiv oder kognitiv – sozial Bezug genommen. Der Unterscheidung liegt die Auffassung zugrunde, dass ab einem gewissen Aggregationsniveau die Charakteristika niedrigerer Ebenen „wegabstrahiert“ (GILBERT 2006: 428) werden können, ohne das Ergebnis der Untersuchung signifikant zu verfälschen. Jedoch wird dabei außer Acht gelassen, dass die beiden Ebenen individueller Motivation und kollektiver Struktur (Raumstrukturen, Institutionen) in Wechselwirkung treten, sich also gegenseitig beeinflussen. Man könnte sogar noch einen Schritt weiter gehen und ein „Goldenes Dreieck“ zwischen Motivation, Kognition und Struktur aufspannen. Elementare Motivationen entstehen aus biologischen Bedürfnissen, auf natürliche Weise und zunächst unabhängig von einer kognitiven Verarbeitung. Um diese Bedürfnisse in einer physischen und soziokulturellen Umwelt zu erfüllen, ist eine kognitive Auseinandersetzung mit dieser Umwelt erforderlich. Diese besteht sowohl aus körperlichen Reaktionen als auch aus bewusstem und intentionalem Handeln. Kognition verbindet also die Motivationen des Handelnden mit den Strukturen der Umwelt. Umgekehrt beeinflussen aber auch die Strukturen das Denken und indirekt damit sogar die elementaren Bedürfnisse und Motivationen, wenn sie von den Handelnden internalisiert und damit zum Teil der Denkprozesse

werden (SUN 2006: 12f). Diese Zusammenhänge unterliegen einer so hohen Komplexität, dass sie wahrscheinlich nur mit den Mitteln evolutionärer oder emergenter Simulation verständlich werden, weil nur diese die notwendigen Voraussetzungen dafür mitbringen: Anders als mathematische Modelle sind sie nicht an mathematische Formalisierungen gebunden. Im Unterschied zu narrativen Modellen sind sie aber präzise. Damit scheinen sie das richtige Mischungsverhältnis zwischen Exaktheit und Flexibilität aufzuweisen (ebd.: 18).

Steht der Wissenschaft das Ende des Subjekts bevor? Wird die hierarchische Ordnung (Makro-Mikro!) aufgelöst in ein „organisch wucherndes Chaos“? Diese Zukunftsaussicht scheint wenig plausibel. Sozialwissenschaftliche Simulationen lassen zwar künstliche, virtuelle Realitäten entstehen, diese können jedoch die reale Welt und die reale Gesellschaft nicht ersetzen. Die Wissenschaft ist dadurch nicht am Ende der Forschung über Mensch und Gesellschaft. Ebenso wie Kunst bei aller Technik nicht ohne Kreativität denkbar ist, sind Gesellschaften nicht ohne Menschen denkbar, die bewusst und intentional aus dem Dreieck Motivation – Kognition – Struktur ausbrechen können. Dies unterscheidet die künstliche Intelligenz von der realen. Simulationen können aber helfen, Licht in einige unerforschte Ecken gesellschaftlicher Phänomene, sozialer Strukturen und individueller Kognition zu werfen.

1 ZUM EINSTIEG

1.1 Motivation und Ziele der Arbeit

Mit den Multiagentensystemen (MAS) hat eine neue Modellierungstechnik in den Sozialwissenschaften Einzug erhalten. Auch in den entsprechend ausgerichteten Teildisziplinen der Geographie sind sie bereits zum Einsatz gekommen (s. Kap. 1.2). Mit dieser Arbeit wird jedoch in mehrerer Hinsicht Neuland betreten:

1. Mikrosimulationen im Allgemeinen und Multiagentensimulationen im Besonderen sind bisher in der Handels- bzw. Konsumentenforschung kaum eingesetzt worden (s. Kap. 1.2.2). Insbesondere die Handelsgeographie hat sich viel stärker mit der Angebotsseite beschäftigt.
2. Neu ist ebenfalls die Verbindung von Modellierungsverfahren der Mikroebene mit einer regionalen Maßstabebene der Betrachtung. Damit stellen sich nicht nur neue Anforderungen an selbige Verfahren, es ergeben sich auch bessere Chancen der Modellkalibrierung, da Daten auf regionaler Ebene eher verfügbar sind.

Für die projektbezogene Arbeit wurden drei vorrangige Ziele formuliert:

1. Modellierung und Simulation von Interaktionsströmen von Personen und Kapital zwischen Elementen der Nachfrage (den Konsumenten) und des Angebots (den Geschäften), in ihrer Abhängigkeit von Raum und Zeit. Damit soll die Eignung von Multiagentensystemen und ihrem Einsatz für die Mikrosimulation zur Abbildung von räumlichem Konsumentenverhalten und Einkaufsverflechtungen auf der Nachfrageseite und zur Marktgebietsabgrenzung auf der Angebotsseite nachgewiesen werden.
2. Lösung der Frage der räumlichen Aggregate und damit Vergleich mit bisherigen in der Handelsgeographie gängigen Methoden. Hier geht es nicht nur um einen qualitativen Vergleich, sondern auch um die Frage, ob und in wie weit die bisherigen Verfahren durch Mikrosimulationen ergänzt oder ersetzt werden sollen. Dieser Abgleich ist sowohl formal als auch empirisch auf mehreren Ebenen der räumlichen Aggregation vorzunehmen.
3. Einordnung der Verfahren der agentenbasierten Simulation in die Theoriegebäude der Sozialgeographie, die bisher ausgeblieben ist.

Was sind Multiagentensysteme und welche Relevanz haben sie für die Geographie? Die Idee dazu entstammt der Informatik und der Suche nach einer Lösung des Problems, Maschinen stets nur Anweisungen für vorhersehbare Situationen geben zu können. Programme bestehen oft aus langen Reihen von Wenn-Dann-Relationen, etwa „Wenn hier geklickt wird, führe eine Aktion aus“. Für viele Anwendungen reicht das auch aus. Lange Zeit herrschte die Vorstellung, man müsse der Maschine nur eine genügende Anzahl solcher Wenn-Dann-Relationen einprogrammieren, vielleicht einige Millionen, dann sollte der Rechner mit dem Großteil aller auftretenden Eventualitäten zurechtkommen. Dennoch kann man dann aber immer noch Situationen benennen, auf die ein Programm nicht

vorbereitet ist. Als Ausweg aus diesem Dilemma entstand die Idee, Algorithmen zu entwickeln, die sich quasi selbst schreiben. Sie sollten aus Softwarebausteinen („Agenten“) bestehen, die sich selbst in einem (Multiagenten-) System¹ organisieren und eine Struktur bilden, die das anstehende Problem löst, also in gewissem Sinne und mit Abstrichen intelligent handeln. Daraus entstand in der Informatik ein eigenes Forschungsfeld der „Künstlichen Intelligenz“.

Dieser Ansatz kommt dem sozialwissenschaftlichen Konzept von der (Selbst-) Organisation von Gesellschaften sehr nahe und hat insbesondere mit der Geographie die Vorstellung gemein, dass aus massenhaften individuellen Entscheidungen und Verhaltensweisen geordnete Systeme (Raumstrukturen) entstehen (OPENSHAW & OPENSHAW 1997: 8). Auch das Prinzip autonom handelnder oder interagierender Akteure, die zusammen eine Gesellschaft bilden und mit ihr in Wechselwirkung treten, ist in unserer Disziplin fest verankert. Sich von Ideen der Psychologie nährend, kamen in den 1960er Jahren erste Ansätze einer *behavioural geography* aus dem anglophonen Wissenschaftsraum (u.a. COX & GOLLEDGE 1969, auch 1981). Besonders wichtig war dort die Abgrenzung der Erforschung des *spatial behaviour*, der Suche nach Modellen für die Entscheidungsprozesse und ihren Regeln, die räumlichem Verhalten zu Grunde liegen, von der des *behaviour in space*, der statistischen Beschreibung (nicht Erklärung!) von Interaktionen im Raum (COX & GOLLEDGE 1981: xvi). Einige Jahre später drang das Konzept auch in das restliche Europa vor. HÄGERSTRAND fragte (1970): „What about people in regional science?“ und forderte eine stärkere Beachtung individueller Verhaltensmuster in den Raumwissenschaften. In der deutschsprachigen Geographie, der außer der englischsprachigen Vorarbeiten die Habilitationsschrift von Dietrich BARTELS (1968) als Denkanstoß diente, finden sich erste Diskussionen u.a. bei THOMALE (1974) als „Geographische Verhaltensforschung“ oder bei WIESSNER (1978) als „Verhaltensorientierte Geographie“. Aus der Kritik dieser Ansätze, die sich vor allem gegen das Menschenbild eines Mediums vorherbestimmter Reaktionen auf Reize und gegen die Vernachlässigung von Intentionalität wandte, konzeptionalisierte sich eine Theorie des Handelns (Handlungstheorie), die sich in der deutschsprachigen Literatur zunächst bei WIRTH (1977, 1981) und SEDLACEK (1982) findet und, von WERLEN (1987) übernommen, heute einen festen Platz in aktuellen Lehrbüchern hat (WERLEN 2000, HEINEBERG 2004 u.a.). Ende der 1980er Jahre galt diese theoretische Diskussion bereits als weitgehend abgeschlossen (TZSCHASCHHEL 1986: 7). Eine ausführliche Darstellung all dieser Ansätze und Theorien findet sich in Kapitel 2.1 dieser Arbeit.

Wenn sich die Sozialgeographie nun darüber einig ist, dass Strukturen im Raum nicht a priori gegeben, sondern Ergebnisse individuellen Handelns sind, sollten auch die Methodiker unter den Geographen darum bemüht sein, sich von der Modellierung dieser Raumstrukturen (Makromodelle) auf die Modellierung von Individualentscheidungen (Mikromodelle) zu verlegen. Arbeiten, die sich mit den Entscheidungsprozessen von Individuen (*Discrete Choice*) auseinandersetzen, liegen in großer Anzahl vor (GOLLEDGE & TIMMERMANS 1988, für einen aktuelleren Überblick: TIMMERMANS, ARENTZE & JOH 2002) und beschäftigen neben Geographen auch Ökonomen und Psychologen. Dabei sind die Anwendungsbereiche sehr unterschiedlich und reichen von der Verkehrsmittel-, Wohn- und Unternehmensstandortwahl über die Wahl von Freizeitstätten bis zum Konsumentenverhalten. Stets schlug sich aber der Bezug zur Mikroebene auch in der betrachteten Fallzahl nieder. Schließlich erlaubte auch der Stand der Rechnertechnik kein aufwändiges Experimentieren mit großen Datenmengen und umfangreichen Versuchsanordnungen. Eine Erläuterung und Diskussion der bekannten Modellierungsansätze wird in Kapitel 2.2 vorgenommen.

Das führt uns zur zweiten Säule dieser Arbeit, der Simulation. Grundsätzlich ist die Simulation von der Modellbildung zu trennen. Das Modell definiert die Wertebereiche seiner Parameter und

quantifiziert die Beziehungen unter ihnen, was man unter Modellannahmen subsumiert, die sowohl deterministische als auch stochastische Elemente enthalten können. Erst in der Simulation nehmen die Modellparameter Werte an, die dann nach den Vorschriften des Modells manipuliert werden. Die Simulation verbindet also das Modell mit den Daten. Jedes einmalige Verändern der – jetzt – Simulationsparameter betrachtet man als einen Simulationsschritt. In der Regel reihen sich viele solche Simulationsschritte aneinander, wobei jeweils Informationen (Ergebnisse der Parametermanipulationen) von vorherigen Schritten in die folgenden eingehen können. Dieses ‚Fortpflanzen‘ von Wirkungen, also die Abhängigkeit der Simulationsschritte untereinander, und der Einbezug von Zufallskomponenten in das Modell machen die Simulation überhaupt erst erforderlich. Andernfalls wäre die Modellrechnung nur ein einziges Mal durchzuführen, was streng genommen keine Simulation ist, sondern nur das Ausführen eines Algorithmus.

Man kann viele Arten von Simulationen unterscheiden, beispielsweise danach, wie sie die Dimension der Zeit berücksichtigen, ob sie also kontinuierlich oder zeitdiskret sind, ob sie eine räumliche Komponente besitzen oder nicht. Das hängt ganz von der gestellten Aufgabe ab. Simulationen kommen in vielen Wissenschaftsbereichen zum Einsatz, die allgemein bekanntesten Anwendungen sind wohl die der Ingenieurwissenschaften, z.B. in Flugsimulatoren. Auch hier liegt der Simulation natürlich ein Modell zugrunde, das etwa festlegt, wie das simulierte ‚Flugzeug‘ auf Änderungen der Luftströmung oder auf einen Eingriff des Piloten in die Steuerung reagiert. Weitere Anwendungsbereiche finden sich in den Materialwissenschaften (z.B. Wechselwirkungen zwischen Schiene und Rad eines fahrenden Zugs), in der Physik und Astronomie (z.B. Aufeinanderprallen von Massen), in der Klimatologie (Wettervorhersage), in der Geologie und Geomorphologie (Massenbewegungen), in der Biologie (Verhaltensforschung) und schließlich in den Sozialwissenschaften und damit in den entsprechend ausgerichteten Teildisziplinen der Geographie (menschliches Verhalten). Gemeinsam ist diesen Beispielen, dass sie erlauben, aus der Kenntnis der Vergangenheit (Modellannahmen) Aussagen über die Zukunft zu treffen.

Modellbildung und Simulation existieren jedoch nicht unabhängig voneinander. Ebenfalls Bestandteil dieser Arbeit ist, die Ergebnisse der Simulation mit der Realität, insbesondere mit der Vergangenheit, in Beziehung zu setzen. Dieser Vergleich kann zu neuen Erkenntnissen und zur Veränderung der Modellannahmen führen. Eine solche Kalibrierung des Modells ist insbesondere für den Einsatz der Simulation als Prognosewerkzeug unverzichtbar, denn die Genauigkeit, mit der die Simulation in der Lage ist, vergangene Entwicklungen nachzubilden, entspricht der Eintrittswahrscheinlichkeit der vorhergesagten Ereignisse in der Zukunft. Modelle und Simulationen, die diesen Abgleich nicht vornehmen oder nicht quantifizieren können, sind für die Prognose wertlos.

1.2 Stand der Forschung: MAS in der Geographie

Hier soll es vorrangig um bisherige Einsätze von Multiagentensystemen (MAS) zur Simulation von räumlichen Interaktionen allgemein und im Konsumentenverhalten im Besonderen gehen. Das häufigste Anwendungsfeld von Multiagentensystemen in der Geographie ist das zur Simulation von Siedlungsstrukturen, urbanen Systemen und Verkehr, dem ein eigener Abschnitt (1.2.1) gewidmet ist. Danach wird auf die bisherigen Anwendungen von MAS auf Konsumentenentscheidungen eingegangen (1.2.2). Schließlich gibt es noch einige weitere Anwendungsbereiche, die in einem dritten Unterkapitel zusammengefasst werden (1.2.3).

1.2.1 Siedlungsstrukturen, urbane Systeme und Verkehr

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit werden hier einige neuere Anwendungen von Multiagentensystemen aus dem Bereich der Stadtforschung vorgestellt, ausgehend von einer überregionalen bis zur innerstädtischen Maßstabsebene.

BURA et al. (1996) beanspruchen, mit dem Modell SIMPOP die erste Multiagentensimulation in der Geographie unternommen zu haben (ebd.: 165). Sie modellierten die langfristige Entstehung und Entwicklung eines Siedlungssystems mit einem Multiagentenansatz, um damit Hypothesen zu dessen Dynamik zu testen und Vorhersagen über seine Zukunft zu treffen. Ausgangspunkt ist die Annahme, dass Siedlungssysteme aus der Selbstorganisation der Interaktionen unter ihnen entstehen und sich weiterentwickeln (ebd.: 162). Die Agenten repräsentieren Raumzellen, die physische Attribute (Landbedeckung, natürliche Ressourcen, etc.) besitzen und zusätzlich Ort einer Siedlung sein können. Die Siedlungen entwickeln sich wiederum von einem Initialstadium zu Industrie-, Verwaltungs-, Handels-, und „komplexen“ Städten, die alle vorgenannten Funktionen vereinen (ebd.: 167). Diese Entwicklung verläuft dabei für jede modellierte Siedlung unterschiedlich und setzt sich aus drei Modellteilen zusammen: Der Modellierung der Arbeitsteilung und Spezialisierung der Siedlungen untereinander in Bezug auf ihre zentralörtlichen Funktionen, den Austausch von Waren und Dienstleistungen, und ihr Wachstum sowie Auf- und Abstieg in der Hierarchie. Für den Gütertausch werden lediglich Angebot und Nachfrage modelliert, ein Gleichgewicht zwischen beiden zu finden, wird der Selbstorganisation der Agenten überlassen. Je nach ihrem wirtschaftlichen Erfolg wachsen die Städte schneller oder langsamer als der Systemdurchschnitt (ebd.: 169). Die frühen Stadien der agrarischen Arbeitsteilung, wie sie auch in historisch-geographischen Arbeiten belegt sind, kann das Modell recht gut nachbilden. Größere Innovationen, wie die der industriellen Revolution, müssen dem Modell aber exogen zugeführt werden. Schließlich ist die Güte des Modells aber auch von einer Reihe voreinzustellender und empirisch nicht ohne Weiteres begründbarer Parameter abhängig, wie etwa ein Bevölkerungsschwellenwert, ab dem eine Stadt eine zusätzliche Funktion wahrnehmen kann (ebd.: 175). Eine ähnliche Arbeit lieferte DIBBLE 1996, die die Wirkungsweise von Modellen zur Entstehung von Siedlungssystemen in Abhängigkeit der Ausprägungen verschiedener Wirtschaftssektoren untersuchte. Auch hier wurde ein Multiagentensystem zur Hypothesenprüfung eingesetzt.

Eine Maßstabsebene tiefer untersuchten SEMBOLONI et al. (2004) die wirtschaftlichen Beziehungen innerhalb einer Stadt.² Als Agenten firmierten die Einwohner (in Gestalt von „Familien“ mit jeweils 100 Individuen), Industrie- und Dienstleistungsbetriebe, „Öffentliche Dienstleistungen“ und Immobilienmakler. Jede dieser Agentenklassen³ trifft Entscheidungen über ihren Standort und den Austausch von Waren und Dienstleistungen sowie ihres monetären Gegenwerts unter Maximierung ihrer Nutzenfunktion. Für die Bewertung der Waren und Dienstleistungen mit Geldbeträgen wird eine Reihe von initialen Annahmen getroffen. Die Agenten können diese Preise jedoch verändern, sollten sich ihre angebotenen Waren und Leistungen in einem Simulationsschritt nicht verkauft haben. Weitere Voreinstellungen betreffen Parameter wie den Flächenbedarf von Familien und Produktion sowie der Zufallsanteil in den Zielfunktionen. Ganz eigenständig verläuft die Simulation allerdings nicht: Der Bediener des Programms übernimmt die Rolle der öffentlichen Planung, er bestimmt die zu bebauenden Flächen, setzt deren initiale Preise fest und reguliert die Austauschbeziehungen zur Außenwelt über die Preise für Import- und Exportgüter. Die Autoren stellen damit eine Simulation vor, die die wirtschaftlichen Beziehungen in einer Stadt basierend auf den Prinzipien der neoklassischen Ökonomie nachbildet. Für einen Vergleich mit der Realität legten die Autoren ein digitales Höhenmodell der Stadt Prato (bei Florenz) zugrunde und beobachteten nach 150 Simulationsschritten eine ähnliche Ausbreitung der Stadt wie 1978. Durch die große Zahl voreinzustellender Parameter und die

Möglichkeit des Users, diese zur Laufzeit der Simulation noch zu verändern, stehen die Chancen dafür aber auch nicht schlecht. Versuche, nach einmal getroffenen Annahmen die Simulation ‚frei laufen‘ zu lassen wurden nicht unternommen oder deren Ergebnisse nicht dokumentiert.

Tatsächlich individuenbasiert ist das Modell eines „urbanen Systems“ (ILUTE: Integrated Land Use, Transportation, Environment) von MILLER et al. (2004), das sich durch den Versuch auszeichnet, Landnutzungsstrukturen und Verkehrsnachfrage miteinander in Beziehung zu setzen. Mikrosimulationen von Verkehrsnachfrage sind schon in großer Zahl vorhanden (ebd.: 10), jedoch erfordert ihre Verbindung mit der urbanen Form tiefgreifende Erkenntnisse über diese Zusammenhänge, was auch die Modellkomplexität notwendigerweise deutlich erhöht. Hier sind insbesondere die langfristigen Wechselwirkungen und „feed-backs“ von Interesse, also deren zweiseitige Beeinflussung. Ein Modell, das den Anspruch erhebt, ein urbanes System integrativ zu erfassen, muss folgerichtig alle Elemente des Wirkungsgefüges zwischen Landnutzung und Verkehr und deren Beziehungen untereinander abbilden. Dazu gehört die Simulation der bebauten Umwelt, der Bevölkerungsveränderungen in ihren natürlichen und migrativen Bestandteilen, der Standortentscheidungen von privaten Haushalten und Unternehmen, der ökonomischen Aktivitäten des urbanen Systems, sofern sie für den Transport von Personen und Waren relevant sind, schließlich die Simulation ihrer täglichen Bewegungen nach gewähltem Verkehrsmittel, Route und Tageszeit, ferner der Leistungsfähigkeit der Verkehrsinfrastruktur bei der auftretenden Nachfrage, sowie der daraus resultierenden Emissionen (ebd.: 14f). Als Agenten firmieren Individuen, Haushalte, Unternehmen und Arbeitsstellen, die jeweils eine oder mehrere „Rollen“ einnehmen, etwa als Grundbesitzer, Arbeitnehmer oder –geber, Produzent oder Konsument von Waren und Dienstleistungen etc. Das Modell arbeitet mit einem „100%-sample“, das für das Beispiel Toronto aus Zensusdaten disaggregiert wurde. Den Agenten wird zunächst mittels regelgesteuerter Auswahlmethoden eine Teilfolge von Alternativen zugewiesen, aus denen er dann unter Nutzenmaximierung seine Entscheidung trifft (ebd.: 21). Aus diesen Entscheidungen für nicht am Wohnort stattfindende Aktivitäten resultieren dann die simulierten Interaktionen, die die Verkehrsnachfrage darstellen, und für die die Agenten Verkehrsmittel und Route wählen. Weitere Simulationselemente schließen die Modellierung des Immobilienmarkts, des Arbeitsmarkts sowie des Pkw-Besitzes privater Haushalte ein. Die Entwicklung der Landnutzungen werden auf Basis von Zellen simuliert, die ihren Zustand über die Zeit verändern können.

Insgesamt ist dieses Modell eines urbanen Systems als ein sehr ehrgeiziges Projekt einzustufen. Leider fehlen in der zitierten Arbeit genaue Schilderungen bzw. idealerweise Gleichungen, die über das Zusammenwirken der Modellkomponenten Auskunft geben würden. Auch ist eine Validierung des Modells an Zensusdatenreihen aus der Vergangenheit noch nicht vorgenommen worden (ebd.: 38). Nach eigener Aussage verstehen die Autoren ihr Vorhaben als ein Labor, das mannigfaltige Modellierungsmethoden testen und deren Eignung überprüfen soll.

Beinahe zeitgleich haben WADDEL et al. (2003) mit UrbanSim⁴ ein Modell für Landnutzungs-Verkehrs-Zusammenhänge am Beispiel US-amerikanischer Agglomerationsräume vorgestellt. Auch hier werden exogene Einflüsse (Wirtschaftslage, sektorale Gliederung, politische Rahmenbedingungen) vom Anwender zugeführt. Das Modell besteht aus mehreren Modulen für die ökonomischen und demographischen Veränderungen, für die Mobilität sowie die Standortwahl von Unternehmen und Haushalten und den Immobilienmarkt. Im Gegensatz zur Arbeit von MILLER et al. (2004) wird die Funktionsweise der einzelnen Module mittels Gleichungen und einfacher Algorithmen angegeben. Zusätzlich hat der Anwender die Möglichkeit, exogene Ereignisse, wie Änderungen der politischen Rahmenbedingungen oder Ansiedlung eines größeren Unternehmens, dem Modell zuzuführen. Ergebnisse der Simulation werden in der Arbeit nicht vorgestellt.

Für einen deutschen Untersuchungsraum (Stadt Dortmund und umliegende Gemeinden) simuliert das ILUMASS-Modell die Wechselwirkungen zwischen Flächennutzung und Verkehr (STRAUCH 2003). Es besteht aus vier integrierten Teilmodulen für die Organisation der Flächennutzung, die Verkehrsnachfrage, den Verkehrsablauf und die Raum- und Umweltwirkungen des Verkehrs (ebd.: 123), die ihre Zustandsinformationen untereinander austauschen. Damit gehört das vorgestellte Modell zur Familie der so genannten LTE-Modelle (Land Use, Transportation, Environment). Die einzelnen Module werden nicht im Detail vorgestellt, stattdessen wird auf vorhandene Komponenten oder „state-of-the-art“-Modelle verwiesen. Als Datengrundlage dient eine disaggregierte, synthetische Bevölkerung, „deren statistische Eigenschaften denen der realen Bevölkerung gleichen“ (ebd.: 127), als räumliche Auflösung wurden 207.000 Rasterzellen mit einer Kantenlänge von 100 Metern gewählt. Die Verkehrsnachfrage wird auf Basis von nach Personengruppen (Schüler, Erwerbstätige, etc.) klassifizierten Mobilitätstagebüchern modelliert. Ergebnisse werden nicht vorgestellt.

PARKER et al. (2003) liefern einen umfangreichen Überblick über aktuelle Anwendungen von Multiagentensystemen für die Modellierung von Landnutzungsänderungen. Dabei reicht die Bandbreite der Anwendungsgebiete von der Diffusion von Technologien in der Landwirtschaft, über die Auswirkungen von Land- und Forstwirtschaft auf Entwaldung v.a. in ökologisch sensiblen Räumen bis zu Studien über die Veränderungen von bebauten Flächen in Städten und innerstädtischer Migration (ebd.: 319) und sind in großer Zahl vorhanden. Die Autoren nehmen eine Gliederung solcher Modellierungen nach deren Ansätzen vor und unterscheiden dabei:

- Gleichungsbasierte Modelle, deren Gleichungssysteme zumeist auf Gleichgewichtsannahmen beruhen, wie einem gleichmäßigen Bevölkerungswachstum oder ähnliches. Ein Nachteil dieser Modelle ist, dass für ihre Gültigkeit stets eine numerische oder analytische Lösung der Gleichungssysteme erreicht werden muss, was den Grad der Komplexität solcher Modelle deutlich einschränkt.
- Systemmodelle, deren Gegenstand die Mengenflüsse zwischen den Modelleinheiten sind. Alle diese Flüsse müssen dabei quantifizierbar sein. Räumliche Aspekte lassen sich nur schwer integrieren.
- Statistische Modellierungen, deren Vorteile v.a. in ihrer großen Akzeptanz, ihrer einfachen Anwendbarkeit und ihrer weit fortgeschrittenen Entwicklung liegen. Ohne theoretischen Rahmen laufen sie jedoch Gefahr, individuelle Entscheidungsprozesse und soziale Phänomene nicht ausreichend zu erfassen.
- Expertenmodelle, die, basierend auf dem Konzept der Expertensysteme, qualitative Informationen (die Beurteilung durch Experten) in quantitative Modelle einzubeziehen versuchen;
- Die „biologisch inspirierten“ Evolutionsmodelle, die, ähnlich Neuronalen Netzen, in einem Trainingsprozess Problemlösungen herbeiführen;
- Zellenmodelle, wie Zelluläre Automaten, für Zustandsänderungen räumlich fester und scharf abgegrenzter Einheiten, die von Übergangsregeln in Abhängigkeit ihrer eigenen früheren Zustände und der der Nachbarzellen gesteuert werden. Die flächenhafte Gestalt solcher Zellulären Automaten kommt der Anwendung für Landnutzungsmodellierung entgegen, ist aber nicht in der Lage, individuelle Entscheidungen, insbesondere von mobilen Ak-

teuren, abzubilden. Nicht immer sind Prozesse von Landnutzungsänderungen in Nachbarschaftsbeziehungen zu fassen.

- Agentenbasierte Modelle, die als einzige explizit menschliche Entscheidungen zum Modellierungsgegenstand erklären. Agenten sollen autonom entscheiden, also selbständig Ziele verfolgen können, jedoch in eine Umwelt eingebettet sein, die von den Agenten nach bestimmten Regeln wahrgenommen wird und auch eine Kommunikation sowie den Austausch von Informationen zwischen ihnen ermöglicht. Damit bietet sich die Möglichkeit, neben rationalen auch hedonistische oder rekursive (d.h. von den Aktionen anderer Agenten abhängige) Entscheidungskomponenten einzubeziehen.
- Hybridmodelle aus beliebigen Kombinationen der vorgenannten Modelle. In Landnutzungsmodellen werden dafür häufig Zelluläre Automaten als Repräsentation der Nutzungsflächen verwendet, die Akteure aber als Agenten modelliert.

Nach der Aufzählung einiger Anwendungsbeispiele halten die Autoren ein Plädoyer für den Einsatz von Multiagentensystemen bei Landnutzungsmodellierungen. Ihrer Meinung nach bringen MAS besonders ihre Fähigkeit ein, „komplexe Systeme“ abzubilden, die „am Rand des Chaos“ anzusiedeln sind und sich durch räumliche und temporale Interdependenzen, Heterogenität und verschachtelte Hierarchien unter den Agenten sowie zwischen ihnen und der Umwelt auszeichnen (ebd.: 321). Über das Konzept der Emergenz stellen MAS auch die Verbindung zwischen Mikro- und Makroebene her, woran nicht nur Modellierer von Landnutzungsänderungen besonders interessiert sind. Darüber hinaus bieten sie die Möglichkeit, zeitliche Dynamiken ohne zusätzliche Gleichgewichts- oder Stetigkeitsannahmen abzubilden. Die Modellierung von Anpassungsleistungen und von Pfadabhängigkeiten ist damit ebenso durchführbar. Zum Abschluss geben die Autoren einen Ausblick auf die Potenziale des Multiagentenansatzes, besonders in ihrem speziellen Arbeitsgebiet der Landnutzungsmodelle.

Eine Anwendung von agentenbasierten Modellen für Landnutzungsänderungen stellen LOIBL & PETERS-ANDERS (2003) vor. Sie richten ihr Augenmerk auf „jene Prozesse, die eine Mensch-Umwelt-Reaktion als Basis haben“ (ebd.: 90). In zwei getrennten Modellen untersuchen die Autoren, wie sie es nennen, Landschaftsveränderungen in suburbanen und ländlichen Räumen. Zu diesem Zweck werden Nutzungsänderungen von Rasterzellen als Resultate von Entscheidungen involvierter Akteure modelliert (ebd.: 97). In der Suburbanisierungssimulation (am Beispiel der Region Wien) erfolgt die Standortwahl der Agenten in zwei Schritten: Zunächst wird eine Zielgemeinde ausgewählt, deren Attraktivität sich aus der Fahrzeit zum Agglomerationszentrum, der Landschaftsattraktivität (operationalisiert durch den Waldanteil der Gemeinde), ihrem Dienstleistungsangebot und ihrer Baulandreserven berechnet (ebd.: 101). Zu bemerken ist, dass Waldanteil und Baulandreserve einer Gemeinde in Rückkopplung von der Zuwanderung abhängig sind, so dass hier die Möglichkeit von Veränderungen der Migrationsströme zur Laufzeit der Simulation besteht. Zur Bewertung besitzen die Agenten zusätzlich Präferenzen für diese Kriterien in Abhängigkeit ihrer sozioökonomischen Position, die wiederum am Bildungsstand festgemacht wird. Im zweiten Schritt wählen die Agenten eine Zielzelle innerhalb der Gemeinde. Die Agenten wandern dabei durch die Raumzellen der Gemeinde, vergleichen deren Eigenschaften, gewichtet mit ihren eigenen Präferenzen, miteinander und wählen schließlich diejenige mit der maximalen Attraktivität. Das Modell wird auf zwei räumlichen Ebenen validiert: Auf „regionaler“ Ebene werden für jede Gemeinde die Zahl der simulierten mit den realen Nutzungsänderungen im Zeitraum von 1968-1999 verglichen, auf lokaler Ebene können die beobachteten und simulierten Rasterkarten gegenübergestellt werden. Beide Analysen zeigten gute Übereinstimmungen.

Zwei im Ansatz recht ähnliche Arbeiten zur innerstädtischen Migration stellen die von BENENSON (1999) und TORRENS (2001) dar. Ersterer gibt zunächst einen disziplinhistorischen Überblick über Modelle „städtischer Dynamik“ und stellt dabei Makro- und Mikroansätze gegenüber. Bei den Makromodellen unterscheidet er zwischen solchen, die auf Analogieschlüssen zu ökologischen Systemen beruhen, da sie Interaktionen zwischen Bevölkerungsgruppen und „anderen urbanen Komponenten“ (ebd.: 151) zum Gegenstand haben. Die zweite Familie von Makromodellen, die in der Arbeit Aufmerksamkeit erhält, ist die der „regionalen Modelle“, die Raumparameter explizit einbezogen und somit erstmals zwischen Eigenschaften des Raums und der Bevölkerung unterscheiden konnten. Grundlegende Arbeiten konnten modellhafte Zusammenhänge zwischen Arbeitsplätzen, Infrastruktur und Bevölkerungsdynamik in Städten bestätigen. Die Repräsentation des Raumes erfolgte dabei als „Zonen“, einer Vorstufe zum Konzept der Zellularen Automaten⁵. Dafür war jedoch eine Umkehr der Perspektive von einer Modellierung ‚von oben‘ (‚top-down‘) zu einer ‚von unten‘ (‚bottom-up‘) notwendig. Der Raum wird nun durch Zellen repräsentiert, die sich jeweils in einem aus einer endlichen Menge von Zuständen befinden und diesen in Abhängigkeit ihres eigenen und der Zustände ihrer direkten Nachbarn in diskreten Zeitschritten ändern (ebd.: 154). Mikromodelle einer urbanen Gesellschaft entstehen jedoch erst, wenn Entscheidungen und Aktionen von Individuen einbezogen werden. Dafür eignet sich der Multiagentenansatz besonders, da er auf die Betrachtung individueller Entscheidungen übergeht. Ist der Betrachtungsgegenstand die innerstädtische Migration, sind Wohnstandortwahlen von – als Agenten modellierten – Individuen relevant. Ausgestattet mit entsprechenden Verhaltensregeln, können Prozesse ökonomischer und kultureller Segregation nachgebildet werden. Sind die Agenten zusätzlich in der Lage, ihre Zustände zu ändern, kann die Herausbildung neuer soziokultureller Gruppen nachvollzogen werden.

BENENSON (1999) stellt ein solches Modell vor, das innerstädtische Migration zunächst als ökonomischen Austauschprozess zwischen Individuen versteht. Die Entscheidung des Agenten, den Wohnstandort zu wechseln, wird durch einen Vergleich des eigenen ökonomischen Status mit dem seiner Nachbarn induziert. Ein neuer Wohnstandort wird unter Minimierung ökonomischer Unterschiede zu den neuen Nachbarn gesucht. Ein „Gleichgewicht“ ökonomischer Segregation stellt sich bei der Simulation relativ schnell ein (ebd.: 159). In ähnlicher Weise lassen sich kulturelle Segregationsprozesse simulieren, wenn die Agenten ethnisch-kulturelle Merkmale erhalten und auf eine entsprechende Homogenität ihres Wohnumfeldes bedacht sind. Hier wird zusätzlich die Möglichkeit betrachtet, außer durch Umzug durch Anpassung der kulturellen Identität, also durch einen Assimilationsprozess, die „kulturelle Spannung“ zwischen einem Agenten und seinen Nachbarn zu verringern (ebd.: 163). Abschließend thematisiert der Autor die Schwierigkeiten bei der Wahl der zeitlichen und räumlichen Auflösung solcher Modelle. Während der Anwender bei der räumlichen Auflösung meist auf die Verwendung administrativ-statistischer Einheiten (z.B. Zählbezirke) angewiesen ist, kann er die zeitliche Auflösung für seinen Modellierungsgegenstand geeignet wählen. Problematisch wird diese Entscheidung jedoch, wenn die modellierten Prozesse unterschiedliche zeitliche Dynamiken zeigen, und so unterschiedliche „Zeitmaßstäbe“ zu betrachten sind (ebd.: 168).

Um innerstädtische Migration geht es auch in der Arbeit von TORRENS (2001). Der Beitrag behandelt den Versuch, Makro- und Mikrosimulationsmodelle am Beispiel der Wohnmobilität im urbanen Raum zusammenzuführen. Beide Formen der Simulation sollen sich dabei ergänzen („feed back“). Der Autor beginnt mit einer Darstellung der Stärken und Schwächen von Makromodellen. Ihre Entstehung beruhe auf der historisch eingeschränkten Datenverfügbarkeit (räumliche und temporale Auflösung) und Rechnerleistung. Je besser beides wird, desto hinfalliger werden Makroansätze, und desto mehr Möglichkeiten bieten Modelle auf der Mikroebene. Als Schwächen der Makromodelle werden ihr zentralistischer Ansatz, die Vernachlässigung von Dynamik, ihre geringe Detailtreue,

mangelnde Flexibilität und mangelnder Realismus angeführt: Sie stellen die Realität als ein Ganzes dar, anstatt sie als Summe von Teilphänomenen zu begreifen. Geosimulationen bieten eben diese Funktionalität: Aus dem mit wenigen Regeln versehenen Individualverhalten entstehen regelhafte Raummuster auf der Makroebene, die sich sogar ohne Eingriff von außen mit der Zeit verändern können. In Kap. 3.4 (ebd.: 14) kommen dann die Entstehung, Definition und Merkmale von Zellularen Automaten und Multiagentensystemen zur Sprache.

Weil in Städten oft individuelle Entscheidungen und externe Makroeffekte (z.B. Planungsrestriktionen, ökonomische Rahmenbedingungen) zusammenwirken, wird die Verwendung von Hybridmodellen vorgeschlagen: Darin werden Individuen als Agenten, Orte als Zellulare Automaten und Außenbedingungen mit räumlich nicht differenzierten Makroansätzen modelliert. Als Beispiel dient ein Modell der Wohnortwahl, in dem Anbieter und Nachfrager des Immobilienmarktes durch Agenten und die Standorte durch Zellulare Automaten repräsentiert werden. Alle potenziellen Wohnstandorte, die in die Budgetgrenzen eines Agenten fallen, kommen in dessen Vorauswahl. Außerdem besitzen die Agenten soziale Präferenzen: Jedem wird als Kennzeichnung der sozialen Gruppe eine von drei Farben zugewiesen, wobei jede Gruppe andere Toleranzschwellen gegenüber den jeweils anderen besitzt: Im Entscheidungsprozess betrachten die Agenten also auch die bereits besetzten Raumzellen in der Umgebung ihrer potenziellen neuen Wohnung.

Stellvertretend für eine größere Anzahl von Arbeiten über die Anwendung von Multiagentensimulationen im Verkehrsbereich sei hier die von RANEY et al. (2003) zusammengefasst. Sie hat die Simulation der Verkehrsmittel und Routenwahl der gesamten Schweizer Bevölkerung zum Gegenstand und besteht aus mehreren Modulen (ebd.: 25): Die Agenten planen ihre Aktivitäten für einen Tag und wählen unter Minimierung der erwarteten Fahrzeit Verkehrsmittel und Route, um zu den Standorten dieser Aktivitäten zu gelangen. Allerdings wird angenommen, dass nur 90% der Agenten die optimale Route wählen. Im Simulationsmodul führen die Agenten diese Aktivitäten schließlich aus. Ein interessanter Aspekt ist die an dieser Stelle eingebaute Möglichkeit eines „feed back“, das etwa erlaubt, die erwarteten Reisezeiten der Routen zu verändern, wenn diese durch mehr Agenten als zulässig benutzt wurden, und es so zu einem „Stau“ kam. Sollte nach dieser Neukalkulation eine andere Route besser bewertet sein, wird in Zukunft diese gewählt, um zum Ziel zu gelangen, wobei angenommen wird, dass nur 10% der Agenten tatsächlich eine andere Route wählen. Leider sind diese Routenänderungen bislang nur nach und nicht während der Fahrt möglich.

In der vorgestellten Version beschränkt sich die Simulation noch auf den motorisierten Individualverkehr und nimmt keine Unterscheidung nach Fahrtzwecken vor. Die Autoren haben ihr erstes Ziel, ca. 10 Millionen Fahrten gleichzeitig zu simulieren, erreicht, insgesamt befand sich das Modell aber noch in der Aufbauphase. Neben der Unterscheidung von Fahrtzwecken und Verkehrsmitteln soll auch die Wahl von nicht optimalen Routen besser integriert werden, um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass den Agenten vielleicht nicht alle möglichen Routen bekannt sind. Valide suboptimale Routen automatisch zu generieren, stellt dabei eine nicht zu unterschätzende Herausforderung dar. Um dem Stau zu entgehen, sollen die Agenten neben der Routenänderung während der Fahrt auch die Möglichkeit erhalten, Aktivitäten auf andere Tageszeiten mit weniger Verkehrsbelastung zu verlegen.

Da als Ausgangsdaten kleinräumige Verkehrsmengendaten verwendet wurden, schließt sich ein Vergleich mit diesen zur Validierung der Simulationsergebnisse an. Jedoch konnten automatische Fahrzeugzählungen an ausgewählten Straßen zum Vergleich herangezogen werden. Die Aufkommensschätzungen der Simulation lagen dabei zwischen halb und doppelt so hoch wie die Zählwerte.

1.2.2 Konsumentenentscheidungen

Da sich diese Arbeit mit der Anwendung von Multiagentensimulationen im Konsumentenverhalten beschäftigt, werden an dieser Stelle einige Vorarbeiten in genau diesem Kontext besprochen. Teile dieses Kapitels sind RAUH et al. (2006) entnommen.

Eine der ersten Realisationen war die Simulation der Einkaufsstättenwahl von Einwohnern der Gemeinde Bad Münstereifel (KOCH 2000). Erkenntnisse aus einer Haushaltsbefragung nutzend, wurde das Versorgungsverhalten von 11 als Agenten modellierten Konsumenten mit Gütern unterschiedlicher Bedarfsstufen anhand der Angebotssituation in Bad Münstereifel simuliert. Die Einkaufsfahrten der Agenten beginnen und enden dabei am Wohnort, können jedoch mehrere Ziele kombinieren. Bei jedem Kauf geht ein Teil des Ladeninventars (10%) in den Besitz des Agenten über und kann konsumiert werden. Wenn der Vorrat erschöpft ist, erkennt der Agent erneut den Bedarf einer Einkaufsfahrt. Dazu betrachten die Agenten zunächst geeignete Geschäfte in ihrer Umgebung und wählen dann eines für den Einkauf aus, das ihren von ihren Haushaltseigenschaften abhängigen persönlichen Präferenzen entspricht. Diese erste Agentensimulation von Konsumentenverhalten weist jedoch noch eine Reihe von Defiziten auf. Da sind zuerst einmal unnötige und auch unbegründete Restriktionen zu nennen, etwa die, dass ein Geschäft nur jeweils von einem Agenten zeitgleich aufgesucht werden darf. Sie hat direkten Einfluss auf das Simulationsergebnis, denn sie führt auch für niedrigere Bedarfsstufen zu einer starken Orientierung der Einkaufsfahrten auf den Zentralen Ort Bad Münstereifel, in dem ein breiteres Angebot zur Verfügung steht. Auch die Interpretation der Ergebnisse wird nicht konsequent zu Ende geführt. Zwar wird recht ausführlich auf das beobachtete Kopplungsverhalten der Agenten eingegangen, ob jedoch die Bedarfserkennung für Güter unterschiedlicher Fristigkeit zu einer bestimmten Simulationszeit zusammenfällt, hängt ganz wesentlich von der angenommenen Konsumptionsrate ab, über die aber keine näheren Angaben gemacht werden. Der Zusammenhang zum Kopplungsverhalten wird nicht thematisiert. Ebenso unterbleiben ein Realitätsvergleich und eine Validierung des Modells. Die als Ausgangsdaten genutzte Befragung hätte hier eine naheliegende Gelegenheit dazu geboten.

Aus einer etwas anderen Perspektive nähern sich FOX, MONTGOMERY & LODISH (2004) der Thematik. Sie vergleichen Muster des Einkaufsverhaltens nach Betriebsformaten, insbesondere Lebensmittelsupermärkte, Discounter und Drug Stores in USA. Die Autoren stellen fest, dass Sortiment und Werbung eher das Einkaufsverhalten beeinflussen als das Preisniveau, und dass Konsumenten, die viel (bzgl. des Geldwertes) im Discounter kaufen, auch bei anderen Formaten viel kaufen, woraus gefolgert wird, dass Discounter die klassischen Lebensmittel-Märkte nicht ersetzen können und beide somit nur untereinander und nicht mit anderen Formaten in Konkurrenz stehen. Besonders wird auf die Wirkung von Werbung hingewiesen: Konsumenten, die auf Werbung reagieren, tun dies stets und ohne Rücksicht auf Preisniveau oder Sortiment des Geschäftes (ebd.: S55).

Im empirischen Teil wird in einem Mikromodell das Einkaufsverhalten von 96 Haushalten simuliert, deren demographische Daten aus einem kommerziellen Panel stammen. Obwohl es sich dabei nicht um eine Agenten-, sondern um eine Monte-Carlo-Simulation handelt, ist das Modell individuenbasiert und soll deshalb hier besprochen werden. Die Haushalte entscheiden sich zuerst für ein Betriebsformat (Regressionsgleichung aus Zahl der tatsächlichen Besuche in den letzten 24 Monaten) und anschließend für einen Ausgabebetrag sowie für ihre Loyalität zu dem besuchten Geschäft anhand ihrer Präferenzen, abhängig von einem Vektor der Haushaltsattribute (mit: Größe, Einkommen, Grundbesitz, erwerbstätige Frau, Bildung, Anzahl Kinder unter 6; ebd.: S33). Als Entscheidungskrite-

rien formieren Produktpreise, Werbung, Auswahl und Fahrtzeit zum Geschäft. Im Ergebnisteil werden zunächst die geschätzten Parameter für die Zusammenhänge zwischen Nachfrage- und Angebotsvariablen diskutiert. Der verbleibende Teil der Publikation widmet sich der Erklärung von Wettbewerb zwischen Betriebsformaten und innerhalb derselben, sowie Folgerungen aus der Untersuchung für das Management im Lebensmitteleinzelhandel.

RAUH & HESSE (2002) nutzten eine Multiagentensimulation, um die Anordnung von Geschäften in Shopping Centern zu optimieren. Als Basis diente wiederum eine Konsumentenbefragung, die Informationen zur „generellen Affinität unterschiedlicher Kundentypen zu bestimmten Geschäften oder zu Kopplungswahrscheinlichkeiten“ (ebd.: 12) lieferte. Diese werden den Agenten, den simulierten Kunden des Einkaufszentrums, als „Gedächtnis“ mitgegeben und bestimmen deren Handlungen. Zusätzlich nehmen die Agenten aber auch alle von ihrer Position im Einkaufszentrum sichtbaren Geschäfte wahr und haben damit die Möglichkeit, auf deren Anreize reagierend diese spontan zu betreten und dort Käufe zu tätigen. Solche Aktionsausführungen ändern dann den Zustand der Agenten und können ihre weiteren Aktionen beeinflussen. Die eigens dafür entwickelte Software bietet darüber hinaus die Möglichkeit, die Simulationsergebnisse am Bildschirm zu verfolgen. Für die Planung von Shopping Centern können so die Auswirkungen von Änderungen in der Anordnung der Geschäfte auf die Bewegungen der Konsumenten im Zentrum sehr anschaulich gemacht werden.

Zu den neuesten Arbeiten zählen u.a. die von ARENTZE & TIMMERMANS (2005a). Sie entwerfen ein Multi-Agenten-Modell des Konsumentenverhaltens, das neben strukturellen Parametern der Angebotsseite und der Distanz zum Angebotsort auch Öffnungszeiten als Teil des institutionellen Kontexts der Einkaufsstättenwahl berücksichtigt, und verlangen weiterhin die Integration von Kopplungen des Einkaufens mit anderen Aktivitäten in solche Modelle. ZHANG, TIMMERMANS & BORGERS (2005) machen sich die oben beschriebenen Eigenschaften der Multiagentensysteme in einem Modell zu nutze, das Einkaufsentscheidungen als Kooperation unter den Mitgliedern eines Haushalts auffasst. Selbst wenn nur eine Person den Einkauf tätigt, muss dennoch eine gemeinsame Entscheidung getroffen werden, etwa wenn es um die gemeinsame Nutzung von Ressourcen (z.B. ein Pkw) geht, oder zusätzliche Beschränkungen anderer Haushaltsmitglieder (z.B. Betreuung der Kinder während der Abwesenheit des Partners beim Einkaufen) zu berücksichtigen sind.

1.2.3 Weitere Verwendungen

Neben den bisher besprochenen gibt es noch weitere Verwendungen von Multiagentensimulationen für Problemstellungen mit räumlicher Komponente⁶. So beschäftigen sich etwa BATTY & JIANG (2000) mit der Nutzung von MAS zu einer explorativen Form der Routenwahl. In der einfachsten Form besteht der Raum dabei aus einer Fläche mit Hindernissen. Jeder Agent besitzt zu Beginn eine Startposition und eine Laufrichtung und beginnt, sich in diese zu bewegen. Trifft er auf ein Hindernis, ändert er seine Laufrichtung. Wird dem Agenten zusätzlich eine Zielposition mitgegeben, erreicht man, dass der Agent nach Umrundung des Hindernisses wieder darauf zustrebt. In einem Straßennetz sind die Hindernisse (z.B. Häuserblocks) typischerweise flächenmäßig größer als die Freiflächen. Ob die Agenten nun zu ihrem Ziel finden, hängt stark von der lokalen Konfiguration ab, denn sie könnten auf dem Weg in Sackgassen „stecken bleiben“. Die kann nur verhindert werden, indem man die Toleranz gegenüber nicht auf das Ziel gerichteten Laufrichtungen senkt, d.h. dem Agenten erlaubt, sich für eine bestimmte Zeit vom Ziel wegzubewegen (ebd.: 60).

Mit dieser Form der Raumexploration können mit MAS in einem Netzwerk gültige Wege von einer Start- zu einer Zielposition gefunden werden, die aber nicht unbedingt die kürzest möglichen sein müssen, bzw. im Allgemeinen nicht sind. Der klassische Algorithmus zum Finden kürzester Wege von Dijkstra kann jedoch in dichten Graphen⁷ einen hohen Aufwand bedeuten, da er von einer gegebenen Startposition die kürzesten Wege zu allen möglichen Zielpositionen berechnet. Wieder bieten MAS hier eine Lösung an, besonders wenn zu Beginn die Längen der Kanten im Graphen (noch) nicht bekannt sind. Dazu wird vom Startknoten aus auf jede inzidente Kante ein Agent geschickt, der zum nächsten Knoten wandert und dabei die zurückgelegte Distanz speichert. Erreicht ein Agent einen Knoten, und ist er der erste dort, so hat er den kürzesten Weg zu diesem Knoten gefunden. Erreichen zwei Agenten einen Knoten gleichzeitig, gilt dasselbe für denjenigen Agenten mit der niedrigeren bisher zurückgelegten Distanz. Der Algorithmus startet nun erneut unter Fortlassung der bereits durchlaufenen Kanten.

Eine ähnliche Aufgabe, jedoch von erweiterter Größenordnung, ist die Simulation von Fußgängerpfaden und –strömen in Straßennetzwerken oder Gebäuden. Ein Beispiel hierfür stammt ebenfalls von BATTY (2003b: 21-25). Er simuliert mit einem Multiagentenansatz die Bewegungen von Besuchern in der Tate Gallery in London mit dem Ziel der Vorhersage der Frequentierung einzelner Ausstellungsräume (ebd.: 24). Die Entstehung von Trampelpfaden ist ein ähnliches Anwendungsgebiet, mit dem Unterschied, dass die Umgebung sich durch die Bewegung der Agenten verändert, und die Agenten bei ihrer Routenwahl die vorherigen Entscheidungen anderer Agenten einbeziehen.

Dass in der Geographie angewandte Agentensimulationen nicht immer etwas mit Menschen und deren Handlungen zu tun haben müssen, zeigt der Beitrag von GALANDA & WEIBEL (2003). Sie verwenden den Ansatz zur vollautomatischen Generalisierung von Polygonmosaiken in thematischen Karten. Dazu werden verschiedene Agentenklassen angelegt, die entweder einzelne Polygone, Gruppen von Polygonen, die gemeinsame räumliche oder semantische Eigenschaften besitzen, oder räumliche Partitionen repräsentieren. Anschließend werden „Generalisierungsbedingungen“ formuliert, die für das Auffinden und Lösen von Generalisierungskonflikten sowie für die Bestimmung der Qualität einer Generalisierungslösung benötigt werden. Diese Qualität wird in Bezug auf vorher festgelegte Maße (z.B.: Kein Polygon darf kleiner als 4 mm² sein) gemessen. Aus dem Erfüllungsgrad dieser Bedingungen wird eine „Zufriedenheit“ eines Kartenobjekts mit seiner Generalisierung abgeleitet. Ist diese zu niedrig, wenden die Agenten ebenfalls vorher definierte Strategien („Pläne“) an, um diesem Ziel näher zu kommen, etwa in dem sie sich mit anderen Polygonen mit vergleichbaren räumlichen (in Bezug auf die Topologie) und semantischen Merkmalen vereinigen. Während des gesamten Generalisierungsprozesses wird die Konsistenz der geometrischen, topologischen und semantischen Information des bearbeiteten Kartenausschnitts überwacht und gewährleistet.

1.3 Gliederung der Arbeit

Nach diesem einführenden Kapitel wird zunächst der theoretische Bezugsrahmen der Arbeit abzustecken sein (Kapitel 2), bevor noch einmal genauer aus eher technischer Perspektive auf Simulationen in den Sozialwissenschaften eingegangen wird (Kapitel 3). Der empirische Teil beginnt mit der Vorstellung des Untersuchungsgebiets und der Datenbeschreibung (Kapitel 4) und wird mit der Darstellung des Modellentwurfs für die konkrete Fragestellung fortgeführt (Kapitel 5). Dem besonderen Teilziel des Forschungsprojekts, Modellentwürfe und Simulationen auf verschiedenen Aggregatsebenen miteinander zu vergleichen, wird ein eigenes Kapitel 6 gewidmet sein. Kapitel 7 schildert einige weitere Experimente mit dem Simulationsmodell, die teilweise in dem Projekt assoziierten Abschlussarbeiten durchgeführt wurden. Die Arbeit schließt mit einem Ausblick auf offene Forschungsfragen und einigen Vorschlägen für zukünftige Entwicklungen im Kapitel 8.

2 RÄUMLICHE ABBILDER MENSCHLICHEN HANDELNS

Als theoretische Fundierung für diese Arbeit werden drei Perspektiven eingenommen. Zunächst geht es darum, auf welche Weise Menschen Entscheidungen treffen. Die Disziplingeschichte der sozialwissenschaftlich ausgerichteten Teilbereiche der Geographie wurde in den vergangenen Jahrzehnten von unterschiedlichen, teils konträren Ansichten dominiert, die wechselweise Außenbestimmtheit und Autonomie des entscheidenden Menschen in den Vordergrund stellten. Diesen wird sich der folgende Abschnitt (2.1) widmen. Ein Raumbezug ist in dieser Diskussion zunächst nicht zwingend erforderlich, auf diesen wird erst im Kapitel 2.2 ein stärkeres Augenmerk gerichtet. Im letzten Abschnitt (2.3) wird schließlich eine theoretische Annäherung an die Entscheidungen von Konsumenten vorgenommen.

2.1 Verhalten, Handeln, Entscheiden

Betrachtet man Theoriebildungen in der Wissenschaft allgemein und in der Geographie im Besonderen, so scheint es oft nützlich, sie in einen disziplinhistorischen Kontext zu stellen. Nicht selten entstanden Anstöße zu neuen theoretischen Gedankengebäuden aus der Kritik und der Diskussion vergangener Entwicklungen. Die Geographie hat dabei den Fokus des Interesses in großen Pendelbewegungen zwischen universalen Regelhaftigkeiten und regionalen bzw. lokalen Spezifika, zwischen Statik und Prozess, zwischen der Betrachtung von Gesellschaften und Gruppen und der von Individuen verschoben. Die Teildisziplin der Wirtschaftsgeographie etwa, die sich zur Länderkunde-Zeit den spezifischen wirtschaftlichen Strukturen eines Landes widmete, öffnete sich nach zu Beginn der 1960er Jahre der Ökonomie und entdeckte die Regelhaftigkeiten räumlichen Wirtschaftens, die als ökonomisches Äquivalent zu den Naturgesetzen und oft genug in enger Anlehnung an diese für universal gültig angesehen wurden. Diese Universalität bietet natürlich ebenso Angriffsflächen für Kritik, so dass in jüngerer Zeit, etwa unter der Bezeichnung der Relationalen Wirtschaftsgeographie, wieder den lokalen und regionalen Spezifika, wenn auch mit völlig anderen Vorzeichen und Intentionen, mehr Aufmerksamkeit zuteil wird.

Die Sozialgeographie der letzten 40 Jahre hat einen ähnlich wechselvollen Weg hinter sich. Aus dem Wunsch heraus, sich von einer „morphogenetisch orientierten Kulturlandschaftsforschung“ zu lösen und sich stärker „funktionalen Fragestellungen“ zuzuwenden und dabei das Interesse von der räumlichen Verteilung einer Bevölkerung auf die Entscheidungen, die zu dieser geführt haben (THOMALE 1974: 9f) zu verschieben, entstand eine verhaltensorientierte Geographie, die „Verhalten [...] nicht nur (sic!) als ziel- oder zweckbestimmtes bewusstes Handeln“ auffasst, sondern „als Summe aller Reaktionen eines Individuums oder einer Gruppe“, also auch diejenigen, „deren man sich nicht bewusst ist und die man nicht als zielgerichtet oder zweckmäßig betrachten kann“ (WIESSNER: 1978: 420). Offensichtlich – und dem wird im folgenden Kapitel noch nachgegangen werden – hat man sich jedoch viel stärker dem reaktiven Verhalten zugewandt, so dass WERLEN (1987) kritisieren konnte, „dass es zusätzlich zu dem in den kognitiven Verhaltenstheorien berücksichtigten Aspekt der Reflexivität auch die Intentionalität als konstitutives Element zu berücksichtigen gilt“. Und weiter: „Aus der Perspektive der Handlungstheorie kommt bloßem Verhalten (physiologische und biologische Reflexe) sozialwissenschaftlich keine beachtenswerte Bedeutung zu“ (ebd.: 12). Handeln als nicht deterministischer Akt setzt jedoch auch eine gewisse Freiheit voraus, was WERLEN in den Augen seiner Kritiker in nicht genügender Weise thematisiert hat: Zumindest variere die Autonomie des handelnden Subjekts „nach beruflichen Positionen, Lebenszyklen, Lokalitäten und Kulturen“ (MEUSBURGER 1999: 96). WERLEN (1999) entgegnet zwar, dass mit „der Betonung der Entscheidungsfähigkeit nicht behauptet [wird], dass gleichzeitig beim Entscheiden eine unbegrenzte Freiheit zur Disposition stehe. Vielmehr ist jede Art von Entscheidung immer in höchst unterschiedliche Vermögensgrade der Gestaltbarkeit eingebettet“ (ebd.: 259), dennoch ist hier ein zentraler Knackpunkt der handlungszentrierten Sichtweise angesprochen. Es stellt sich also die Frage, wie die institutionellen Beschränkungen, die den „Möglichkeitsraum“ (SCHAMP 2003: 150) für individuelles Handeln aufspannen, mit den handlungsorientierten Ansätzen verknüpft werden können. Diese Stadien der Entwicklung unserer Forschungsdisziplin werden nun im Folgenden näher beleuchtet.

2.1.1 Verhaltensorientierte Geographie

In der anglophonen Literatur wird die Trennung in ‚Verhalten‘ und ‚Handeln‘ weniger scharf vorgenommen. RUSHTON (1969) unterscheidet beispielsweise zwischen dem „*behaviour in space*“, der statistischen Beschreibung von Aktivitätsmustern im Raum, und dem „*spatial behaviour*“, der Untersuchung der Entscheidungsprozesse, die räumlichem Verhalten zu Grunde liegen. THOMALE (1974: 14) hat dies mit der Unterscheidung von „Verhalten im Raum“, der Rekonstruktion der Prozessabläufe, und „Verhalten gegenüber dem Raum“, der Untersuchung der Prozessgenese, in die deutsche Sprache übertragen. Dennoch wird jegliche Form des Entscheidens, ob reaktiv oder intentional, als Verhalten (*behaviour*) bezeichnet, und die Integration aller Entscheidungsprozesse immer wieder betont: „*The full spectrum, from sub-conscious impulse to self-conscious deliberation, is of concern to the behaviouralist.*“ (GOLD 1980: 4)

Mit der verhaltensorientierten Geographie gelang der Disziplin gegen Ende der 1960er Jahre die Loslösung von der Suche nach Strukturen, nach statischer Existenz, womit auch Interaktionsmuster gemeint sein können. Die Perspektive wandelte sich von der Untersuchung der „Form“ zur Untersuchung des „Prozesses“ (GOLLEDGE & STIMSON 1987: 2). Damit wechselt der Erklärungsansatz für menschliches Verhalten von der Suche nach Korrelationen mit der Raumstruktur auf die Unterstellung zielgerichteten Verhaltens. Raumstrukturen sind also nicht Ursache, sondern Resultat des Entscheidungsverhaltens von Individuen, Gruppen und Institutionen (ebd.: 5, 6). Anders ausgedrückt hat sich dadurch die Sichtweise von Mensch-Umwelt-Beziehungen radikal gewandelt: Während die

Geographie in der Zeit davor untersucht hat, wie die physische Umwelt die Aktivitäten des Menschen beeinflusst, waren nunmehr auch die Auswirkungen menschlicher Entscheidungen auf diese Umwelt von Interesse. Von jetzt an ging es also um die Wechselwirkungen zwischen Mensch und Umwelt, wobei die Wirkungen der Umwelt auf die menschlichen Aktivitäten aus der Klammer des Determinismus zu lösen waren. Dies versprach man sich von der Trennung der realen (objektiven) und der wahrgenommenen (subjektiven) Umwelt. Die nur auszugsweise wahrgenommene Umwelt wird so dann interpretiert und bildet danach eine Entscheidungsgrundlage. Damit ist natürlich das Konzept des *homo oeconomicus*, der in vollständiger Information über alle Alternativen unter Maximierung seines Nutzens entscheidet, aus Sicht der Behavioristen zumindest theoretisch gegenstandslos geworden. Man gelangte zu der Ansicht, dass Menschen nicht objektiv optimal, sondern lediglich subjektiv rational, das heißt innerhalb der Grenzen ihres Kenntnisstandes (*bounded rationality*), entscheiden. Vielfach wird in diesem Zusammenhang das Menschenbild eines „*optimisers*“ durch das eines „*satisficers*“ ersetzt (ebd.: 3), der nicht die Alternative mit dem objektiv maximalen Nutzen wählt, jedoch eine solche, die seine Anforderungen an Zufriedenheit erfüllt, jedenfalls insoweit der Entscheider die Situation zu überblicken vermag.

Notwendigerweise musste die Geographie für diesen Schritt einige Anleihen in der Psychologie machen. Auch die Psychologie hat ähnliche Perspektivenwechsel vorgenommen und sich in deren Verlauf teils stärker massenhaftem Verhalten oder geistigen Prozessen des Individuums zugewendet. Einer der Ausgangspunkte, über die das ‚Verhalten‘ in die Psychologie gefunden hat, ist die Schule des Funktionalismus. Diese war wiederum von den Evolutionstheorien von Charles Darwin inspiriert und sah menschliches Verhalten vor allem als Anpassungsprozess an die Umwelt. Der menschliche Geist ist nach der Auffassung der Funktionalisten damit beschäftigt, Umweltreize aufzunehmen, zu verarbeiten und auf sie zu reagieren, mit dem Ziel, sich ihr besser anzupassen. Verhalten besteht demnach aus einem „kontinuierlichen Prozess“ von funktionalen Zusammenhängen zwischen Umweltereignissen und Verhaltensabfolgen. Noch stärker auf die Erforschung von Reiz-Reaktions-Systemen hat sich die Schule des Behaviorismus konzentriert. Sie sah alle menschlichen Handlungen als Reaktion auf externe Reize und wollte damit die Psychologie als exakte Naturwissenschaft etablieren. In ihrer Hochzeit zu Beginn des 20. Jahrhunderts entstanden diese Ideen zeitgleich mit denen des Umweltdeterminismus in der Geographie, der Massengesellschaft in der Soziologie oder des *homo oeconomicus* in den Wirtschaftswissenschaften und entsprachen damit dem wissenschaftlichen Zeitgeist. Allerdings wurde kritisiert, dass viele ihrer Erkenntnisse aus der Verhaltensforschung mit Tieren stammten, die auf das menschliche Verhalten interpretativ übertragen wurden. Dies gelang natürlich nur unter der weitgehenden Ausklammerung von Willensentscheidungen, sozialen und kulturellen Einflüssen, kurzum all der Dinge, die im landläufigen Sinne Menschen von Tieren unterscheiden. Die Gestaltpsychologie versuchte, dafür einen alternativen Ansatz zu entwerfen und die mentalen Prozesse des Einzelnen wieder stärker ins Blickfeld zu rücken. Sie argumentierte, dass zwischen Reiz und Reaktion ein Wahrnehmungsprozess anzusiedeln sei, der aufgrund angeborener Fähigkeiten Umweltreize in stimmige Muster (Gestalten) anordnet (GOLD 1980: 7-13).

Als Brücke zur verhaltensorientierten Geographie dient vielleicht am besten das Konzept der Umweltpsychologie. Beide haben gemeinsam, sich mit der Umwelt, die durch menschliche Aktivitäten definiert und geordnet wird, zu beschäftigen, und sie beziehen den Menschen explizit als Untersuchungsgegenstand mit ein. Die Umweltpsychologie erweitert ihre Mutterdisziplin, indem sie nur in reale Umwelten eingebettete Verhaltensprozesse untersucht (ebd.: 15). Mensch und sowohl physische als auch soziokulturelle Umwelt stehen also in einer dynamischen Wechselwirkung miteinander: Der Mensch wird als zielgerichtetes Wesen aufgefasst, das auf seine Umwelt Einfluss ausübt und umgekehrt. Der Mittler zwischen Mensch und Umwelt ist die Wahrnehmung – der Prozess, mit dem der

Mensch die Merkmale seiner Umwelt aufnimmt, interpretiert und aufgrund derselben entscheidet. Wie diese Entscheidungen ausfallen, hängt von der Motivation, der Emotion und der Einstellung des Einzelnen gegenüber der Umwelt ab (ebd.: 19).

Dies bedarf näherer Erläuterung. „Wahrnehmung“ (*perception, cognition*) wird zunächst als kognitiver Prozess verstanden, mit dem das Individuum eine Menge von Sinnesreizen zu einem kohärenten „Erlebten“ ordnet. In einer etwas weitergehenden Definition kann Wahrnehmung aber auch alle mentalen Prozesse des Erinnerns, Interpretierens, Beurteilens und Entscheidens umfassen. Motivation und Emotion spielen bei diesen Prozessen eine große Rolle: Die Art, wie wir nach einem Sinn in unserer täglichen Umgebung suchen oder wie wir Orte emotional aufnehmen (z.B. ob wir uns an einem Ort subjektiv sicher fühlen oder nicht), beeinflusst stark unsere Umweltwahrnehmung. Dabei differieren Motivationen und Emotionen nicht nur zwischen einzelnen Individuen, abhängig z.B. von früheren Erfahrungen, sondern können auch in den Situationen, in denen sie sich befinden, sehr unterschiedlich ausfallen. Der Reaktion vorgeschaltet ist außerdem die „Einstellung“ (*attitude*) die als angeeignete und zeitlich konsistente Neigung, in positiver oder negativer Weise auf ein bestimmtes Objekt, eine Person oder eine räumliche Umgebung zu reagieren, definiert wird. Dabei ist die „Einstellung“ wiederum ein verallgemeinernder Sammelbegriff für eine Menge mit so unterschiedlichen Elementen wie Glauben, Voreingenommenheit, Doktrinen, Vertrauen, Ideologie, Beurteilungen, Meinungen, Stereotypen und Werten. Im Prozess der Umweltwahrnehmung dienen diese Einstellungen dazu, das Aufgenommene zu abstrahieren und in intern als homogen angenommene Kategorien einzuteilen, um die Wahrnehmung weiterer Umweltaspekte und die Entscheidung für ein Verhalten zu erleichtern. Obwohl Einstellungen zeitlich eher konsistent sind, sind sie nicht unabänderlich. Dabei muss jedoch im Auge behalten werden, dass sie nur dem Verhalten vorgeschaltet sind, und deshalb eine Einstellungsänderung nicht zwingend zu einer Verhaltensänderung führen muss. Wie und in welchem Ausmaß Einstellungen geändert werden können, ist unter anderem für politische Parteien, das Militär oder für die Werbebranche interessant (ebd.: 23-25).

In der Geographie führte die Unzufriedenheit über die früheren Auffassungen von Mensch-Umwelt-Beziehungen, wie Geodeterminismus (Friedrich Ratzel, Ellsworth Huntington, Griffith Taylor), Possibilismus (Vidal de la Blache), Probabilismus, raumwissenschaftlicher Ansatz (Walter Christaller, August Lösch, Walter Isard), zur Entwicklung eines verhaltensorientierten Ansatzes. Während der Geodeterminismus von einem eindimensionalen und alternativlosen Wirkungsgefüge der Umwelt auf den Menschen ausging, erweiterten Possibilismus und Probabilismus den Ansatz um die Konzepte der Möglichkeit und der Wahrscheinlichkeit. Raumwirksame Entwicklungen wurden also nicht als zwingend vorgegeben angesehen, sondern als im Rahmen der natürlichen Voraussetzungen möglich oder wahrscheinlich. Der raumwissenschaftliche Ansatz nährte sich dagegen stark von den Konzepten der Mikroökonomie und damit der Grundannahme des *homo oeconomicus*, der unter vollständiger Information, Freiheit und Nutzenmaximierung seine Entscheidungen trifft. Auch wenn die Modellierungen dieser Forschungsrichtung mit den Jahrzehnten immer komplexer geworden sind, basieren sie stets auf dieser Grundannahme. Alle diese Herangehensweisen an die Erklärung menschlichen Verhaltens haben jedoch gemeinsam, die Umwelt als vorgegeben zu akzeptieren und Wirkungen des Menschen auf die Umwelt auszuklammern, obwohl intuitiv bewusst wird, dass eine vom Menschen nicht veränderte Umwelt kaum mehr als Voraussetzung erwartet werden kann (ebd.: 26-33).

Schon bald regte sich aber auch die erste Kritik an der Anwendung von verhaltensorientierten Ansätzen in der Geographie. COX & GOLLEDGE stellten bereits 1981 die Frage nach der Zukunft der *behavioural geography*: Würde sie sich durch interne Kritik weiter entwickeln, oder durch externe

oder erkenntnistheoretische Kritik irrelevant werden? Intern wurde häufig die Annahme selbstständig handelnder Individuen kritisiert. Selbst wenn es gelingt, individuelle Handlungsrichtungen und –absichten in verhaltensorientierte Modelle einzubeziehen, ist die Frage der Interdependenz dieser Absichten sowohl zwischen Individuen untereinander als auch zwischen Individuen und Gesellschaft nicht angesprochen, geschweige denn gelöst (ebd.: xxii, xxv). Auf erkenntnistheoretischer Ebene sahen die Autoren die Verhaltensgeographie durch das Aufkommen einer „humanistischen Geographie“, die grundsätzliche Einwände gegen das „naturwissenschaftliche“ Erklären menschlichen Handelns hat, bedroht. Die Kritik wendet sich insbesondere gegen das Konzept der Wahrnehmung, die sich am besten durch den scheinbaren Widerspruch der ‚Subjektivität des Objektiven‘ wiedergeben lässt: Um die Wirkungsweise dieses Wahrnehmungsfilters zu erforschen, wäre es nötig, subjektive und objektive Umwelt zu trennen, und die Unterschiede zwischen beiden zu betrachten. Andererseits stellt aber gerade das Konzept der Wahrnehmung fest, dass eine objektive Beobachtung der Umwelt durch den Menschen nicht möglich sei (ebd.: xxv, auch JENSEN-BUTLER 1981: 29).

Dennoch entstand bis Ende der 1980er Jahre eine Fülle von wissenschaftlichen Arbeiten, die die Ansätze der Verhaltenstheorie in der Modellierung räumlicher Aktivitäten umsetzten, die alle auf einer gemeinsamen theoretischen Basis aufbauen, wie EAGLE (1988: 301) richtig feststellt:

„Individuals are assumed to view choice alternatives as bundles of attributes, choice is characterized as a process by which decision makers cognitively integrate information about attributes into an overall preference or utility for that alternative and then choose that alternative from their set of available alternatives that will maximize their preference or utility subject to a set of personal, temporal, and spatial constraints. The cognitive formation of alternative specific preferences, the information used in forming these preferences, and the factors that constrain spatial behaviour comprise the models sought by behavioural geographers.”

Einen guten Überblick über unterschiedliche Anwendungen lieferten GOLLEDGE & TIMMERMANS (Hg., 1988). In ihrer Einführung nehmen die Autoren zunächst eine Klassifikation dieser Modelle in diskrete Entscheidungsmodelle (*discrete choice models*) und Mehrattribut-Präferenz-Modelle (*multiattribute preference models*) vor (ebd.: xx). Erstere bauen auf der Nutzentheorie auf und besitzen eine Entscheidungsfunktion, die einen deterministischen und einen stochastischen Anteil enthält, der vor allem dazu dient, suboptimales Verhalten in derselben Nutzenfunktion und ohne weitere beschränkende Annahmen abzubilden. Resultat der Nutzenfunktion ist dann eine Wahrscheinlichkeit, mit der eine zur Entscheidung stehende Alternative gewählt wird. Die andere Modellfamilie verwendet als Entscheidungsgrundlage Ergebnisse von so genannten *Conjoint*-Analysen, bei denen die Attribute der Alternativen klassifiziert, miteinander kombiniert und dann den Probanden zur Bewertung vorgelegt werden. Anschließend müssen diese Kombinationen wieder in Präferenzen für die Einzelattribute zerlegt werden (ebd.: xxi). Die häufigsten Kritiken an dieser Herangehensweise lassen die Autoren ebenso wenig vermissen: Da wäre zunächst die Annahme der Unabhängigkeit der Alternativen zu nennen. Die Möglichkeit, dass Alternativen untereinander, unter Umständen nur teilweise, substituierbar sein könnten, wird nicht einbezogen. Zweitens wird die räumliche Lage der Alternativen zueinander vernachlässigt. Im Allgemeinen ist zwar die Distanz zu einer Entscheidungsalternative Bestandteil der Nutzenfunktion, diese Distanzbewertung könnte aber variieren, je nachdem ob die Möglichkeit zu einer Kopplung von Alternativen besteht. Damit wäre das Konzept der Agglomerationsvorteile in solche Modelle integriert. Drittens werden die einzelnen Attribute untereinander nur selten mit einer Gewichtung versehen, obwohl Erkenntnisse aus empirischen Arbeiten nahe legen, dass Attribute umso wichtiger im Entscheidungsprozess werden je höher ihre Variabilität ist (ebd.:

xxvii). Im Folgenden werden nun einige Beiträge zu verhaltensorientierten Modellierung in den Raumwissenschaften vorgestellt und diskutiert. Die Menge solcher Arbeiten ist vielfältig, da die *behavioural geography* aber nicht zentrales Thema dieser Arbeit ist, und ihre Behandlung nur als Hinführung zum individuenbasierten Modellieren dienen soll, beschränkt sich der Überblick auf Beiträge aus dem Buch von GOLLEDGE & TIMMERMANS (Hg., 1988).

YOUNG (1988) etwa wendet ein diskretes Entscheidungsmodell auf Standortentscheidungen in städtischen Räumen an. Bezug nehmend auf das oben erläuterte Konzept des *satisficers* und den Zwang der nicht vollständig informierten Individuen, ihre Entscheidungen zu vereinfachen, führt er Schwellenwerte (*thresholds*) ein, zum Beispiel um einen Wert anzugeben, ab dem Unterschiede zwischen Entscheidungsalternativen wahrgenommen werden (*just-noteable-difference concept*). Ein wichtiger Anwendungsbereich solcher Schwellenwerte ist die Bestimmung von Erreichbarkeit, sowohl im topologischen Sinne als auch im Sinne von Zeitbeschränkungen. Empirisch können solche Schwellenwerte für eine akzeptable Erreichbarkeit einer Entscheidungsalternative aus Befragungen ermittelt werden, auch wenn in diesem Prozess einige subjektive Annahmen zu treffen sind (ebd.: 140). Auf ähnliche Weise wirkt die Anwendung von Schwellenwerten bei der Bestimmung von Zeitbudgets. Viel hängt hierbei auch von der Raumwahrnehmung ab (*mental maps*), nicht immer sind solche Schwellenwerte also mit konkreten Entfernungs- oder Fahrzeitwerten verbunden, sondern können auch mit physischen oder mentalen Barrieren zusammenfallen. In Standortwahlmodellen werden typischerweise mehrere Attribute, die jeweils einzeln Akzeptanzschwellenwerte aufweisen können, zu einem Gesamtnutzen einer Alternative kombiniert. Diese können wiederum absolute Werte haben, ab der eine Alternative akzeptabel ist (z.B. ein bestimmter Bodenpreis), oder relativer Natur sein und angeben, ab welcher Differenz Attributwerte als untereinander verschieden wahrgenommen werden. Eine weitere Variation stellen Modelle dar, in denen sich Attribute gegenseitig ausschließen, bzw. nicht miteinander ausgeglichen werden können. Genügt bereits ein Attribut nicht dem angenommenen Schwellenwert, wird damit die Alternative insgesamt verworfen und nicht mehr zur Entscheidung zugelassen. Um Situationen auszuschließen, in denen keine Alternative mehr zur Entscheidung zugelassen ist, können die Attribute untereinander gewichtet oder in eine hierarchische Ordnung gebracht werden (ebd.: 144).

BORGERS & TIMMERMANS (1988) weisen darauf hin, dass diskrete Entscheidungsmodelle zumeist davon ausgehen, dass die Entscheidungsalternativen untereinander unabhängig sind, das heißt, dass durch das Hinzufügen einer zusätzlichen Alternative der relative Nutzenvorteil der übrigen Alternative um den Anteil der neuen reduziert wird. Zweitens wird als Mangel wahrgenommen, dass solche Entscheidungsmodelle die Lage der Alternativen zueinander nicht berücksichtigen, obwohl dies von empirischen Befunden bestätigt wird (ebd.: 160). Um beiden Missständen zu begegnen, entwerfen die Autoren ein Modell, das sowohl die Substituierbarkeit oder Ähnlichkeit von Alternativen als auch ihre räumliche Struktur berücksichtigt. Dazu wird ein Standardmodell für diskrete Entscheidungen um ein Agglomerationsmaß erweitert (ebd.: 168). Das resultierende Modell ist in der Lage, die erwarteten Marktanteile von Alternativen exakt vorherzusagen, auch wenn Attribute substituierbar sind und Agglomerations- bzw. Wettbewerbsbedingungen herrschen. Die Autoren zeigen jedoch auch Fälle auf, in denen das Modell versagt, und weisen auf weiteren Forschungsbedarf hin.

In der Familie der Mehrattribut-Präferenzmodelle diskutiert VELDHUISEN (1988) in seiner Arbeit verschiedene Ansätze, den Gesamtnutzen einer Alternative als Kombination mehrerer Attribute empirisch darzustellen und mit Präferenzen zu kombinieren. Eine Präferenz wird hier als Vorziehen einer Alternative gegenüber anderen verstanden, Präferenzen für die einzelnen Attribute werden nicht unterschieden. Dazu wurden insgesamt 19 Probanden gebeten, in einer *Conjoint*-Analyse zur Wohn-

standortwahl mehrere Kombinationen von Attributausprägungen in eine Rangfolge zu bringen. Zusätzlich wurden sie gefragt, wie wichtig sie diese Attribute untereinander einschätzten. Die Standortpräferenzen wurden als Startwerte für einen Suchalgorithmus verwendet, der diese iterativ veränderte und die Zahl der paarweise inkonsistenten Rangordnungen minimierte. Jedes der Interviews dauerte in etwa fünf Stunden. Die Analyse kommt zu dem Schluss, dass für die Probanden unterschiedliche Arten der Attributverknüpfung angenommen werden müssen. Trotz des hohen Erhebungsaufwandes sind die Erkenntnisse damit praktisch kaum verwendbar.

EAGLE (1988) kommt am Beispiel von Konsumentenentscheidungen zu der Überzeugung, dass vor allem die Vernachlässigung von räumlichen und zeitlichen Beschränkungen der modellierten Objekte (z.B. Konsumenten) in Entscheidungsmodellen dazu führt, dass diese nur wenig besser abschneiden als aggregierte Interaktionsmodelle und nur eine unzureichende Erklärung räumlichen Verhaltens liefern (ebd.: 299). Ein weiterer Grund besteht darin, dass die Modellparameter (Exponenten) in gravitationsähnlichen Modellen von den Skalenausprägungen der Attribute abhängig sind (Kontextabhängigkeit) (ebd.: 300). Das gilt auch für die Distanz, und auch für verschiedene Attribute untereinander, z.B. ist der Distanzexponent von den Skalenausprägungen der anderen Attribute abhängig. Oft geht man jedoch vom Gegenteil aus: Ist die Nutzenfunktion bekannt, kann der Nutzen einer jeden Alternative berechnet werden und ist unabhängig von den Nutzenwerten anderer Alternativen. Die Studie untersucht, ob außerdem die Variabilität der Attribute oder ihre Zahl Einfluss auf das räumliche Verhalten hat. These ist, wenn das Modell kontextabhängig ist, führen Änderungen auf der Angebotsseite zu Änderungen der Modellparameter. Dies wirkt sich insbesondere dann auf das Verhalten aus, wenn sich dadurch die Variabilität einzelner Attribute ändert (ebd.: 302): Je größer die Variabilität, desto wichtiger wird das Attribut in der Entscheidung. Umgekehrt erscheinen Attribute, die zwischen den Alternativen nicht oder nur gering variieren, in der Entscheidung nicht wichtig zu sein. Dies kann leicht am Beispiel eines Entscheidungsmodells für Konsumentenverhalten verdeutlicht werden: Sind alle zur Auswahl stehenden Geschäfte im Preisniveau gleich, ist der Preis für die Entscheidung unbedeutend, die Modellkalibrierung liefert für dieses Attribut einen Gewichtungsfaktor nahe Null. Kommt jedoch ein sehr preiswertes Geschäft (Discounter) hinzu, kann der Preis im Entscheidungsprozess der Konsumenten plötzlich stark an Bedeutung gewinnen. Diese Kontexteffekte werden anhand empirischer und statistischer Verfahren nachgewiesen (ebd.: 319). EAGLE folgert daraus, dass die Resultate von einfachen Entscheidungsmodellen nicht ohne weiteres auf andere Kontexte mit veränderter räumlicher Anordnung der Interaktionsquellen und -ziele übertragbar sind. Ebenso sind Modelle, die für eine bestimmte Situation kalibriert sind, nur eingeschränkt tauglich, um Verhalten in zukünftigen Situationen vorherzusagen, insbesondere dann, wenn sich die Variabilität und damit die Gewichtung der Attribute zwischen den Situationen verschiebt.

Gemeinsam ist den besprochenen Arbeiten, dass, obwohl die verhaltensorientierte Geographie sich den Entscheidungen des Menschen zuwendete, sie sich nicht von der Bildung von Aggregaten, und sei es nur zur Festlegung von Modellinvarianten, lösen konnten. Dass diese Aggregatsbildungen jedoch problematisch sein können und das Untersuchungsergebnis nicht nur beeinflussen, sondern sogar in das Gegenteil verdrehen können, hatten OPENSHAW (1977, 1978) und OPENSHAW & TAYLOR (1979) in anderem Zusammenhang bereits gezeigt. Eine weitere Kritik liegt darin, Entscheidungen als bloße Wahl zwischen Alternativen (TZSCHASCHEL 1986: 65) aufzufassen: „*Essentially, sites are assumed to compete, and individuals to compare*“ (PIPKIN 1981: 316). Diesen Vergleich nehmen die Individuen aufgrund der strukturellen Attribute der Alternativen vor. Weicht ihr tatsächliches Verhalten von diesen als objektiv angenommenen Eigenschaften ab, werden dafür Wahrnehmungsverzerrungen, stochastische Anteile oder Einflüsse von „Präferenzen“ verantwortlich gemacht.

Die Diskussion geht zurück auf die Arbeiten von RUSHTON (1969), in denen Entscheidungen als Resultate individueller Präferenzrangordnungen angesehen werden. Obwohl davon eine Vielzahl von Forschungsimpulsen ausgelöst worden waren, wurde schnell die Erklärungstauglichkeit des Ansatzes für menschliches Verhalten in Frage gestellt. Grundsätzlich sind Präferenzen immer vorhanden, unabhängig davon, ob eine Entscheidung gefällt wird. Sie werden aber erst bei der Entscheidung offenkundig (RUSHTON spricht in diesem Zusammenhang von „*revealed preference*“), die gewählte Alternative kann als ‚Präferenzgewinner‘ angesehen werden. Die Rangordnung der Alternativen nach Präferenzen bleibt jedoch verborgen. Selbst wenn man annimmt, dass die Individuen in der Lage sind, eine eindeutige Rangordnung ihrer Entscheidungsalternativen überhaupt aufzustellen, wirft dies natürlich sofort die Frage auf, inwiefern sich Präferenz und Verhalten überhaupt unterscheiden. Von einer „Erklärung“ des Verhaltens kann kaum die Rede sein. Dem könnte man sich allenfalls nähern, würde man Präferenzen nicht eindimensional, als Präferenz für eine Alternative, sondern mehrdimensional, als Präferenzen für die einzelnen Entscheidungskriterien verstehen. Einen Versuch dahingehend hatte schon HOINVILLE (1971) unternommen. Er argumentierte, dass die Präferenzen für die einzelnen Entscheidungskriterien im Grunde schon durch ihre Operationalisierung vorgegeben seien. Nimmt man beispielsweise an, dass gute Luft, niedrige Bodenpreise oder Nähe zum Arbeitsplatz wichtige Kriterien der Wohnstandortwahl sind, unterstellt man damit eine Präferenz für eine jeweils bessere Ausstattung in diesen Attributen. Eine individuelle Differenzierung oder Überlegungen zur Substituierbarkeit der Eigenschaften werden nicht vorgenommen. Um sich also von einer globalen Gewichtung der Attribute zu unterscheiden, müssten diese Präferenzen dann auch noch individuell verschieden sein.⁸

Als Brückenschlag in den deutschsprachigen Wissenschaftsraum und hin zu tatsächlich individuensbasiertem Arbeiten kann das Konzept der Mikrogeographie gelten, das den Raumbezug dieser Forschungen wieder stärker ins Blickfeld rückt und im folgenden Abschnitt näher beleuchtet wird.

2.1.2 Mikrogeographie

Auch die Mikrogeographie sieht sich selbst als eine Forschungsrichtung, die sich auf die Ebene des Individuums⁹ als Untersuchungsgegenstand bezieht. Sie erweitert den Verhaltensbegriff der *behavioural geography* um seine individuellen Varianten und subjektiven Begründungen (ebd.: 21) und nimmt noch einen engeren Raumbezug hinzu. Noch werden die Begriffe Verhalten, Handeln und Tun synonym gebraucht, ja sogar integriert betrachtet (ebd.: 114). Darauf wird später noch einmal zurückzukommen sein.

Während die Verhaltensgeographie zwar die Entscheidungen, nicht jedoch ihr Zustandekommen modellierte und selbige Prozesse in eine ‚*black box*‘ verwies, sieht TZSCHASCHEL (1986: 67) die Aufgabe der Mikrogeographie darin, Licht in eben dieses Dunkel zu bringen. Der Begriff des Verhaltens wäre damit auf das overte Verhalten, die Entscheidungen, Präferenzen, Bewertungen, zu beschränken, das Untersuchungsinteresse auf die Dimensionen der Kenntnis, der Meinung (beides bezogen auf die Alternativen) und der Verhaltensgründe auszudehnen. Damit wären zwei Fortschritte gelungen: Erstens können Differenzen zwischen Eigenschaften der Entscheidungsalternativen und dem gezeigten Verhalten plausibler gemacht werden, ohne diese in Wahrnehmungs- oder stochastische Größen mit nur schwer interpretierbaren Parametern abzuschieben. Zweitens gelingt der Einbezug einer „freien Willensentscheidung“ in die Modellbildung. TZSCHASCHEL betont hierbei, dass sich die Entscheidungsfreiheit nicht darauf bezieht, dass ein Individuum alles tun kann, was es will, vielmehr geht es um die „Freiwilligkeit“ der Entscheidung (ebd.: 71).¹⁰

Wie bereits erwähnt, sucht die Mikrogeographie auch nach einem komplexeren Raumbezug der Individuen, der deutlich über die Wahrnehmung von Distanzen in einer homogenen Ebene hinausgeht: „Individuen erinnern sich an Raumausschnitte entsprechend ihren Erfahrungen und dem Interesse, das sie mit den entsprechenden Raumeinheiten und –elementen verbinden“ (ebd.: 72). Damit ist also auch ein affektiver Bezug des Individuums zum Raum zu betrachten, d.h. wie Menschen Raum und Umwelt „erleben“ oder von ihm Besitz ergreifen. Die Auswirkungen auf das Verhalten sind dabei recht nahe liegend: Positives Raumerleben führt zum erneuten Aufsuchen, negatives zur Meidung eines Ortes (ebd.: 89). In diese Kategorie gehören Arbeiten, die sich mit den Auswirkungen des Designs im Mikroraum auf das Verhalten beschäftigen, von denen viele einen Hintergrund in der Kriminalitätsbekämpfung haben. Dabei werden „Entfaltungsmöglichkeiten und Einschränkungen an den Bauformen“ (ebd.: 93) festgemacht, auch in kleinsten Räumen. So wurde beispielsweise untersucht, welche Formen der Möblierung, ob an öffentlichen Plätzen oder in geschlossenen Räumen, eher kommunikationsfördernd sind oder nicht. Für die Modellierung stellt sich bei solchen Überlegungen die Frage der Operationalisierung. Wie können Aspekte des Raumerlebens in quantitative Modelle integriert werden? Dabei geht es nicht um eine bloße Quantifizierung, also um den Versuch, Raumerleben in Zahlen ausdrücken zu wollen. Positives oder negatives Raumerleben kann auch als Beschränkung oder Gelegenheit auftreten. Nur müssen eindeutigere Aussagen über die Auswirkungen dieses Raumerlebens auf menschliche Entscheidungen möglich sein. Einen Lösungsansatz für dieses Dilemma wird von der Autorin nicht skizziert.

Ein zweiter neuer Raumbezug, der die Mikrogeographie von der *behavioural geography* unterscheidet, ist die Beachtung von Konzepten, die aus der von HÄGERSTRAND (1970) begründeten Zeitgeographie und der Aktionsraumforschung stammen. Sie zeichnen sich dadurch aus, menschliches Verhalten außer in einer räumlichen auch in einer zeitlichen Dimension zu sehen. Zeitliche und räumliche Beschränkungen eröffnen dem Individuum raum-zeitliche Gelegenheiten für sein Tun (TZSCHASHEL 1986: 96). Aus der Menge dieser räumlich verorteten Gelegenheiten ergibt sich der Aktionsraum. Hier wird auch sofort die Problematik des Ansatzes mit Blick auf die Verwertbarkeit in der mikrogeographischen Betrachtung deutlich: Es werden wieder Aussagen über Gruppen, also über Aggregate gemacht. Die – sicherlich individuell unterschiedliche – Veränderbarkeit von Aktionsräumen auf Ebene einzelner Individuen bleibt dabei im Verborgenen (ebd.: 104).

Wichtig scheint, zu wiederholen, dass auch die Mikrogeographie einen ganzheitlichen Verhaltensbegriff zugrunde legt, der kognitive und affektive Bestandteile umfasst. „Für jedes Verhalten gibt es Gründe, jedes Verhalten hat einen funktionalen Aspekt als ‚Tätigkeit‘, und jedes Verhalten hat für den Ausübenden eine Erlebnisdimension“. Die Verhaltensgeographie hatte versäumt, alle diese Aspekte in ihre Modellierungen zu integrieren (ebd.: 113). Insbesondere muss kritisiert werden, dass die Modellierung von Verhalten unter Handlungsmaximen (z.B. Nutzenmaximierung) geschah, die zwar nicht völlig aus der Luft gegriffen waren, die aber auch nicht deutlich genug als normativ gesetzt gekennzeichnet wurden: „Diese Optimalität ist an keinerlei äußeren Maßstäben ausgerichtet, sondern an den eigenen Gründen. Diese mögen durchaus einmal eine Distanz- oder Kostenminimierung enthalten [...], aber sie sind immer vom freien Willen des Individuums bestimmt“ (ebd.: 114).

Analog zum vorherigen Abschnitt ist es auch hier geboten, einen Blick auf Anwendungen der entwickelten Konzepte zu werfen. Die sich von der Verhaltensgeographie stärker unterscheidenden Arbeiten lassen sich in zwei Gruppen unterteilen. Die eine beschäftigt sich vornehmlich mit der Raumwahrnehmung, mit Raumbewertungen, –vorstellungen und dem Image von Räumen. Die Arbeit mit *mental maps* spielt in diesen Studien eine zentrale Rolle. Obwohl diese Forschungsrichtung eine Fülle von Arbeiten hervorgebracht hat, sind Einsätze in der Modellierung menschlicher Aktivitäten

weitgehend ausgeblieben. Ihre Erkenntnisse wurden lange allenfalls zur Bestätigung von Ergebnissen aggregierter Modelle herangezogen (GOULD & WHITE 1974: 175; zit. in TZSASCHEL 1986: 38). Erst kürzlich haben ARENTZE & TIMMERMANS (2005b) den Versuch unternommen, kognitive Karten in individuenbasierte Mobilitätsmodelle zu integrieren. Die Autoren stellen fest, dass bisher nur Entscheidungen zwischen Alternativen in einer Vorauswahl behandelt wurden, jedoch das Zustandekommen dieser Vorauswahl entweder vernachlässigt wurde oder auf willkürlichen Annahmen (z.B. einer Distanzschranke) beruhte, obwohl gezeigt werden kann, dass die Zusammensetzung der Vorauswahl sowohl das Modellergebnis als auch die Parameterschätzung der Nutzenfunktion beeinflusst und möglicherweise verfälscht (ebd.: 321). Aus den Forschungen zur Umweltwahrnehmung ist jedoch bekannt, dass Menschen typischerweise nicht alle Alternativen wahrnehmen. Sie lernen im Laufe ihrer Aktivitäten dazu, das heißt, schon bekannte Alternativen besitzen höhere Wahrscheinlichkeiten, erneut aufgesucht zu werden, als unbekannte. Andererseits werden Menschen aber auch selbst aktiv und suchen nach neuen Alternativen, etwa nach einem Umzug oder nach schlechten Erfahrungen mit ihrer früheren Wahl. Den Autoren gelingt es, diese kognitiven Abbilder der Alternativen in ihr Entscheidungsmodell zu integrieren, indem sie selbige als *Bayesian Belief Networks*¹¹ repräsentieren. Dabei können die Erfahrungen mit vergangenen Entscheidungen direkt als Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die zukünftigen übernommen werden und zur Berechnung eines „erwarteten Nutzens“ dienen (ebd.: 322). Ein *belief* wird als die Wahrscheinlichkeit definiert, dass der erwartete Nutzen einer Alternative dem tatsächlichen entspricht. Die als Agenten modellierten Entscheider können nach dem Aufsuchen einer Alternative diese Wahrscheinlichkeitswerte verändern (ebd.: 324). Diese Veränderung ist inkrementell in Richtung des objektiven Nutzens einer Alternative und unterliegt wiederum einer Wahrscheinlichkeitsverteilung, die als bekannt vorausgesetzt wird. Eine *mental map* besteht nun aus einem Netzwerk (einem gerichteten Graphen) solcher Wahrscheinlichkeitsverteilungen, wobei die Kanten die Einflussmöglichkeiten zwischen ihnen darstellen (ebd.: 328). Wird eine Alternative in einem Zeitschritt nicht aufgesucht, ‚vergessen‘ die Agenten die Information schrittweise, das heißt, sie vergrößern die Differenz zwischen dem objektiven und ihrem erwarteten Nutzen dieser Alternative um eine vorgegebene Rate (ebd.: 331). Die Autoren demonstrieren die Funktionsweise ihres Modells im Folgenden anhand eines kleinen Simulationsbeispiels. Um einer realen Anwendung und damit einer Kalibrierungsmöglichkeit nahe zu kommen, müsste das Modell aber wesentlich komplexer gestaltet werden: Entscheidungsalternativen für menschliche Aktivitäten sind ebenso mannigfaltig wie die Quellen, aus denen die Menschen ihre Informationen über sie beziehen. Auch wäre geboten, die Modellparameter und die Wahrscheinlichkeitsverteilungen aus empirischen Untersuchungen abzuleiten, anstatt bestimmte anzunehmen. Kritisieren könnte man weiterhin, dass die Wahrnehmung der Alternativen durch die Beobachtung stets nur positiv, das heißt in Richtung des objektiven Nutzenwertes verändert wird. Selbst vorausgesetzt, dass dieser objektive Nutzen feststellbar ist, bleibt die Möglichkeit einer irrtümlichen Bewertung unberücksichtigt. Auch ist die Annahme der Existenz der Wahrnehmungen überhaupt fragwürdig, sie lässt nicht zu, dass Informationen über bestimmte Attribute für den Entscheider schlicht irrelevant sein könnten.

Die zweite große Gruppe lässt sich am besten unter dem Begriff der Aktionsraumforschung subsumieren. Viele davon beziehen sich auf die Konzepte der Zeitgeographie von HÄGERSTRAND. In dessen Arbeitsgruppe in Lund waren schon frühzeitig Modelle und Simulationen auf Individualebene vorgenommen worden. Ein Beispiel dafür ist das Modell PESASP (LENTORP 1979)¹², das Aktivitätspfade von Individuen in einem städtischen Raum (hier: Örebro, Schweden) nachbildete; 1979 freilich noch mit erheblich mehr Rechenaufwand als heute denkbar. Dennoch kann dies als ein erster Versuch gesehen werden, individuelles Verhalten in Raum und Zeit mit einem Modell zu erfassen und in einer Simulation umzusetzen. Dabei ist nicht beabsichtigt, das zukünftig wahrscheinliche, sondern lediglich das mögliche Verhalten von Individuen vorherzusagen (ebd.: 342). Damit erübrigt

sich natürlich ein Abgleich der Simulationsergebnisse auf der Makroebene, etwa mit tatsächlichen Verkehrsströmen. Jedoch wurden auf Individualebene Aktivitätsprogramme aus Interviewdaten generiert, die möglichen Pfade simuliert und mit den tatsächlich gewählten verglichen. Die möglichen Pfade ergeben sich dabei aus den errechneten Raum-Zeit-Prismen¹³ für die Probanden. Ist der tatsächlich gewählte Pfad vom optimal möglichen verschieden, wird dies Wahrnehmungsunterschieden zugesprochen (ebd.: 349).

Unter anderem von diesen Arbeiten inspiriert waren Untersuchungen der Erreichbarkeit von möglichen Interaktionszielen vom Standort des Nachfragers aus. BARADARAN & RAMJERDI (2001) lieferten einen Überblick über die Operationalisierungsmöglichkeiten von Erreichbarkeit. Einfachere Methoden nutzen lediglich Distanzaufwände und gegebenenfalls strukturelle Attribute der Alternativen (Potenzialansatz), die zusätzlich durch räumliche oder zeitliche Beschränkungen (*constraints*) erweitert werden können. ARENTZE, BORGERS & TIMMERMANS (1994) erweiterten diese Methoden für das Koppeln von Aktivitäten. Schließlich wies KWAN (1998) darauf hin, dass die Erreichbarkeit von Zielen auch von individuellen Eigenschaften, die über die Position im Raum hinausgehen, beeinflusst wird, wie etwa Geschlecht, sozioökonomische oder ethnische Merkmale, und entwickelte dazu das nötige methodische Instrumentarium. Somit hatte sich die Erforschung von individuellem Verhalten, dessen theoretische Diskussion bis Mitte der 1980er Jahre als abgeschlossen galt (TZSCHASCHEL 1986: 7), bis zum Ende des Jahrtausends bis in die Planungspraxis etwa im Verkehrsbereich durchgesetzt (GOLLEDGE 2003: 122ff).

2.1.3 Handlungstheorie

Ist die Kritik der Handlungstheoretiker, man habe sich bisher zu sehr auf die Analyse reaktiven Verhaltens denn auf die intentionalen Handelns konzentriert, berechtigt? Hatten nicht *behavioural geographers* und Mikrogeographen genau die Absicht geäußert, das gesamte Handlungsspektrum betrachten zu wollen? Diesen Anspruch hatten sie sicherlich gestellt, ihn aber kaum ausfüllen können. Immerhin war es gelungen, die Entstehung von Raumstrukturen in Verhaltensmuster aufzulösen, Einflussgrößen dafür zu benennen, zueinander zu gewichten und zu verknüpfen. Vielfach flüchtete man sich aber in die Betrachtung von Aggregaten, insbesondere bei der Festlegung von Modellinvarianten. Auf die Idee, einzelnen Modellindividuen unterschiedliche Gewichtungen, Verknüpfungen oder gar nur eine Teilmenge der Entscheidungskriterien (ein Sonderfall der Gewichtung) zu unterstellen, war man – zumindest unter dem Etikett des ‚Verhaltens‘ – nicht gekommen. Das mag einerseits mangelnden technischen und methodischen Umsetzungsmöglichkeiten anzulasten sein (TZSCHASCHEL 1986: 137), andererseits blieben ernsthafte Versuche dahingehend auch aus. Dass die *scientific community* der Verhaltensgeographie bis an das Ende der 1980er Jahre zwar ihre Modellierungen zum reaktiven Verhalten immer komplexer gestaltete und verfeinerte, sich aber dem wahrhaft individuellen Arbeiten und den intentionalen Komponenten des menschlichen Tuns nicht zu öffnen vermochte, kann als Begründung dafür gelten, dass die Forschungsrichtung sich zunehmend erkenntnistheoretischer Kritik ausgesetzt sah. Schließlich kamen alternative Konzepte zur Untersuchung menschlicher Aktivitäten auf, und drängten die verhaltensorientierte Geographie in die Irrelevanz, zumindest was ihre Präsenz in der aktuellen Forschung anbelangt. Eines dieser Konzepte ist das der Handlungstheorie, dem dieses Kapitel gewidmet ist.

Der Entwurf einer Handlungstheorie nährte sich vor allem aus der teils scharfen Kritik an der verhaltensorientierten Geographie, so dass hier noch einmal auf diese Bezug genommen werden muss. Die Kritiker konzentrierten sich besonders auf die Annahme eines dem menschlichen Tun zu Grunde

liegenden Reiz-Reaktions-Systems, das ihnen viel zu nahe an der zoologischen Verhaltensforschung angelehnt war. So wurde ihr Anspruch auf einen Theoriestatus stark angezweifelt und ihr schließlich vorgeworfen, in einen Zirkelschluss zu münden, indem sie lehrten, „dass das Verhalten des Menschen durch das bestimmt ist, was sein Verhalten bestimmt“ (BECK 1982: 58f). Der Mensch werde „als bloß reaktives [...] und daher zu selbständigem, selbst-bewusstem (sic) Handeln unfähiges Wesen erklärt“ (ebd.: 65).

Auch SEDLACEK (1982: 196), der neben WIRTH (1981) die Handlungstheorie der deutschsprachigen Geographie näher brachte, wandte sich gegen den Determinismus in der Sichtweise des Menschen als Medium vorherbestimmter Reaktionen auf Reize. SEDLACEK trennt dieses stimulierte Tun ohne Intentionalität („Verhalten“) vom „Handeln“ als kognitiv und argumentativ vorbereitetes Tun ab (ebd.: 194). Des Weiteren führt er den Begriff des „Quasi-Verhaltens“ ein, mit dem er zwar einmal argumentativ begründetes, jedoch dann habitualisiertes Tun bezeichnet. Nach seiner Auffassung sollte Kulturgeographie keine Verhaltensforschung, sondern eine Handlungswissenschaft sein. Damit wird die Disziplin als Kulturwissenschaft auch methodisch von den Naturwissenschaften abgegrenzt, indem sie die Reduktion menschlicher Aktivitäten auf Determinismen, also Ursache-Wirkungs-Relationen ablehnt¹⁴ und sie durch eine „Grund-Folge-Relation“ (ebd.: 203) ersetzt. Grundlage zum Erkennen dieser Relation sind empirische Daten, die die Handlungen beschreiben und einer Deutung bedürfen, da die Intentionen nicht operationalisierbar sind. Damit wird „Kausalität“ nicht mehr als Annahme für alle Zusammenhänge, sondern lediglich als methodisches Prinzip verstanden.

Von WERLEN 1987 konzeptionalisiert hat die Handlungstheorie bis in neuere Lehrbücher der Human- und Sozialgeographie (WERLEN 2000, HEINEBERG 2004) Eingang gefunden. Ihr zentrales Merkmal nach heutiger Auffassung ist, Geographie nicht als handlungsorientierte Raumwissenschaft, sondern als raumorientierte Handlungswissenschaft zu betreiben: „Im Zentrum steht die Frage, wie Subjekte handeln. Dann ist zu erforschen, welche Bedeutung den räumlichen Aspekten für die Verwirklichung der Handlungen zugewiesen wird“ (WERLEN 2000: 310). Sie macht damit Probleme des ‚Raumes‘ zu Problemen des Handelns (ebd.: 351). Gleichzeitig ändert sich die Perspektive von der Betrachtung von Aggregaten (Kollektiv, Staat, soziale Gruppe) auf die der Individuen, da nur sie ‚handlungsfähig‘ sind. Nicht alle diese Handlungen müssen dabei wohl überlegt sein, sondern können auch unterbewusst oder habitualisiert ablaufen¹⁵, sind aber dennoch stets als intentional, das heißt zielgerichtet anzusehen (ebd.: 317). Je nach Anwendungsbereich können jedoch verschiedene Formen von Intentionalität in Frage kommen; das Ziel, auf das sich die Handlung richtet, ist also variabel. WERLEN (ebd.: 324) unterscheidet zweck-rationale (Nutzen maximierende), normorientierte und verständigungsorientierte Handlungsmodelle. Diese haben dann auch ganz unterschiedliche Beziehungen zum Räumlichen (ebd.: 329), im metrischen oder relationalen Sinn.

Der Ansatz ist vor allem deshalb so viel versprechend, da er das Problem der Zusammenhänge zwischen „handelndem Subjekt, Struktur und Gesellschaft“ angeht (BLOTEVOGEL 1999: 18). Damit gelingt – zumindest in der Theorie – die Auflösung des Mikro-Makro-Dualismus. Strukturen können als Ergebnis beabsichtigter und nicht beabsichtigter Handlungsfolgen gesehen werden, die wiederum als stabilisierende Umwelt für zukünftige Handlungen dienen. Sie sind (trotzdem) nicht statisch sondern prozessual. Schließlich sind – nach LUHMANN – nicht Subjekte und deren Handeln Gegenstand der Sozialwissenschaften, sondern soziale Systeme, die aus Kommunikation bestehen und sich selbst reproduzieren (ebd.: 19). Mit der Handlungstheorie gelingt aber die Betrachtung dieser Systeme aus der Perspektive des handelnden Subjekts anstelle der Gesamtsicht.

Natürlich sieht sich auch die Handlungstheorie fortwährender Kritik gegenüber. Immer wieder kritisiert wird, dass Menschen doch gar nicht frei entscheiden können, beziehungsweise sich sehr unterschiedlichen Entscheidungsfreiheiten ausgesetzt sehen (ebd.: 20, MEUSBURGER 1999: 96). Damit sehen sich die Handlungstheoretiker aber missverstanden. WERLEN (1999: 259) entgegnet: „[Mit] der Betonung der Entscheidungsfähigkeit [wird] nicht behauptet, dass gleichzeitig beim Entscheiden eine unbegrenzte Freiheit zur Disposition stehe. Vielmehr ist jede Art von Entscheidung immer in höchst unterschiedliche Vermögensgrade der Gestaltbarkeit eingebettet“.¹⁶ MEUSBURGER kritisiert weiterhin, dass das Konzept des rational entscheidenden Subjekts die einschlägigen Annahmen der Neoklassik voraussetzt, obwohl selbst dort inzwischen von einer *bounded rationality* die Rede ist. Rationalität lasse insbesondere keine Dynamik zu (ebd.: 98, 100). Hier wäre wohl zu entgegnen, dass ‚rational‘ und ‚kognitiv‘ nicht unbedingt gleichbedeutend sein müssen. Im Gegenteil: In der Mikroperspektive wird aus dem *Rational-Choice*-Ansatz eine „subjektive Nutzenerwartung“ (BLOTEVOGEL 1999: 24f). Hier klingt auch schon die Möglichkeit an, naturwissenschaftliche Paradigmen von Chaos, Selbstorganisation und Emergenz in die Sozialwissenschaften zu übernehmen, vor allem bei Prozessen, die sich als Marktprozesse beschreiben lassen. Weiter schreibt BLOTEVOGEL (ebd.: 25): „Die Struktur-Ebene steht in einem komplementären Verhältnis zur Handlungsebene (sic), und gerade Geographen sollten für die Möglichkeit offen sein, Modelle der Makro-Ebene auf die Mikro-Ebene zu übertragen, ohne in einen platten Naturalismus zu verfallen.“ Mit den Multiagentensystemen hat sich ein Modellierungswerkzeug herausgebildet, das sich hervorragend eignet, diesen Forderungen zumindest ein Stück weit nachzukommen.¹⁷

2.1.4 Institutionentheorie

Die Institutionentheorie als zusätzlichen theoretischen Bezugspunkt für diese Arbeit anzuführen erscheint wenig zweckmäßig. Da sie sich aber auch mit den Möglichkeiten und Beschränkungen menschlichen Handelns beschäftigt, soll sie nicht unerwähnt bleiben. Die Darstellung bezieht sich im Wesentlichen auf einen Übersichtsartikel von SCHAMP (2003), der Institutionen als die „Gesamtheit der Beschränkungen und Möglichkeiten menschlichen Handelns“ definiert. Institutionen spannen damit „Möglichkeitsräume“ (ebd.: 150) auf. Diese sind sehr abstrakt, spezifisch auf eine Sache bezogen spricht man von „institutionellen Arrangements“. Darunter sind die Spielregeln zu verstehen, nach denen an einem bestimmten Ort, zu einer bestimmten Zeit gehandelt wird, etwa wie der Markt funktioniert oder wie Konsumenten entscheiden. Diese institutionellen Arrangements werden von mächtigen Akteuren gestaltet, in Bezug auf den Konsum wären hier etwa die Betriebsformenstrategien von Einzelhandelsunternehmen zu nennen. Für die Untersuchung menschlichen Handelns wäre insbesondere der von SCHARPF (2000) in die Diskussion gebrachte „Akteurszentrierte Institutionalismus“ in Betracht zu ziehen: „SCHARPF misst den spezifischen Akteurskonstellationen [...] und Handlungssituationen, die in spezifischen institutionellen Arrangements wirken, die erklärende Rolle für das jeweilig untersuchte Handeln zu“ (SCHAMP 2003: 152). Zu unterscheiden sind formelle Institutionen, also etwa Gesetze auf nationaler oder ggf. supranationaler Ebene, und informelle Institutionen, zum Beispiel Cluster oder Netzwerke auf regionaler Ebene. „Dies verlangt danach, konkrete institutionelle Arrangements in konkret zu analysierenden Handlungssituationen als Mehrebenenproblem zu verstehen – und zu lösen“ (ebd.: 153). Dennoch blieben ökonomische Grundwahrheiten erhalten und müssten in den Ansatz einbezogen werden: „Auch wenn man die Figur der rationalen Wahlentscheidung ablehnt, wird man eine raumzeitlich (institutionell) begrenzte Quasi-Rationalität der Akteure annehmen müssen“ (ebd.: 154). Auch dies könnte man übrigens als institutionelles Arrangement verstehen!

Hier treffen zwei unterschiedliche Perspektiven aufeinander. Während WERLEN Institutionen als „regelmäßige Handlungsmuster“ sieht (MEUSBURGER 1999: 105), sind Institutionen im Sinne SCHAMPs Grenzen des „Möglichkeitsraums“. Auf die wechselseitigen Beziehungen zwischen Handlungen und Strukturen wurde oben schon eingegangen.

2.1.5 Bewertung und Standortbestimmung

An dieser Stelle sei eine kurze eigene Bewertung der vorangegangenen Überlegungen abgegeben. Trotz der Kritik, die sie erfahren hat, sollte man die wichtigen Verdienste der verhaltensorientierten Geographie um die Loslösung von der Deskriptive würdigen. Zumindest hatte man sich vorgenommen, echte Erklärungen für menschliches Verhalten zu finden, auch wenn aus heutiger Sicht manche Ansätze nicht mehr zeitgemäß erscheinen. Der Vorwurf einer „Ratten-Geographie“ mag für einzelne, allzu begeisterte Arbeiten (etwa TOLMAN 1973) zutreffen, die Mehrheit der verhaltensorientierten Arbeiten war jedoch weit komplexer angelegt (GOLLEDGE & TIMMERMANS 1988). Dennoch war und ist die Diskussion um die Handlungstheorie sinnvoll, um den Einbezug individueller Merkmale und individuellen Willens anzumahnen. Insbesondere erscheint viel versprechend zu sein, beide Herangehensweisen miteinander zu verbinden und die bisher stark verhaltensbetonten Ansätze der Aktionsraumforschung mehr aus handlungstheoretischer Perspektive zu betrachten, wie SCHEINER (1998) das fordert: „[M]it dem Rückriff auf eine handlungstheoretische Basis [verlieren] andere Ansätze ihre Berechtigung nicht. [...] Die Logik des Handelns muss Bestandteil aktionsräumlicher Forschung werden“. Dabei kann als methodisches Konzept durchaus auf die Nutzentheorie zurückgegriffen werden, sofern sie um „subjektive Relevanzen“ und akteurspezifische Handlungsmaxime (ebd.: 61f), die etwa durch empirisch ermittelte Präferenzen für die Eigenschaften der Handlungsalternativen operationalisierbar wären, erweitert wird. Damit würde zwar eine Handlungsrationaltät unterstellt, diese jedoch subjektiv im Sinne einer *bounded rationality* ausdifferenziert. Ferner erübrigt sich dann auch „eine Gegenüberstellung der Handlungstheorien der zweckrationalen und der phänomenologischen Tradition im Sinne eines Entweder-Oder“ (ebd.: 54).

Neueste methodische Ansätze wie die Multiagentensysteme sind auf dem Weg, genau diesen Forderungen auf Modellierungsebene näher zu kommen. Dennoch wird man den Agenten einer Computersimulation kein „argumentativ vorbereitetes“ Handeln (im Sinne SEDLACEKs) zugestehen, auch dann nicht, wenn diese der „künstlichen Intelligenz“ entspringt. Die Debatte um die Institutionentheorie schließlich hat gezeigt, dass auch die Handlungstheorie einer Ergänzung bedarf. Ein Ende der Diskussion, wovon menschliche Aktivitäten tatsächlich bestimmt werden, ist nicht abzusehen. So kann auch dieses Kapitel nicht mit einer ‚letzten Weisheit‘ enden, sondern höchstens mit dem Verweis auf den Versuch, den aktuellen Stand dieser theoretischen Überlegungen in eine empirische Arbeit einzubringen.

2.2 Systematik der Modelle menschlichen Handelns im Raum

Nach diesen theoretischen Überlegungen wollen wir uns nun der Frage zuwenden, wie selbige in Modelle menschlichen Handelns im Raum integriert werden können. Diese räumliche Perspektive führt zu einer Betrachtung von Interaktionen, die aus den unterschiedlichen Struktureigenschaften an verschiedenen Raumstellen resultieren (SCHEINER 1998: 61). Ihre Standorte und Verbindungen werden als Abbilder massenhafter, individueller Entscheidungen gesehen, die in Modellen beschrieben werden können. Viele dieser Modellbildungen wurden aus der Perspektive raumwissenschaftlicher Ansätze vorgenommen, denen in der Regel zwei Annahmen zu Grunde liegen:

1. Menschliche Entscheidungen sind abhängig von strukturellen und empirisch messbaren Attributen der Alternativen. Diese Abhängigkeiten müssen jedoch nicht deterministischer Natur sein, sondern können zusätzlich von individuellen Einschätzungen und Wahrnehmungen beeinflusst werden.
2. Da es sich um räumliche Modelle handelt, ist das Erreichbarkeitsempfinden der Alternative vom Standort des Entscheiders aus als relationale Komponente Bestandteil der Modelle.

Formal lässt sich eine solche Abhängigkeit durch die Verknüpfung theoretischer Konstrukte wie folgt darstellen (LÖFFLER 1987: 196; LÖFFLER, RAUH & SCHENK 2005):

$$U_{i,j} = A_i \circ A_j \circ d_{i,j} \quad (2.1)$$

Mit:

$U_{i,j}$: Nutzen (utility) einer Entscheidungsalternative j vom Betrachter i aus

A_i, A_j : Struktureigenschaft (theoretisches Konstrukt) am Ort i bzw. j

$d_{i,j}$: Empfundener Distanzwiderstand zw. i und j bzw. Erreichbarkeit von j aus i

\circ : undefinierte Verknüpfungsvorschrift

Die nicht definierte Verknüpfungsvorschrift \circ kann durch einen Analogieschluss, etwa zum Gravitationsgesetz (REILLY 1931 und darauf aufbauende Arbeiten), erfolgen. Wenn auch intuitiv nahe liegend, existieren keine empirischen Erkenntnisse über die Verknüpfungsformen von strukturellem Nutzen und Distanzwiderstand einer Alternative aus der Sicht der Entscheider. Dieses Problem stellt sich erneut, wenn sich der strukturelle Nutzen aus mehreren Teilkomponenten (theoretische Subkonstrukte) zusammensetzt:

$$A_j = a_{1,j} \circ a_{2,j} \circ \dots \circ a_{l,j} \quad (2.2)$$

Mit:

A_j : Struktureigenschaft (theoretisches Konstrukt) am Ort j

$a_{k,j}$: Messwerte der theoretischen Subkonstrukte mit $k = \{1, 2, \dots, l\}$

\circ : undefinierte Verknüpfungsvorschrift

Aus mathematischer Sicht ist die Frage der Verknüpfung der Subkonstrukte von der angewendeten Messvorschrift und Metrik, also von der Wahl der Maßeinheit, des Skalenniveaus und der Transformationssvorschrift in die so genannte Nutzenmetrik abhängig.

In den in Analogie zum Gravitationsgesetz angelegten und auf den Arbeiten von REILLY (1931) und HUFF (1964) basierenden Modellen werden die Struktureigenschaften der Interaktionsquellen und –ziele in der Regel monovariat als ‚Attraktivität‘ nach (2.1) operationalisiert und multiplikativ verknüpft, wobei die Struktureigenschaft der Quelle auch entfallen kann. Da der Distanz eine nutzemindernde Rolle zugewiesen wird, ist sie als Kehrwert einzubeziehen. Zur ‚Kalibrierung‘ werden die Skalen der Messwerte durch Exponenten verformt:

$$U_{i,j} = \frac{(A_i A_j)^\alpha}{d_{i,j}^\beta} \quad (2.3)$$

Mit:

$U_{i,j}$: Nutzen (utility) einer Interaktionsziels j von einer Quelle i aus

A_i, A_j : Struktureigenschaft (theoretisches Konstrukt) am Ort i bzw. j

$d_{i,j}$: Empfundener Distanzwiderstand zw. i und j bzw. Erreichbarkeit von j aus i

α, β : Kalibrierungsparameter

Die Kalibrierungsparameter α und β sind zwar als ‚mittlere Sensitivität‘ der Modellobjekte gegenüber den strukturellen und relationalen Attributen recht offensichtlich zu interpretieren (im Fall der Distanz etwa in Abhängigkeit vom Motorisierungsgrad einer Teilpopulation), konkret eingestellte Werte entziehen sich aber weitgehend einer inhaltlichen Deutung. Da sich die Struktureigenschaften auf Interaktionsquellen und –ziele und damit nicht auf Einzelindividuen beziehen, werden Modelle dieser Art auch als ‚Makromodelle‘ bezeichnet.

In diskreten Entscheidungsmodellen (*Discrete Choice Models*) wird in der Regel eine additive Verknüpfung der Teilnutzen gewählt, die jedoch wiederum einer empirischen Fundierung entbehrt.¹⁸ Gehen wir von der Betrachtung der strukturellen Eigenschaften der Entscheidungsalternativen wieder auf die des Gesamtnutzens aus der Sicht des Entscheiders über, so ist dieser gemäß der Forderungen der handlungszentrierten Ansätze zusätzlich von dessen Merkmalen, etwa subjektiven Einschätzungen, abhängig zu machen. Darüber hinaus kann der systematische Anteil des Gesamtnutzens noch durch einen stochastischen Anteil erweitert werden, dessen Addition direkt im Sinne einer linearen Regression nachvollziehbar ist. So ergibt sich unter Annahme einer additiven Verknüpfung der Nutzenkomponenten der Gesamtnutzen als:

$$U_{i,j}^* = \sum_{k=1}^l p_{k,i} a_{k,j} + \varepsilon_{i,j} \quad (2.4a)$$

Mit:

$U_{i,j}^*$: Latenter Gesamtnutzen einer Alternative j aus Sicht des Entscheiders i

$p_{k,i}$: Subjektive Einschätzungen (Präferenzen) des Entscheiders i für Subkonstrukt k

$a_{k,j}$: Messwerte der theoretischen Subkonstrukte mit $k = \{1, 2, \dots, l\}$

$\varepsilon_{i,j}$: Stochastischer Anteil am Gesamtnutzen

In räumlichen Entscheidungsmodellen kann die Erreichbarkeit respektive der Distanzwiderstand zwischen den Orten i und j entweder als eines der Subkonstrukte auftreten oder separat aufgeführt werden. Erfolgt der Einbezug in logarithmierter Form, wird der Distanzaufwand letztendlich multiplikativ mit den strukturellen Nutzenkomponenten verknüpft:

$$U_{i,j}^* = \sum_{k=1}^l p_{k,t} a_{k,j} + \ln d_{i,j} + \varepsilon_{i,j} \quad (2.4b)$$

Für die Objekte von Mikromodellen wird meist eine solche Nutzenoperationalisierung angenommen, da sie Eigenschaften der entscheidenden Individuen explizit berücksichtigt. In den beiden folgenden Kapiteln wird nun auf einige Beispiele im Bereich der Konsumentenforschung für die jeweiligen Modellfamilien eingegangen.¹⁹

2.2.1 Gravitations- und Potenzialmodelle

Gravitationsmodelle zur Beschreibung räumlicher Mobilität von Personen, Waren und Kapital sind in den letzten fünf Jahrzehnten in großer Zahl entwickelt und verbessert worden (u.a. LUKERMAN & PORTER 1960, MEINKE 1971, LÖFFLER & KLEIN 1989, GÜSSEFELDT 2002), haben jedoch auch schon teils früh Kritik erfahren (JUNG 1959, BUCKLIN 1971, JENSEN-BUTLER 1972). Einige neuere Anwendungen aus dem Bereich der Handelsforschung werden hier exemplarisch herausgegriffen, um ihre Funktionsweise zu erläutern. SUNTUM (2000) wendet ein Gravitationsmodell an, um Kaufkraftströme zwischen Gemeinden des Kreises Mettmann zu schätzen. Aus der Entfernungsmatrix und den Kaufkraftbindungsquoten der betrachteten Raumeinheiten leitet der Autor einen Wert für den Kalibrierungsparameter (Exponenten) der Distanz ab. Wenn zusätzlich Kaufkraft der Haushalte und Umsätze des Einzelhandels bekannt sind, kann auf die Attraktivität im Sinne des Gravitationsansatzes geschlossen werden. Diese weist eine hohe Korrelation zu den Verkaufsflächen der Einzelhandelsstandorte in den einzelnen Gemeinden auf (ebd.: 453). Abschließend wird die Tauglichkeit des Ansatzes als Prognosewerkzeug in verschiedenen Szenarien (Ansiedlung eines zusätzlichen großflächigen Angebots, Erweiterung der Verkehrsinfrastruktur) demonstriert.

BAKER (1996) dagegen beschränkt sich auf die Schätzung der Kalibrierungsparameter eines Gravitationsmodells für Kopplungsvorgänge zwischen suburbanen Einkaufszentren und beschreibt diese als Zeit- und Distanzminimierung der Kunden. Er weist dabei drei Kundentypen aus, die je nach Shopping-Center-Größe, Zusammensetzung und Leitgütern bevorzugt tatsächliche Kopplungskäufe mit Lebensmitteln, Vergleichskäufe oder Erlebniskäufe tätigen. Der geschätzte Gravitationskoeffizient wird vom Autor direkt als Loyalität bzw. Besuchsfrequenz der Konsumenten als Interaktionsquelle interpretiert (ebd.: 617) und primär von der Zahl der Geschäfte im Zentrum abhängig gemacht. O'KELLY (1999) zeigt, dass auch Daten aus Kundenbefragungen an wenigen Einkaufsstandorten für die Kalibrierung eines Gravitationsmodells zur Abgrenzung von Marktgebieten eingesetzt werden können, was gegenüber Haushaltsbefragungen deutlich weniger aufwändig ist. KANHÄUSSER (2004) schließlich erweitert das Potenzialmodell, indem er die exponentielle Distanzfunktion durch eine logistische ersetzt und kann anhand von Einzugsbereichen im Möbeleinzelhandel zeigen, dass diese die Wahrnehmung der Kunden zumindest im Bereich der Güter langfristigen Bedarfs besser wiedergibt.

Gemeinsam ist den Gravitations- und Potenzialmodellen die Betrachtung von räumlichen Aggregaten. Auf der Angebotsseite (Interaktionsziele) lassen sich noch recht einfach einzelne Standorte unterscheiden, jedoch gerade auf der Nachfrageseite (Interaktionsquellen, Marktgebiete) weisen diese Ansätze Schwächen in der Differenzierung auf. Oft genug entfällt sogar der Term der strukturellen Eigenschaft der Quelle aus den Nutzengleichungen, dann bleibt als Eigenschaft der Nachfrageseite nur ihr Ort, verklausuliert im Distanzterm, erhalten. Schwierigkeiten bereitet ebenfalls die Operationalisierung der ‚Attraktivität‘, deren inhaltliche Bedeutung oder mögliche empirische Messung häufig fragwürdig bleibt. Auch wenn hohe Korrelationen zur Verkaufsfläche empirisch festgestellt wurden (SUNTUM 2000: 453), ist diese nur bedingt als Attraktivitätsgröße tauglich, da auch Korrelationen zwischen Verkaufsfläche und der Größe des Absatzgebiets und damit des Umsatzes bekannt sind (HEINRITZ, KLEIN & POPP 2003: 72). Nicht nur besteht dabei die Gefahr, dass der Umsatz zur erklären wie zur erklärenden Größe wird, was somit zu einem Zirkelschluss führt, sondern man könnte auch die Frage stellen, warum dann überhaupt noch Merkmale der Nachfrageseite in ein solches Modell einfließen müssen. Dass aber die Eröffnung eines großflächigen Einzelhandelsstandorts keine Umsatzgarantie ist, ist ebenso einsichtig. Ein Einbezug von Merkmalen der Nachfrageseite, ergo der Konsumenten, ist also unverzichtbar. Andererseits kann man die weitgehende Schlichtheit der Potenzialmodelle auch als Vorteil sehen. Dadurch werden die Anforderungen an empirische Vorarbeiten niedrig gehalten, Modelle mit wenigen Freiheitsgraden sind sowohl in der Kalibrierung einfacher zu handhaben als auch leichter nachzuvollziehen, was wiederum die Interpretation der Ergebnisse erleichtert.

Da auf individuelle Merkmale der Nachfrageseite verzichtet wird und die Allokation der Kaufkraft somit als Reaktion auf die strukturellen und relationalen Attribute der Angebotsseite beschränkt bleibt, kann allgemein festgestellt werden, dass diese Modelle eher den Konzepten der Verhaltenstheorie folgen.

2.2.2 Diskrete Entscheidungsmodelle

Auch diskrete Entscheidungsmodelle sind in mannigfaltigen Ausprägungen für zahlreiche Anwendungsbereiche entwickelt worden; einen Überblick liefern TIMMERMANS, ARENTZE & JOH (2002). Einige davon, die sich mit den Entscheidungen von Konsumenten beschäftigen, werden hier wiederum näher vorgestellt. So vergleicht THILL (1995) die Ergebnisse eines *Discrete-Choice*-Modells zur Wahl des Einkaufsstandorts mit verschiedenen Ausgangsdaten, die entweder alle möglichen Entscheidungen (*pooled cross-sectional*) oder nur einen, den mehrheitlich aufgesuchten, Standort (*cross-sectional*) enthalten. Letztere scheinen aber in der Regel eher realitätsfern zu sein, da sie nur eine Entscheidung abzubilden in der Lage sind. Der Autor kommt jedoch zu dem Schluss, dass aufgrund der hohen Wiederholungsrate von Einkaufsentscheidungen die unterschiedlichen Ausgangsdaten keine signifikanten Auswirkungen auf Grenznutzen- und Marktanteilsabschätzungen haben. TIMMERMANS & VAN DER WAERDEN (1992) kritisieren, dass solche Modellierungen in der Vergangenheit nur einstufige Entscheidungen betrachteten. In dem Fall, dass Konsumenten jedoch mehrere Aktivitäten miteinander verbinden (koppeln), müssen nicht nur die Eigenschaften dieser Alternativen einzeln, sondern auch ihre gegenseitige Beeinflussung berücksichtigt werden. So könnte die Entscheidung für ein zweites aufzusuchendes Geschäft etwa von der Zufriedenheit des Kunden mit dem Warenangebot des ersten besuchten Geschäfts oder seiner weiteren Zeitplanung abhängen. Die Autoren stellen ihr auf zweistufige Entscheidungen erweitertes *Discrete-Choice*-Modell vor, das dabei bis zu drei Entscheidungskriterien verwendet.

OPPEWAL, TIMMERMANS & LOUVIERE (1997) untersuchen, welchen Einfluss die Zusammenstellung der Läden in einem Einkaufszentrum auf die Entscheidung der Kunden für einen Einkaufsort hat. Erkenntnisse darüber scheitern den Autoren zufolge zumeist an der Frage der Operationalisierung des Branchenmix, wofür Präferenzmodelle als Lösung vorgeschlagen werden. Jede potenzielle Einkaufsdestination wird mit Attributen versehen, gemäß derer sie von den Kunden in Annäherung an deren Präferenzen eingestuft werden. Als Attribute werden häufig Distanz, Erreichbarkeit, Größe des Einkaufszentrums, Preise oder Qualität verwendet, der Geschäftsmix dagegen selten, obwohl er im Entscheidungsprozess der Kunden sicherlich eine Rolle spielt. Ziel ist es nun, den Geschäftsmix sowohl strukturell als auch räumlich (innerhalb des Zentrums) mit messbaren und praxisrelevanten Attributen zusammenzustellen mit dem Ziel der Maximierung der Besuchsfrequenz. Berücksichtigt wurden die Attribute Sortiment, Preis, Produktqualität, zusätzliche Dienstleistungen, freundliche, qualifizierte Beratung und attraktive Innenausstattung, jeweils als Anteil der Geschäfte mit diesem Attribut. So ist es möglich, die Attribute quantitativ darzustellen und einzeln zu manipulieren, was wiederum in der Planungsphase das Experimentieren mit verschiedenen Attributzusammensetzungen erlaubt. Die Attribute wurden standardisiert und ihr Einfluss auf die Ausgabe beim Einkauf mit einem Logitmodell geschätzt. Auf gleiche Weise werden die Auswirkungen der Shopping Center-Größe und der eingekauften Leitgüter (Lebensmittel vs. Bekleidung/Schuhe) auf die Attribute geschätzt.

HUNT, BOOTS & KANAROGLOU (2004) thematisieren einige grundlegende Eigenschaften von diskreten Entscheidungsmodellen. Sie alle basieren auf der Nutzentheorie, gehen also davon aus, dass der Entscheider die Attributwerte der Alternativen kennt und stets diejenige Alternative mit dem maximalen daraus resultierenden Nutzen wählt. Dabei sind jedoch nie alle entscheidungsrelevanten Kriterien beobachtbar; Messfehler oder Vernachlässigung von Variablen führen dazu, dass die Modelle nur einen Teil des Entscheidungsprozesses korrekt widerspiegeln. Diese Unsicherheit seitens des Modellierers führt zur Entwicklung der Nutzengleichung um einen stochastischen Term. Dieser ist eine Zufallsvariable mit einer in irgendeiner Weise angenommenen Verteilung. Die Entscheidungen beruhen nun auf Wahrscheinlichkeiten, wobei angenommen wird, dass diejenige Alternative mit der höchsten Wahrscheinlichkeit gewählt wird. Damit sind die Entscheidungen von den tatsächlichen Werten der Nutzenfunktion unabhängig. Weiterhin muss angenommen werden, dass das Verhältnis der Auswahlwahrscheinlichkeiten zueinander sich durch die Anwesenheit oder die Veränderung weiterer Alternativen nicht verändert, eine Annahme, die direkt aus der Forderung der wechselseitigen Unabhängigkeit und identischen Verteilung der Zufallsterme in der Nutzenfunktion resultiert (ebd.: 748ff).²⁰ Räumliche Aspekte wie Agglomerationseffekte sind bereits als Erweiterungen in solche Modelle eingeflossen. Im verbleibenden Teil der Arbeit werden weitere komplexere Entscheidungsmodelle, wie Extremwertmodelle, offene Entscheidungsmodelle und Vorauswahlmodelle, die sich mit der beschränkten Wahrnehmung von Entscheidungsalternativen beschäftigen, vorgestellt.

Bei allen Einwendungen, die man gegen die Verwendung der Nutzentheorie und der mathematischen Beschreibung menschlicher Aktivitäten haben kann, kommen diskrete Entscheidungsmodelle mit ihren zahlreichen Erweiterungen um stochastische Elemente und unscharfe Vorauswahlen, sowie der Möglichkeit, ‚Attraktivität‘ in mehrere Bestandteile zu zerlegen und individuell differenziert mit Präferenzen zu gewichten, in ihrer Komplexität der Realität wohl am nächsten, wenn man akzeptiert, dass die vollständige modellhafte Beschreibung eines Phänomens nicht möglich ist. Diese Individualmerkmale sind es auch, die diese Modellfamilie für die Erfüllung der Forderungen der Handlungstheorie zur einzig denkbaren Alternative werden lassen.

2.3 Einkaufen: Handeln oder Verhalten?

Wenn wir nun nach einem Modell zur Beschreibung von Einkaufsvorgängen im Lebensmitteleinzelhandel suchen, um damit eine Simulation durchzuführen, stellt sich die Frage, welche der oben genannten Modellalternativen die geeignete ist. Dies lässt sich am einfachsten auf die Frage reduzieren, ob Einkaufen eher verhaltens- oder handlungsbestimmt ist. Die Argumente für beide Seiten werden im Folgenden gesammelt.

Der selbstbewusste Konsument wird zunächst klar behaupten, dass sein Einkaufshandeln selbstbestimmt ist. Niemand wird bestreiten, dass wir in der Wahl unserer Einkaufsstätte Freiheit hätten, die allenfalls unseren persönlichen Beschränkungen (zeitliche Kollision mit anderen Aktivitäten) unterliegt. Diese Souveränität des Konsumenten ermöglicht unter anderem empirische Studien zu Konsumpräferenzen. Wären wir in diesen Entscheidungen nicht frei, sondern determiniert, wären individuell unterschiedliche Präferenzen für die Attribute des Angebots (Preise, Produkt- und Servicequalität etc.) irrelevant und nicht erhebbar. Für diese Freiheit spricht aber auch die immer stärkere Beobachtung der Mehrfachorientierung von Einkaufsvorgängen sowie im Lebensmittelbereich ihre Verlagerung in so genannte Transiträume. Ebenso sind Kopplungen mit Freizeitaktivitäten als bewusste Entscheidungen zu sehen (HEINRITZ, KLEIN & POPP 2003: 144ff).

Dass Einkaufsentscheidungen aber auch außerhalb von zeitlichen Zwängen lenkbar sind, beweist die Werbung, die explizit auf eine unterbewusste Beeinflussung zielt. Ebenso wird man nicht abstreiten können, dass wir uns zumindest im Rahmen einer *bounded rationality* von den von uns wahrgenommenen Attributen der Entscheidungsalternativen lenken lassen. Dies wird besonders deutlich, wenn man nach den Motiven fragt, die zu einer Einkaufsstättenwahl geführt haben (GERHARD & HAHN 2005). Ob wir uns dabei bewusst wegen der niedrigen Preise zu einem Einkauf bei einem Discountermarkt entscheiden, oder weil uns die Werbung und das Unternehmensimage uns glauben gemacht haben, ihr Angebot sei das Billigste, ist für den Einbezug des Attributs ‚Preis‘ in die Modellierung kaum von Bedeutung.

Ebenfalls nicht frei ist die Entscheidung, überhaupt zu konsumieren. Sehr deutlich wird das natürlich beim Konsum von Lebensmitteln, bei dem ein gewisses Minimum überlebenswichtig ist. Dieser Konsum ist zumindest mengenmäßig sogar auch nach oben beschränkt („Engelsches Gesetz“; HEINRITZ, KLEIN & POPP 2003: 130). Für andere Produkte gelten ähnliche Bedingungen, gegebenenfalls in abgeschwächter Form. Ein Nicht-Konsumieren von Bekleidung kann in der kalten Jahreszeit zum Erfrieren oder zu beliebigen Zeitpunkten zu gesellschaftlicher Ausgrenzung führen. Dahingegen muss es keine besonderen Auswirkungen haben, kein Auto oder keinen Fernseher zu besitzen. Insofern könnte es von Vorteil sein, statt von ‚Einkaufsverhalten‘ von ‚Konsumgewohnheiten‘ zu sprechen. Wo eingekauft wird, hängt auch stark davon ab, für welche Form von Konsum man sich entscheidet. Das Konzept der Konsumententypen („smart shopper“, „convenience shopper“, „Erlebniskäufer“ etc.) weist auf diese Entwicklung hin, wobei die Zuordnung dynamisch aufzufassen ist und schwanken kann („hybrides Kundenverhalten“; ebd.: 166). Zugelassen sind also auch Ausbrüche oder individuell variierende Anteile an den Konsumarten. Diese sehr differenzierende Sichtweise ist modellhaft kaum anders zu bewältigen als durch die Anwendung von Multiagentensystemen.

3 AGENTENBASIERTE SIMULATION FÜR GEOGRAPHISCHE PHÄNOMENE

“A chief reason why the past 10 years have not been kind to human geographers practicing quantitative geography has been the notion that quantitative geography must be positivist; [...] I pursue the theme that epistemology is a matter of representation and practice: in recent years, this practice is underscored by methodological and theoretical pluralism that does not betray logical positivism as its foundationalist faith” (POON 2005: 766).

3.1 Allgemeine Einführung: Motivation und Verfahrensweisen

Simulationen hielten auch in den Sozialwissenschaften schon bald nach der Erfindung des Computers Einzug. Wie in anderen Wissenschaftsbereichen wurden und werden sie vor allem dann angewendet, wenn für anstehende Probleme analytische Lösungen nicht möglich sind oder zu aufwändig erscheinen. Dies ist etwa bei der Lösung komplexer Gleichungssysteme der Fall. Sozialwissenschaftliche Simulation sollte allerdings noch einen Schritt weiter gehen und die Möglichkeiten moderner objektorientierter Programmierung nutzen. So basieren Multiagentensysteme auf dem Prinzip, „realweltliche Entitäten auf programmiersprachliche Objekte“ abzubilden, „die dann im Simulationsmodell auf ähnliche Weise miteinander in gegenseitige Abhängigkeiten treten, wie dies die jeweils entsprechenden realweltlichen Entitäten auch tun“ (TROITZSCH 2000: 181). Damit ist die Absicht verbunden, Simulationen als Prognosewerkzeuge für künftige Handlungen von Akteuren einzusetzen. Politik- und planungsrelevante Anwendungsbereiche lassen sich in Fülle aufzählen und reichen von (kleinräumigen) Bevölkerungsprognosen über Vorhersage staatlicher Einnahmen bis zu Beschäftigungseffekten von Investitionen (LINDGREN 1999).

In der Anfangszeit wurden Simulationen in den Sozialwissenschaften zunächst dazu herangezogen, numerische Lösungen für mathematische Modelle zu finden. Ein bekanntes Beispiel dafür ist der System-Dynamics-Ansatz, bei dem der Zustand eines einzigen Objekts, z.B. ein Land oder die ganze Welt, ausgedrückt in einer meist großen Zahl von Variablen, mittels umfangreicher (Differential-) Gleichungssysteme simuliert wird. Trotz der großen Zahl von Attributen leidet der Ansatz unter objektbezogener Undifferenziertheit. So müssen für die Attributwerte Mittelwertbildungen herangezogen werden, wie etwa eine mittlere Geburtenrate oder ein mittlerer Lebensstandard für das Bezugsobjekt. Je stärker dieses innerlich differenziert ist, desto mehr Information geht dabei verloren, verbunden mit entsprechenden Auswirkungen auf die Sicherheit des Modellergebnisses. Zusätzlich muss eine ähnlich große Zahl an Annahmen über die Zusammenhänge zwischen den Modellvariablen getroffen werden, die sich zur Laufzeit der Simulation nicht ändern. Dennoch geht der Ansatz über das schlichte Fortschreiben von Trends hinaus, ohne unübersichtlich zu werden.

Der angesprochenen Undifferenziertheit wirkte der Ansatz der Mikrosimulation entgegen. Idee ist, im Rechner eine modellierte Population vorzuhalten, wodurch die Zustände der Einzelobjekte recht übersichtlich werden, der Zustand der Gesamtpopulation jedoch zu jeder Zeit durch Aggregation leicht ermittelt werden kann. Einsatzbereiche lassen sich nach der zeitlichen Reichweite der angestrebten Aussagen unterscheiden. Am offensichtlichsten sind Anwendungen im Bereich der Bevölkerungsprognose, aber auch bei der Prognose staatlicher Einnahmen bei Änderungen im Steuersystem. Häufig sind Steuersätze an bestimmte Schwellenwerte gebunden, die Mittelwertbildungen bei der zu

untersuchenden Bevölkerung unsinnig machen, besonders wenn es auch darum geht, wie sich die Belastungen für einzelne Bevölkerungsgruppen verändern. Sollen Aussagen über längerfristige Zeiträume gemacht werden, müssen zusätzlich die Biographien der Simulationsobjekte vorgehalten werden, dann sind diese tatsächlich mit lebenden Individuen deckungsgleich. Die simulierten Individuen altern und entscheiden über Umzug, Ausbildung, Heirat, Familiengründung, Trennung usw. (HOLM et al. 2002). Außerhalb dieser Objektebene werden Ereignisse wie Geburt und Tod ausgelöst. Als Invarianten sind die Übergangswahrscheinlichkeiten der verschiedenen Zustände der simulierten Individualobjekte dem Modell zuzuführen. Ändern sich diese über die Zeit (etwa die Wahrscheinlichkeit der Familiengründung in Abhängigkeit vom Lebensalter), sind zusätzliche Annahmen und gegebenenfalls unterschiedliche Szenarien notwendig, die wiederum mit spezifischen Unsicherheiten belegt sind.

In manchen Fällen kann es von Nutzen sein, nicht nur Individuen, sondern daneben noch Haushalte oder andere Subgruppen modelltechnisch zu erfassen, insbesondere wenn Wechselwirkungen zwischen diesen Ebenen eine Rolle spielen. Dies führt zu den so genannten Mehrebenenmodellen. Ein Beispiel dafür wäre etwa ein Modell, das die Wechselwirkungen zwischen Parteien und Wählern untersucht. In einer Computersimulation (TROITZSCH 1990) konnte veranschaulicht werden, wie sich eine Wählerschaft im Laufe des Wahlkampfes, in dem sich Parteien und Kandidaten entlang des politischen Spektrums positionieren, bis zum Wahltermin zunehmend polarisiert. Die Wähler einerseits und Parteien und Kandidaten andererseits bilden dabei die beiden Ebenen, die getrennt modelliert miteinander in Wechselwirkung treten.

Ein Paradigma für Mikrosimulationen mit einem expliziten Raumbezug ist das der Zellulären Automaten (ZA). Darunter versteht man eine Menge von ortsfesten Objekten, die man sich anschaulich als die Zellen eines Rastergitters vorstellen kann. Angenommen wird, dass sich jede Zelle in einem von einer festen Menge von Zuständen befindet, die sich nach für jede Zelle gleichen Regeln ändern können. Simuliert werden diese Zustandsänderungen in Abhängigkeit von den Zuständen ihrer direkten Nachbarn. Immer wieder wurde dieser Ansatz verwendet, um die soziale Segregation einer Bevölkerung (u.a. SCHELLING 1971, TORRENS 2001) zu simulieren. Dabei werden die Zellen angewiesen, ihren Zustand zu ändern, falls die Mehrheit ihrer Nachbarn sich in einem anderen Zustand befindet, womit der Umzug ‚intoleranter‘ Zellenbewohner abgebildet werden soll. Es ist wenig überraschend, dass sich schon nach kurzer Zeit ein Zellenmuster einstellt, das dem Simulationsziel gerecht wird. Recht zahlreich sind auch Anwendungen von ZA für Modelle der Landnutzung und deren Veränderungen, insbesondere für ökologische Prozesse, wie die Ausbreitung von Waldflächen (PARKER et al. 2003: 316). Die neueste Entwicklung in diesem Bereich stellen die agentenbasierten Simulationen dar, auf die im Detail im folgenden Abschnitt eingegangen wird.

3.2 Multiagentensysteme und agentenbasierte Modellierung

3.2.1 Begrifflichkeiten

Vor ihrer näheren Erläuterung müssen einige Begriffe definiert und gegeneinander abgegrenzt werden. Diese sind: Agent, Multiagentensystem, agentenbasierte Modelle und agentenbasierte Simulation.

Der Begriff des Agenten entspringt der Ökonomie und bezeichnet dort eine Person oder ein Unternehmen, das stellvertretend für eine andere Person oder ein anderes Unternehmen Handlungen ausführt, ohne dabei ein ökonomisches Risiko zu tragen. Diese Definition kommt auch dem Agentenkonzept für Simulationsanwendungen schon recht nahe. Auch hier repräsentieren, wie von TROITZSCH (2000) gefordert, Agenten realweltliche Entitäten, wobei es sich aber nicht unbedingt um Menschen handeln muss (S: Kap: 1.2). Aufgrund der Aktualität des Ansatzes kursieren jedoch unterschiedliche Definitionen. Meistens ist es sehr viel einfacher, die Eigenschaften von Agenten aufzuzählen und zu beschreiben, als eine eindeutige Definition abzugeben. Eine sehr nützliche Definition haben FRANKLIN und GRAESSER (zit. in KLÜGL 2001: 13) aufgestellt: „*An agent is a system situated within and a part of an environment that senses that environment and acts on it, over time [...] and so as to effect what it senses in the future*“. Lediglich die Bezeichnung eines Agenten als „System“ kann verwirrend wirken, wenn im nächsten Schritt Multiagentensysteme definiert werden sollen, die dann als System von Systemen aufzufassen wären. Einfacher könnte man Agenten als Objekte oder Bausteine eines solchen Systems bezeichnen. Die wesentlichen Eigenschaften werden von dieser Definition jedoch berührt (ebd.: 14-16). Agenten sind:

- Situiertheit, also in eine Umwelt eingebettet, die von ihnen wahrgenommen wird und als Feld für ihre Aktionen dient. Allgemein wird man davon ausgehen, dass Agenten ihre Umwelt nur selektiv wahrnehmen. Dies gilt jedoch nicht nur in räumlicher oder topologischer, sondern auch in zeitlicher Hinsicht. Ist etwa die Umwelt selbst nicht statisch, sondern dynamisch, das heißt Veränderungen unterworfen, die entweder exogen zugeführt oder von anderen Agenten verursacht werden, können diese Veränderungen unter Umständen erst zeitverzögert wahrgenommen werden.
- Reaktiv; sie können also auf wahrgenommene Änderungen ihrer Umwelt reagieren. Hier ist auch wieder der Zeitaspekt zu berücksichtigen, je nachdem ob sich Umweltveränderungen schneller oder langsamer als die Reaktionsfähigkeit der Agenten einstellen. Die umgekehrte Richtung der Einflussnahme bleibt von dieser Eigenschaft zunächst unberührt, sollte aber nicht von vornherein ausgeschlossen werden.
- Autonom; sie sind also in der Lage, selbstständig und möglichst ohne zentrale Kontrolle Aktionen auszuführen. Verschiedene Auffassungen herrschen darüber, was genau unter einer zentralen Kontrolle zu verstehen ist. Was Agentensysteme von anderen Simulationsparadigmen unterscheidet, ist, dass Veränderungen in ihren Attributen von ihnen selbst und nicht von außen, etwa durch einen am Rechner sitzenden Menschen, vorgenommen werden. Streng genommen könnten jedoch eine zentral vorgehaltene Simulationszeit, etwa wenn die Agenten einer Bevölkerungssimulation alle mit gleicher Geschwindigkeit und simultan altern, oder eine gemeinsame metrische Umgebung schon als zentrale Kontrolle aufgefasst werden (ebd.: 17).
- Sozial; das heißt, neben ihrer Autonomie haben sie auch die Möglichkeit, mit anderen Agenten in Kommunikation zu treten. Ob schon die Fähigkeit zur Kommunikation für die soziale Eigenschaft ausreicht, oder ob zusätzlich verlangt werden muss, dass die Agenten zur Bildung von Gruppen und Allianzen mit gemeinsamen Plänen in der Lage sind, ist umstritten.
- Zielstrebig; der Begriff der Zielstrebigkeit ersetzt den hier sonst üblichen der Rationalität. Diese Eigenschaft beschreibt die Fähigkeit, Handlungsziele zu besitzen und diese zu verfolgen. Insbesondere sollen die Agenten dazu selbst die Initiative ergreifen können (Proaktivität) und nicht nur auf ihre Umgebung reagieren. Keinesfalls ist diese Eigenschaft jedoch mit einer Rationalität im Sinne eines *homo oeconomicus* zu verwechseln; über die Rationalität der Ziele oder der Strategie ihrer Verfolgung wird hier keine Aussage gemacht.

- Anthropomorph; so wird die Eigenschaft beschrieben, mentale Konzepte, Überzeugungen, Wünsche und Absichten zu besitzen. Im Gegensatz zu den vorherigen Eigenschaften erscheinen diese recht vage, was wohl auch dem Umstand zu schulden ist, dass sie sich am schwersten modellhaft erfassen lassen. Bei Bevölkerungssimulationen bietet sich hier etwa die Möglichkeit, unterschiedliche Toleranzen gegenüber andern ethnischen oder sozioökonomischen Gruppen bei der Partner- oder Wohnortwahl zu integrieren.

Oft werden von Agenten noch weitere Eigenschaften verlangt, wie etwa Flexibilität durch möglichst geringe vorherige Festlegung ihrer Aktionen, räumliche Mobilität oder ein „Charakter“, womit emotionale Zustände gemeint sind (LOIBL & PETERS-ANDERS 2003: 91).

Ein System von mehreren Agenten heißt Multiagentensystem (MAS). Der Systembegriff ist dabei am ehesten auf die Kommunikation zwischen den Agenten zu beziehen (KLÜGL 2001: 45). Ein MAS ist jedoch frei von weiteren konstatierenden Merkmalen, sondern zeichnet sich durch seine dezentrale Struktur und Datenvorhaltung aus. Damit folgt es zwar dem Bild einer „Gesellschaft“ (SCHENK et al. 2004: 118), erschwert aber die Darstellung eben solcher Zentralismen wie Normen, Institutionen, Gesetze oder „soziale Strukturen“ (O’SULLIVAN & HAKLAY 2000). Auch für MAS kann eine Reihe von Eigenschaften festgehalten werden (KLÜGL 2001: 31f). Zunächst stellt sich die Frage, ob MAS nach einer bestimmten Mindestanzahl von Agenten verlangen. Aufgrund beschränkter Rechnerkapazitäten verhalten sich Agentenzahl und ihre Komplexität bezüglich ihrer Attribute, Wahrnehmung und Aktivitäten meist gegenläufig. Ebenso verhält es sich mit der Heterogenität der Agenten bezüglich ihrer Ziele. Je weiter diese auseinanderdriften und wenn sie vereinzelt sogar widersprüchlich sind, desto schwieriger wird es, ein kohärentes Verhalten des Gesamtsystems zu erreichen. Recht unterschiedlich können weiterhin der Grad und das Abstraktionsniveau der Kommunikation zwischen den Agenten sowie das Ausmaß ihrer Autonomie ausfallen.

Die Begriffe Modell und Simulation sind schon im Kapitel 1.1 voneinander abgegrenzt worden. Modelle und Simulationen, die ein Multiagentensystem als Paradigma verwenden, bezeichnet man als agentenbasiert. Liegt der Betrachtungsmaßstab auf einer räumlichen oder inhaltlichen Mikroebene (zur Unterscheidung siehe LÖFFLER, RAUH & SCHENK 2005: 162), und soll dieser Umstand besonders betont werden, können agentenbasierte Modelle und Simulationen noch mit dem Präfix ‚Mikro-‘ versehen werden. Parallel sind ebenfalls die Begriffe Multiagentenmodell bzw. –simulation gebräuchlich. Der Rest des Kapitels wird sich ausschließlich mit individuenbasierten Modellen und deren agentenbasierter Simulation beschäftigen. Obwohl Agentensimulationen nicht auf der Mikroebene ablaufen müssen, und umgekehrt Mikrosimulationen nicht auf dem Agentenkonzept basieren müssen, werden diese Fälle nachfolgend nicht mehr berücksichtigt. Mit dem Term ‚Agentensimulation‘ sei folgerichtig in Zukunft stets die agentenbasierte Simulation eines individuenbasierten Mikromodells bezeichnet.

3.2.2 Idee der Agentensimulation

Grundprinzip der Agentensimulation ist die Orientierung an individuellen Entscheidungen mit dem Ziel, „das Systemverhalten auf der Ebene des Individuums zu erfassen und so weit wie möglich abzubilden“ (KLÜGL 2001: 51). Damit wird das Prinzip des *bottom-up* als Modellierungsrichtung festgelegt. Strukturen und Muster auf der Makroebene (auch in räumlicher Hinsicht) werden als Ergebnis der simulierten Individualentscheidungen erwartet. Die Agentensimulation hat besonders da ihre Stärke, wo Makrostrukturen nicht direkt aus dem Verhalten der Objekte auf der Mikroebene ableitbar sind und umgekehrt. Solche ‚emergenten‘ Phänomene sind besonders in den sozialwissen-

schaftlichen Disziplinen ein häufiges Thema. Die Agenten können nicht nur auf die Zustände ihrer selbst, anderer Agenten oder ihrer Umwelt reagieren, sondern sich auch durch Änderung ihres eigenen Zustandes oder Handelns an die Umgebung anpassen. Damit kann die Agentensimulation direkte Hinweise für die Forschung geben, etwa wenn sich die Agenten in einer bestimmten Situation in unerwarteter Weise verhalten (ebd.: 82). Umgekehrt können aber auch die entstehenden Makrostrukturen bei unterschiedlichen Handlungsweisen und –strategien der Agenten analysiert werden. Dabei sind jedoch auch Betrachtungen auf verschiedenen Aggregationsstufen möglich: Auf der Makroebene lassen sich Subsysteme bilden, von deren Gestalt zusätzliche Merkmale gefordert werden können; auf der Mikroebene können neben Individuen aber auch kleine Aggregate zusätzlich als Agenten modelliert werden, etwa wenn Familien oder sonstige Gruppen gemeinsame Entscheidungen treffen, deren internes Zustandekommen nicht von Interesse ist.

Mit diesen Eigenschaften ergibt sich die Möglichkeit, die zu untersuchenden Phänomene direkt auf der Ebene ihres Entstehens zu modellieren und zu simulieren. Räume und Gesellschaften, deren Heterogenität für die sich in ihnen abspielenden Phänomene entscheidend ist, sind damit der Modellierung viel direkter zugänglich als in durch Gleichgewichts- und Homogenitätsannahmen gekennzeichneten Makroansätzen. Insbesondere kommt die Beschreibung des Agentenverhaltens grundsätzlich ohne die Formulierung von Beschränkungen, auch räumlicher Art, aus. Die Heterogenität der Agenten beschränkt sich dabei nicht auf die Ausprägungen ihrer Attribute, sondern kann auch auf Handlungsweisen und –strategien, Informationsverarbeitung und Gedächtnismechanismen sowie Kommunikationsformen ausgedehnt werden.

3.2.3 Agentensimulation und Raum

Wichtig ist, hervorzuheben, dass Agentensimulationen nicht unbedingt räumlich sein müssen. Wenn gefordert wird, dass Agenten mit ihren Nachbarn kommunizieren sollen, setzt dies zunächst lediglich eine topologische Räumlichkeit, keine topographische voraus. Anders ausgedrückt können Nachbarschaften von Agenten auch ohne Raumrepräsentation im Sinne von Koordinatenpaaren dargestellt werden, etwa mit der einfachen Information ‚Agent X ist benachbart zu (bzw. kann kommunizieren mit) Agent Y‘. Anwendungen der Simulation im Bereich des Börsenhandels, der Vorhersage von Steuereinnahmen oder Kundenreaktionen auf Marketingmaßnahmen kommen in der Regel ohne explizite Raumrepräsentation aus. Anders sieht es aus, wenn die Agenten räumlich verortet und in eine Umwelt eingebettet sein sollen. Ein Agent erhält zunächst schon durch die bloße Anwesenheit anderer Agenten und seine relative räumliche Lage zu ihnen eine Umwelt oder Umgebung. Oft ist jedoch zusätzlich eine Repräsentation des Raums als Simulationsobjekt erwünscht. Nicht immer treten die Agenten dabei auch in Wechselwirkung mit dieser Umwelt. Am elementarsten wäre dies der Fall, wenn die Agenten ihre Entscheidungen nicht nur in Abhängigkeit der Zustände anderer Agenten, sondern auch der ihrer Umwelt treffen. Wiederum die einfachste Form dieser Umweltwirkung ist die Berücksichtigung von Distanzen zu den Entscheidungsalternativen. Umgekehrt ist jedoch auch eine Wirkung der Agentenhandlungen auf die Umwelt von Interesse, etwa wie dies in Landnutzungsmodellen nötig ist.

Aufmerksamkeit verdient nun die Frage, wie Raum in Agentenmodellen repräsentiert werden kann. Dabei sollte man zwei Perspektiven unterscheiden, den Raum, in dem die Simulation ‚spielt‘ und den, der von den Agenten wahrgenommen wird. Für die Darstellung des Raums als Aktionsfeld für die Agenten genügt meist schon eine zwei-, ggf. dreidimensionale Karte, auf der jeder Agent seine Position mit einem Koordinatenpaar oder –tripel einnehmen kann. Diskrete Karten sind softwareseitig

sehr viel einfacher zu handhaben als kontinuierliche, und wenn die Auflösung dieser diskreten Karten klein genug ist (z.B. ein Meter), wird das für die meisten Anwendungen mit Raumbezug auch genügen. Oft wird die erforderliche Raumauflösung auch durch die Ausgangsdaten und die Zielsetzung der Modellierung schon vorgegeben. Weist man dem Agenten nun eine Geschwindigkeit und eine Richtung zu, so kann er sich in diesem Raum bewegen. Die weiteren Umstände für die Raumrepräsentation werden durch die Fragestellung beeinflusst. Ob der Raum per se Eigenschaften besitzt, oder es sich dabei nur um Eigenschaften von Objekten an bestimmten Raumstellen handelt, ist eher eine theoretische denn eine modellierungstechnische Frage. Vielfach werden als Raumrepräsentation Zelluläre Automaten verwendet (u.a. BATTY 2003b, COHEN et al. 1989, TORRENS 2001, WHITE & ENGELEN 2000). Ist keine flächige Raumrepräsentation notwendig, und sollen die Veränderungen der Raumstellen regelgesteuert sein, ist deren Darstellung ebenso durch Agenten anzuraten.

Ein weiterer Vorteil des Agentenkonzepts ist die Möglichkeit der Berücksichtigung sich ändernder Umweltwahrnehmung durch den Agenten während der Bewegung durch den Raum. So können etwa zu vorangegangenen Zeitpunkten nicht sichtbare Entscheidungsalternativen in das Blickfeld des Agenten rücken und seine weiteren Bewegungen beeinflussen (RAUH & HESSE 2002, s.a. Kap. 1.2.2). Wieder stellt sich dabei die Frage, ob diese Bewegungen kontinuierlich sein müssen oder diskret sein dürfen. Diese Frage ist nicht so harmlos wie die der Kartenauflösung. Wenn die Raumwahrnehmung nur nach erfolgten diskreten Bewegungsschritten aktualisiert wird, ist es möglich, dass ‚dazwischen‘, also gegenüber kleineren Schritten oder einer kontinuierlichen Bewegung, wahrnehmbare Alternativen ‚verpasst‘ werden. Insgesamt kann jedoch festgehalten werden, dass MAS wie kein anderer Modellierungsansatz dazu geeignet sind, räumliche Heterogenitäten und deren individuell differenzierte Wahrnehmung modellhaft zu integrieren.

3.2.4 Handlungsregeln der Agenten und der Umwelt

An die Stelle einer zentralen Handlungssteuerung durch deterministische oder stochastische Modellannahmen treten im Agentenkonzept Handlungsregeln. In diesen Regeln wird festgelegt, wie ein Agent aufgrund seiner Informationen und Zielsetzungen handelt. Wichtig ist dabei wiederum die individuenorientierte Sichtweise: Der Agent handelt also nur aufgrund seiner eigenen Information und kann diese nicht an der Beschaffenheit des Gesamtsystems ausrichten, entscheidet somit also unter Unsicherheit. Seine Handlungsweisen werden dabei nicht durch seine Informationen bestimmt in Form einer Reaktion, sondern Informationen und Ziele des Agenten führen gemeinsam zur Aktionsauswahl. Betrachtet man diesen Vorgang prozessual, gliedert er sich in drei Phasen (KLÜGL 2001: 72):

- Die Sensorik, mit der der Agent Informationen aus seiner Umwelt wahr- und aufnehmen kann;
- Die Mechanismen, mit denen er diese Information verarbeitet und mittels seiner Handlungsregeln in Aktionen umsetzt;
- Die Effektorik, mit der der Agent in der Lage ist, Veränderungen an seiner Umwelt vorzunehmen.

Eine Sonderform der Sensorik als Informationsmedium stellt die Kommunikation zwischen Agenten dar, weitere Informationsquellen sind sein interner Zustand und sein Gedächtnis als einem Teil davon. Sensoren kann man sich als Schnittstellen zum Informationsaustausch zwischen dem Agenten

und der Umwelt oder zu anderen Agenten vorstellen. Diese können explizit repräsentiert sein, etwa durch die Vorgabe einer Blickrichtung, des Öffnungswinkels des Sichtfelds und der Sichtweite des Agenten, die als Beschränkungen seiner Informationsaufnahme dienen. Meist erfolgt die Informationsaufnahme jedoch über den Empfang von Nachrichten aus der Umwelt oder von anderen Agenten, oder der Agent kann sich Informationen selbst beschaffen („nachschiessen“). Die gewonnene Information muss nun beim Agenten vorgehalten werden. Dabei unterscheidet man zwischen einer absoluten und einer deiktischen Referenzierung. Absolut bedeutet in diesem Zusammenhang eindeutig, ein Agent, mit dem ein Konsument beim Einkauf modelliert wird, würde also ein Geschäft in seinem Blickfeld identifizieren und als „Getränkeshop Schmidt“ speichern. Bei einer deiktischen Vorhaltung wird dagegen nur die Information „ein Getränkeshop“ abgelegt. Die verschiedenen Referenzierungsformen bieten je nach Anwendung spezifische Vor- und Nachteile (ebd.: 73), die aber im Bereich Konsumentenmodellierung kaum von Bedeutung sind. Die Referenzierung der Information ist ein Teil des inneren Zustands des Agenten, in dem außerdem demographische und sozioökonomische Eigenschaften (z.B. Alter, Geschlecht, Einkommen etc.), emotionale Zustände (Wohlbefinden, Anspannung, Erregung etc.), sowie seine Ziele und das Maß ihrer aktuellen Erreichung abgelegt sein können, bis hin zu sozialem und kulturhistorischem Wissen. Letzteres entzieht sich jedoch weitgehend einer Operationalisierung.

Bei der Kommunikation stellt sich ähnlich wie im Alltag das Problem einer gemeinsamen ‚Sprache‘, also gewisser Standards des Informationsaustauschs, und der Übertragungssicherheit. So könnten etwa nur Teile der gesendeten Nachricht beim Empfänger ankommen. Die aufgenommene Information kann anschließend noch einer mentalen Filterung (Wahrnehmung) unterliegen.

Aufgrund der nun dem Agenten zugewiesenen Information wird dieser eine Aktion auswählen. Dabei wird angenommen, dass der Agent eine solche Aktion auswählt, die ihn seinen Zielen näher bringt, wofür ihm die (zumindest lokalen, das heißt auf sich selbst gerichteten) Auswirkungen seiner Entscheidungsalternativen bekannt sein müssen. Grundsätzlich kann man zwischen diskreten und kontinuierlichen Aktionen unterscheiden. Ist die Repräsentation der Zeit diskret angelegt, bietet sich an, die Aktionen der Agenten an diese anzulehnen, jedoch ergeben sich dadurch auch Beschränkungen, etwa hinsichtlich der Flexibilität bei der Auswahl von Start- und Endpunkt sowie der Dauer einer Aktion. Eine weitere Unterscheidung stellt die nach sequenzieller oder paralleler Ausführung dar, mit anderen Worten, ob die Agenten Aktionen nur nacheinander oder auch zeitgleich ausführen können (ebd.: 76). Letzteres ist bezüglich der Modellbildung sehr komplex, wenn etwa parallel ausgeführte Aktionen sich gegenseitig beeinflussen sollen, aber gelegentlich notwendig, wie etwa bei der Simulation von Stauphänomenen in Verkehrsflüssen oder ähnlichem. In vielen Fällen kann aber auch zu einer diskreten Betrachtungsweise mit sehr kleinen Zeitintervallen übergegangen werden.

Weiterhin ist die Frage zu beantworten, wie viel Freiheit den Agenten bei der Auswahl zwischen verschiedenen möglichen Aktionen zugestanden werden soll. Einfache Modelle rüsten die Agenten mit lediglich einer Aktivität oder einem Ziel aus, das sie unabhängig von den Ereignissen um sie herum verfolgen. Ein Beispiel wäre bei der Simulation von Konsumentenentscheidungen die Reduktion des Handlungsspektrums durch die Unterscheidung von ‚*smart-shopper*-Agenten‘, die stets nur bei Discountern kaufen, ‚Genießer-Agenten‘, die nur Feinkostläden aufsuchen etc. Etwas höher ist die Flexibilität der Agenten, wenn sie ihre Aktivitäten in bestimmten Situationen („Notfälle“) umstellen können, und am höchsten, wenn die Agenten je nach Situation unter einer größeren Menge von Aktivitäten mit vielen Einzelaktionen wählen können. Solche Situationen treten etwa dann auf, wenn Agenten in Verhandlung treten sollen, um bestimmte Teilaufgaben untereinander zu verteilen.

Derartige Überlegungen können auch für das Design der Umwelt angestellt werden. Wie bereits oben erwähnt, ist eine Umweltrepräsentation im Modell oft erwünscht, was beispielsweise durch Zelluläre Automaten (ZA) geschehen kann. Als Beispiel sei COHEN et al. (1989) herausgegriffen: Ein auf ZA basierendes Modell für die Ausbreitung von Waldbränden wird als Grundlage für eine Agentensimulation der Einsatzkräfte verwendet. Untersucht werden verschiedene Strategien und ihre Erfolgsaussichten zur Bekämpfung des Feuers. Da ZA als Sonderfall ortsfester Agenten angesehen werden können, liegt die Repräsentation des Raums durch einen oder mehrere Agenten ebenfalls nahe. Besondere Vorteile ergeben sich v.a. auf technischer Ebene, weil Kommunikations- und Interaktionsinstrumente von den Beziehungen zwischen den Agenten untereinander übernommen werden können. Darüber hinaus bietet nun ein ‚Umweltagent‘ ebenfalls die volle Agentenfunktionalität, kann also auch Ziele haben, sich selbstständig verändern usw. Das erscheint auf den ersten Blick zwar gewöhnungsbedürftig, bietet der Modellierung aber zusätzliche Perspektiven.

Schließlich kommt der Ausformulierung der Handlungsregeln große Bedeutung zu. In sozialwissenschaftlichen Anwendungen steht gerade dieser Teil vor spezifischen Herausforderungen. Konnte in der Arbeit von COHEN et al. (1989) noch das effektive und schnelle Löschen des Feuers als offensichtliches Ziel formuliert werden, ist dies etwa bei der Modellierung von Konsumentenentscheidungen weniger der Fall. Hier müssen Erkenntnisse über individuelle Handlungsziele und Entscheidungsmechanismen aus empirischen Untersuchungen generiert werden. Dabei ergeben sich vorrangig drei zu lösende Problemfelder:

1. Zunächst ist der Simulationsgegenstand festzulegen. Der Anspruch, ein Totalmodell einer Gesellschaft entwerfen zu wollen, ist weder sinnvoll noch erstrebenswert. Allerdings ist es auch nicht ganz abwegig, den Einbezug von Phänomenen außerhalb des Untersuchungsgegenstandes zu fordern. Erkennt man beispielsweise, dass Konsumentenentscheidungen, etwa beim Bekleidungskauf, stark von sozialen Kontakten und Interaktionen beeinflusst werden (Mode, Identitätsstiftung in Gruppen etc.), stellt sich die Frage, inwieweit in ein Modell der Entscheidungen für ein bestimmtes Geschäft oder Produkt Modelle des Entstehens von sozialen Netzwerken und des Informationsaustausches über diese integriert werden müssen. Dabei die Grenze zwischen relevanten und nicht relevanten gesellschaftlichen Phänomenen zu ziehen ist alles andere als trivial.
2. Nach diesem Schritt sind die empirischen Mittel zur Erfassung der relevanten Phänomene auszuwählen. Hier ergibt sich als zweites Problemfeld, dass das Untersuchungsdesign, das heißt, die Art und Weise, wie in einer empirischen Untersuchung Fragen gestellt werden, möglicherweise bereits bestimmte Entscheidungsmechanismen impliziert. Werden Konsumenten etwa gebeten, bestimmte Entscheidungskriterien (Preis, Qualität, etc.) bezüglich ihrer Bedeutung beim Einkauf zu bewerten, bleiben nicht genannte Kriterien unberücksichtigt.
3. Bei der Formulierung der Handlungsziele der Agenten sind diese von den Zielen der Simulation zu trennen, um Zirkelschlüsse zu vermeiden. Das Ziel einer Simulation von Konsumentenentscheidungen, eine möglichst genaue Umsatzschätzung für die Geschäfte abzugeben, könnte wohl am besten erreicht werden, wenn die als Agenten modellierten Konsumenten die Bilanzen der besuchten Geschäfte kennen und ihre Ausgaben danach ausrichten würden. Die Gefahr einer solchen unerwünschten Einflussnahme ist weit weniger trivial, als es zunächst den Anschein hat. Besitzen die Agenten sehr genaue Informationen über Größen, die einen starken Zusammenhang mit dem Umsatz aufweisen, z.B. die Verkaufsfläche des Geschäfts, besteht die Gefahr eines versteckten Zirkelschlusses.

Weitere Aufgaben in sozialwissenschaftlichen Anwendungen von Agentensimulationen, die so nur dort auftreten, ergeben sich aus den zu handhabenden Datenmengen und bei der Verifikation und Validation solcher Modelle. Beide Aspekte werden in den nachfolgenden Abschnitten genauer betrachtet.

3.2.5 Anforderungen für verschiedene Maßstabsebenen

In Kapitel 3.2.1 wurde bereits kurz erwähnt, dass Anzahl und strukturelle Komplexität der Agenten sich meist gegenläufig verhalten. Grundsätzlich sind Modelle menschlichen Handelns auf einem hohen Komplexitätsniveau anzulegen, anders würde man dem anthropomorphen Anspruch des Agentenkonzepts kaum gerecht. Daraus ergibt sich die Herausforderung, menschliches Handeln auf dieser hohen Komplexitätsebene überhaupt zu erfassen, was auch die Frage der Festlegung des Simulationsgegenstands wieder aufwirft. Häufig sind empirische Erkenntnisse auf der Makroebene wesentlich leichter zu generieren als auf der Mikroebene. Beispielsweise lassen sich über Verkehrsströme durch einfache, ggf. automatisierte Zählungen von Fahrzeugen oder Fahrgästen recht schnell umfassende Daten sammeln. Nach Veränderungen im System (etwa bei der Verkehrs- oder Linienführung) kann erneut gezählt und so recht schnell Zusammenhänge abgeleitet werden. Sollen jedoch die Verkehrsteilnehmer nach den Beweggründen für ihre Routen- oder Verkehrsmittelwahl gefragt werden, werden die Zusammenhänge weitaus vielfältiger und müssen zum Zweck der Übersichtlichkeit in einem Modell reduziert abgebildet werden. Wenn die erwarteten Makrostrukturen sich dann in der Simulation nicht einstellen, stellt sich die Frage, ob die getroffene Auswahl der Attribute generell oder nur ihre Parametrisierung ungeeignet war. Wie so häufig in der wissenschaftlichen Modellbildung ist die Gratwanderung zwischen Modellkomplexität und Handhabbarkeit zu beschreiten. Je höher die Komplexität des Handlungsmodells der Agenten ist, desto schwieriger ist die Verfolgung der Auswirkungen von Änderungen im Handlungsmodell; umgekehrt fallen auch Aussagen über Strategien zur Erreichung der Modellzielsetzungen immer schwerer: Sind die Ergebnisse nicht zufrieden stellend, kann der verursachende Modellteil immer schwieriger lokalisiert werden.

Bleibt eine Simulation aufgrund ihrer Komplexität auf eine kleine Zahl von Agenten beschränkt, kann sie kaum über das Stadium eines Experiments hinausgehen. Zum Produzenten planungsrelevanter Erkenntnisse werden solche Modelle erst dann, wenn sie mindestens auf einer regionalen Maßstabsebene angesiedelt werden. Dabei werden jedoch schnell sechs- oder mehrstellige Agentenzahlen erreicht, ganz gleich ob Haushalte oder Einzelindividuen als Objekte der Simulation fungieren. Dieser Umstand stellt zunächst einmal große technische Anforderungen: Die Informationsaufnahme über die Sensoren, die Aktionsauswahl und ihre Durchführung kosten (reale) Zeit und Rechnerkapazitäten, die proportional zur Agentenzahl wachsen. Dies stellt wiederum die Programmierer von Simulationssoftware vor die Aufgabe, Datenvorhaltung und -austausch zu optimieren und effizienter zu gestalten. Gleichzeitig sollen natürlich Modell und Simulation für den Benutzer übersichtlich und handhabbar bleiben. Ein Beispiel aus der praktischen Erfahrung: Die Art der physischen Datenvorhaltung auf dem Arbeitsspeicher eines Rechners ist bei einer Anzahl von einigen Hundert Agenten beinahe belanglos. Wird hingegen eine Simulation von rund 100.000 Agenten gefordert, können im Bereich der Datenverwaltung und des Datenzugriffs größere softwareseitige Änderungen erforderlich sein, bis hin zu einer Umgestaltung der Datenstrukturen, die schnell einen überwiegenden Teil der Software betreffen können und deren Anpassung notwendig machen. Umgekehrt ist es aber gerade die Stärke des Multiagentenansatzes, durch seine dezentrale („verteilte“) Logik und Datenverwaltung solch groß angelegte Modelle verwalten zu können. Die Tatsache, dass jeder Agent zu einem beliebigen Zeitpunkt ledig-

lich auf die für ihn relevante Information zuzugreifen in der Lage sein muss, ermöglicht dem Programmierer wesentliche Vereinfachungen bei der Datenvorhaltung.

Auf inhaltlicher Seite stellt sich die Aufgabe, Daten über eine große Anzahl Personen zu sammeln, mit den damit verbundenen Schwierigkeiten: Vollerhebungen sind teuer, Rücklaufquoten von Haushaltbefragungen niedrig. Bei vielen Variablen, wie dem genauen Wohnstandort oder dem Einkommen, verbietet sich die Erhebung schon aus Datenschutzgründen. Hier bietet sich allenfalls die Disaggregation etwa aus Baublockdaten an, sofern solche Daten überhaupt von den Gebietskörperschaften vorgehalten werden. Daten für Individualmodelle zu beschaffen, ist also mit einem deutlich höheren Aufwand verbunden als bei den aggregierten Gegenständen.

Schließlich steht auch die Bewertung des Modellergebnisses, ggf. verbunden mit einer angestrebten Verbesserung des Modells, vor spezifischen Herausforderungen bei großen Datenmengen. Sind etwa Modellparameter auf der Ebene einzelner Agenten einzustellen, sind automatisierte Verfahren hierzu schnell überfordert. Dies gilt insbesondere dann, wenn eine ‚Marschroute‘ für Modellverbesserungen nicht einfach zu quantifizieren ist, oder Effekte der Parameterveränderungen selbigen nicht eindeutig zugeordnet werden können. Zur Verdeutlichung sei als Beispiel wieder ein Modell für Konsumentenentscheidungen genannt. Angenommen, ein erreichtes Modellergebnis wird als nicht befriedigend eingestuft, und es wird festgestellt, dass die Einkaufsaktivitäten der Agenten stark räumlich streuen. Man könnte nun vermuten, dass Modellverbesserungen erreicht werden können, wenn der Aktionsradius der Agenten eingeschränkt wird, was die Anzahl der Geschäfte, die einem Agenten zum Einkauf zur Verfügung stehen, beschränken soll. Man definiert also eine ‚Sichtweite‘, die nun bei einigen Tausend Agenten simultan einzustellen wäre. Dadurch ergibt sich ein extrem großer Suchraum für diese Entfernungsschranke, da es nicht möglich ist, die Effekte ihrer Wahl bei einzelnen Agenten gegeneinander zu isolieren. Eine sequenzielle Änderung führt jedoch zum Ausschluss von Parameterkonstellationen, da beim Einstellen des Wertes bei einem Agenten stets das Konstanthalten desselbigen bei jedem anderen voraussetzt.

Ist zusätzlich die Aktionsauswahl in den Handlungsregeln der Agenten randomisiert, enthält also eine Zufallskomponente, können deren Effekte ebenfalls nur schwer isoliert werden. Insbesondere automatisierte Verfahren zur Parametereinstellung versagen an diesem Punkt, diese sind auf das Auffinden eines eindeutigen Optimums ausgelegt.

3.2.6 Verifikation / Validation

Obwohl schon im vorangegangenen Abschnitt thematisiert, werden hier die Aufgabenstellungen beim Bewerten der Simulationsergebnisse näher beleuchtet. Zunächst muss zwischen den Begriffen „Verifikation“ und „Validation“ unterschieden werden (PARKER et al. 2003). Die Verifikation dient dazu, sicherzustellen, dass das Modell die Vorstellungen und Annahmen der Empirie befolgt, und die Simulation die Modellspezifikationen fehlerfrei umsetzt. Dazu sind die Simulationsobjekte und die Wechselwirkungen zwischen ihnen sorgfältig zu beobachten und mit den durch das Modell vorgesehenen Wirkungsweisen abzugleichen. MAS bieten hierbei den großen Vorteil, dass sie die realweltlichen Objekte und Beziehungen sehr direkt repräsentieren, anders als das etwa bei gleichungsbasierten Mikrosimulationen der Fall ist, und damit diesen Teilvorgang erheblich erleichtern. Dazu gehört, die Veränderungen der Variablen und Modellparameter während der Simulation zu verfolgen, um mögliche Programmierartefakte zu identifizieren und auszuschließen. Als weitere Fehlerquellen sind aber auch die Ausbreitung von Unsicherheiten und Fehlern der Ausgangsdaten zu beachten. In Landnut-

zungsmodellen können solche Fehler etwa bei der Klassifizierung von Satellitendaten auftreten. Bei der Verwendung von Befragungsergebnissen für die Festlegung der Handlungsregeln ergeben sich Unsicherheiten oft aus zu kleinen Fallzahlen in kreuztabellierten Resultaten oder aus der Missinterpretation von Fragestellungen seitens der Befragten. Essentiell ist, dass die Verifikation zunächst nur die technisch korrekte Funktionsweise sicherstellt.

Bei der Validation dagegen geht es um die Bewertung, in welcher Qualität die Simulationsergebnisse die Zusammenhänge des realen Systems widerspiegeln. Dazu müssen die Simulationsergebnisse mit Erkenntnissen aus empirischen Untersuchungen oder aus anderen Modellen, deren Gültigkeit schon nachgewiesen ist, verglichen werden. Das der Agentensimulation eigene Konzept der Emergenz (s. Kap. 3.2.2) legt auch einen Vergleich mit aggregierten Daten nahe. Resultate agentenbasierter Bevölkerungssimulationen können beispielsweise mit aggregierten räumlichen Bevölkerungsverteilungen oder Migrationsströmen verglichen werden. Hier ergibt sich jedoch das Problem, dass die Zusammenhänge zwischen dem Handeln der einzelnen Agenten und den emergenten Strukturen nicht eindeutig sind. Mit anderen Worten: Bestimmte Bevölkerungsverteilungen können durch mannigfaltige Kombinationen unterschiedlicher Veränderungsprozesse zustande kommen, deren Wirkungen durch Vergleich mit aggregierten Daten nicht gegeneinander abgegrenzt werden können. Wird das Ergebnis als nicht zufrieden stellend bewertet, kann nicht einmal eine Aussage darüber getroffen werden, ob die erwünschten Strukturen auf der Makroebene mit den modellierten Vorgängen auf der Mikroebene generell nicht erzeugt werden können, oder ob sie lediglich ungeeignet parametrisiert wurden (KLÜGL 2001: 83). Wenn Modellparameter und Vergleichsgrößen auf unterschiedlichen Skalenniveaus vorliegen, kann auch der Fall auftreten, dass eine vollständige Übereinstimmung des Modells mit der Realität schon aus diesem Grund nicht möglich ist. Generell haben kleine Parameteränderungen bei einer großen Zahl von Agenten überraschend starke Auswirkungen auf die emergenten Strukturen.

Dennoch gibt es Erfolg versprechende Ansätze zur Modellverbesserung. Dazu gehört zum einen die Einbringung von Metawissen über die modellierten Phänomene. Denkbar ist hier vor allem die Verwendung qualitativer Erhebungen zur Erkenntnisgewinnung auf dieser Ebene. Leider fehlen gängige Methoden zur Integration qualitativer Erkenntnisse in Agentenmodelle. Zum anderen können als automatisierte Verfahren neben herkömmlichen Optimierungsalgorithmen auch Lernprozesse der Agenten selbst verwendet werden. Die Agenten müssten demnach ‚lernen‘, ihr eigenes, lokales Handeln so anzupassen, dass vorgegebene emergente Strukturen entstehen (ebd.: 213). Selbst wenn die hier gegebene Gefahr von Zirkelschlüssen vernachlässigt wird, können die Agenten hier wiederum nur begrenzt bewerten, inwiefern ihre eigenen oder die Handlungsveränderungen anderer Agenten zu der neuen Situation beigetragen haben. Das weitgehende Fehlen gängiger Kalibrierungsverfahren für MAS ist mit der Aktualität des Ansatzes und seiner wenig fortgeschrittenen und entwickelten Anwendung in den Sozialwissenschaften begründet.

3.3 Plädoyer für den Einsatz von MAS in den Sozialwissenschaften

Bereits in Kapitel 2 waren die Kritiken, die sich gegen das Modellieren menschlichen Handelns richten, angesprochen worden. Grundsätzlich kann es nicht Sinn eines Modells sein, menschliches Handeln vollständig abzubilden. Modelle in allen Wissenschaftsbereichen haben immer zur Aufgabe, so komplex wie für ein zufrieden stellendes Ergebnis nötig, jedoch so einfach wie möglich zu sein. Dennoch ergaben sich Einwände vor allem bezüglich der quantitativen Darstellung, die sich insbe-

sondere freien Willensentscheidungen verschleibe. Ebenso wird die Unterstellung von Homogenitäten im Handeln, und sei es nur durch die Verwendung nutzentheoretischer Annahmen, kritisiert. Dass das Konzept des *homo oeconomicus* als Modellierungsparadigma den Ansprüchen moderner Sozialwissenschaften nicht mehr genügen kann, braucht nicht weiter erläutert zu werden. Stattdessen ist von einer *bounded rationality* auszugehen, die annimmt, dass jedes Individuum zumindest für sich selbst glaubt, nicht zum eigenen Nachteil zu handeln, auch wenn dies von außen betrachtet nicht rational erscheint. Gleichzeitig beginnt sich mit MAS ein Modellierungsansatz zu etablieren, der sich im Sinne des Eingangszitats dieses Kapitels von den positivistischen Glaubensbekenntnissen der quantitativen Forschung der Vergangenheit zu lösen beginnt. Seine Stärke ist, eben kein homogenes Handeln der Akteure unterstellen zu müssen (KLÜGL 2001: 81).

Insbesondere die Geographie hat eine ausgeprägte Tradition der Betonung von Inhomogenitäten in Raum und Gesellschaft. Insofern ist es nicht verwunderlich, wenn die Berücksichtigungen solcher Heterogenitäten in Forschungsansätzen der Raumwissenschaften gefordert wird: „So erweist es sich als notwendig, das Individuum als Akteur mit bestimmten Handlungszielen und –maximen zu betrachten, die seine aktionsräumlichen Aktivitäten mitbestimmen“. Der Aktionsraum ist „als Ergebnis von Handlungen und eben nicht von Verhalten im Sinne einer vor allem psychologisch zu erklärenden Reaktion auf externe Reize anzusehen. [...] Entscheidend daran ist, dass die Handlungsrationalität sich auf den Standpunkt des Subjekts bezieht und nicht dem Handelnden objektiv gegenübersteht“ (SCHEINER 1998: 51-53). Aus den vorangegangenen Abschnitten dieses Kapitels sollte deutlich geworden sein, dass Multiagentensysteme für die modelltechnische Umsetzung dieser individuell ausdifferenzierten Sichtweise uneingeschränkt geeignet sind: Die Agenten als Modellierungsobjekte tragen nicht nur Merkmale von Individuen, die in ihre Entscheidungsfindung einfließen können, sondern können diese auch mit Handlungszielen verbinden. Ein solches, neuartiges Modell aktionsräumlichen Handelns kann so intentionales und damit individuell verschiedenes Handeln abbilden, ohne auf die Rationalitätsannahme verzichten zu müssen. Unterscheidungen zwischen zweckrationaler und phänomenologischer Perspektive im Sinne eines Entweder-Oder sind damit hinfällig.

Wie kann ein solches Modell nun aussehen? Im Gegensatz zu den raumwissenschaftlichen Ansätzen ist davon auszugehen, dass Interaktionen nicht auf Raumstellen, sondern „auf die diesen zugeschriebenen Eigenschaften, d.h. deren Bedeutungen“ gerichtet sind. „Diese sind von subjektiven Relevanzen abhängig [...]“ (ebd.: 61). Ein Modell von Konsumentenentscheidungen hätte diese also von Attributen der Entscheidungsalternativen (Geschäfte, Produkte) und deren individueller Einstufung (Präferenzen) abhängig zu machen. Die Raumwahrnehmung nimmt dort lediglich eine Mittlerrolle zwischen Aktionsraum, Handlungsmaximen und –bedingungen ein. Dabei solle sie jedoch weniger als handlungslenkende, sondern vielmehr als von den Handlungen selbst abhängige Variable betrachtet werden.

Als Fazit dieses Kapitels seien drei Thesen festgehalten, deren Gültigkeit zu unterstreichen diese Arbeit angetreten ist:

1. Aktionsräumliche Forschung und Modellierung bedürfen einer individuellen Betrachtungsweise, wollen sie zeitgemäß sein und den Forderungen aktueller sozialwissenschaftlicher Ansätze (Handlungstheorie) Rechnung tragen. Insbesondere sind die Information über und die Wahrnehmung von Entscheidungsalternativen individuell auszdifferenzieren.
2. Hauptkritikpunkt an der Nutzentheorie war die Annahme eines vollständig informierten und Nutzen maximierenden Entscheiders. Können die obigen Forderungen nach individueller Ausdifferenzierung der Nutzenformulierung im Sinne einer *bounded rationality* erfüllt wer-

den, ist diese Kritik gegenstandslos geworden und gegen die Weiterverwendung nutzentheoretischer Annahmen nichts einzuwenden.

3. Multiagentensysteme bieten das erste methodisch geeignete Instrumentarium zu diesem Zweck.

Auf diese Thesen wird bei der Beschreibung des Modells in Kapitel 5 regelmäßig zurückzukommen sein.

4 DIE REGION UMEÅ (SCHWEDEN)

Im folgenden Kapitel 4.1 werden nun die für die Arbeit verwendeten Daten und ihre Aufbereitung nach der Nachfrageseite (Bevölkerung) und der Angebotsseite (Lebensmittelgeschäfte) des aufzustellenden Modells getrennt vorgestellt. Aus diesen lassen sich weitere sozioökonomische Eigenschaften der Bevölkerung sowie für den Zustand der Grundversorgung im Untersuchungsgebiet ableiten, denen sich das Kapitel 4.2 widmen wird.

4.1 Datenbeschreibung und -aufbereitung

4.1.1 Daten der Nachfrageseite

Die Nachfrageseite besteht aus allen in der Arbeitsmarktregion Umeå mit erstem Wohnsitz gemeldeten Einwohner²¹ über 16 Jahre (ca. 108.000), für die im Zensus des Statistischen Zentralbüros (*Statistiska Centralbyrån*, SCB) Variablen nach Fig. 4-1 vorliegen. Mit Hilfe ihrer Familien ID lassen sich diese Individuen zu Familien²² (ca. 70.000) mit ihrem verfügbaren Familieneinkommen und der Familiengröße zusammenfassen. In ca. 0,1% der Fälle fehlte der Wert einer der Variablen, die Angaben dieser Individuen wurden nicht weiterverwendet.

Variable (Kurzbezeichnung)	Erläuterung
Geburtsjahr (GebJahr)	Enthalten sind nur Personen über 16 Jahren.
Alter (Alter)	Differenz aus dem Bezugsjahr 1997 und GebJahr
Geschlecht (Geschl)	1 = weiblich, 2 = männlich
Familien ID (FamID)	Alle Mitglieder einer Familie ² erhalten die selbe Familien ID
Familientyp (FamTyp)	Unterschieden werden i.W. vier Typen: Alleinstehende und Zusammenlebende jeweils mit und ohne Kinder.
Koordinaten der Wohnung (Xw, Yw)	Auflösung: 100 Meter
Koordinaten des Arbeitsplatzes (Xa, Ya)	Auflösung: 100 Meter
Verfügbares Einkommen der Familie (FamEk)	Summe der Einkommen aller Individuen mit identischer Familien ID
Familiengröße (FamGr)	Anzahl der Individuen mit identischer Familien ID
Konsumgewicht der Familie (KonsGew)	Anzahl von Standardkonsumeinheiten, bezogen auf den Durchschnittskonsum (=1,0), nach Haushaltstypen unterschiedlich ²³

Fig. 4-1: Variablen der Nachfrageseite; weitere Erläuterungen siehe Anhang 10.2.

Für die Modellierung des Einkaufsverhaltens musste zunächst aus dem verfügbaren Familieneinkommen ein Ausgabebetrag für Lebensmittel (=lebensmittelrelevante Kaufkraft) berechnet werden. Aus laufenden Erhebungen des SCB zum Ausgabeverhalten der Haushalte (SCB 2002a, Tabellen 8 und 9) nach Einkommensquartilen und Familientypen konnten in drei Schritten lineare Regressionsgleichungen für die Höhe der Lebensmittelausgaben einer Familie in Abhängigkeit von ihrem verfügbaren Einkommen und ihres Typs abgeleitet werden. Im ersten Schritt wurden die (empirisch ermittelten) Lebensmittelausgaben nach Einkommensquartilen zu den durchschnittlichen Lebensmittelausgaben pro 1,0 Konsumgewicht in Bezug gesetzt:

$$BzD = \frac{LA_{EkQuartil}}{LA_{FamTyp}} \quad (4.1)$$

mit BzD : Bezug zum Durchschnitt; $LA_{EkQuartil}$: Durchschnittliche Lebensmittelausgaben des Einkommensquartils; LA_{FamTyp} : Durchschnittliche Lebensmittelausgabe des Familientyps

Im zweiten Schritt wurde aus den kleinsten und größten Wertepaaren anschließend mittels Regressionsanalyse für jedes Einkommensquartil eine lineare Gleichung für den Bezug zum Durchschnitt abhängig vom Familieneinkommen (in 100 SEK) aufgestellt:

$$\text{Erstes Quartil: } BzD = 4,65 * 10^{-5} * FamEk + 0,85 \quad (4.2a)$$

$$\text{Zweites Quartil: } BzD = 3,05 * 10^{-5} * FamEk + 0,91 \quad (4.2b)$$

$$\text{Drittes Quartil: } BzD = 1,40 * 10^{-4} * FamEk + 0,75 \quad (4.2c)$$

Viertes Quartil: $BzD = 2,2 * 10^{-6} * FamEk + 1$ (4.2d)

Notation wie (4.1), zusätzlich *FamEk*: Familieneinkommen in 100 SEK

Die Lebensmittelausgaben jeder Familie (in allen Quartilen) berechnen sich dann im dritten Schritt (gewichtet mit ihrem Konsumgewicht) als:

$$LA = BzD * LA_{FamTyp} * KonsGew \tag{4.3}$$

Notation wie (4.1)

4.1.2 Daten der Angebotsseite

Für die Attribute der Angebotsseite, der Lebensmittelgeschäfte in der Region Umeå, wurden Geschäftsdaten aus zwei Quellen zusammengeführt: Aus der SCB-Datenbank der schwedischen Arbeitsstellen ließ sich eine Tabelle aller Geschäfte in der Arbeitsmarktregion Umeå, die 1997 in der europäischen Wirtschaftszweigsystematik²⁴ als 52.1 „Handel mit Lebensmitteln“ eingestuft waren, extrahieren. Aus einer Untersuchung des KONSUMENTVERKET aus demselben Jahr wurde eine Aufstellung aller Geschäfte des täglichen Bedarfs in der Arbeitsmarktregion gewonnen. Die unterschiedliche Datenbasis der beiden Quellen (Lebensmittel vs. täglicher Bedarf) sorgte für einige Diskrepanzen in der Zahl der Geschäfte in den Unterbranchen. Lebensmittelfachgeschäfte (wie Süßwarenläden, Delikatessengeschäfte und die *System Bolag* des staatlichen Alkoholmonopols) wurden aus dem Datensatz gestrichen, die Tankstellen und *Servicebutiker* (Kioske etc.) aber beibehalten. Fehlte der genaue Umsatzwert, was v.a. bei Filialunternehmen der Fall war, wurde stattdessen der Mittelwert der Umsatzklasse aus der jeweils anderen Datenquelle eingesetzt. Fehlende Koordinaten wurden über die Postadresse des Geschäfts und einer georeferenzierten GIS-Karte ermittelt. Weiterhin unberücksichtigt bleiben mussten Geschäfte, die im Bezugsjahr 1997 eröffnet oder geschlossen wurden, da ein genaues Datum für diese Ereignisse nicht vorliegt, der Umsatz aber nur jährlich ausgewiesen ist. Fig. 4-2 gibt einen Überblick über die in den beiden Quellen verfügbaren Variablen für die resultierenden 132 Geschäfte.

Statistiska Centralbyrån	Konsumentverket
Unternehmens- und Arbeitsstellennummer	Name des Geschäfts
Koordinaten (100m Gitter)	Adresse, Ort
Zahl der Beschäftigten	Verkaufsfläche
Umsatz des Unternehmens	Umsatzklasse des Geschäfts
	Kettenzugehörigkeit
	Geschäftstyp
Fig. 4-2: Geschäftsattribute aus den beiden verfügbaren Quellen; weitere Erläuterungen siehe Anhang 10.3.1.	

Durch eine eigene Erhebung (2004) aller im Untersuchungsgebiet befindlichen Lebensmittelgeschäfte können zwischen diesen beiden Zeitschnitten Vergleiche angestellt werden (s. Kap. 4.2.3).

4.2 Datenanalyse und –visualisierung

4.2.1 Lage und Struktur

Am 64. Breitengrad und knapp 650 Kilometer nördlich von Stockholm gelegen gehört die Arbeitsmarktregion Umeå nicht nur innerhalb der Europäischen Union, sondern auch in Schweden zu den peripheren Gebieten abseits der wirtschaftlichen und demographischen Zentren des Landes und der EU. Neben diesem topologisch distanziellen Kriterium von Peripherie zeichnen sich solche Regionen auch durch geringe Bevölkerungsdichte, anhaltende Abwanderung, auch intraregionaler Art mit dem Ergebnis der Entstehung von Peripherien in der Peripherie, und unterdurchschnittliche Ausstattung mit Dienstleistungen und Infrastruktur aus (LÖFFLER 2004: 82). Innerhalb der Region sind jedoch weitere Differenzierungen vorzunehmen, wie die folgenden Abschnitte zeigen. Die Auswirkungen dieser peripheren Lage insbesondere für die Grundversorgung werden im Kapitel 4.2.3 noch näher betrachtet.

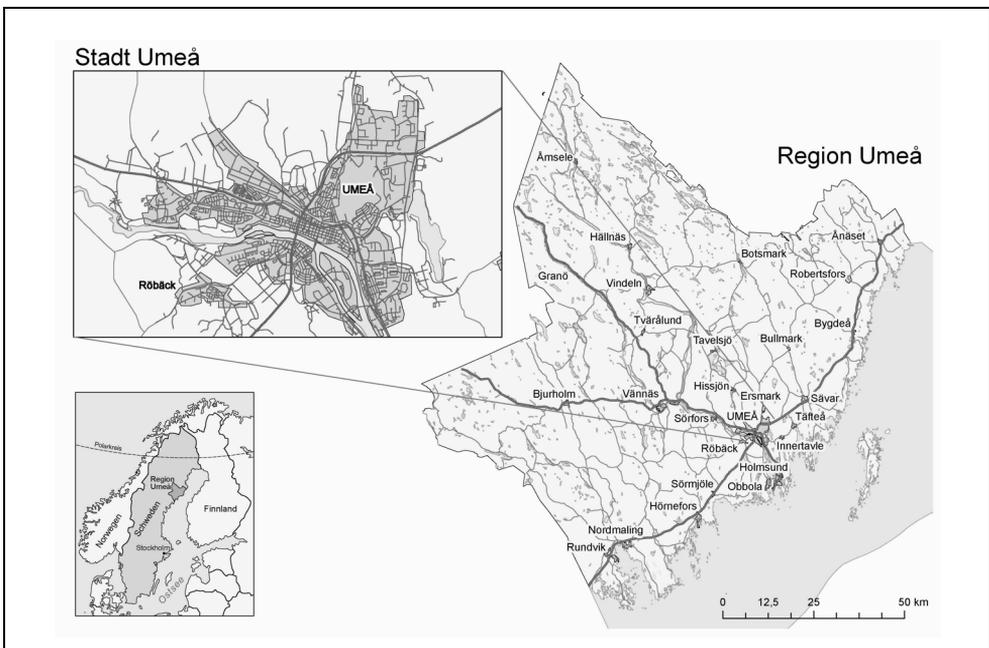


Fig. 4-3: Lage und Aufbau des Untersuchungsgebiets.

Die Arbeitsmarktregionen werden von der schwedischen Regionalpolitik ausgewiesen, diejenige von Umeå liegt in der Provinz (*Län*) Västerbotten, besteht aus den fünf Kommunen Bjurholm, Nordmaling, Robertsfors, Umeå, Vindeln und Vännäs und erstreckt sich über eine Fläche von ca. 13.500 km² (Fig. 4-3). Auf diesem Gebiet lebten 1988 122.106 Menschen, 1997 136.413, 2005 waren es 142.011. Für diese Zunahme war allein die Kommune Umeå (1988: 88.761; 1997: 103.151; 2005: 110.758) verantwortlich, alle anderen Kommunen verlieren zwischen einem und zwei Prozent p.a. an Bevölkerung. Dieses auch für das Stadtgebiet alleine erkennbare Wachstum (1990: 60.305; 1995:

68.494; 2000: 70.955; alle Zahlen: SCB 2006a) lässt auf eine fortschreitende Urbanisierung innerhalb der Region schließen, die neben der Stadt auch auf die Zentralen Orte des Umlandes gerichtet ist. Treibende Kräfte waren dabei die Gründung einer Universität 1965 mit aktuell knapp 30.000 Studierenden und die Ansiedlung eines Volvo-Werkes 1964, das noch heute der größte privatwirtschaftliche Arbeitgeber der Region ist. Verkehrlich ist die an der Ostseeküste gelegene Region durch den Flughafen Umeå mit ausschließlich innerskandinavischen Verbindungen, durch die beiden Europastraßen E4 und E12, sowie durch die Bahnlinie Stockholm – Narvik mit einer Stichbahn Vännäs – Umeå angeschlossen. Mit der *Bottniabanan* befindet sich ein neuer Schienenverkehrsweg, der die Bevölkerungsschwerpunkte an der Küste miteinander verbinden soll, in der Projektierungsphase Über die Ostsee bestehen weiterhin Fährverbindungen nach Vasa (Finnland).

4.2.2 Demographische und sozioökonomische Aspekte der Bevölkerung

Aufgrund des hohen Detaillierungsgrads der in diesem Projekt verfügbaren Daten (SCB 2002b, außer anders angegeben) bieten sich einige regionalgeographische Analysen der Bevölkerung im Untersuchungsgebiet an, denen dieses Kapitel gewidmet ist. Da sie nicht eigentlicher Gegenstand der Arbeit sind, sondern lediglich einen Einblick in die Region geben sollen, beschränkt sich die Darstellung auf die Deskriptive.

4.2.2.1 Soziodemographie: Bevölkerungsstruktur und -verteilung

Bei der Darstellung der Bevölkerungsdichte wird deutlich, dass ‚Peripherie‘ kein eindeutiger Begriff ist, vielmehr ordnen sich ganze Kaskaden von ‚Peripherien‘ auf unterschiedlicher Maßstabsebene aneinander. Liegt Nordschweden in der Peripherie der EU, die Region Umeå in der Peripherie Schwedens, so sind auch innerhalb der Region Peripherien festzustellen, wie schon die Choropleten-darstellung (Fig. 4-4) zeigt. Während nur die stadtnahen Raumeinheiten in der obersten Klasse an in Mitteleuropa gängige Werte (zum Vergleich: Deutschland ca. 230 Ew/km²) herankommen, liegen weite Bereiche deutlich unter fünf Einwohnern pro Quadratkilometer. Den geringsten Wert von 0,79 Ew/km² weist die Insel Holmön auf, aber auch das Församling Åmsele liegt mit 0,86 Ew/km² nur knapp darüber. Die Säulendiagramme stellen den Altersaufbau der Församlingar dar. Hier zeigen sich auch wieder typische Merkmale peripherer Regionen. Die jungen Erwachsenen konzentrieren sich auf den städtischen Raum, besonders das Församling Ålidhem mit den studentischen Wohngebieten sticht hier hervor. Suburbanisierungstendenzen kann man am Altersaufbau von Sävar und Bygdeå ablesen, wo erhöhte Anteile der ökonomisch aktiven Altersgruppe von 36 bis 50 auftreten. Periphere Gebiete sind wiederum von einer altersmäßig selektiven Abwanderung betroffen, die in überproportionalen Anteilen älterer Bevölkerung münden, wie an Åmsele, Bjurholm und der Insel Holmön (knapp 41% der Bevölkerung über 65) deutlich zu erkennen ist.

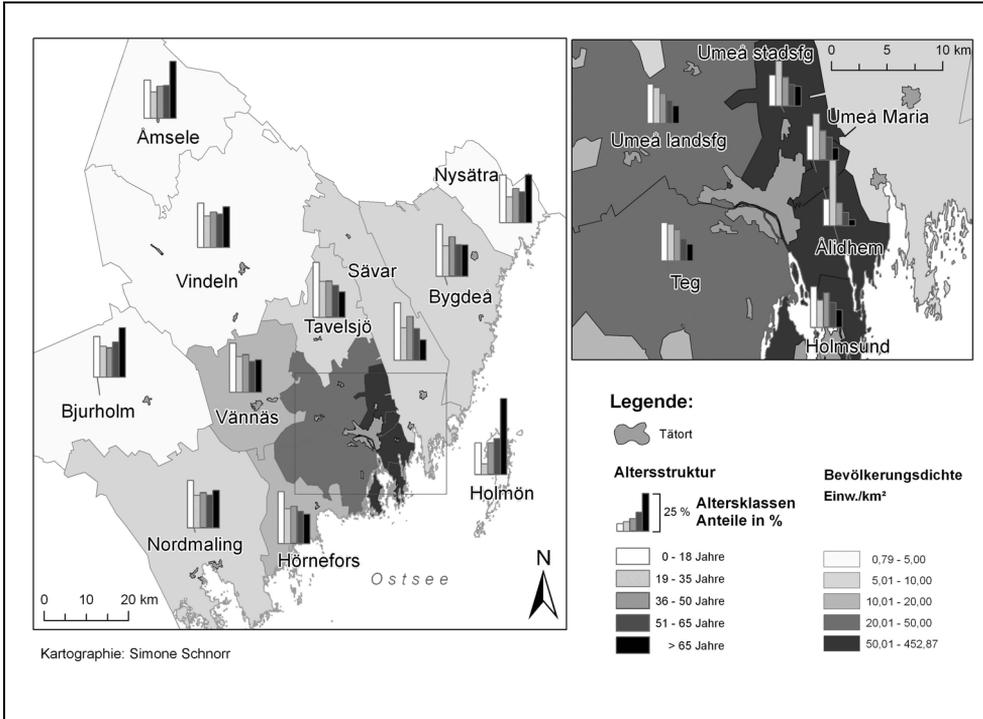


Fig. 4-4: Bevölkerungsdichte und Altersaufbau der Församlingar 1997.

Noch deutlicher ist die dünne Besiedlung des Untersuchungsgebiets auf einer Rasterdarstellung (Fig. 4-5) zu sehen, da durch sie gezeigt werden kann, dass auch die in Fig. 4-4 betrachteten Församlingar keinesfalls homogen sind. Dargestellt sind die Einwohnerzahlen für jeden Quadratkilometer der Region; ein gelbes Quadrat bezeichnet ein Gebiet, auf dem wenigstens ein, jedoch höchstens fünf Menschen leben. Gebiete ohne Quadrate sind bevölkerungsleer.

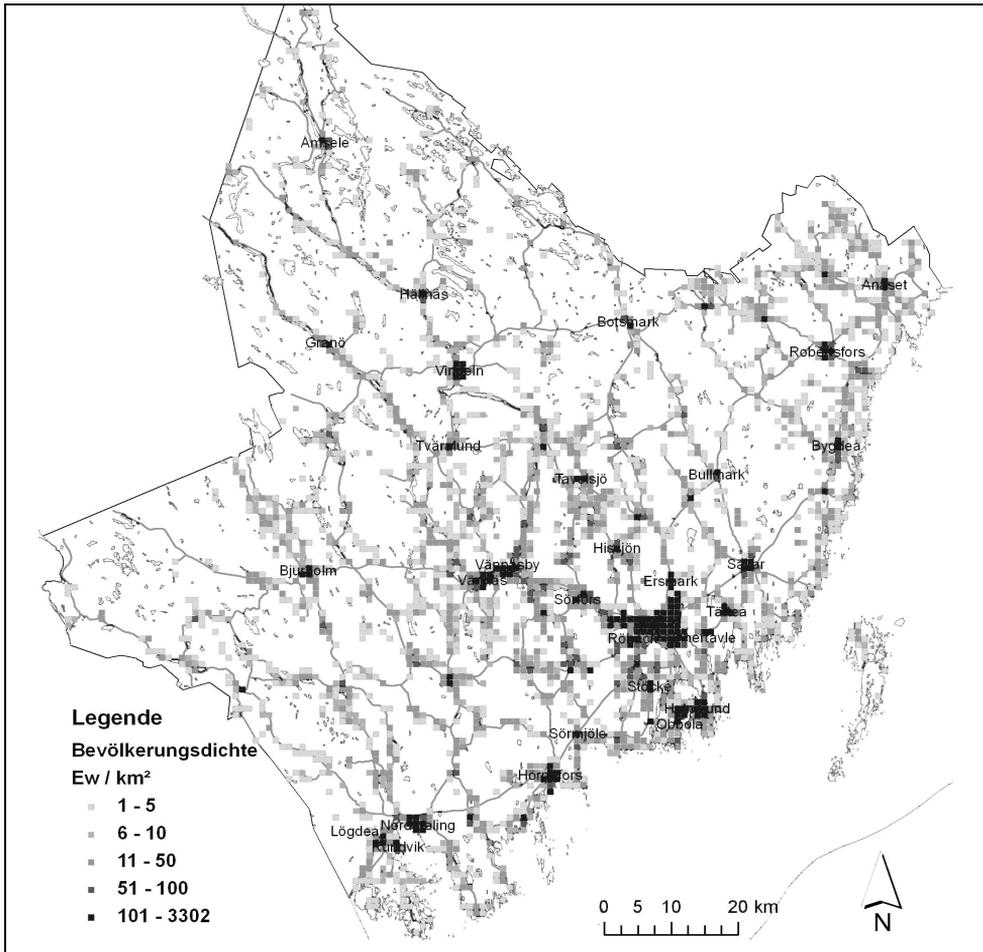


Fig. 4-5: Rasterkarte der Bevölkerungsdichte 1997.

Um die These der Entstehung einer Peripherie in der Peripherie zu überprüfen, müssen auch die Bevölkerungsveränderungen innerhalb der Kommunen betrachtet werden. Leider liegen für die Tätorter Bevölkerungszahlen nicht auf jährlicher Basis vor (SCB 2006a). Jedoch können Vergleiche zwischen der Bevölkerungsentwicklung der Kommunen und ihrer Hauptorte in Fünfjahresschritten während der 1990er Jahre vorgenommen werden (Fig. 4-6a – c). Die drei am weitesten von der Stadt Umeå entfernten Kommunen Nordmaling, Bjurholm und Vindeln litten alle an Bevölkerungsverlusten, die stets in ihren Hauptorten geringer ausfielen als im Rest der Kommune. Robertsfors und Vännäs zeigen ein uneinheitliches Bild. Als einzige Kommune konnte Umeå einen bedeutenden Bevölkerungszuwachs verzeichnen, der zwar in der zweiten Hälfte des Jahrzehnts schwächer ausfiel, jedoch noch deutlich auf das Stadtgebiet gerichtet war.

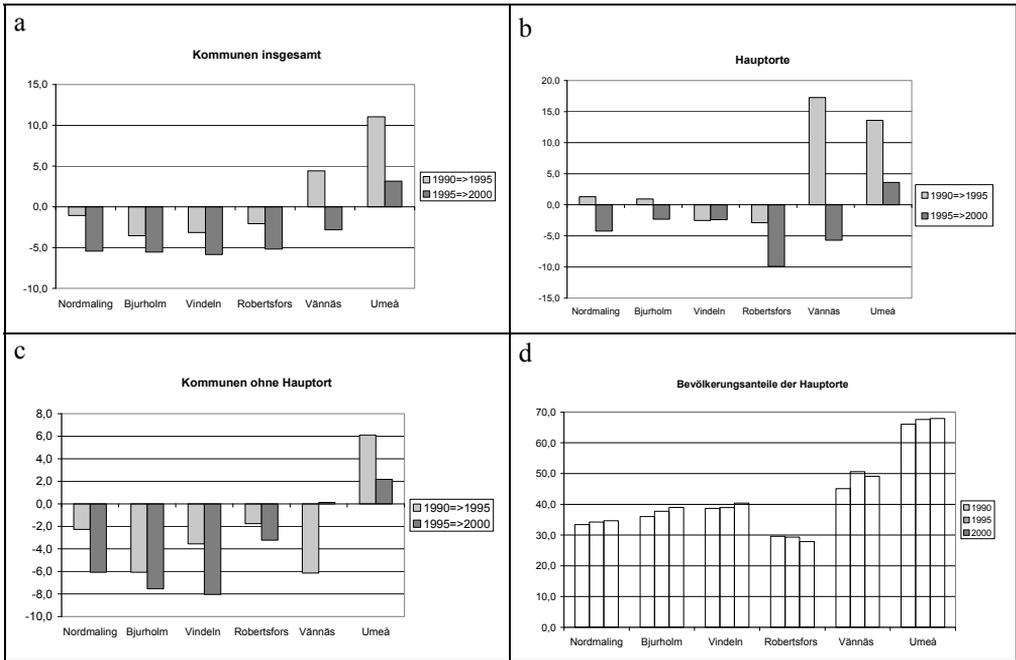


Fig. 4-6a-d: Bevölkerungsentwicklung (in %) in den Kommunen insgesamt (a), Hauptorten (b) und Kommunen ohne Hauptorte (c), sowie Bevölkerungsanteile der Hauptorte (d) (SCB 2006a).

4.2.2.2 Sozioökonomie: Erwerbstätigkeit und Einkommensstruktur

Auch bei den Bevölkerungsmerkmalen der Erwerbstätigkeit und der Haushaltsgrößen sind Zentrum-Peripherie-Gradienten zu erkennen (Fig. 4-7). Im suburbanen Raum liegen die Erwerbsquoten deutlich höher, als in den mit dem Stadtgebiet überlappenden *Församlingar*, bei denen sich Ålidhem mit dem hohen Studentenanteil durch einen besonders niedrigen Wert auszeichnet. In den suburbanen Gebietseinheiten Hörnefors, Teg, Tavelstö und Sävar leben verstärkt ökonomisch aktive Gruppen. Mit Ausnahme von Nysätra nehmen die Erwerbsquoten dann mit zunehmender Entfernung von der Stadt wieder ab.

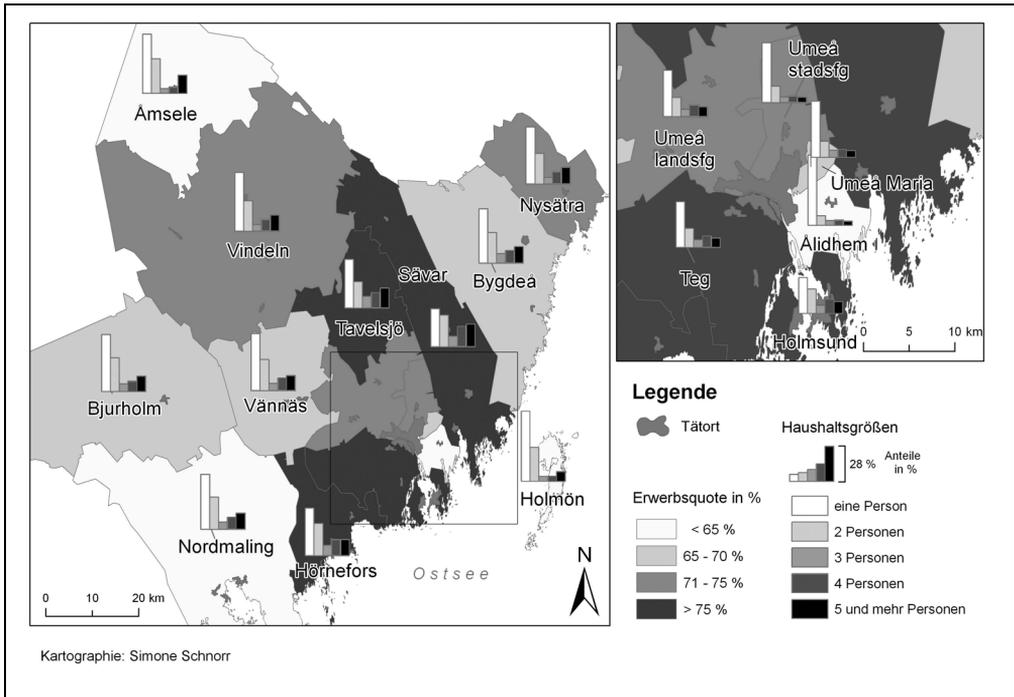


Fig. 4-7: Erverbsquoten und Haushaltsgrößen nach Församlingar 1997.

Die Haushaltsgrößen waren nicht direkt aus dem Bevölkerungsdatensatz (SCB 2002b) ableitbar, da dieser nur Personen über 16 Jahren enthielt. Jedoch ließen sich aus dem Haushaltstyp und dem Konsumgewicht (Fig. 4-1) der Familie die Anzahl der Familienmitglieder ableiten. Bei den Haushaltsgrößen sticht vor allem der hohe Anteil an Singlehaushalten hervor. Dies ist zum Teil darauf zurückzuführen, dass in Partnerschaft lebende Personen nur dann als Mehrpersonenhaushalt ausgewiesen werden, wenn sie verheiratet sind (oder in einer registrierten Partnerschaft leben), oder wenn sie Kinder haben, unabhängig davon, ob diese mit im Haushalt wohnen oder nicht. Anders ausgedrückt: Kinderlose Paare, die nicht verheiratet sind und nicht in registrierter Partnerschaft leben, werden als zwei Einpersonenhaushalte geführt, auch wenn sie eine Wohnung teilen. Trotz dieser Eigenart des schwedischen Meldewesens lassen sich Unterschiede in den Haushaltsstrukturen der *Församlingar* erkennen. Die Anteile der Mehrpersonenhaushalte sind in den suburbanen Raumeinheiten wiederum höher als im Ländlichen Raum, besonders hohe Anteile an Singlehaushalten sind wieder in Nähe des Stadtgebiets zu finden.

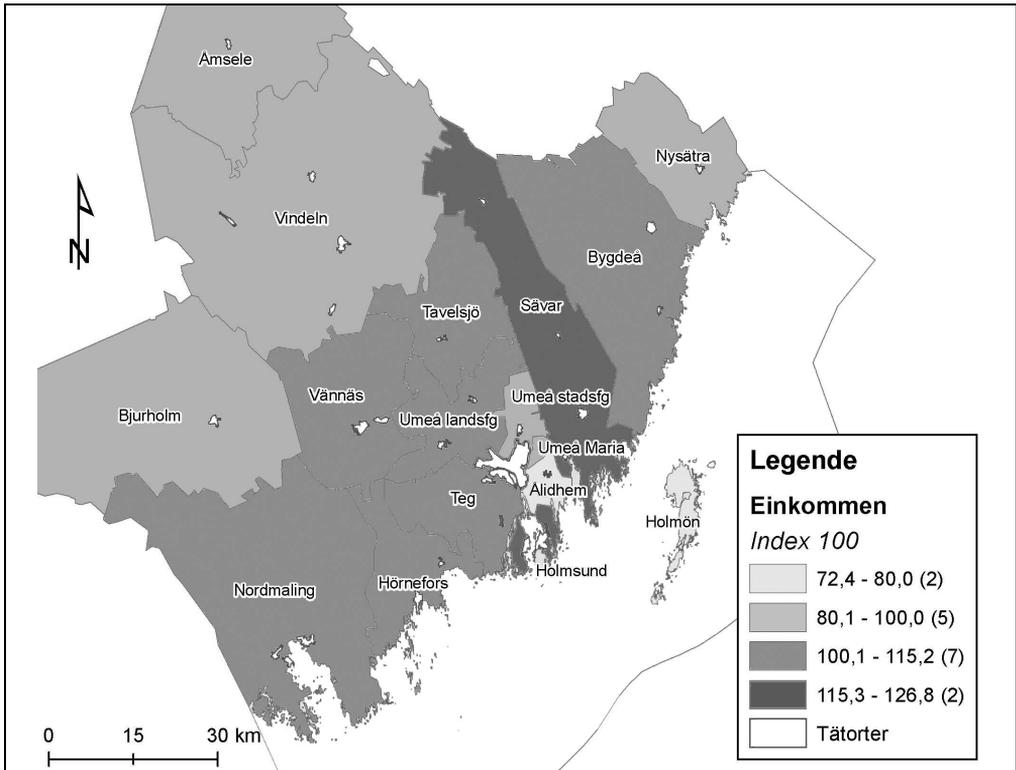


Fig. 4-8: Index des verfügbaren Haushaltseinkommens nach Församlingar 1997, Mittelwert=100.

Auch in Bezug auf die verfügbaren Pro-Kopf-Einkommen gibt die Betrachtung der Ebene der *Församlingar* ein differenzierteres Bild (Fig. 4-8). Trotz der starken Zuwanderung in die Kommune und die Stadt Umeå sind Suburbanisierungsprozesse vor allem in den einkommensstärkeren Bevölkerungsgruppen zu verzeichnen. Das gerne mit der plakativen Vokabel ‚Speckgürtel‘ bedachte Phänomen ist deutlich zu erkennen. Ebenso deutlich hebt sich der *Församling* Ålidhem ab, dessen auf Stadtgebiet liegender Bereich einen großen Teil der in Umeå lebenden Studenten beherbergt. Im Ländlichen Raum weichen die Pro-Kopf-Einkommen mit zunehmender Entfernung von der Stadt immer stärker negativ vom Regionsmittelwert ab.

4.2.2.3 Mobilität: Pendlerverflechtungen und Kaufkraftströme

Da in den Zensusdaten auf Mikroebene die Koordinaten sowohl des Wohn- als auch des Arbeitsorts enthalten sind, ergibt sich die Möglichkeit, Pendlerströme darzustellen (Fig. 4-9). Nicht berücksichtigt wurden jedoch Personen, deren Arbeitsplatz nicht im Untersuchungsgebiet liegt, etwa Wochenpendler nach Stockholm.

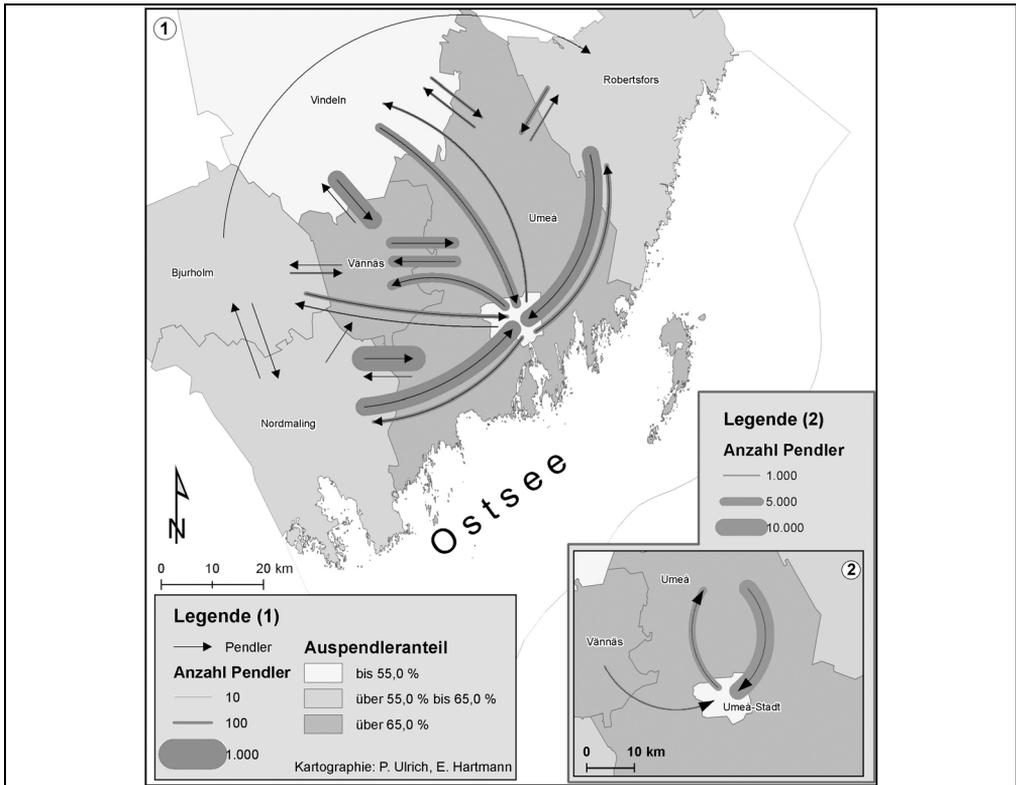


Fig. 4-9: Pendlerverflechtungen in der Region Umeå nach Kommunen 1997.

Wie schon die Einkommenskarte vermuten ließ, bestehen intensive Arbeitspendelbeziehungen in die Stadt Umeå aus der gesamten Region, besonders jedoch aus der restlichen Kommune. Aber auch der Pendlerstrom aus der Stadt in das direkte Umland ist beträchtlich. Aus der Kommune Nordmaling pendeln mehr Arbeitnehmer in das Gebiet der Kommune Umeå ohne die Stadt als in die Stadt selbst. Hier werden die Orte Holmsund und Obbola an der Mündung des Umeälvs mit einer großen Zellstofffabrik eine Rolle spielen. Interessanterweise stellt auch die Kommune Vännäs eine wirtschaftliche Größe dar, die Pendler aus den Kommunen Vindeln und Umeå anziehen kann. Hier lässt sich ein Kaskadeneffekt beobachten, in dem Sinne, dass Vännäs Arbeitskräfte nach Umeå abgibt und dafür solche aus Vindeln nachzieht. Vännäs spielt als Eisenbahnknotenpunkt eine gewichtige Rolle, an dem die schwedischen Staatsbahnen und private Eisenbahnunternehmen Dienststellen unterhalten. Mit 110 Nennungen ist der Beruf Lokführer der (nach Pflegepersonal und Lehrerberufen) am vierthäufigsten ausgeübte in der Kommune (SCB 2006b: 5).

Aus der geschätzten lebensmittelrelevanten Kaufkraft und den Geschäftsumsätzen können für die Raumeinheiten der *Församlingar* Kaufkraftbindungsquoten ermittelt werden. Diese geben an, welchen Anteil der in der betrachteten Raumeinheit vorhandenen Kaufkraft die Geschäfte derselben Raumeinheit auf sich vereinigen konnten. Liegt dieser Anteil über 100%, bedeutet dies einen Kauf-

kraftzufluss aus anderen Raumeinheiten. Während die in unmittelbarer Stadtnähe gelegenen *Församlingar* hohe auf die Stadt gerichtete Einkaufspendelbewegungen aufweisen, können gerade die ländlichen Kommunen ihre Kaufkraft weitgehend auf ihrem Territorium binden (Fig. 4-10). Dies ist einerseits mit den großen Distanzen zu erklären, andererseits mit der Tatsache, dass hier nur Lebensmittel und damit Güter des täglichen Bedarfs betrachtet werden. Für Güter längerer Fristigkeit würde der Einzugsbereich der Stadt sicherlich weiträumiger ausfallen. Wenig überraschend ist der hohe Kaufkraftzufluss der Stadt selbst.

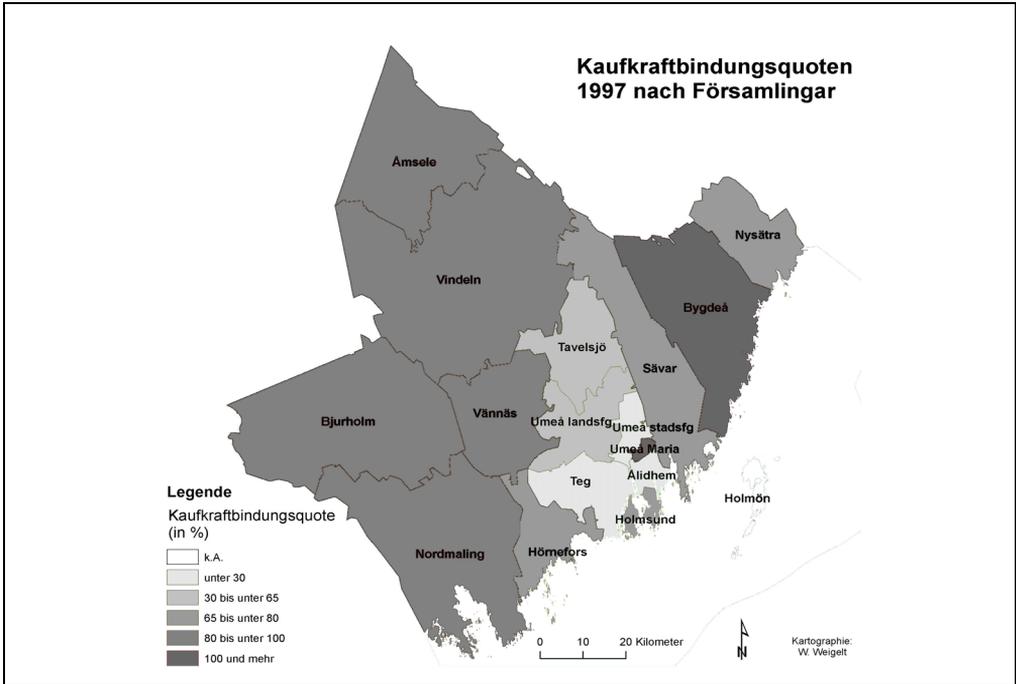


Fig. 4-10: Kaufkraftbindungsquoten nach Församlingar 1997.

4.2.3 Aktuelle Trends im Lebensmitteleinzelhandel

4.2.3.1 Versorgungsgrad

Wie die Bevölkerung weist auch die Ausstattung mit Lebensmitteleinzelhandel im Untersuchungsgebiet eine räumlich hohe Differenzierung auf. Fig. 4-11 zeigt die unterschiedlichen Versorgungsdichten des Angebotsnetzes.

	1997	2004		1997	2004
Bjurholm kn	469	518	Vännäs kn	1.238	2.131
Nordmaling kn	567	751	Umeå kn	1.258	2.064
Robertsfors kn	630	1.015	Stadt Umeå	1.292	2.047
Vindeln kn	699	962	Schweden	k. A.	1.450

Fig. 4-11: Einwohner pro Lebensmittelgeschäft in den einzelnen Kommunen (kn) des Untersuchungsgebiets, Stadt Umeå (1997 und 2004; SCB 2006a, LÖFFLER et al. 2005: 174 und eigene Erhebung) und Schweden gesamt (2002; LÖFFLER 2004a: 82).

Auf den ersten Blick mag die durch diese Zahlen suggerierte bessere Versorgung in den ländlichen Kommunen verwundern, diese sind jedoch den insgesamt sehr viel niedrigeren Einwohnerzahlen geschuldet. Weiterhin hat Versorgungsqualität auch einen distanziellen Aspekt, die Wegelängen zum nächsten Geschäft liegen im Ländlichen Raum erwartungsgemäß wesentlich höher und haben darüber hinaus deutlich zugenommen, wie aus Fig. 4-12a und b ersichtlich wird. In diesen beiden Karten sind für die Jahre 1997 und 2004 die Luftliniendistanzen zum jeweils nächsten Angebotsort in 5 km-Intervallen dargestellt. Besonders in den peripheren Bereichen der Region haben diese Entfernungen zwischen den beiden Zeitschnitten deutlich zugenommen. Hierbei muss jedoch der Inselkartencharakter der Darstellung berücksichtigt werden, in die keine Geschäftsstandorte außerhalb des Untersuchungsgebiets eingetragen sind, die für die Einwohner der betrachteten Kommunen selbstverständlich ebenso zur Verfügung stehen. Dennoch ist die Entstehung einer Art ‚innerer Peripherie‘ zu beobachten, etwa im Norden der Kommune Vindeln, wo die Gebiete mit Distanzen von mehr als 15 Kilometer zum nächsten Geschäft deutlich zugenommen haben.

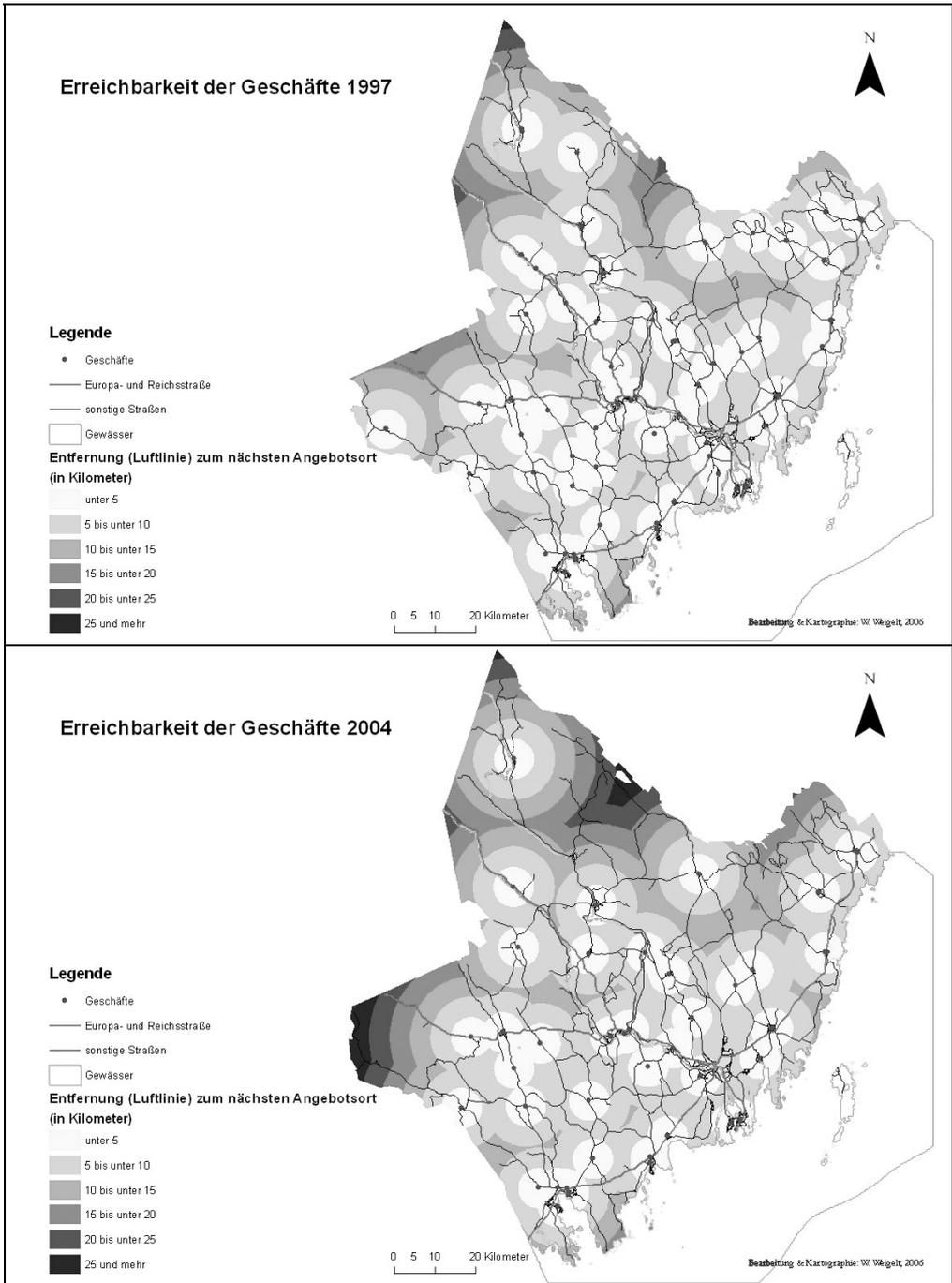


Fig. 4-12a, b: Entfernung zum nächsten Angebotsort 1997 und 2004.

Ebenso haben in allen Teilräumen die von jedem Geschäft zu versorgenden Einwohner zwischen den beiden betrachteten Zeitschnitten deutlich zugenommen. Die Ursachen für diese Veränderungen sind sowohl auf der Konsumenten- als auch auf der Seite der Einzelhandelsunternehmen zu suchen. Die sinkenden Bevölkerungszahlen in der Peripherie führen zu einer Ausdünnung der Kaufkraft, gleichzeitig steigen die Bereitschaft und die Fähigkeit zu räumlicher Mobilität. Verbunden mit den, wengleich eher längerfristig zu sehenden, technischen Fortschritten im Bereich der Vorratshaltung können längere Wegelängen in Kauf genommen werden, wenn die Einkaufsmengen erhöht werden und die Besuchsfrequenz sinken kann. Auf der Seite der Unternehmen konnten durch Konzentrationsbestrebungen Rationalisierungen erreicht werden, die Kapital für Innovationen bereitstellten, um auf die veränderten Konsummuster zu reagieren. Diese Entwicklungen sind unter der Bezeichnung ‚Betriebsformenwandel‘ hinreichend bekannt und bereits ausführlich diskutiert worden (KULKE 1992, KLEIN 1997, LÖFFLER 2004a u.a.). Räumliche Auswirkungen ergeben sich vor allem durch die veränderten Standortanforderungen vergrößerter Verkaufsstellen mit stärker Pkw-orientierten Kundenströmen. Darüber hinaus sind kleinere, personengeführte Unternehmen weit weniger in der Lage, ihre Kostenstrukturen zu ändern und in ähnlicher Weise Marktvorteile durch geringere Preise an ihre Kunden weiterzugeben. In dünn besiedelten Räumen sind diese durch die aufgrund ihrer dispersen Standortstruktur distanzaufwändige Belieferung mit kleinen Abnahmemengen vor besondere Herausforderungen gestellt. In Schweden haben seit Mitte der 1970er Jahre die überwiegend in ländlichen Räumen gelegenen Lebensmittelgeschäfte unter 400 m² Verkaufsfläche stark abgenommen, deren Aufgaben in der Grundversorgung teilweise an Tankstellen angegliederte *Trafikbutiker* übernommen haben. Die verbliebenen Geschäfte erweiterten häufig ihr Angebot durch Vergrößerung ihrer Verkaufsfläche oder durch zusätzliche Dienstleistungen wie Post- Bank- oder Apothekendienste und Treibstoffverkauf, wurden zum Teil von Bürgerkooperativen übernommen oder auf Nebenerwerb mit eingeschränkten Öffnungszeiten umgestellt (LÖFFLER 2004a: 82f, 89). Vielfach können disperse Angebotsnetze nur noch dank staatlichen Eingreifens aufrechterhalten bzw. ihr Abbau verlangsamt werden. Neben raumplanerisch lenkenden Maßnahmen zählen dazu direkte oder indirekte Subventionszahlungen an die Einzelhändler. In Schweden bestehen diese aus Abschreibungs- und Investitionsdarlehen, kurzfristigen Beihilfen zum Defizitausgleich und Warenauslieferungsbeihilfen für den mobilen Handel (ebd.: 85). Alternativ wird die Umstellung der Subventionen auf die in der Peripherie angesiedelten Haushalte für ihre Distanzüberwindung zur Grundversorgung diskutiert (ebd.: 89). Durch diese Maßnahmen konnte der Schrumpfungsprozess seit Anfang der 1980er Jahre deutlich verlangsamt werden. Heute (2004) sind in den Zentralen Orten des Umlands noch je zwei Supermärkte mit über 400 m² Verkaufsfläche vorhanden, die jeweils dem nationalen Mehrbetriebsunternehmen Konsum bzw. der Einkaufsgenossenschaft ICA Handlarnas AB angehören und oft in unmittelbarer Nachbarschaft zueinander stehen. Die bereits erwähnten *Trafikbutiker* und andere kleinflächigere Angebotsformen (*Lanthandel*) halten sich noch entlang der größeren Durchgangsstraßen (Fig. 4-14a, b).

4.2.3.2 Betriebsformenwandel²⁵

Neben der Ausdünnung des Standortnetzes im Ländlichen Raum ist aber auch die Entstehung neuer großflächiger Angebotsformen am Rande von Agglomerationsräumen Teil dieser Konzentrationsprozesse. So existieren im Untersuchungsgebiet am nordöstlichen und südöstlichen Stadtrand von Umeå zwei Warenhäuser mit mehr als 1.500 bzw. 2.000 m² Lebensmittelverkaufsfläche (letzteres 1998 eröffnet und 2004 erweitert) (ICA MAXI UMEÅ 2006), ein drittes Fachmarktzentrum am westlichen Stadtrand befindet sich in Planung.²⁶ Diese haben ebenfalls zu einem Rückzug von Verkaufsstellen in den Stadtteilzentren und Wohngebietslagen der Stadt beigetragen. Diese Formatverschie-

bungen äußern sich auf unterschiedliche Weise. Im Bestand hat sich die Zahl der Geschäfte unter 250 bzw. 400 m² Verkaufsfläche nahezu halbiert, sie wurden im Wesentlichen durch einen einzigen neuen Hypermarkt ersetzt. Die Zahl der Vollsortimenter (über 400 m²) ging nur leicht zurück. Insgesamt verringerte sich die Geschäftszahl zwischen 1997 und 2004 von 132 auf 85 (-36%).

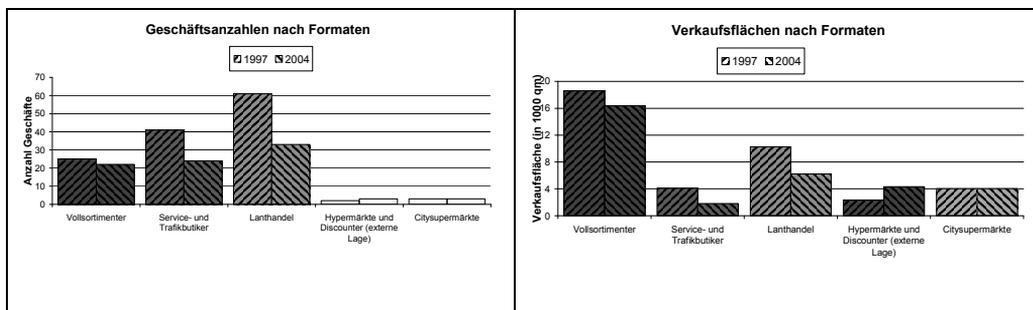


Fig. 4-13a, b: Betriebsformenwandel im Lebensmitteleinzelhandel in der Region Umeå, Anzahl der Geschäfte und Verkaufsfläche nach Geschäftstypen. Darstellung: Werner Weigel.

Da vor allem die kleineren Betriebsformate von den Schließungen betroffen waren, zeichnet die Entwicklung der Verkaufsfläche in der Region diesen Rückgang zwar nach, fällt jedoch gemäßiger aus und wird teilweise von der Neueröffnung des Hypermarkts ICA Maxi kompensiert. Insgesamt sank die gesamte Verkaufsfläche für Lebensmittel in der Region von 39.350 m² (1997) auf 30.782 m² (2004; -22%), in der Stadt fällt der Verkaufsflächenverlust dank des neuen ICA Maxi mit 9% wesentlich moderater aus. Verlässliche Umsatzzahlen des Jahres 2004 für alle Geschäfte standen leider nicht zur Verfügung. Jedoch wich der Umsatz des ICA Maxi 2002 lediglich um 2% von der Umsatzsumme der seit 1997 in der gesamten Region geschlossenen Geschäfte ab, lag aber um knapp 38% höher als der in der Stadt geschlossenen Geschäfte. Da die Umsatzzahlen sich auf unterschiedliche Zeitpunkte beziehen, nicht inflationsbereinigt sind und zudem teils auf Schätzungen beruhen, mögen diese Zahlen etwas vage erscheinen. Dennoch machen sie deutlich, dass die Stadt durch das neue Angebot Kaufkraft aus der Region abziehen konnte.

4.2.3.3 Standorte

Der Übersichtlichkeit halber muss eine Betrachtung der Standorte für die Region und die Stadt getrennt erfolgen. In der Region erfüllen vor allem die Hauptorte der Kommunen eine vorrangige Versorgungsfunktion. In ihnen halten sich meist – mit Ausnahme von Bjurholm – noch je zwei Vollsortimenter mit Verkaufsflächen über 400 m², in Fig. 4-14a, b in blau dargestellt. Kleinere *Lanhandel* befinden sich zumindest in etwas größeren *Tätorter*²⁷ (wie etwa Åmsele, Botsmark, Tavelstö), jedoch auch in kleineren Siedlungen. Zusätzlich finden sich an den Fernstraßen teils größere Tankstellenshops (*Trafikbutiker*), die durch den Rückgang der kleineren Dorfläden zunehmend Aufgaben der Grundversorgung übernehmen. Im Vergleich der beiden Situationen von 1997 und 2004 (Fig. 4-14a, b) kann festgestellt werden, dass die größeren Supermärkte in den Zentralen Orten bisher dem Rückgang des Angebotsnetzes widerstehen konnten. Die zahlreichen Geschäftsschließungen betrafen vor

allem Geschäfte des kleineren Formats Lanthandel, etwa im Norden der Kommunen Vindeln und Robertsfors. Abseits der größeren Fernstraßen können sich nur wenige dieser Läden noch halten. Außerhalb der Hauptorte sind die Kommunen weitgehend angebotsleer geworden, so dass von einer Nahversorgung kaum mehr die Rede sein kann.

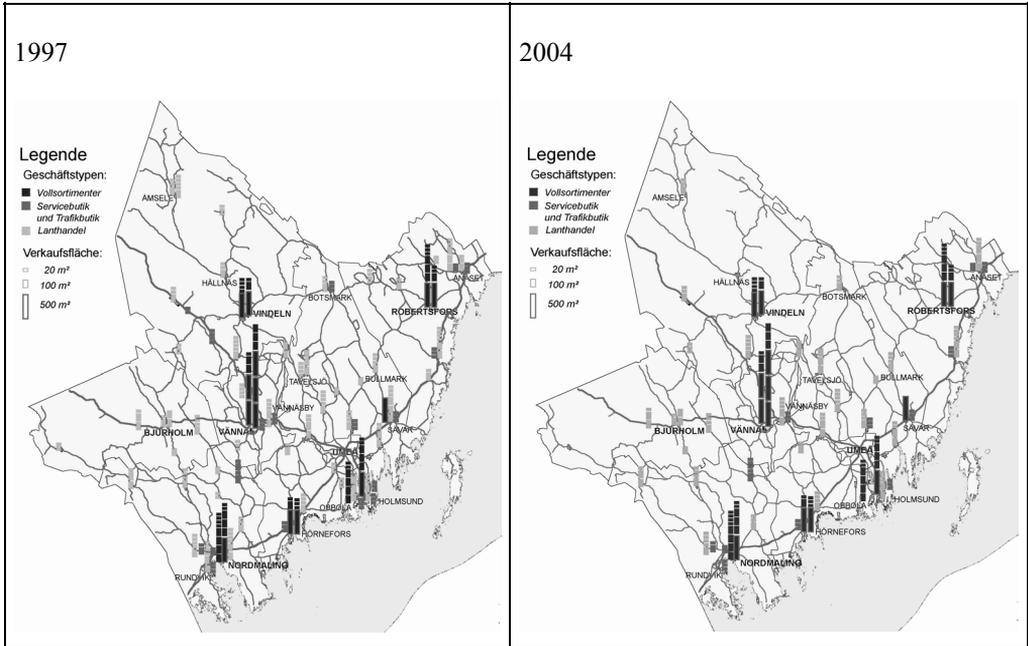


Fig. 4-14a, b: Geschäftsstandorte mit Geschäftstypen und Verkaufsfläche der Geschäfte 1997 und 2004, Region. Entwurf: Tilman Schenk, Zeichnung: Tanja Credner.

In der Stadt Umeå waren 1997 neben drei größeren Warenhäusern in der Innenstadt auch zahlreiche Vollsortimenter in den Stadtteilzentren zu finden. Im Vergleich mit 2004 fällt vor allem der Wegfall von kleinteiligem Handel unter 250 m², besonders in den innenstadtnahen Bereichen auf. Aber auch einige weiter entfernte Stadtteile verloren einen Teil ihres Lebensmittelangebots, wie etwa Haga, Mariehem und Carlshem (Fig. 4-15a, b).

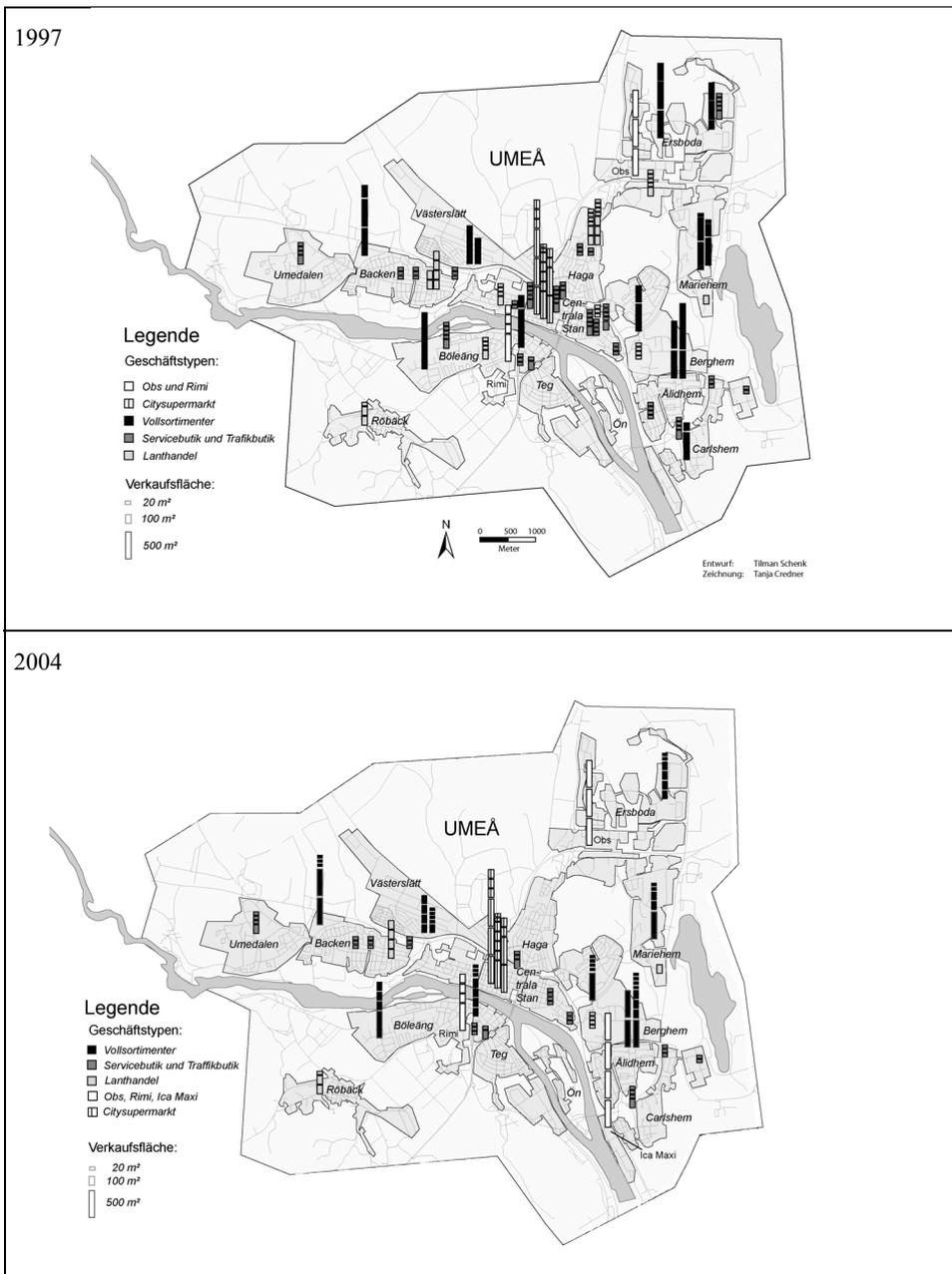


Fig. 4-15a, b: Geschäftsstandorte mit Geschäftstypen und Verkaufsfläche der Geschäfte 1997 und 2004, Stadt. Entwurf: Tilman Schenk, Zeichnung: Tanja Credner.

Als Fazit dieser Betrachtungen kann festgehalten werden, dass die bekannten Mechanismen und Auswirkungen des Betriebsformenwandels im Lebensmitteleinzelhandel auch für Schweden und die Region Umeå Gültigkeit besitzen. Darüber hinaus konnten einige Besonderheiten, die in der nationalen Förder- und Subventionspolitik begründet liegen, herausgestellt werden. Für periphere Regionen sind diese Entwicklungen von besonderer Brisanz, da sie von der Bevölkerung eine hohe Mobilität zur Grundversorgung verlangen. Der trotz der Subventionen erfolgte Rückzug der Verkaufsstellen aus der Region wirft die Frage auf, bis zu welcher Belastungsgrenze die öffentlichen Haushalte und deren Verwalter in der Lage und willens sind, die planungspolitischen Ziele einer wohnortnahen Versorgung weiter zu verfolgen. Alternative Angebotsformen (z.B. mobiler Handel mit Warenbussen) waren bereits im Einsatz, spielen jedoch heute keine Rolle mehr für die Grundversorgung (LÖFFLER 2004a: 87).

5 EIN MODELL ZUR SIMULATION INDIVIDUELLER EINKAUFS-ENTSCHEIDUNGEN

Dieses Kapitel wird sich mit der Lösung der Aufgabe widmen, individuelle Einkaufsentscheidungen mittels eines Multiagentenansatzes zu simulieren. Dazu ist zunächst ein Modell dieser Entscheidungen zu erstellen, in einer Simulationssoftware zu implementieren und anschließend ein Realitätsabgleich vorzunehmen, der Anregungen zu Modellverbesserungen geben soll.

Der Lebensmitteleinkauf eines privaten Haushalts unterliegt als Teil einer Versorgungskette den Regelmäßigkeiten des Handels und ist in einen Angebot-Nachfrage-Zusammenhang einzuordnen. So gehört zu seiner Modellierung die Darstellung und Operationalisierung der Angebotsseite, also der Geschäfte, der Nachfrageseite, also der Konsumenten, sowie der Austauschbeziehungen unter diesen, die in einem Interaktionsraum, dem „Markt“, stattfinden (Fig. 5-1). Allen drei Elementen sind spezifische Attribute zugeordnet:

- Die Konsumenten besitzen sozioökonomische Attribute, wie Einkommen, Geschlecht, Haushalts-/Familiengröße, die ihrem Konsumverhalten einen äußeren Rahmen geben. Insbesondere im Lebensmittelsektor ist der Konsum mengenmäßig beschränkt: Jeder Mensch benötigt eine Mindestmenge an Essen zum Überleben, kann aber auch bei höherem Wohlstand nicht unbeschränkt Nahrung aufnehmen („Engelsches Gesetz“). Dazu kommen noch individuelle Vorlieben, Gewohnheiten, Meinungen, Lebensstile etc.
- Die Attribute der Angebotsseite, der Geschäfte, lassen sich in eher quantitativ und eher qualitativ zu interpretierende unterteilen. Da sind zunächst Umsatz, Größe, Betriebs- und Organisationsform, Preisniveau, Lage und Erreichbarkeit zu nennen, des Weiteren angebotener Service (Bedienung/Beratung, Öffnungszeiten) und Qualität der Produkte. Als eher qualitative Attribute können u.a. Image des Unternehmens und Atmosphäre des Geschäfts gelten.
- Der „Markt“ schließlich, auf dem Angebot und Nachfrage sich physisch treffen sollen, ja zwecks des Warenaustauschs treffen müssen, muss eine solche Zusammenkunft ermöglichen und Regeln dafür bereitstellen.

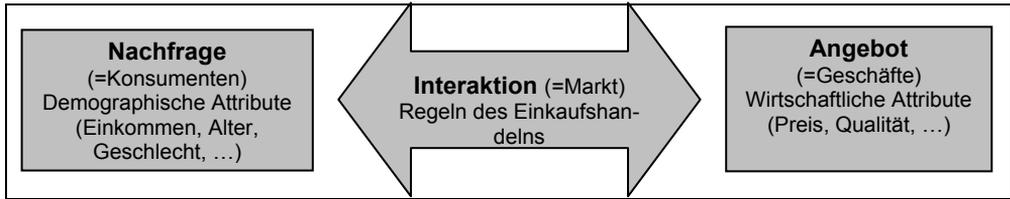


Fig. 5-1: Bestandteile eines Simulationsmodells für Konsumentenentscheidungen. Eigener Entwurf.

Wie bereits oben dargestellt, sollte ein Modell für Einkaufsentscheidungen alle drei Teilnehmer dieses Austauschprozesses enthalten. Aus organisatorischen Gründen wird hier mit der Nachfrageseite begonnen.

5.1 Operationalisierung der Nachfrageseite

Die vorhandenen Daten der Nachfrageseite wurden bereits in Kapitel 4.1.1 vorgestellt, die dort eingeführten Bezeichnungen werden hier weiterverwendet. Die Individualdaten waren bereits zu Familien zusammengefasst und für diese eine lebensmittelrelevante Kaufkraft ermittelt worden.

Der nächste Schritt besteht aus der Berechnung von Präferenzen der Konsumenten für bestimmte Geschäftsattribute. Diese können als Wahrscheinlichkeiten interpretiert werden, sich aufgrund des jeweiligen Attributs für ein Geschäft zu entscheiden. Eine von der Arbeitsgruppe im Jahr 2002 durchgeführte *Point-of-Sale*-Befragung in Umeå (LÖFFLER & SCHRÖDL 2002) lieferte dafür die Grundlage. Etwa 1.100 Kunden wurden nach der Bedeutung der Kriterien Nähe des Angebots zum Wohn- und Arbeitsort, zu anderen Angebotsorten (Agglomeration), bezüglich niedrigen Preisen, hoher Qualität der Produkte, Sortimentsbreite, Serviceangebot und Atmosphäre des Geschäfts beim Lebensmitteleinkauf gefragt und zusätzlich gebeten, ihr Geschlecht, Alter, Haushaltseinkommen und –größe anzugeben. (Der verwendete Fragebogen ist im Anhang 10.1 zu finden.) Aus den Ergebnissen dieser Befragung ließen sich binäre Logitgleichungen (5.1a-h) für die Einkaufspräferenzen der Befragten in Abhängigkeit ihrer sozioökonomischen Merkmale gewinnen. In die Gleichungen wurden nur die auf dem Niveau 0,1 signifikanten Größen als Regressoren aufgenommen, war keine signifikant, blieb die einfache relative Häufigkeit der Nennung „bedeutsam“ stehen.

$$\text{Wohnungsnähe} \quad Y = -0,122 * \text{FamGr} - 0,011 * \text{FamEk} + 1,261 \quad (5.1a)$$

$$\text{Arbeitsplatznähe} \quad Y = -2,091 \quad (5.1b)$$

$$\text{Agglomeration} \quad Y = 0,170 * \text{FamGr} - 1,714 \quad (5.1c)$$

$$\text{Niedrige Preise} \quad Y = 0,170 * \text{FamGr} - 0,037 * \text{FamEk} - 0,451 \quad (5.1d)$$

$$\text{Hohe Qualität} \quad Y = -0,269 * \text{Geschl} + 0,013 * \text{Alter} - 0,235 * \text{FamGr} + 0,034 * \text{FamEk} - 0,588 \quad (5.1e)$$

$$\text{Breites Sortiment} \quad Y = -0,010 * \text{Alter} - 0,756 \quad (5.1f)$$

$$\text{Servicean-} \quad Y = -1,901 \quad (5.1g)$$

$$\text{gebote} \quad \text{Atmosphäre} \quad Y = -0,443 * \text{Geschl} + 0,285 \quad (5.1h)$$

Die gefundenen Regressionskoeffizienten erscheinen durchweg plausibel. So werden mit steigendem Familieneinkommen die Entscheidungskriterien Nähe zum Wohnort und Preisniveau unwichtiger, dafür gewinnt das Qualitätskriterium an Bedeutung. Produktpreise, aber auch die Möglichkeit, mehrere Einkäufe miteinander zu koppeln, sind für größere Haushalte wichtiger als für kleinere, dagegen ist die wohnortnahe Versorgung typischerweise für kleine Haushalte (Singles) wichtiger. Produktqualität und Geschäftsatmosphäre sind für weibliche Einkäufer (*Geschl* = 1) bedeutsamer als für männliche (*Geschl* = 2). Kritisch zu betrachten sind die Präferenzen, deren Berechnung auf Konstanten beruht. Dies ist sicherlich keine Ideallösung, da dadurch die individuelle Ausdifferenzierung verloren geht, jedoch erscheint es ebenso wenig sinnvoll, sich bei der Berechnung auf nicht signifikante Zusammenhänge zu stützen. Aus den Regressanden *Y* konnten anschließend nach folgender Formel Wahrscheinlichkeiten *P* für die Gewichtung der Geschäftsattribute abgeleitet werden:

$$P = \frac{e^y}{1 + e^y} \quad (5.2)$$

Bei den Gleichungen (5.1a-h) handelt es sich um binäre Regressionsmodelle, deren Güte mittels eines Gütemaßes zu überprüfen ist. Üblich ist die Verwendung eines so genannten Pseudo-R-Quadrat, dessen Berechnung sich an die des für lineare Regressionen verwendeten R-Quadrat anlehnt, jedoch die Binarität der abhängigen Variable berücksichtigt. Deren Wert *b* wird mittels des Vergleichs der Präferenz *P* mit einem Trennwert *t* in der folgenden Weise bestimmt:

$$b = \begin{cases} 1, & \text{falls } P \geq t \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad (5.3)$$

Als Gütemaß werden anschließend die vorhergesagten Werte *b* mit den Beobachtungen verglichen. Die Ergebnisse sind in Fig. 5-2 zusammengefasst. Natürlich wird sofort deutlich, dass der Wert des Pseudo-R-Quadrats von Nagelkerkes vor allem von der Wahl des Trennwertes abhängt, entscheidet dieser doch über die Vorhersage der Werte für *b*, worauf auch GREENE (2003: 685) hinweist. Besonders bei ‚schiefen‘ Stichproben (viel häufiger 1 beobachtet als 0 oder umgekehrt), kann ein Ändern des Trennwertes zu Verbesserungen in manchen Gütemaßen führen. Da der Trennwert aber nicht Teil der Wahrscheinlichkeitsvorhersage ist, wird dadurch nicht das Modell verbessert, sondern nur das Ergebnis des Gütetests. Aus diesem Grund schlägt NIPPER (In: BAHRENBERG et al. 1992: 147-150) einen von einem Trennwert unabhängigen Gütetest vor, der allein auf dem Vergleich der Wahrscheinlichkeiten für die vorhergesagten mit den beobachteten Werten beruht. Werden diese Gütemaßwerte auf ein Maximum von 1 normiert, können sie untereinander verglichen werden (Fig. 5-2).

Präferenz	Pseudo-R-Quadrat (Nagelkerkes)	Gütemaß (Nipper)
Wohnungsnähe	0,018	0,015
Arbeitsplatznähe	Kein Modell	0,018
Agglomeration	0,014	0,010
Niedrige Preise	0,034	0,022
Hohe Qualität	0,070	0,053
Breites Sortiment	0,008	0,002
Serviceangebot	Kein Modell	0,016
Atmosphäre	0,015	0,011

Fig. 5-2: Werte des Pseudo-R-Quadrates nach Nagelkerkes (Trennwert: 0,5) und des Gütemaßes nach NIPPER ($\in [-\infty; 1]$) für die Regressionsmodelle (5.1a-h).

Um einen Eindruck von den Ausprägungen der Präferenzen zu erhalten, stellt Fig. 5-3 einige ihrer statistischen Maßzahlen dar.

Präferenz	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Wohnungsnähe	0,6950	0,0471	$5 \cdot 10^{-14}$	0,7575
Arbeitsplatznähe	0,1100	0,0000	0,1100	0,1100
Agglomeration	0,2000	0,0252	0,1760	0,3719
Niedrige Preise	0,3147	0,0569	$3 \cdot 10^{-47}$	0,5387
Hohe Qualität	0,3638	0,0853	$2 \cdot 10^{-43}$	0,6604
Breites Sortiment	0,5764	0,0462	0,4344	0,6447
Serviceangebot	0,1300	0,0000	0,1300	0,1300
Atmosphäre	0,4084	0,0532	0,3541	0,4606

Fig. 5-3: Statistische Maßzahlen der Präferenzen. Quelle: Eigene Berechnungen nach (5.1a-h) und (5.2) aus Befragungsergebnissen von LÖFFLER & SCHRÖDL (2002).

Aus den Mittelwerten der berechneten Präferenzen kann eine halbwegs allgemeingültige Rangfolge der Attribute abgeleitet werden. Als wichtigste Entscheidungskriterien treten demnach die Nähe des Geschäfts zum Wohnort sowie eine große Auswahl hervor. In einigem Abstand folgen die Atmosphäre, die Produktqualität und erst an fünfter Stelle die Preise. Hierin könnte ein wichtiger Unterschied zum deutschen Lebensmittelmarkt vorliegen, auf dem die Preise meist als sehr viel wichtiger angesehen werden, was sich beispielsweise auch durch den größeren Markterfolg von Discountern in Deutschland äußert.

Da in den Regressionsgleichungen zur Arbeitsplatznähe und Serviceangebot nur der konstante Term als signifikant übrig geblieben ist, sind auch die entsprechenden Präferenzen für alle Individuen konstant, und ihre Standardabweichung wird Null. Die sehr kleinen Minimalwerte bei Wohnungsnähe, Preisen und Qualität treten bei Personen mit sehr hohem Einkommen auf, das deutlich außerhalb der in der Befragung vorkommenden Einkommenswerte liegt. Dass es sich dabei um Einzelfälle („Ausreißer“) handelt, lässt sich beim Vergleich von Mittelwert und Standardabweichung der jeweiligen Präferenzen ablesen.

5.2 Operationalisierung der Angebotsseite

Die Variablen und ihre Aufbereitung der Lebensmittelgeschäfte im Untersuchungsgebiet wurden bereits im Kapitel 4.2.2 erläutert. Um nun den Konsumenten im Modell die Entscheidung für ein Geschäft zu ermöglichen, erhalten die Geschäfte ordinal skalierte Werte für die Attribute, für die die Nachfrager Präferenzen zugeordnet bekommen haben:

- Nähe zum Wohn- bzw. Arbeitsort: Da diese Größen vom Wohn- bzw. Arbeitsort des Individuums abhängig sind, kann hier keine allgemeingültige Einstufung der Geschäfte vorgenommen werden. Stattdessen ist die Distanz des Geschäfts zum Wohn- bzw. Arbeitsort des gerade einkaufenden Individuums als Attribut einzusetzen.
- Agglomeration: Hier wurde jedes Geschäft eine von fünf Stufen zugewiesen, abhängig von der Zahl weiterer Geschäfte aller Branchen im Umkreis von 150 Metern. Die fünf Stufen ergeben sich aus: Alleinlage, ein weiteres Geschäft, zwei bis vier weitere, fünf bis acht weitere und neun und mehr weitere Geschäfte im Umkreis von 150 Metern.
- Preis: Das *Handelns Utredningsinstitut* weist in einer Studie aus anderen Teilräumen Schwedens (HUI 1997: 21) den Geschäftstypen (wie in der Tabelle des *Konsumentverket*) ein relatives Preisniveau in sieben Stufen zu. Unter der Annahme, dass diese Ergebnisse auf das Untersuchungsgebiet übertragbar sind, konnte diese Klassifikation übernommen werden. Eine zuletzt 2004 vom Reichspensionärsverband (PRO 2004) vorgenommene regionale Studie für einzelne Lebensmittelgeschäfte im Västebottens Län unterstützt diese These.
- Auswahl: Offensichtlich sind Sortimentsbreite und –tiefe vornehmlich von der Größe des Geschäfts abhängig. Da die Einstufung in Geschäftstypen u.a. nach der Verkaufsfläche erfolgt, konnten hier ebenfalls sieben Sortimentsgrößenklassen für die Geschäftstypen abgeleitet werden.
- Qualität, Beratung und Atmosphäre: In einer eigenen Vollerhebung im Sommer 2004 wurden alle 132 Lebensmittelgeschäfte in der Arbeitsmarktregion Umeå bezüglich dieser drei Attribute auf einer Ordinalskala mit jeweils drei Stufen bewertet. Dabei waren für die Qualität das Vorhandensein und die Frische von Obst, Gemüse, Fleisch und Fisch, für die Beratung das Vorhandensein einer stets oder zeitweise besetzten Bedienungstheke und für die Atmosphäre die Sauberkeit, Übersichtlichkeit, Breite der Verkehrsflächen im Geschäft und der Zustand der Einrichtung ausschlaggebend (weitere Erläuterungen s. Anhang 10.3.2).

Diese drei eher qualitativen Attribute bergen in der Erhebung, abgesehen vom hohen Aufwand, einige Risiken. Erstens sind sie grundsätzlich nicht objektiv erhebbar. Die Frage, ob ein vorhandenes Frischwarenangebot auch tatsächlich frisch ist, ist sehr von der individuellen Wahrnehmung des

Erhebenden abhängig. Zweitens kann die Frische dieser Waren schon als Indikator dafür gelten, ob die Leitung eines Geschäfts auf die Frische ihrer Waren allgemein achtet. Ob die Frische von Obst, Gemüse oder Fleisch jedoch von den Konsumenten auch als ausschlaggebend für die Beurteilung der Qualität des gesamten Ladenangebots gilt, ist fraglich. Drittens ist die Inaugenscheinnahme des Frischwarenangebots eine Momentaufnahme und enthält keine Garantie auf beständige Gültigkeit. Je nachdem, ob der Filialleiter oder Geschäftsbetreiber die faulen Tomaten kurz vor der Erhebung hat entfernen lassen oder nicht, können ähnlich gut geführte Betriebe hier recht unterschiedlich abschneiden. Für die Atmosphäre eines Geschäfts gilt all dies natürlich in besonderem Maße.

Für die Verwendung der Geschäftsattribute in einem quantitativen Modell sind die nun ausschließlich (bis auf die Distanz) ordinal skalierten Variablen auf eine metrische Skala abzubilden. Zu diesem Zweck sollen für die einzelnen Attribute Funktionen entwickelt werden, die es ermöglichen, die empirischen Kenntnisse über die Geschäfte beizubehalten, und die Attribute der Einzelkriterien in metrische Skalen zu überführen, die eine optimale Umsatzschätzung ergeben.

5.3 Modellspezifikation

Die Modellspezifikationen stellen neben der Angebots- und der Nachfrageseite die dritte Säule der Simulation, die Operationalisierung des Marktes als Austauschprozess von Kaufkraft und Waren dar. Sie beinhalten die Regeln des Einkaufshandelns der Agenten.

5.3.1 Initiale Modellannahmen

Zu Beginn der Modellformulierung wurden zunächst aus Plausibilitätsüberlegungen einige initiale Modellannahmen getroffen, die zum Teil zu späteren Zeitpunkten aus Praktikabilitätsgründen oder aus Kenntnis über ihre negativen Auswirkungen wieder verworfen wurden. Dies betrifft eine Geschäftsvorauswahl und eine Aufteilung der Kaufkraft nach Wochen- und Vergesslichkeitsbedarf, die in diesem Abschnitt erläutert werden.

Unter der Annahme, dass die in der Region Umeå lebenden Menschen nicht alle 132 Lebensmittelgeschäfte im gleichen Raum kennen und in der Lage sind, untereinander zu bewerten, sollten die Konsumenten im Modell das Geschäft für ihren Einkauf aus einer Liste der für sie wahrnehmbaren Geschäfte auswählen. In der Geschäftsvorauswahl wird daher jedem Individuum eine Liste seiner wahrnehmbaren Geschäfte mitgeteilt. Entscheidendes Kriterium für die Aufnahme eines Geschäftes in die Liste der wahrnehmbaren Geschäfte ist seine Distanz zum Wohn- bzw. Arbeitsort des Individuums. Gehen wir zunächst vom Wohnort aus, für den Arbeitsort erfolgt die Selektion analog.

1. Alle Geschäfte werden gemäß ihrer Distanz vom Wohnort aufsteigend sortiert.
2. In die Vorauswahl kommen:
 - a. Das erste in der Sortierfolge, also das dem Wohnort nächstgelegene.
 - b. Jedes nächste aus der Sortierfolge, wenn es in mindestens einem Attribut (Preis, Qualität, etc.) besser ist, als das bisher beste Geschäft in diesem Attribut.

3. Alle weiteren Geschäfte, die 150 Meter näher oder weiter entfernt und in mindestens drei Attributen besser oder gleich gut als das gerade hinzugefügte sind („Verrauschung“, Fig. 5-3).
4. Die Listen wahrnehmbarer Geschäfte vom Wohn- und Arbeitsort eines Individuums werden vereint, so dass kein Geschäft doppelt in der resultierenden Liste enthalten ist.

Da die Koordinaten sowohl der Individuen als auch der Geschäfte nur in einem 100m-Gitter vorliegen, genügt es, diese Vorauswahl für die ca. 13.000 bewohnten Gittermaschen vorzunehmen, was gegenüber einer Berechnung für 108.000 Individuen bzw. 70.000 Familien erheblich an Rechenzeit spart.

Insbesondere der dritte Schritt (die „Verrauschung“) bedarf der Erläuterung. Wie im Kapitel 4.2.3 dargelegt, befinden sich im Untersuchungsgebiet, besonders in den Zentralen Orten des Umlands, aber auch in Shopping Centern häufig etwa gleichwertige Lebensmittelgeschäfte in unmittelbarer Nachbarschaft zueinander. Ein sich den beiden Geschäften nähernder Konsument wird sicherlich beide gleichermaßen wahrnehmen, und nicht nur das aus seiner Richtung um wenige Meter nähere. Zwei benachbarte Geschäfte können in der gleichen Masche (dann ist die Distanz unter ihnen gleich Null) oder in benachbarten Maschen bzgl. des 100m-Gitters liegen. Sind sie in x- oder y-Richtung benachbart beträgt ihre Distanz 100 Meter, befinden sie sich dagegen in diagonal zueinander benachbarten Maschen, beträgt ihre (euklidische) Distanz etwa 141 Meter. Eine Distanzschranke von 150 Metern gewährleistet also, dass die Geschäfte in allen acht Nachbarmaschen eines wahrnehmbaren Geschäfts geprüft, und, sofern sie die Bedingung, in mindestens drei Attributen besser oder gleich gut zu sein, erfüllen, der Liste hinzugefügt werden (Fig. 5-4).

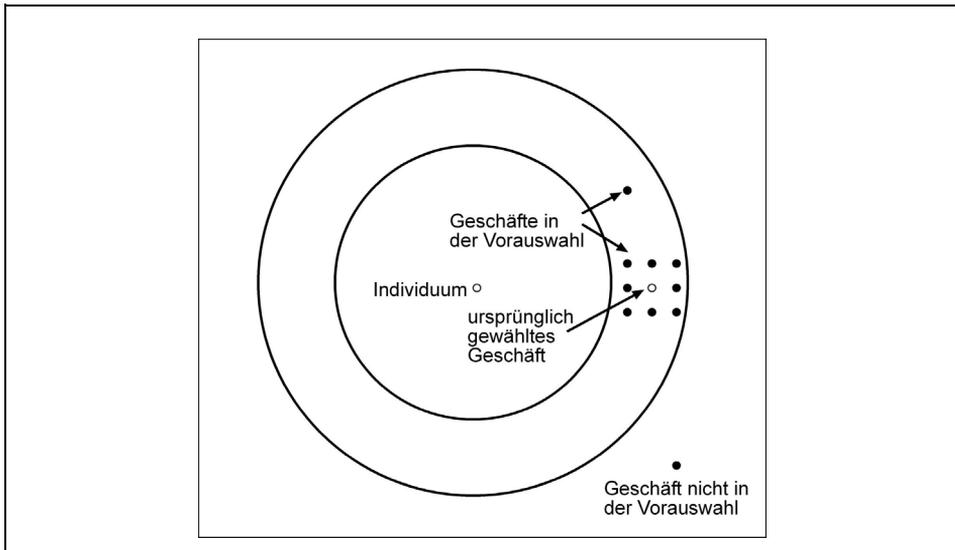


Fig. 5-4: Die Verrauschung der Vorauswahl

Aber es gibt noch eine weitere Auswirkung dieser Verrauschung: Ebenso werden alle Geschäfte zusätzlich geprüft, die in einem 300 Meter breiten Kreisring um den Wohnort des Individuums liegen. Im extremsten Fall könnte dies ein Geschäft sein, das in etwa gleicher Entfernung zum Wohnort, jedoch in genau entgegengesetzter Richtung liegt, wie das gerade hinzugefügte. Die Motivation, diesen Fall nicht einfach auszuschließen, liegt darin begründet, dass für einen Konsument, der genau zwischen zwei Geschäften wohnt, beide bezüglich des Distanzkriteriums (innerhalb der Toleranz von 300 Metern) auch gleich zu bewerten sind.

In Anlehnung an FOX et al. (2004) erschien es außerdem sinnvoll, den geplanten Wocheneinkauf vom ungeplanten Vergesslichkeitseinkauf zu trennen. FOX et al. argumentieren, dass die Konsumenten sich zuerst für eine Betriebsform entscheiden und anschließend für einen Ausgabebetrag. Für das zu erstellende Modell bedeutet dies die Aufteilung der wahrnehmbaren Geschäfte in solche für die Deckung des Wochen- und solche für die Deckung des Vergesslichkeitsbedarfs. Für den Wocheneinkauf wurden aus der Liste der wahrnehmbaren Geschäfte jeder Masche alle *Service-* und *Trafikbutiken* (zur Erläuterung der Betriebsformate s. Kapitel 4.3.2) gestrichen. Um die Wahl des Geschäfts aber so wenig wie möglich zu restringieren, sind für den Vergesslichkeitseinkauf wieder alle Geschäfte zugelassen. Ebenso ist das Einkaufsbudget aufzuteilen. Für den genauen Ausgabeanteil für Vergesslichkeitsbedarf liegen keine gesicherten empirischen Kenntnisse für das Untersuchungsgebiet vor. Jedoch kann angenommen werden, dass der Anteil im Intervall $[0.05; 0.25]$ zu liegen kommt. Als Untergrenze dient hierbei der Umsatzanteil der *Service-* und *Trafikbutiken* an der Gesamtkaufkraft der Region, als Obergrenze der Umsatzanteil der Geschäfte unter 400 m^2 Verkaufsfläche.

5.3.2 Modellierung der Nachfrage-Angebot-Interaktionen

Jedes Individuum kann nun Geschäfte durch Kombination seiner Präferenzen und der Geschäftsattribute bewerten. In diskreten Entscheidungsmodellen (*Discrete Choice*) berechnet sich der Gesamtnutzen $W_{i,g}$ einer Entscheidungsalternative meist als die Summe der Einzelnutzen, die sich wiederum aus den Ausprägungen der Geschäftsattribute $A_{g,K}$ und der individuellen Präferenz $P_{i,K}$ für jedes Kriterium K ergibt. Wird die Distanz zwischen der Position des Individuums und des Geschäfts $d_{i,g}$ mit in die Entscheidung einbezogen, tritt sie als nutzenmindernder Faktor auf:

$$W_{i,g} = \frac{1}{d_{i,g}} \sum_K P_{i,K} A_{g,K} \quad (5.4a)$$

mit K : Kriterium, $d_{i,g}$: Distanz zwischen Individuum und Geschäft, P_i : Präferenz des Individuums, A_g : Attribut des Geschäfts

In dieser Linearkombination wird also das Attribut jedes Kriteriums des betrachteten Geschäfts mit der individuellen Präferenz im selben Kriterium gewichtet. Zwar ist unstrittig, dass die Teilnutzenwerte alle positiv zum Gesamtnutzen beitragen sollten, jedoch liegen für ihre additive Verknüpfung bislang weder eine theoretische Fundierung noch empirische Erkenntnisse vor. In der Mikroökonomie gibt es auch Hinweise darauf, dass Teilnutzenwerte multiplikativ zu verknüpfen seien. Um als Gewichte zu wirken, müssen die Präferenzen dann in den Exponenten gestellt werden (s. auch Kapitel 6.1) (5.4b). Ebenfalls nicht auszuschließen ist, dass für einzelne Kriterien unterschiedliche Verknüpfungen in Frage kommen (5.4c).

$$W_{i,g} = \frac{1}{d_{i,g}} \prod_K A_{g,K}^{P_{i,K}} \quad (5.4b)$$

$$W_{i,g} = \frac{1}{d_{i,g}} \prod_{K_1} A_{g,K_1}^{P_{i,K_1}} \circ \sum_{K_2} P_{i,K_2} * A_{g,K_2}; \quad K_1 \cap K_2 = \emptyset \quad (5.4c)$$

Notation wie in (5.4a).

Weiterhin ist anzunehmen, dass die Attribute der Geschäfte von den Konsumenten nicht mit ihren empirisch gemessenen Werten wahrgenommen werden, sondern durch Funktionen in andere Skalen überführt werden. Diese Überführungen sind für alle möglichen Kombinationen von Verknüpfungsformen gleichermaßen einführbar:

$$W_{i,g} = \frac{1}{\beta(d_{i,g})} \sum_K P_{i,K} \alpha_K(A_{g,K}) \quad (5.4d)$$

bzw.

$$W_{i,g} = \frac{1}{\beta(d_{i,g})} \prod_K \alpha_K(A_{g,K})^{P_{i,K}} \quad (5.4e)$$

bzw.

$$W_{i,g} = \frac{1}{\beta(d_{i,g})} \prod_{K_1} \alpha_{K_1}(A_{g,K_1})^{P_{i,K_1}} \circ \sum_{K_2} P_{i,K_2} * \alpha_{K_2}(A_{g,K_2}); \quad K_1 \cap K_2 = \emptyset \quad (5.4f)$$

mit K : Kriterium, $d_{i,g}$: Distanz zwischen Individuum und Geschäft, P_i : Präferenz des Individuums, A_g : Attribut des Geschäfts, α_K, β : Wahrnehmungsfunktionen

Für die genauen Gewichte der Kriterien untereinander fehlen gesicherte empirische Kenntnisse. Zwar liegen einige Untersuchungen (FORSEBERG 1998, FOTHERINGHAM & TREW 1993, FOTHERINGHAM et al. 2001, FOX et al. 2004, O'KELLY 1999) vor, die meist Sortiment, Distanz, „Image“/Werbung, und Preise als wichtigste Kriterien beim Lebensmitteleinkauf nennen, deren Ergebnisse aber keinen quantifizierten Vergleich erlauben. Lediglich Ergebnisse von OPPEWAL et al. (1997: 1082)²⁸ könnten hier einen Anhaltspunkt geben, ihre Übertragung auf den Untersuchungsraum ist jedoch fraglich. Deshalb wird vorgezogen, die Wahrnehmungsfunktionen selbst zu bestimmen (s. Kapitel 5.5).

Da beim Kauf von Lebensmitteln die Familie als Konsumeinheit zu betrachten ist, wird zuerst ein Familienmitglied (Individuum mit Familien ID der betrachteten Familie) zufällig ausgewählt, den Einkauf stellvertretend für seine Familie zu tätigen. Dieses Individuum überträgt einen gemäß der Geschäftsbewertung berechneten Anteil des jährlichen Lebensmittelbudgets seiner Familie auf das entsprechende Geschäft, der dort der Umsatzsumme aufgeschlagen wird. Durch die Verteilung des Lebensmittelbudgets auf alle Geschäfte (ggf. eingeschränkt durch eine Vorauswahl) wird die Mehrfachorientierung der Einkaufsentscheidungen abgebildet.

5.4 Umsetzung des Modells in der Simulation

5.4.1 Das Simulationsshell SeSAM

Das eingesetzte Simulationsshell SeSAM (www.simsesam.de und KLÜGL 2001) wurde von einer Arbeitsgruppe am Lehrstuhl für Künstliche Intelligenz, Institut für Informatik der Universität Würzburg als Entwicklungsumgebung für Multiagentensimulationen realisiert. Mit einer Fülle von bereits verfügbaren Funktionen (Primitiven) und der Möglichkeit, benutzerdefinierte Funktionen und Datentypen hinzuzufügen, bietet SeSAM die Flexibilität einer objektorientierten Programmiersprache, wobei der Umgang mit der Syntax durch die graphische Benutzeroberfläche stark vereinfacht ist. An dieser Stelle sollte in einem kleinen Exkurs in die objektorientierte Programmierung eingeführt werden.

Objektorientierte Programmierung unterscheidet sich von herkömmlicher vor allem durch die Verwaltung und Ansprache von Daten (Variablen) und Funktionen. Während in konventioneller Programmierung jede Variable nur einmal vorkommen darf, wird jetzt jede Variable einer Objektklasse zugewiesen. Wir wollen uns das an einem Beispiel verdeutlichen und eine Objektklasse ‚Auto‘ definieren. Diese Objektklasse könnte beispielsweise die Variablen ‚Hersteller‘, ‚Zahl der Türen‘, ‚Farbe‘ usw. besitzen. Jedes einzelne vorkommende Auto, als Objektinstanz bezeichnet, führt nun alle Variablen und Eigenschaften seiner Objektklasse mit (man sagt, es erbt diese) und hat Werte für sie gespeichert, z.B.: Objektinstanz 1 mit Hersteller=’Ford‘, Zahl der Türen=3, Farbe=’rot‘; Objektinstanz 2 mit Hersteller=’Renault‘, Zahl der Türen=5, Farbe=’silbern‘. Möchte man eine dieser Variablen nun verändern, weil sich der Halter des Renaults entschließt, sein Auto umlackieren zu lassen, muss zum Zugriff auf den entsprechenden Variablenwert neben der Bezeichnung der Variable auch die Bezeichnung der Objektinstanz genannt werden. Damit kommt diese Form der Programmierung der Idee der Multiagentensimulation sehr entgegen, denn sie bietet die Möglichkeit, einzelne Agenten als Instanzen einer Objektklasse aufzufassen, denen eine Menge von Merkmalen (Variablen) gemeinsam ist, für die sie aber unterschiedliche Ausprägungen besitzen, auf die wiederum individuell zugegriffen werden kann.

Ein zweites Kennzeichen der objektorientierten Programmierung ist die ausschließliche Steuerung des Programmablaufs über Funktionen. Als Funktion bezeichnet man einen Teilalgorithmus, den man aus Zwecken der Übersichtlichkeit oder weil man ihn häufiger benutzt, aus dem eigentlichen Programmablauf auslagert. Funktionen besitzen Eingabe- und Ausgabeparameter (Argumente), die der Funktion übergeben, darin verarbeitet und zurückgegeben werden. Der Funktionsaufruf zur Änderung der Farbe des Renaults aus dem obigen Beispiel könnte etwa so aussehen: `SetVariable-Of(Farbe,“grün“,Autoinstanz2)`. Zuerst wird der Name der Funktion genannt, in den Klammern fol-

gen dann als Argumente der Name der zu ändernden Variable, ihr neuer Wert und die Objektinstanz, auf dessen Variable zugegriffen werden soll.

SeSAM unterscheidet drei Arten von Objektklassen: Ressourcen, Agenten und die Welt. Allen Objektklassen kann eine Menge von Zustandsvariablen zugeordnet werden, die Agenten und die Welt besitzen zusätzlich einen Aktivitätsgraph. An den Knoten dieses Graphen können über eine Abfolge von Funktionsaufrufen die Werte der Zustandsvariablen verändert werden. In der gleichen Entwicklungsumgebung werden aber auch die Situationen und ihre geometrische Repräsentation definiert, in denen die Simulationsexperimente ausgeführt werden. Darüber hinaus stehen Analysetools zur Verfolgung der Simulationsergebnisse am Bildschirm zur Laufzeit zur Verfügung, sowie Funktionen zum Import und Export von Daten in ein gängiges Tabellenformat (CSV). Durch zusätzliche Plugins können weitere Funktionalitäten hinzugefügt werden.

5.4.2 Implementierung der Modellakteure als Agenten

Akteure des Einkaufsmodells sind die Konsumenten. Da jedoch die Familien als Konsumeinheiten zu betrachten sind, werden sie auch als die Agenten der Simulation modelliert. Als Variablen besitzen sie alle familienbezogenen Merkmale wie ihre Größe, Einkommen, Koordinaten des Wohnortes, sowie einen Vektor, der die individuenbezogenen Merkmale der Familienmitglieder enthält. Der Aktivitätsgraph der Familien beinhaltet alle notwendigen Aktionen zur Berechnung der individuellen Präferenzen aus ihren sozioökonomischen Daten und der Geschäftsbewertung. Die Geschäfte sind als Ressourcen mit ihren Attributen und sonstigen Merkmalen als Variablen geführt, da ihnen (zumindest im Entwicklungsstadium des Modells) kein eigenes Verhalten zugestanden wird. Eine weitere Ressourcenklasse ist die der Maschen. Sie beinhalten die räumliche Information des 100-Meter-Gitters mit Ost- und Nordkoordinaten, und einer Liste der bei ihnen verorteten Geschäfte und Familien. Auch die Individuen bilden eine Ressourcenklasse, jedoch nur aus technischen Gründen. Sie werden nach dem Einlesen aus einer Tabelle und dem Hinzufügen zum Individuenvektor ihrer Familien wieder aus der Situation gelöscht, um Speicherplatz zu sparen. Eingebettet sind alle Objektinstanzen in eine Welt. Sie verwaltet alle global benötigten Variablen, wie etwa die Gütemaße, ihr Aktivitätsgraph nimmt übergreifende Funktionalitäten auf, wie etwa das Einlesen der Konsumentendaten, ihre Positionierung in der Situation und die Berechnung der Gütemaße nach Ende der Simulation.

5.4.3 Schritte der Simulation

Hier werden nun die Aktionen in den sieben Schritten (Knoten der Aktivitätsgraphen der Welt und der Agenten) der Simulation dargestellt.

1. **Welt:** Zuerst wird die Raumsituation in ihre geometrische Repräsentation überführt. Dazu sind einige Koordinatentransformationen notwendig, so verwendet SeSAM die linke obere Ecke des Raumausschnitts als Ursprung, das nationale schwedische Koordinatensystem, auf den sich die Koordinaten der Familien und Geschäfte beziehen, hat jedoch die linke untere Ecke als Bezugspunkt. Anschließend werden die Maschen- und Geschäftsobjekte an ihre SeSAM-interne Position gesetzt. Neben einem Koordinatenpaar eine Objektposition vorzuhalten, erleichtert später die Distanzberechnung, da dafür Funktionen im SeSAM vorliegen, die als Argumente Positionen und nicht Koordinaten verlangen. Zusätzlich wird den Geschäften noch

die Mascheninstanz, in der sie positioniert werden, mitgeteilt, und umgekehrt erhalten die Maschen eine Liste der in ihnen positionierten Geschäfte.

2. **Welt:** Hier findet die Vorauswahl der Geschäfte statt, die für jede Masche vorgenommen wird. Diese lässt sich wahlweise auch abschalten, so dass die Agenten alle Geschäfte wahrnehmen können.
3. **Welt:** Nun werden die Familien und Individuen eingelesen. Der Funktionsaufruf `CreateObjectsFromCSV` verweist auf eine Definitionsdatei, die neben dem Pfad zu der entsprechenden Tabelle eine Zuweisung der Spaltenüberschriften zu den Variablennamen der Familien und Individuen enthält. Die Familien werden anschließend in einer Hash Table²⁹ gespeichert.
4. **Welt:** Die in Schritt 3 eingelesenen Individuen werden nun über ihre gemeinsame Familien ID ihren Familien zugeordnet und ihre Daten in den Vektor der Familienmitglieder geschrieben.
5. **Welt:** Nachdem die Individuen den Familien zugewiesen und ihre Informationen dort gespeichert worden sind, können sie jetzt zum Sparen von Speicherplatz aus der Situation gelöscht werden.

Familie: Dies ist gleichzeitig der erste Knoten des Familienaktivitätsgraphen. Analog zu den Geschäften in Schritt 1 werden auch die Familien an die Position ihrer Masche verschoben.

6. **Familie:** Anschließend berechnen die Individuen einer jeden Familie ihre individuellen Einkaufspräferenzen gemäß den Gleichungen (5.1a-h).
7. **Familie:** Die Familie wählt aus ihren Mitgliedern zufällig eines aus, das stellvertretend für sie den Lebensmitteleinkauf tätigen soll. Dieses Individuum bewertet alle Geschäfte gemäß einer der Gleichung (5.4a-f) und verteilt das Lebensmittelbudget im Verhältnis dieser Bewertung anteilig auf die Umsätze der Geschäfte.

Welt: Danach werden die so geschätzten Umsätze aller Geschäfte mit deren realen Umsätzen verglichen und die Gütemaße nach den Gleichungen (5.5a-c) berechnet.

5.5 Sensitivitätsanalyse und Abgleich mit der Empirie

„A little speculation and a willingness to make mistakes is a necessary though not sufficient ingredient for the predictive scientist [...] Perhaps historians of our discipline will look back on the last few decades and say that we erred not in making mistakes, but not in having the courage to make nearly enough.“ (HAGGET 1994: 18)

Für die Bewertung des Modells ist zunächst das Ziel der Simulation zu formulieren. Dies ist in Kapitel 1.1 bereits geschehen, dort heißt es: „Modellierung und Simulation von Interaktionsströmen von Personen und Kapital zwischen Elementen der Nachfrage (den Konsumenten) und des Angebots (den Geschäften)“. Um die Erreichung des Ziels zu bewerten, ist ein Ergebnisvergleich mit empiri-

schen Erkenntnissen anzustellen, der im günstigsten Fall auch quantitativ erfassbar ist. Nur damit ist es möglich, beim Einsatz des Modells zu Planungszwecken eine Eintrittswahrscheinlichkeit für Prognosen anzugeben. Dazu wird im folgenden Kapitel (5.5.1) ein Gütemaß definiert, das eine Richtung für Schritte zur Modellverbesserung angibt und mit dem sich dann auch die Auswirkungen der Verbesserungsversuche untereinander vergleichen lassen. Im Zusammenhang mit einem Modell für menschliches Handeln wird man für dieses Vorgehen ungern den Term ‚Kalibrierung‘ verwenden. Wenn man sich jedoch vor Augen hält, dass es nicht darum geht, Menschen und ihr Handeln zu ‚kalibrieren‘, sondern lediglich mit einem Modell demselbigen möglichst nahe zu kommen, sollte der Term ohne schlechten Beigeschmack verwendet werden dürfen. Auch um weitere rhetorische Verbiegungen zu vermeiden, wird dies im Folgenden so geschehen.

Mit dem vorliegenden Modell werden Einkaufswege von Individuen, den Agenten, simuliert. Idealerweise sollten Modelle für räumliche Interaktionen mit der Realität dieser Interaktionen verglichen werden. Leider sind die individuellen Interaktionsmuster der Bevölkerung einer ganzen Region kaum erhebbar, weshalb der Ergebnisvergleich auf zwei Standbeine gestellt wird. Einerseits können die in der Simulation (durchschnittlich) von den Agenten bei den Geschäften als Umsatz allozierten Geldbeträge mit deren tatsächlichen Umsätzen verglichen werden (Kap. 5.5.3 bis 5.5.5). Damit wird die Umsatzschätzung als das emergente Ziel der Simulation festgelegt. Dabei darf nicht außer Acht gelassen werden, dass eine unbekannte Zahl von Interaktionsmustern zu identischen Umsatzverteilungen auf die Geschäfte führen kann. Unabhängig von der Qualität der Umsatzschätzung bleibt dem Modellierer dabei die Qualität der Interaktionssimulation verborgen. Aus diesem Grund wird als zweites Standbein die Perspektive der Agenten eingenommen und deren räumliche Interaktionsmuster Plausibilitätsprüfungen unterzogen (Kap. 5.5.6). Dies kann auch durch den Vergleich mit Mobilitätsdaten geschehen (s. Kap. 7.2).

5.5.1 Vergleich mit der Empirie und Festlegung eines Gütemaßes

Um die Rechenzeit für die Kalibrierungsschritte zu reduzieren, wurde aus den Familien- und Individualdaten (getrennt nach den Kommunen der Arbeitsmarktregion Umeå) eine 1%-Stichprobe gezogen. Nach jedem Kalibrierungsschritt wurden die gefundenen optimalen Parameterwerte zusätzlich an den Daten aus der Vollerhebung getestet und nur beibehalten, falls das Gütemaß sich gegenüber der Stichprobe nicht verschlechterte.

Im Folgenden unterstellen wir ein geschlossenes System, die Summe der Geschäftsumsätze und die Summe der zur Verfügung stehenden Kaufkraft (jeweils für Lebensmittel und auf das Untersuchungsgebiet bezogen) sind gleich, mit anderen Worten, es finden keine Kaufkraftzu- oder -abflüsse statt. Tatsächlich liegt jedoch die Lebensmittelkaufkraft im Untersuchungsgebiet etwa 15% höher als die Summe der Lebensmittelumsätze. Als Gründe hierfür sind empirische Unsicherheiten bei der Schätzung des Ausgabeanteils für Lebensmittel sowie bei den Umsatzangaben der Geschäfte (Umsatzklassen vs. exakte Angabe, Umsatz aus Lebensmitteln vs. täglichen Waren) zu nennen. Eine andere Quelle (HUI 1999: 117) weist für das Untersuchungsgebiet eine um lediglich 6% höhere Umsatzsumme im Einzelhandel mit täglichen Waren aus. Für die Simulation wurden alle Geschäftsumsätze um 15% erhöht.

Zur Beurteilung der Schätzgüte des Modells wurde ein Gütemaß festgelegt, das in Anlehnung an die Varianz eines Schätzverfahrens die quadratischen Abweichungen der geschätzten von den realen Umsätzen misst:

$$R^{(2)} = 1 - \frac{\sum_g (U_{\text{geschätzt},g} - U_{\text{real},g})^2}{\sum_g U_{\text{real},g}^2} \quad (5.5a)$$

mit $U_{\text{geschätzt},g}$: geschätzter Umsatz des Geschäfts g , $U_{\text{real},g}$: realer, an die Kaufkraft angepasster Umsatz des Geschäfts g ; $R^{(2)} \in]-\infty; 1]$

Alternativ können auch die unquadratischen Abweichungen gemessen werden, der Wert des Gütemaßes gibt dann direkt Auskunft über den prozentualen Anteil des erklärten Umsatzes (5.5b):

$$R^{(1)} = 1 - \frac{\sum_g |U_{\text{geschätzt},g} - U_{\text{real},g}|}{\sum_g U_{\text{real},g}} \quad (5.5b)$$

mit $U_{\text{geschätzt},g}$: geschätzter Umsatz des Geschäfts g , $U_{\text{real},g}$: realer, an die Kaufkraft angepasster Umsatz des Geschäfts g ; $R^{(1)} \in]-\infty; 1]$

Je nach Zielsetzung besitzen diese beiden Gütemaße ihre spezifischen Vor- und Nachteile. Das Gütemaß $R^{(2)}$ (5.5a) misst die quadratischen Abweichungen der geschätzten von den realen Geschäftsumsätzen und lehnt sich stark an die Formulierung der Varianz an. Dabei werden Geschäfte mit hohem Umsatz eindeutig bevorzugt, was durchaus im Sinne des Modells sein kann, möchte man einen möglichst großen Anteil der Kaufkraft im Untersuchungsgebiet richtig zuordnen. Sollen alle Abweichungen unabhängig von Größe der Schätzwerte gleichbehandelt werden, empfiehlt sich die Verwendung eines Maximum-Likelihood-Gütemaßes $R^{(ML)}$ (5.5c).

$$R^{(ML)} = 1 - \sum_g \frac{(U_{\text{geschätzt},g} - U_{\text{real},g})^2}{U_{\text{real},g}^2} \quad (5.5c)$$

mit $U_{\text{geschätzt},g}$: geschätzter Umsatz des Geschäfts g , $U_{\text{real},g}$: realer, an die Kaufkraft angepasster Umsatz des Geschäfts g ; $R^{(ML)} \in]-\infty; 1]$

Alle Gütemaße sind nach oben beschränkt. Werden alle Geschäftsumsätze genau getroffen, wird R gleich 1,00. Ein Gütemaß von Null bedeutet eine Über- oder Unterschätzung um den einfachen realen Umsatzbetrag. Wird das Gütemaß negativ, wurde der Umsatz sogar um ein Mehrfaches des realen Wertes falsch geschätzt. Diese Fehlschätzungen können aber nur Überschätzungen sein, da kein Geschäft einen negativen Umsatz zugeschrieben bekommen kann. Neben einem globalen Gütemaß, das die Umsatzabweichungen aller Geschäfte misst, kann man auch Teilgütemaße für Gruppen

von Geschäften (z.B. nach Umsatzklassen, Raumtypen, Betriebsformaten, etc.) betrachten. Diese Teilmaße erleichtern vor allem die Generierung von weiteren Hypothesen zum Einkaufshandeln, wenn die Fehlschätzungen nicht alle Geschäfte gleichermaßen betreffen.

5.5.2 Herausforderungen bei der Kalibrierung

Bevor man nun an die Kalibrierung des Modells herangeht, sollten einige grundsätzliche Überlegungen angestellt werden, welchen Beschränkungen ein solches Vorhaben aufgrund der Datensituation und den Modellannahmen unterliegt. Diese werden im Folgenden für die einzelnen Kalibrierungsschritte getrennt erläutert. Generell werden den Geschäften vom Modell Geldsummen (Kaufkraftanteile) gemäß einer der Bewertungsfunktionen (5.4a-f) zugeordnet. Die Höhe dieser Kaufkraftanteile ist somit direkt von den Ausprägungen der dort eingehenden Parameter bzw. Parameterkombinationen abhängig. Die Ergebnisse der Bewertungsfunktion teilen die Geschäfte in Äquivalenzklassen ein, das heißt, von der Funktion gleich bewertete Geschäfte erhalten den gleichen Kaufkraftanteil zugewiesen. Die Zahl der Äquivalenzklassen entspricht dabei der Mächtigkeit der Wertemengen der Parameter und ihrer Kombinationen. Die Genauigkeit der Umsatzschätzung (Wert des Gütemaßes) ist also abhängig von der Zahl der Werte, die die Bewertungsfunktion annehmen kann. Eine zweite Einschränkung betrifft die Reihenfolge der Geschäfte in der Umsatz- und Äquivalenzklassensortierung. Durch die Funktion besser bewertete Geschäfte erhalten vom Modell auch höhere Umsätze zugewiesen. Nun ist aber nicht gesagt, dass vom Modell besser bewertete Geschäfte auch in der Realität höhere Umsätze erwirtschaftet haben; um Zirkelschlüsse zu vermeiden, kann das auch nicht Modellvoraussetzung sein.

Lässt man etwa nur das Geschäftsattribut ‚Preis‘ als Bewertung zu, ohne Berücksichtigung der Distanz oder individueller Präferenzen, so vereinfacht sich jede der Gleichungen (5.4a-f) zu:

$$W_g = A_{g,\text{Preis}} \quad (5.6)$$

Da sieben Preisniveaus unterschieden werden (s. Kapitel 5.2), teilt (5.6) die Geschäfte in sieben Äquivalenzklassen ein, und sie bekommen sieben unterschiedliche Umsatzwerte zugewiesen. Je besser ein Geschäft im Preiskriterium eingestuft war, desto höher wird nun sein Umsatz geschätzt. Natürlich ist recht schnell einsichtig, dass ein Geschäft mit niedrigeren Preisen nicht unbedingt auch mehr umsetzt, und auch sind die realen Umsatzwerte sehr viel heterogener. Dies gilt ebenso für die anderen Geschäftsattribute und kann als Indiz dafür gesehen werden, dass mehr als nur eines von ihnen in den Entscheidungsprozess einfließen müssen, um diesen adäquat abzubilden.

Wie bereits oben dargestellt und im Kapitel 6.1 noch ausführlich erläutert wird, stellt sich bei der Verwendung mehrerer Entscheidungskriterien die Frage nach ihrer mathematischen Verknüpfung. Die Verwendung von Multiplikation oder Addition wirkt sich dabei auf die Skala des Bewertungsergebnisses aus: Die Summe zweier linearer Skalen ist wiederum linear, ihr Produkt weist jedoch einen exponentiellen Verlauf auf. Die maximale Zahl der Äquivalenzklassen errechnet sich als das Produkt derer der Einzelattribute, ob diese Zahl jedoch tatsächlich zustande kommt, hängt wegen des Kommutativgesetzes von den Ausprägungen der Attribute ab (Fig. 5-5). Generell kann die tatsächliche Zahl der Äquivalenzklassen nicht größer sein als die Zahl der betrachteten Geschäfte (132).

Attribute (Kurzbezeichnung)	Zahl der Äquivalenzklassen	
	Maximal möglich	Durch Verknüpfung tatsächlich möglich
Preis (Pr)	7	-
Sortiment (S)	7	-
Qualität (Q)	3	-
Beratung (B)	3	-
Atmosphäre (At)	3	-
Agglomeration (Ag)	5	-
Pr, S	49	8
Pr, Q	21	14
Pr, Q, S	147	16
Pr, Q, S, B	441	28
Pr, Q, B, At	189	47
Pr, Q, B, At, Ag	945	79
Pr, Q, S, B, At, Ag	6.615	83

Fig. 5-5: Anzahl der Äquivalenzklassen der Geschäfte bei der Verknüpfung von Kriterien. Die maximal mögliche Zahl bezieht sich auf die möglichen Kombinationen der Attributwerte, diese sind jedoch durch die Zahl der Geschäfte (132) nach oben beschränkt.

Zunächst gilt es, festzuhalten, dass für die im Kapitel 5.2 festgelegten Skalen für die Geschäftsattribute die Zahl der Äquivalenzklassen unabhängig von der Verknüpfungsart ist. Aus Fig. 5-5 wird aber auch deutlich, dass etwa die Hinzunahme der Größe ‚Sortiment‘ gegenüber dem Preis nur eine weitere Äquivalenzklasse schafft, hier sind also kaum Verbesserungen in der Vorhersagegüte zu erwarten. Erst wenn viele Attribute einfließen, kommt die Zahl der Äquivalenzklassen der der Geschäfte näher. Dies ist aber nicht unbedingt ein Garant für eine höhere Modellgüte.

Bis hier wurde nur die Rolle der strukturellen Teilnutzen (Geschäftsattribute) in der Bewertungsfunktion betrachtet. Fließt mit der Distanz auch eine relationale Nutzenkomponente – sinnigerweise nutzenmindernd – in die Bewertung ein, wächst die Wertemenge der Bewertungsfunktion beträchtlich, im Fall einer kontinuierlichen Distanzmessung sogar ins Unendliche. Da hier Koordinaten aber nur auf 100 Meter genau vorliegen, bleibt auch die Distanz eine diskrete Größe. Mit diesem Schritt hat sich aber auch die Modellkomplexität deutlich erhöht, denn nun sind Geschäfte mit gleichen Attributen nicht mehr für alle simulierten Konsumenten gleich, sondern unterscheiden sich durch den Distanzaufwand, der in Abhängigkeit von der Position des Agenten für die Versorgung zu leisten ist. Haben m Geschäfte höchstens m verschiedene Ausprägungen ihrer strukturellen Nutzenkomponenten, ergeben sich für n diskrete Raumstellen ($\lceil n^2/2 \rceil - n$) Ausprägungen. Das Modell ist also von der Schätzung von 132 Geschäftsumsätzen auf die Schätzung von Kaufkraftströmen übergegangen, die von jeder der ca. 12.500 diskreten Positionen auf die 132 Geschäfte gerichtet sind, in der Summe also etwa 1,65 Millionen.

Der nächste Schritt besteht in der Erweiterung des Modells um haushalts- bzw. individuenbezogene Merkmale, die Präferenzen, womit die Zahl der zu schätzenden Kaufkraftströme nun von der

Zahl der Agenten abhängt, im Untersuchungsgebiet somit $70.000 \cdot 132 = 9,24$ Millionen. Diese großen Zahlen wirken zwar imposant, sind aber nicht die eigentliche Herausforderung der Modellkalibrierung. Diese wäre ohne große Schwierigkeiten möglich, ließen sich die simulierten Interaktionen mit der Realität vergleichen. Zum Realitätsvergleich und zur Kalibrierung stehen aber nur die erwirtschafteten Geschäftsumsätze im Untersuchungszeitraum zur Verfügung, die sich den Randsummen der kaufkraftgewichteten Interaktionsmatrix gegenüberstellen lassen. Auch wenn das Vorhandensein einer verlässlichen Zielgröße für die Kalibrierung sehr begrüßenswert und keineswegs selbstverständlich ist, liegt hier der Grund für die hohe Zahl an Freiheitsgraden des Modells. Insbesondere kann eine unbekannte Zahl von Interaktionsmustern zu identischen Umsatzverteilungen bei den Geschäften führen. Eine (im Sinne eines hohen Gütemaßwertes) gute Umsatzschätzung der Geschäfte basiert also nicht zwangsläufig auf plausiblen Einzelinteraktionen der simulierten Konsumenten.

Eine weitere Herausforderung für die Kalibrierung offenbart sich bei der Vorauswahl. Auch wenn es inhaltlich sehr plausibel erscheint, dass die Agenten nicht alle Geschäfte im Untersuchungsgebiet wahrnehmen können, stellt die Restriktivität dieser Auswahl die Verfahren zur Parameterkalibrierung vor erhebliche Probleme: Je nach Standort des Agenten können die Vorauswahlen sehr unterschiedlich ausfallen, etwa mit einer Mehrzahl an strukturell relativ hoch oder niedrig eingestuften Geschäften, oder eher heterogen, was die Suche nach global gültigen Parametern, etwa für Attributgewichte oder Wahrnehmungsfunktionen stark erschwert. Aus diesem Grund wurden in den folgenden Experimenten auch jeweils Versuche ohne Vorauswahl durchgeführt, deren Ergebnisse je nach Attributskalierung und -verknüpfung unterschiedlich ausfallen, jedoch nicht generell schlechter als die mit Vorauswahl. Diese Ergebnisse werden im folgenden Abschnitt erläutert. Alternativ besteht später die Möglichkeit, eine Selektion über die Parameterwahl für die Wahrnehmungsfunktionen vorzunehmen. Dabei werden Geschäfte für einzelne Agenten nicht vor der Bewertung ausgeschlossen, sondern durch diese vernachlässigbar mit Kaufkraft bedacht.

5.5.3 Die Geschäftsattribute im Entscheidungsprozess

Setzt man die in Kapitel 5.2 festgelegten Attributwerte als Einzelattraktivität nach (5.6) ein, ohne Hinzunahme von Individualattributen wie Präferenzen oder der Distanz, erhält man Aufschluss über die maximal zu erreichenden Gütemaße unter der angenommenen Einteilung der Geschäfte (Fig. 5-6). Diese Experimente zeigen, dass der Beitrag der einzelnen Kriterien zur Erklärung des Geschäftsumsatzes sehr unterschiedlich ist. Leider ist der Grund dafür nur bedingt inhaltlicher Art, die Gütemaßwerte hängen stark von der Zahl der Attributklassen ab (Preis und Sortiment sieben, Agglomeration fünf, die übrigen nur drei): Je weniger Geschäfte in einer Attributklasse sind, desto genauer kann ihr realer Umsatz durch den Klassenmittelwert geschätzt werden. Experimente haben gezeigt, dass mit steigender Klassenzahl auch die Gütemaßwerte größer werden. Stimmt die Zahl der Attributklassen mit der der Geschäfte überein, ist jeder Klassenmittelwert des Umsatzes gleich dem Realumsatz, somit liegt das Gütemaß bei 1. Auf diese Weise war auch GÜSSEFELDT (2002) zu einer überragenden Schätzgüte gelangt. Ebenso wird deutlich, dass die Güte der Umsatzschätzung natürlich davon abhängt, ob die Rangfolge der Geschäfte bezüglich ihrer Äquivalenzklassen mit der bezüglich ihres Umsatzes übereinstimmt. Ein Geschäft, das bezüglich seiner Attributwerte besser ist als ein anderes, wird von den Agenten auch vermehrt aufgesucht und in der Simulation eine höhere Kaufkraft auf sich vereinen können. Ist der tatsächliche Umsatz dieses Geschäfts jedoch niedriger, führt dies zu systematischen Fehlschätzungen.

Dieser Effekt kann verdeutlicht werden, indem in solchen Fällen die Sortierung der Geschäfte an den Umsatz angepasst wird, mithin die empirisch gemessenen Geschäftsattribute so verfälscht werden, dass sich die Rangfolge zugunsten der Umsatzwerte verändert (umsatzorientierte Rangfolge). Ein Vergleich der Gütemaßwerte in den beiden Fällen liefert Fig. 5-6). Bis auf eine Ausnahme ($R^{(1)}$ bei Agglomeration) sind die Gütemaßwerte stets höher als für die empirisch ermittelte Rangfolge. Das Einschalten eine Vorauswahl (nach Kap. 5.3.1) wirkt sich schon bei den sonst wichtigsten Kriterien negativ auf das Gütemaß aus, so dass hier auf weitere Versuchsreihen verzichtet wurde.

Attribut (Kurzbez.)	Umsatzorientierte Rangfolge		Rangfolge gemäß empirisch ermittelter Attributwerte		
	$R^{(2)}$	$R^{(1)}$	$R^{(2)}$	$R^{(1)}$	$R^{(2)}$ unter Vorauswahl
Preis (Pr)	0,921	0,647	0,826	0,567	0,435
Sortiment (S)	0,924	0,641	0,885	0,579	0,517
Qualität (Q)	0,349	0,225	entfällt	entfällt	0,591
Beratung (B)	0,313	0,190	entfällt	entfällt	k.A.
Atmosphäre (At)	0,280	0,107	entfällt	entfällt	k.A.
Agglomeration (Ag)	0,340	0,135	0,338	0,143	k.A.

Fig. 5-6: Maximal erreichbare Gütemaßwerte bei Verwendung von Einzelkriterien als Geschäftsattraktivität (ohne Vorauswahl, außer falls anders angegeben). Bei den Kriterien Qualität, Beratung und Atmosphäre sind die umsatzorientierte und empirische Rangfolge der Geschäfte identisch.

Mit Abstand die höchsten Gütemaßwerte werden erreicht, wenn die Agenten die Geschäfte mit dem Kriterium ‚Preis‘ oder ‚Sortiment‘ bewerten, alle anderen liegen deutlich darunter und unterscheiden sich untereinander nur wenig. Beide Kriterien sind stark größenabhängig, eignen sich also besonders gut zur Umsatzschätzung und werden deshalb auch in Makromodellen vielfach als einzige Attraktivitätskomponente verwendet. Ein Mikroansatz, der individuelle Entscheidungen nach- und nicht nur kollektives Verhalten abbilden soll, bietet jedoch die Möglichkeit, erstens mehrere Teilnutzen gleichzeitig zu berücksichtigen und zweitens gerade die eher qualitativen Kriterien in diesen Prozess einzubeziehen.

Dazu sind die Kriterien zu einer kombinierten Geschäftsattraktivität zu verknüpfen, wobei sie sich gegenseitig ergänzen, jedoch mit recht unterschiedlichen Auswirkungen, auch in Abhängigkeit von der Verknüpfungsform (Fig. 5-7).

Summe	$R^{(1)}$	$R^{(2)}$	Produkt	$R^{(1)}$	$R^{(2)}$
Pr+S	0,924	0,654	Pr*S	-4,058	0,101
Pr+Q	0,458	0,283	Pr*Q	0,855	0,535
Pr+Q+S	0,540	0,327	Pr*Q*S	-5,250	0,054
Pr+Q+S+B	0,487	0,306	Pr*Q*B	0,614	0,362
Pr+Q+S+B+At	0,424	0,246	Pr*Q*B*At	0,441	0,251
Pr+Q+S+B+At+Ag	0,427	0,246	Pr*Q*B*At*Ag	0,122	0,208
Kombinationen von Verknüpfungsformen					
Pr*Q+S	0,855	0,536	(Pr+S)*Q	0,859	0,542

Fig. 5-7: Maximal erreichbare Gütemaßwerte bei Verknüpfung von Einzelkriterien zu kombinierter Geschäftsattraktivität (umsatzorientierte Rangfolge, ohne Vorauswahl).

Die Addition der Geschäftsattribute zu einem Gesamtnutzen lässt das Gütemaß Werte annehmen, die zwischen denen der Einzelattribute liegen. Bei Multiplikation verstärken sich die Attribute gegenseitig stark, ihre Skalen verformen sich zu exponentiellen Verläufen. Auswirkung davon kann sein, dass die Verwendung von Preisniveau und Sortiment, die einzeln am besten für die Umsatzschätzung dienen, nun zu einer Überschätzung der Umsätze der in beiden Kriterien hoch eingestuftes Geschäfte führt. Selbstverständlich ist auch eine Kombination von Verknüpfungsformen denkbar, wie in der letzten Zeile von Fig. 5-7 dargestellt. Da es bei einer Multiagentensimulation darum geht, individuelle Entscheidungen nachzubilden, ist spätestens jetzt die Frage zu stellen, wie denn die simulierten Konsumenten die Teilnutzen gedanklich verknüpfen. Offensichtlich ist, dass ein Geschäft, das eine höhere Produktqualität erwarten lässt, trotz höherer Preise attraktiv erscheinen kann. Ebenso werden Konsumenten in der Erwartung niedrigerer Preise auch weniger Qualität in Kauf nehmen. Über die Art der Verknüpfung fehlen jedoch jegliche theoretische oder empirische Kenntnisse. Allerdings wird intuitiv häufig von einem „Preis-Leistungs-Verhältnis“ ausgegangen, was am ehesten einer multiplikativen Verknüpfung des Preis- mit dem Qualitätskriterium entspricht. Zusätzliche Einflüsse wie Atmosphäre oder Auswahl könnten dann additiv einbezogen werden.

Discrete Choice Modelle verwenden zumeist additive Nutzenkombinationen, jedoch ohne eine theoretisch fundierte Begründung dafür liefern zu können. Man könnte also die Verknüpfung wählen, die am besten für das Problem geeignet ist (d.h. die die höchsten Gütemaßwerte aufweist), oder die die Integration weiterer Nutzenkomponenten oder Modellannahmen (Präferenzen, Wahrnehmungsfunktionen) am leichtesten ermöglicht. Hier ist die Addition deutlich vorzuziehen: In einem Produkt müssten Präferenzen nach (5.4b) im Exponenten stehen und wären damit nur noch schwer als Gewichte für die Geschäftsattribute interpretierbar. Für den Entwurf von Wahrnehmungsfunktionen ist ebenfalls die Summe vorzuziehen, da dadurch die gewählten Funktionsfamilien für die Einzelnutzen nicht verändert werden: Multiplikativ verknüpfte Funktionen werden stets exponentiellen Verläufen ähnlich.

5.5.4 Distanzen und Präferenzen: Individualisierung des Modells

Im nächsten Schritt wird die Distanz zwischen den Agenten und den Geschäften als relationale Nutzenkomponente und damit sowohl umsatzunabhängige als auch individuenbezogene Größe in die Bewertung einbezogen. Ist sie geeignet normiert, kann die Distanz als Kehrwert oder invers als Attraktivitätsmindernde Größe auftreten. Diese Experimentreihe schloss auch eine Geschäftsbewertung durch die Distanz alleine ein (Fig. 5-8).

Attributkombination	Ohne Vorauswahl		Mit Vorauswahl	
	$R^{(2)}$	$R^{(1)}$	$R^{(2)}$	$R^{(1)}$
1/d	0,291	0,089	k.A.	k.A.
1-d	0,262	0,012	k.A.	k.A.
Pr/d	0,897	0,601	0,756	0,465
S/d	0,904	0,604	0,753	0,466
Pr*(1-d)	0,914	0,622	k.A.	k.A.
S*(1-d)	0,918	0,619	k.A.	k.A.
(Pr+S)/d	0,902	0,608	k.A.	k.A.
(Pr+S)*(1-d)	0,917	0,628	k.A.	k.A.
(Pr+Q+S)/d	0,640	0,404	0,737	0,438
(Pr+Q+S+B)/d	0,576	0,391	k.A.	k.A.

Fig. 5-8: Maximal erreichbare Gütemaßwerte bei Verknüpfung von Einzelkriterien mit der Distanz.

Die Distanz alleine kann kaum als Explanand für Geschäftsumsätze dienen. Es zeigt sich recht deutlich, dass erst die Einbindung struktureller Nutzenkomponenten zu annehmbaren Schätzgütern führt. Allerdings wird auch ersichtlich, wie bereits oben als Herausforderung formuliert, dass die durch die Einbindung solcher relationaler Teilnutzen erhöhte Modellkomplexität Einbußen im Gütemaß zur Folge hat. Auch hier ist die Frage nach der Verknüpfung der Distanz mit der Bewertung durch die Geschäftsattribute zu stellen. Als Summand wirkt sie mindernd auf den Gesamtnutzen, als inverser Faktor oder Divisor mindert sie den Nutzen einer jeden (additiven) Komponente. Auch hier sucht man vergeblich nach einer theoretischen Fundierung, die über die Feststellung einer Nutzenminderung durch erhöhten Distanzaufwand hinausgeht. Einzelnen Experimenten dieser Reihe wurde auch eine Geschäftsvorauswahl vorgeschaltet, die gegenüber den Versuchen ohne Distanz (Fig. 5-7) deutlich weniger reduzierend auf die Gütemaßwerte wirkte. Die Restriktivität der Vorauswahl lässt sich dabei besonders an zwei Sachverhalten verdeutlichen: Erstens an den durch sie deutlich reduzierten Spannweiten der Gütemaßwerte, ohne Vorauswahl schwanken diese stärker. Zweitens wird bereits durch die Vorauswahl alleine – ohne weitere Bewertung der Geschäfte – ein Gütemaß ($R^{(2)}$) von 0,63 erreicht. Der Anteil der strukturellen Merkmale, an den durch Parameteroptimierung die größten Erwartungen für die Kalibrierung zu knüpfen sind, ist also eher gering. Dies lässt auch für eine Steigerung der Schätzgüte gegen Eins unter den Bedingungen der Vorauswahl nur geringen Spielraum erwarten.

Die Einbindung der Distanz bedeutet noch keine Individualisierung im engeren Sinn, handelt es sich beim 100m-Gitter der vorliegenden Koordinaten doch nur um diskrete Raumstellen, die auch mehreren Agenten gemeinsam sein können. Erst die Präferenzen, die sich nach (5.1a-h) und (5.2) aus individuellen und familienbezogenen Merkmalen berechnen, lassen das Modell die detaillierteste Stufe der Mikroebene einnehmen. Die Präferenzen haben die Aufgabe, eine individuenbezogene Gewichtung der Geschäftsattribute untereinander vorzunehmen, ihre Einbindung ist dabei von der gewählten Verknüpfungsart (5.4a, b) abhängig. Werden nur Einzelkriterien nach (5.6) verwendet, verformt die zugehörige Präferenz als Exponent deren Skala. Durch die Präferenzen wird die Modellkomplexität nochmals gesteigert, folglich ist wie bei der Distanz mit Einbußen im Gütemaß zu rechnen. Dies trat aber nicht in allen Fällen auf, wie in Fig. 5-9 abzulesen ist.

Attributkombination	Ohne Präferenzen		Mit Präferenzen	
	$R^{(2)}$	$R^{(1)}$	$R^{(2)}$	$R^{(1)}$
Pr*	0,431	k.A.	0,558	k.A.
S*	0,517	k.A.	0,543	k.A.
Pr/d*	0,756	0,465	0,285	0,214
S/d*	0,753	0,466	0,249	0,224
Q/d*	0,723	0,443	0,073	0,209
Pr+S	0,924	0,654	0,924	0,625
Pr+Q	0,458	0,283	0,432	0,268
Pr+Q+S	0,540	0,327	0,484	0,296
(Pr+Q+S)/d	0,640	0,404	0,582	0,368
(Pr+Q+S+B)/d	0,576	0,391	0,565	0,372

Fig. 5-9: Vergleich von Gütemaßwerten bei Experimenten mit und ohne Präferenzen. Mit * gekennzeichnete Simulationsläufe beinhalteten eine Geschäftsvorauswahl (nach Kap. 5.3.1).

5.5.5 Wahrnehmungsfunktionen

5.5.5.1 Einführung und Wahl der Funktionsform

Die Überlegung, die Geschäftsattribute zusätzlich mit Wahrnehmungsfunktionen zu überziehen, folgt der Hypothese, dass die aus Untersuchungen und eigenen Erhebungen abgeleiteten Attributwerte Irrtümern unterliegen könnten, oder von den Konsumenten, deren Handeln modelliert wird, in anderer Weise wahrgenommen werden. Wenn es zudem möglich ist, die Parameter dieser Funktionen automatisiert zu suchen, kann hier das Optimierungspotenzial im Sinne einer möglichst genauen Umsatzschätzung am weitesten ausgeschöpft werden. Nach Betrachtung der vorangegangenen Ergebnisse wurden diese Versuche lediglich mit den drei einflussreichsten Attributen Preis, Qualität und Sortiment durchgeführt. Die Bewertungsfunktion für die Agenten ändert sich von (5.4a) in (5.4d). Zur Verdeutlichung sei letztere Gleichung hier noch einmal wiederholt:

$$W_{i,g} = \frac{1}{\beta(d_{i,g})} \sum_K P_{i,K} \alpha_K(A_{g,K}) \quad (5.7)$$

mit K : Kriterium, $d_{i,g}$: Distanz zwischen Individuum und Geschäft, P_i : Präferenz des Individuums, A_g : Attribut des Geschäfts, α_K, β : Wahrnehmungsfunktionen

Dafür stellt sich zuerst die Frage nach der Wahl einer Funktionsfamilie. Lineare, exponentielle und logistische Funktionen haben bestimmte Eigenschaften, die sich auf die derart transformierten Attributwerte übertragen. Eine lineare Wahrnehmungsfunktion würde etwa die Skala der Attributwerte lediglich proportional ‚strecken‘. Exponentielle Funktionen sorgen dafür, dass das Wachstum der Attributwerte ‚nach rechts‘ auf der Skala immer größer wird, logistische Funktionen vergrößern die Abstände der Attributwerte in der Mitte der Skala. Neu aufgeworfen werden muss in diesem Zusammenhang auch die Frage der Kriterienverknüpfung, die nun durch die Verknüpfung von Funktionen erweitert wird. Bei einer Addition behalten die Funktionen die Eigenschaften ihrer Familie bei, werden sie jedoch multipliziert, kann sich ihre Familie ändern. Das Produkt zweier linearer Funktionen etwa ergibt eine Exponentialfunktion. Werden Wahrnehmungsfunktionen verwendet, erscheint also eine Addition praktikabler.

Da keinerlei empirische Kenntnisse darüber vorliegen, ob und mit welchen Eigenschaften Konsumenten Geschäftsattribute verzerrt wahrnehmen, tritt keine genannte Funktionsfamilie mit deutlichen Vorteilen hervor. Aus formaler Sicht bieten jedoch die logistischen Funktionen Vorteile, da sie sich durch die Einstellung ihrer Parameter an lineare und exponentielle Funktionen annähern lassen. Logistische Funktionen besitzen drei Parameter a , b und c und haben die Form:

$$f(x) = \frac{10^a}{1 + 10^b * e^{-cx}} \quad (5.8)$$

Fig. 5-10 zeigt den graphischen Verlauf einer logistischen Funktion. Der Parameter a legt das Maximum der Wertemenge fest, an das sich der Kurvenverlauf asymptotisch annähert. Mit dem Parameter b lässt sich der Wendepunkt der Funktion parallel zur x-Achse verschieben. Der Parameter c bestimmt schließlich die Steigung am Wendepunkt. Jetzt wird auch die leichte Wandelbarkeit dieser Funktionsfamilie deutlich: Ist a sehr groß und c sehr klein, wird der Kurvenverlauf nahezu linear, sind hingegen b und c sehr groß, wird der Kurvenverlauf zumindest ‚links‘ des Wendepunkts exponentiell. Mit einer vergleichsweise geringen Anzahl Parameter eröffnen sich also viele Variationsmöglichkeiten. Nachteilig könnte sich auswirken, dass die Kurvenverläufe in Bezug auf den Wendepunkt symmetrisch sind, was wiederum eine Annahme ohne empirische Untermauerung darstellt. Für die erwähnten drei Geschäftsattribute wären also je eine Wahrnehmungsfunktion mit je drei Parametern zu finden. Ein automatisiertes Verfahren hierzu hätte also neun Parameter simultan einzustellen. Eine sukzessive Parametereinstellung für die einzelnen Geschäftsattribute könnte evtl. günstigere Parameterkonstellationen ungerechtfertigterweise ausschließen.

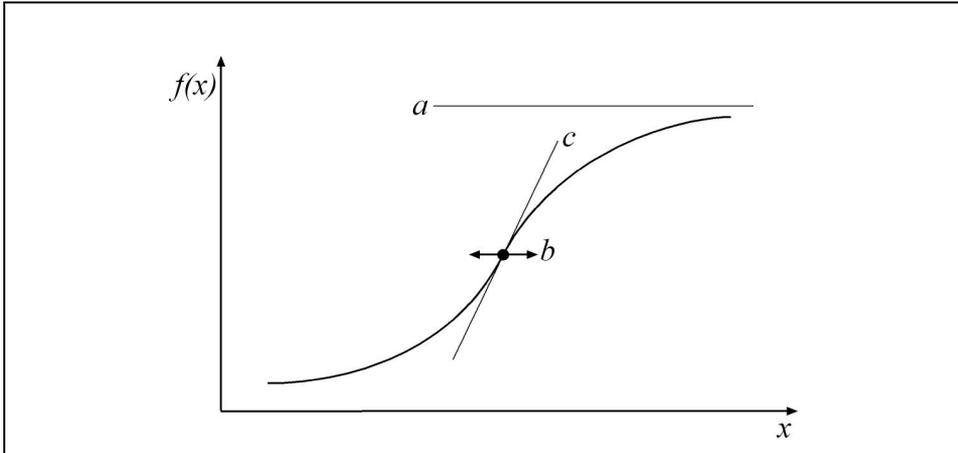


Fig. 5-10: Verlauf einer logistischen Funktion mit den Aufgaben der Parameter a , b und c .

5.5.5.2 Ein automatisiertes Verfahren zur Parameterbestimmung

Das verwendete automatisierte Verfahren wird als „*Simulated Annealing*“ (dt.: „Simulierte Abkühlung“) bezeichnet und sei hier kurz vorgestellt. Das Verfahren zieht eine Parallele zu einem Phänomen aus den Materialwissenschaften. Wenn Stoffe abkühlen und vom flüssigen in einen festen Aggregatzustand übergehen, ordnen sich die Atome in ihrem Innern so an, dass sie einen möglichst geringen Energiezustand erreichen. Geht die Abkühlung sehr schnell vorstatten, bleibt den Atomen nur wenig Zeit, diesen Zustand geringster Energie zu finden, und das abgekühlte und feste Material neigt zu inneren Spannungen, die es instabil machen. Bei einer kontrollierten Abkühlung wird das Material während des Prozesses immer wieder kurz erhitzt, um den Atomen Gelegenheit zu geben, ihre Lage und ihren Energiezustand noch einmal zu ändern, so dass das Gesamtsystem insgesamt in einen sehr niedrigen Energiezustand kommt.

Diese Vorgänge werden nun auf das Vorhaben einer Parametereinstellung übertragen. Statt der Atome und ihrer Zustände werden nun die Parameter und ihre Werte betrachtet. Der energetische Zustand des Gesamtsystems wird durch die Berechnung einer Bewertungsfunktion aus den Parameterwerten bestimmt. Dazu kann etwa das oben definierte Gütemaß der Umsatzschätzung (5.5) dienen. Berechnet wird nun eine Wahrscheinlichkeit $P(e, e', T)$, dass die Parameter ihre Werte von einem Zustand s in einen Zustand s' ändern, die von den Energieniveaus (Wert des Gütemaßes) e und e' in diesen Zuständen und von einem globalen Parameter T , der Temperatur genannt wird, abhängt. Man legt die zugehörige Funktion so an, dass die Wahrscheinlichkeit für eine Parameteränderung hoch ist, wenn auch die Temperatur einen großen Wert annimmt. Gleichzeitig sollte bei konstanter Temperatur die Wahrscheinlichkeit, vom Zustand s in den Zustand s' zu wechseln, größer sein, falls $e > e'$, der neue Zustand also energetisch günstiger ist, als im Fall $e < e'$. Entscheidend ist jedoch, dass die Wahrscheinlichkeit für den zweiten Fall nie Null wird. Damit wird dem System erlaubt, auch energetisch schlechtere Zustände wieder anzunehmen (erneutes Anheizen) und aus so genannten lokalen Optima wieder herauszufinden. Im Verlauf des Optimierungsalgorithmus wird die Temperatur schrittweise abgesenkt, so dass die Parameterzustände sich zu Beginn eher zufällig ändern und die

Änderungsmöglichkeiten mit der Zeit immer weiter eingeschränkt werden. Damit eignet sich dieses Verfahren besonders bei großen Suchräumen, in denen viele lokale Optima vermutet werden.

Kritisch ist der benötigte Zeitaufwand für das Verfahren. Zwar kann mathematisch gezeigt werden, dass nach unendlicher Zeit das globale Optimum sicher gefunden wird, in realen Anwendungen möchte man aber im Allgemeinen nicht so lange warten. Die Frage, wie viel Zeit das Verfahren benötigt, um mit einer genügend großen Wahrscheinlichkeit ein befriedigendes Ergebnis zu liefern, ist nicht allgemein zu beantworten. Außerdem ist diese Zeitdauer auch von der Komplexität des Systems selbst abhängig, das heißt von der Zeit, die benötigt wird, um eine gefundene Parameterkonstellation zu bewerten, also das Gütemaß zu berechnen. In einer Simulation mit mehreren Hundert oder gar Tausend Agenten kann auch dieser Zeitaufwand erheblich ins Gewicht fallen.

5.5.5.3 Globale und individuelle Wahrnehmungsfunktionen

Ein solches *Simulated-Annealing*-Verfahren wurde in das Simulationsmodell integriert, und damit Werte für die Parameter der drei Wahrnehmungsfunktionen für die Geschäftsattribute Preis, Qualität und Sortiment bestimmt, jedoch noch ohne Berücksichtigung der Distanz.³⁰ Hierbei ergaben sich die in Fig. 5-11 wiedergegebenen Parameterwerte. Als Gütemaßwerte wurden 0,920 (quadratisch, 5.5a) und 0,625 (absolut, 5.5b) erreicht, was eine Steigerung gegenüber den vorherigen Experimenten (Fig. 5-8, 5-9) darstellt.

Parameter	Preis	Qualität	Sortiment
a	3,000	3,000	1,462
b	4,988	13,836	1,837
c	1,626	0,8333	2,210

Fig. 5-11: Gefundene Parameterwerte für die drei Wahrnehmungsfunktionen.

Während das Preisattribut damit einer beachtenswerten Variation unterliegt, wurde der Einfluss des Qualitätsattributs stark abgeschwächt. Hier wird der Wendepunkt der Funktion durch den hohen Wert des Funktionsparameters *b* weit nach rechts verschoben, gleichzeitig ist die Steigung, bestimmt durch den Parameter *c*, dort sehr gering. Dieses Ergebnis ist konsistent mit den vorherigen Experimenten ohne Wahrnehmungsfunktionen, in denen das Qualitätsattribut auch nur geringen Beitrag zur Umsatzschätzung leistete. Dem Sortiment werden nur im unteren Segment starke Unterschiede zugemessen. Dies lässt sich inhaltlich so deuten, dass Sortimentsunterschiede vor allem bei kleineren Läden ins Gewicht fallen, ab einer gewissen Sortimentsgröße aber nicht mehr ausschlaggebend für die Geschäftswahl ist.

Da das herausragende Merkmal des vorliegenden Modells seine Orientierung an individuellen Entscheidungen ist, und kein Grund besteht, anzunehmen, dass, wenn die Skalen der Geschäftsattribute von den Konsumenten verzerrt wahrgenommen werden, diese Wahrnehmungsunterschiede homogen sind, liegt es nahe, diese Wahrnehmungsverzerrungen durch Funktionen ebenfalls zu individualisieren. Nun für jeden Agenten Funktionen mit insgesamt neun Parametern aufzustellen und diese zentral einzustellen, überfordert jeden Optimierungsalgorithmus. Stattdessen bietet sich an, wiederum den dezentralen Charakter des Multiagentenansatzes zu nutzen, und die Agenten ihre Ge-

schäftswahrnehmungen selbst einstellen zu lassen. Statt dafür Wahrnehmungsfunktionen mit den Geschäftsattributen als Eingabe zu verwenden, soll nun jeder Agent genau einen Bewertungswert so einstellen, dass der Geschäftsumsatz optimal reproduziert wird. Um hierbei nicht in einen Zirkelschluss zu verfallen, in dem der Umsatz sowohl erklärende als auch erklärte Größe wird, wurde als Randbedingung formuliert, dass dabei die Geschäftsattribute trotzdem korrekt wiedergespiegelt werden müssen. Die Agenten dürfen also ihre Bewertungen nur soweit ändern, dass sich die Bewertungsreihenfolge, die sich aus den Geschäftsattributen aus Sicht der Agenten ergibt, nicht ändert. Die Agenten versuchen also, jeder möglichst viel zu einer optimalen Umsatzschätzung beizutragen, jedoch ohne den empirisch gemessenen Attributen zu widersprechen.

Das Ergebnis dieser Optimierung kann als maximal mögliche Qualität der Umsatzschätzung unter der Annahme der erhobenen Geschäftseigenschaften interpretiert werden. Jedoch konnten durch diese Maßnahmen keine nennenswerten Steigerungen in den Gütemaßen der Umsatzschätzung mehr erreicht werden, da sie zu beträchtlichen Unterschätzungen kleinerer Geschäfte im Ländlichen Raum führten. Dies konnte durch eine Einschränkung des Aktionsradius der Agenten auf die nächsten 12 Geschäfte zwar ausgeglichen werden, wie einzelne Folgeexperimente zeigten. Aus Angebotssicht entstehen dadurch aber sehr kompakte Marktgebiete, was besonders für die großflächigeren Formate und Geschäfte in der Stadt Umeå unrealistisch erscheint. Hier lagen für Einwohner der Wohngebiete Mariehem und Älidhem die Innenstadtgeschäfte bereits außerhalb dieser definierten Reichweite.

5.5.5.4 Der Sonderfall der Distanz

Die Vermutung von Wahrnehmungsverzerrungen seitens der Konsumenten betrifft natürlich nicht nur die Geschäftsattribute, sondern auch das Merkmal der Distanz. Insbesondere wurde erwartet, dass Einwohner verschiedene Raumtypen auch unterschiedliche Affinitäten gegenüber Distanzüberwindung zum Zweck der Grundversorgung besitzen. Weiterhin werden Modelle der Einkaufsstättenwahl häufig dafür kritisiert, dass sie ausschließlich Einkaufsfahrten vom Wohnort aus modellieren, indem sie nur jene Distanz einbeziehen, obwohl sich durch die gesellschaftlichen Veränderungen in den letzten Jahrzehnten, vor allem bedingt durch einen gestiegenen Anteil von Frauen in der Erwerbstätigkeit, der Anteil nicht wohnortbezogener Einkaufsfahrten erhöht hat (ARENTEZE & TIMMERMANS 2005a: 1). Da in den verfügbaren Daten neben den Koordinaten der Wohnung auch die des Arbeitsplatzes für jedes Individuum verfügbar waren (Fig. 4-2), konnten zwei Fälle unterschieden werden:

1. Das betrachtete Individuum ist nicht erwerbstätig: Unter der Annahme, dass in diesem Fall die Einkaufsfahrt vom Wohnort aus unternommen wird, wird die Distanz zwischen Wohnort und Geschäft verwendet.
2. Das betrachtete Individuum ist erwerbstätig: In diesem Fall wird angenommen, dass der Einkauf mit dem Arbeitsweg gekoppelt wird. Geschäfte sind nun bezüglich des Distanzkriteriums sinnigerweise mit dem zusätzlich zu tätigen Distanzaufwand, der durch den Umweg zum Geschäft auf dem Weg zur oder von der Arbeitsstelle entsteht, zu bewerten:

$$d_U = d_{WG} + d_{AG} - d_{WA} \quad (5.9)$$

Mit: d_U : ‚Umwegdistanz‘ zum Geschäft auf dem Arbeitsweg; d_{WG} : Distanz zwischen Wohnort und Geschäft; d_{AG} : Distanz zwischen Arbeitsstelle und Geschäft; d_{WA} : Distanz zwischen Wohnort und Arbeitsstelle.

Generell verwendet das Modell Luftliniendistanzen. Diese haben bei der gegebenen Komplexität des Modells und den großen Datenmengen den Vorteil, dass sie sich sehr schnell mit dem Satz des Pythagoras aus den Differenzen der Koordinatenwerte zweier Positionen berechnen lassen. Natürlich wäre die Verwendung von Straßendistanzen wünschenswert, ließ sich aber nicht mit vertretbarem Aufwand (Zuordnung der Koordinatenpaare zu Adressen, Positionieren dieser auf den Kanten eines Straßengraphen) realisieren.

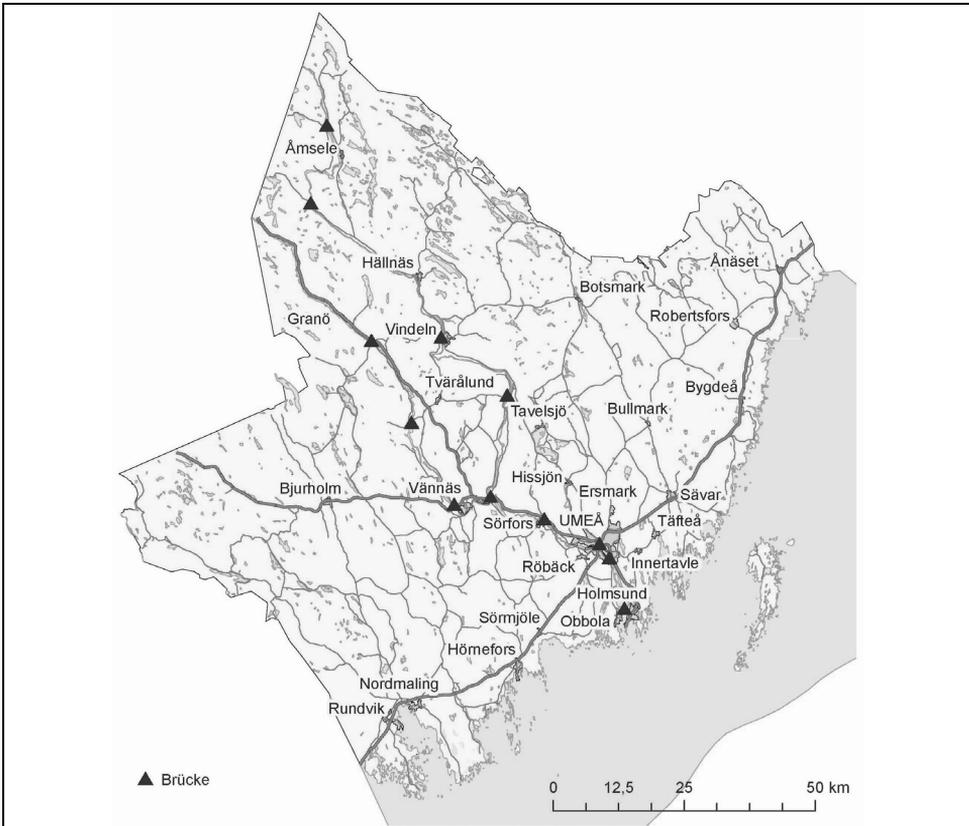


Fig. 5-12: Standorte der Brücken über die Flüsse Umeälven und Vindelälven.

Um nicht in die allzu schlichte Annahme einer homogenen Ebene zu verfallen, wurde dennoch eine topographische Besonderheit berücksichtigt. Das Untersuchungsgebiet wird von zwei Flüssen, dem Umeälv und dem Vindelälvs, in drei Sektoren zerschnitten. In einer solch peripheren Region mit relativ dünn angelegter Straßeninfrastruktur sind auch Brücken nicht besonders zahlreich (Fig. 5-12). Alle Distanzen zwischen Punkten in unterschiedlichen Sektoren wurden als kürzest mögliche Distanzen über die jeweils nötige Anzahl von Brücken berechnet. Zwischen zwei benachbarten Sektoren ist nur eine Brücke zu überqueren, von Bjurholm nach Botsmark führt der kürzeste Weg beispielsweise über zwei Brücken.

Bezüglich der Distanzwahrnehmung wurden zunächst ebenfalls Versuche mit einer logistischen Wahrnehmungsfunktion (5.8, Fig. 5-10) unternommen. Die automatisierte Parameterbestimmung führte zu einer Minimierung des Distanzeinflusses auf die Einkaufsstättenwahl bis zur Vernachlässigbarkeit. Dieses Resultat ist sehr überraschend, und es muss die Frage gestellt werden, ob es sich dabei um ein Artefakt des Optimierungsalgorithmus handeln könnte. Hier fällt auf, dass das Distanzkriterium im Gegensatz zu den vorher behandelten Geschäftsattributen das einzige ist, das in Bezug auf die Agenten heterogen ist. Die Geschäftsattribute Preis, Qualität und Sortiment waren aus Sicht aller Agenten gleich und wurden erst nach der Verformung durch ihre Wahrnehmungsfunktionen mit den individuellen Präferenzen gewichtet (5.7). Die Distanz zu einem Geschäft ist jedoch für jeden Agenten unterschiedlich. Aus umgekehrter Perspektive gesehen: Angenommen, ein Agent betrachtet zwei Geschäfte, die aufgrund ihrer Attribute und ihres Umsatzes vergleichbar sind, sich jedoch in unterschiedlicher Entfernung von ihm befinden. Ist die Güte der Umsatzschätzung die einzige Zielgröße, wird ein Optimierungsalgorithmus versuchen, beiden Geschäften einen identischen Kaufkraftbetrag zuzuweisen, was nur durch Minimierung des Einflusses desjenigen Kriteriums, in dem sich die Geschäfte aus der Sicht des Agenten unterscheiden, in diesem Fall der Distanz, gelingt.

Eine zweite Begründung für ein solches Artefakt könnte die Überlegung sein, dass die Distanz für die Bewohner der Region, eventuell nach der Raumkategorie ihres Wohnortes, sehr unterschiedlich wichtig ist und somit nicht mit einer homogenen Wahrnehmungsfunktion für alle Agenten beschreibbar ist. Diese Vermutung legen auch die Darstellungen in Fig. 4-11 und 4-12a & b nahe, die die sehr unterschiedlichen Versorgungsgrade und Erreichbarkeiten von Lebensmittelgeschäften in der Region aufzeigen. Während für weite Teile des Ländlichen Raums Entfernungen zum nächsten Angebotsort von mehr als 10 Kilometern keine Seltenheit sind, befindet sich für Einwohner der Stadt Umeå schon die Mehrheit aller Geschäfte innerhalb einer solchen Entfernung.

Diesem Umstand könnte mit einer diskret oder kontinuierlich veränderbaren Wahrnehmungsfunktion für die Distanz Rechnung getragen werden. Für den diskreten Fall müssten zwei oder mehr Raumkategorien gebildet werden, für die Wahrnehmungsfunktionen mit jeweils unterschiedlichen Parametern gefunden werden müssten. Eine solche Zonierung ist jedoch mit spezifischen Problemen behaftet. Selbst abgesehen von den Schwierigkeiten einer Grenzziehung zwischen ‚Stadt‘ und ‚Land‘ führen jegliche diskrete Aufteilungen zu Artefakten bei der Parametereinstellung, wie schon OPENSHAW (1977) und OPENSHAW & TAYLOR (1979) zeigen konnten. Zu erwägen wäre aber die Lösung einer kontinuierlich veränderbaren Wahrnehmungsfunktion für die Distanz. Nimmt man etwa an, dass die Distanzempfindlichkeit beim Lebensmitteleinkauf mit abnehmender Entfernung des Wohnorts zum Stadtzentrum aufgrund der dort höheren Versorgungsdichte steigt, müsste dafür eine logistische Wahrnehmungsfunktion mit verschiebbarem Wendepunkt zum Einsatz kommen. Wie oben bereits erwähnt, kann die Lage des Wendepunkts durch Änderung des Parameters b der Funktionsgleichung (5.8) beeinflusst werden. Problematisch wirkt sich hier jedoch aus, dass nun eine weite-

re Funktion für den Parameter b definiert werden muss, die wiederum einzustellende Parameter besitzt, von denen aber nicht vorausgesetzt werden kann, dass sie von den beiden anderen Parametern der Distanzwahrnehmungsfunktion unabhängig sind. Stattdessen wurde daher nach einem anderen Weg gesucht, die unterschiedliche Ausstattungsdichte mit Einzelhandelsangebot in den Distanzterm zu integrieren.

Dies gelingt mit einer Umstellung der Distanzskala auf eine ordinale Metrik. Dabei wird die tatsächliche Entfernung durch den Rangplatz in der Distanzsortierung der Geschäfte ersetzt. Das nächstgelegene Geschäft wird dadurch bezüglich des Distanzkriteriums stets gleich bewertet, unbeschadet dessen, wie weit es tatsächlich entfernt ist. In etwas weiterer Entfernung kann etwa das 10. erreichbare Geschäft bezüglich des Distanzkriteriums keine unterschiedliche Bewertung je nach Angebotsdichte in der Umgebung des Agenten mehr erhalten. Das folgende Kapitel wird demonstrieren, dass dadurch wesentlich plausiblere Bewegungen der Agenten auf ihren Einkaufswegen entstehen. Auch hier ergeben sich jedoch zwei Hindernisse:

1. Wird dieser Distanzrangplatz in einer Bewertungsfunktion wie in (5.7) als Nenner eingesetzt, wird dadurch eine Annahme einer quantifizierbaren Beziehung bezüglich des Distanzkriteriums zwischen den Entscheidungsalternativen getroffen: Das zweite Geschäft ist dadurch halb so attraktiv wie das erste, das dritte $2/3$ so attraktiv wie das zweite usw.
2. Sind zwei Geschäfte gleich weit entfernt, entscheidet der Zufall, welche Rangplätze ihnen zugewiesen werden. Dieser Umstand konnte durch Zuteilung der gleichen Rangplatzzahl sofort behoben werden.

Die Einführung der ordinalen Distanzskalierung hatte lediglich geringfügige ($<0,05$) Auswirkungen auf die Gütemaßwerte der Umsatzschätzung, jedoch ließen sich die Einkaufsfahrten einzelner Agenten dadurch um einiges plausibler abbilden, wie im folgenden Kapitel gezeigt wird.

5.5.6 Einkaufsbiographien

Der Multiagentenansatz erlaubt durch seine konsequente Ausrichtung an individuellen Entscheidungen, eine Ergebnisbewertung auch aus der Sicht einzelner Agenten vorzunehmen. In Anlehnung an Bevölkerungssimulationen soll diese Vorgehensweise hier als das Betrachten von Biographien bezeichnet werden. Zur Analyse wurden willkürlich acht real existierende Personen aus unterschiedlichen Raumkategorien ausgewählt (Fig. 5-13), deren simulierte räumliche Einkaufsmuster in den folgenden Abschnitten dargestellt werden: Drei Bewohner im Ländlichen Raum, davon einer in einem Zentralen Ort, drei Pendler, die zwar ihren Wohnort im Ländlichen oder Suburbanen Raum, ihren Arbeitsplatz jedoch in der Stadt Umeå haben, und zwei Stadtbewohner, davon einer nicht erwerbstätig.

Kategorie	Wohnort	Arbeitsort	Alter	Geschl.	Präferenzen		
					Preis	Qualität	Sortiment
LR	Västeråker	-	70	M	0,252	0,362	0,514
LR	Västerbäck	-	46	W	0,236	0,352	0,574
LR/ZO	Vännäsby	-	34	W	0,248	0,297	0,603
Pendler	Vännäsby	U/Västerslätt	38	M	0,248	0,254	0,593
Pendler	Täfteå	U/Ersboda	35	W	0,259	0,307	0,600
Pendler	Röbäck	U/Ålidhem	31	W	0,299	0,340	0,610
Stadt	U/Mariehem	U/Västerslätt	49	M	0,249	0,316	0,566
Stadt	U/Mariehem	-	20	W	0,368	0,296	0,636

Fig. 5-13: Ausgewählte Agenten für die Biographien-Analyse mit zugehörigen Eigenschaften. LR = Ländlicher Raum, ZO = Zentraler Ort, U = Umeå. Präferenzen nach Gleichungen (5.1d-f).

5.5.6.1 Bewohner des Ländlichen Raums

Das erste Beispiel ist ein 70jähriger männlicher Rentner, der mit seiner Familie in der Ortschaft Västeråker, etwa 20 km nördlich von Umeå lebt. Die meisten Einkäufe erledigt sein Agent in Wohnortnähe, vor allem beim 300 m² großen ICA Matboa in Tavelsjö (6.162 SEK jährlich, entspricht 10,1% der Lebensmittelausgaben). Weitere häufig aufgesuchte Standorte sind der Hypermarkt Obs Stormarknad am nördlichen Stadtrand (4.122 SEK / 6,8%), sowie die ebenfalls dem Format Lanthandel zugehörigen Geschäfte Flurmarks Livs in Flurmark (3.073 SEK / 5,0%) und Edmans Handel in Bullmark (2.369 SEK / 3,9%). Die Kombination aus niedriger Sortiments- und hoher Qualitätspräferenz sorgt dafür, dass die näher gelegenen kleineren Geschäfte besser abschneiden als die Standorte mit breit gefächertem Angebot in der Stadt (Fig. 5-14a).

Als zweites Beispiel aus dem Ländlichen Raum wurde eine 46jährige Frau in Västerbäck, an der Europastraße E12 am nördlichen Rand der Kommune Vännäs gelegen, ausgewählt. Während ihr Mann und ihre beiden Kinder im Ort arbeiten, ist sie selbst nicht erwerbstätig. Die drei bedeutendsten Einkaufsorte für ihren Agenten sind die beiden Vollsortimenter Konsumhallen (17.726 SEK / 13,6%) und Ica Stinsen in Vännäs (14.181 SEK / 10,9%), sowie das Geschäft Handelsboden (15.492 SEK / 11,9%) in Tvärälund. Hier gleichen sich die größere Entfernung nach Vännäs und das dort größere Sortiment in etwa aus. Nur vereinzelte Einkaufsfahrten sind auf die Stadt gerichtet (Fig. 5-14b).

Der letzte Agent in dieser Kategorie wohnt in einem der Zentralen Orte des Ländlichen Raums, in Vännäsby. Genau genommen ist Vännäs der Hauptort der gleichnamigen Kommune, bildet jedoch mit Vännäsby einen Doppelort. Diese 34jährige Frau ist ebenfalls nicht erwerbstätig und erledigt die meisten Einkäufe direkt im Konsum an ihrem Wohnort (12.655 SEK / 18,9%). Auch die beiden schon bekannten Vollsortimenter in Vännäs (Ica Stinsen: 8.530 SEK / 12,7%; Konsumhallen: 6.824 SEK / 10,2%) können einen bedeutenden Teil der Kaufkraft ihres Haushalts auf sich ziehen, was auch auf die recht hohe Sortimentspräferenz des Agenten zurückzuführen ist.

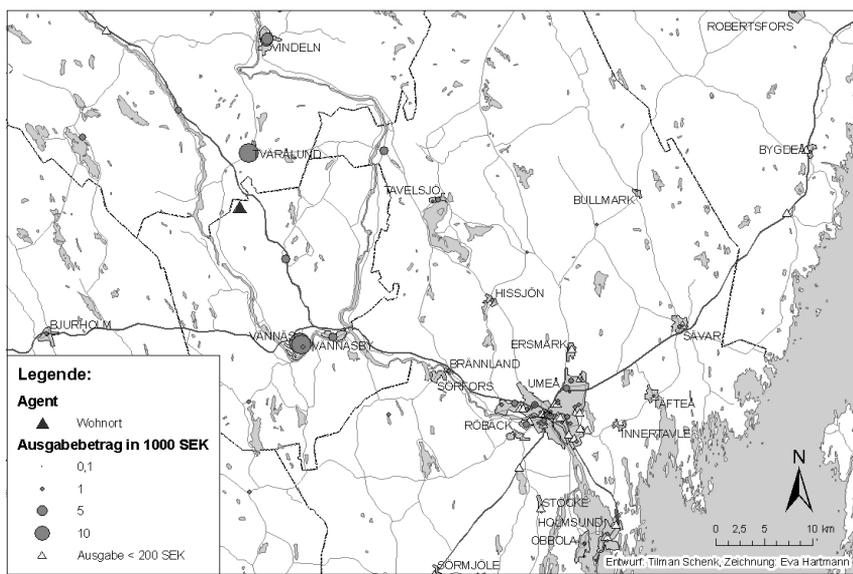
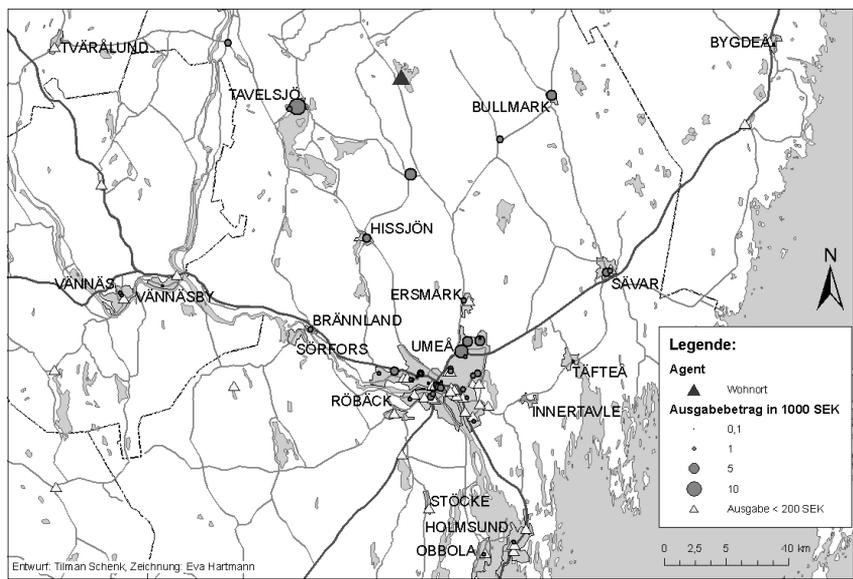


Fig. 5-14a, b: Einkaufsbiographien zweier Agenten im Ländlichen Raum: Västeråker (a) und Västerbäck (b). Eigene Berechnungen.

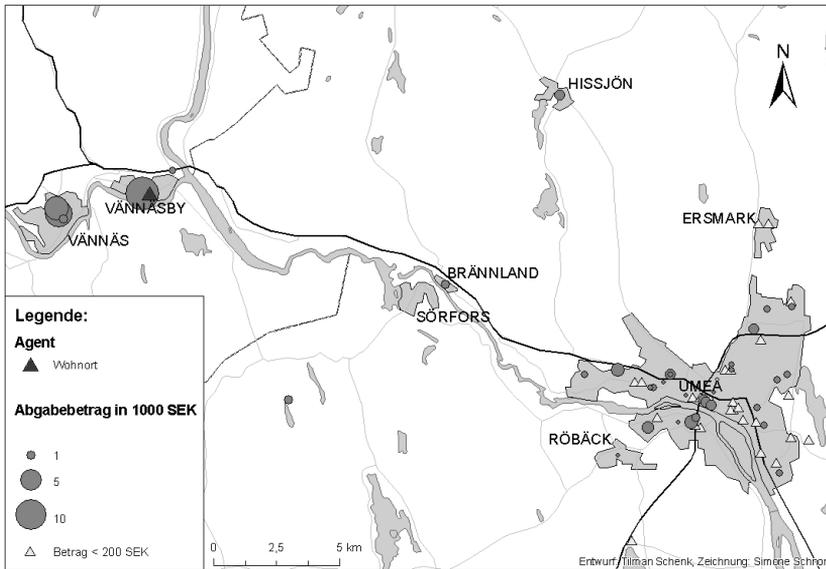


Fig. 5-14c: Einkaufsbiographie eines Agenten im Ländlichen Raum Vännäsby (c). Eigene Berechnungen.

5.5.6.2 Pendler

Die zweite Kategorie betrifft die der Pendler. Diese Bewohner des Ländlichen oder Suburbanen Raums besitzen einen Arbeitsplatz in der Stadt. Gemäß den Modellannahmen koppeln diese Agenten den Lebensmitteleinkauf mit dem Arbeitsweg. Der erste (männlich, 38 Jahre alt) wohnt ebenfalls in Vännäsby und arbeitet in einem Gewerbegebiet am westlichen Stadtrand von Umeå im Stadtteil Västerslätt. Am attraktivsten aus seiner Sicht erscheint der direkt an seinem Arbeitsweg gelegene Vollsortimenter Ica Puls (8.594 SEK / 12,8%), ebenfalls am westlichen Stadtrand. Auf dem Weg liegt der etwas kleinere Konsum in Brännland (7.274 SEK / 10,9%), auch der im Wohnort liegende Konsum (4.245 SEK / 6,3%) wird noch recht häufig aufgesucht. Die beiden Vollsortimenter in Vännäs liegen zwar recht wohnortnah, jedoch bezüglich des Arbeitswegs in der entgegengesetzten Richtung, und werden daher kaum besucht (Fig. 5-15a).

Die beiden nächsten Beispiele entstammen dem eher Suburbanen Raum um die Stadt Umeå. Der Agent einer 35jährigen Frau aus Täfteå, fünf Kilometer östlich der Stadt, gibt den weitaus größten Teil ihres Budgets bei dem in unmittelbarer Nachbarschaft zu ihrem Arbeitsplatz gelegenen Konsum (22.025 SEK / 23,9%) aus. Auf dem Arbeitsweg kommt sie an den im Stadtteil Mariehem nebeneinander liegenden Vollsortimentern Ica Raketen (3.671 SEK / 5,5%) und Konsum (5.506 SEK / 8,2%) vorbei, jedoch spielt auch der Hypermarkt Obs Stormarknad (4.342 SEK / 6,5%) eine etwa gleichbe-

rechtigte Rolle, obwohl zu ihm ein Umweg in Kauf genommen werden muss. Dieser profitiert von seiner großen Auswahl, für die der Agent eine überdurchschnittlich hohe (Vgl. Fig. 5-3) Präferenz besitzt. Der am Wohnort befindliche Ica Blå Hallen (2.310 SEK / 3,4%) nimmt den sechsten Platz bezüglich des Kaufkraftanteils ein (Fig. 5-15b).

Im südwestlich gelegenen Vorort Röbbäck hingegen wohnt die 31jährige Frau mit Arbeitsplatz im Stadtteil Älidhem. Ihr Agent gibt gleich hohe Anteile ihrer Kaufkraft in den beiden Vollsortimentern des Älidhemer Stadtteilzentrums, Konsumhallen und Ica Gluntens Matmarknad (jeweils 12.626 SEK / 25,8%). Auf dem Arbeitsweg im Stadtteil Teg, südlich des Umeälv, liegen der Discounter Rimi (4.942 SEK / 10,1%) sowie ein weiterer Konsum (1.804 SEK / 3,7%). Am Wohnort selbst befindet sich noch ein mit 215 m² Verkaufsfläche kleinerer Konsum (360 SEK / 0,7%), der nur wenig aufgesucht wird (Fig. 5-15c).

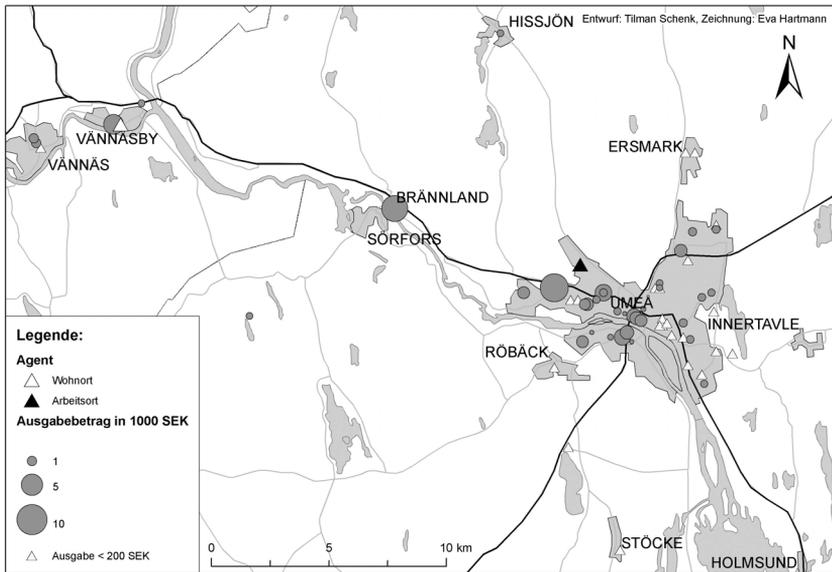


Fig. 5-15a: Einkaufsbiographie eines Pendler-Agenten: Vännäsby. Eigene Berechnung.

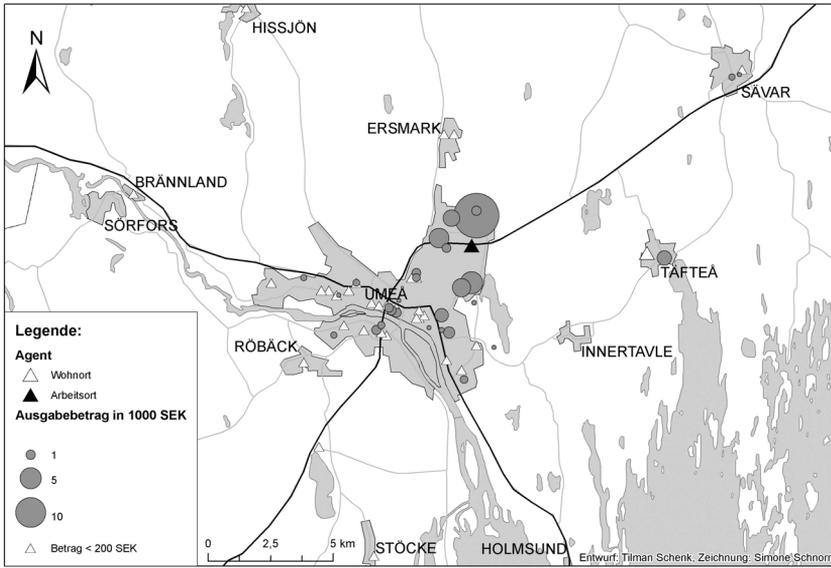


Fig. 5-15b, c: Einkaufsbiographien zweier Pendler-Agenten: Täfteå (b) und Röbbäck (c). Eigene Berechnungen.

5.5.6.3 Stadtbewohner

Zuletzt werden noch zwei Bewohner der Stadt Umeå selbst betrachtet. Der erste ist ein 49-jähriger Mann mit Wohnsitz in Mariehem und Arbeitsplatz im Gewerbegebiet Västerslätt. Direkt auf seinem Arbeitsweg liegt der Obs Stormarknad (24.231 SEK / 30,7%), der wohl vor allem aus diesem Grund die Mehrheit der Kaufkraft erhält, auch wenn die Preis- und Sortimentspräferenzen dieses Agenten nicht ungewöhnlich hoch sind. Näher am Wohn- bzw. Arbeitsort liegen der Konsum (5.799 SEK / 7,3%) und der Ica Hedlunda (4.437 SEK / 5,6%). Für diesen Agenten sind auch die drei Lebensmittelgeschäfte der Innenstadt nicht unattraktiv (Fig. 5-16a).

Als letztes Beispiel wurde eine 20-jährige Frau ebenfalls aus dem Stadtteil Mariehem, jedoch aus dessen südlichen Abschnitt gewählt, der stark durch studentische Einwohnergruppen geprägt ist. Ihrem niedrigen Einkommen gemäß besitzt ihr Agent eine hohe Preis-, jedoch eine niedrige Qualitätspräferenz. Sie versorgt sich wohnortnah, vorrangig bei den beiden Vollsortimentern in ihrem Stadtteilzentrum Ica Raketen (3.277 SEK / 18,2%) und Konsum (2.185 SEK / 12,1%). Weiter entfernte Geschäfte spielen für ihren Agenten kaum eine Rolle (Fig. 5-16b).

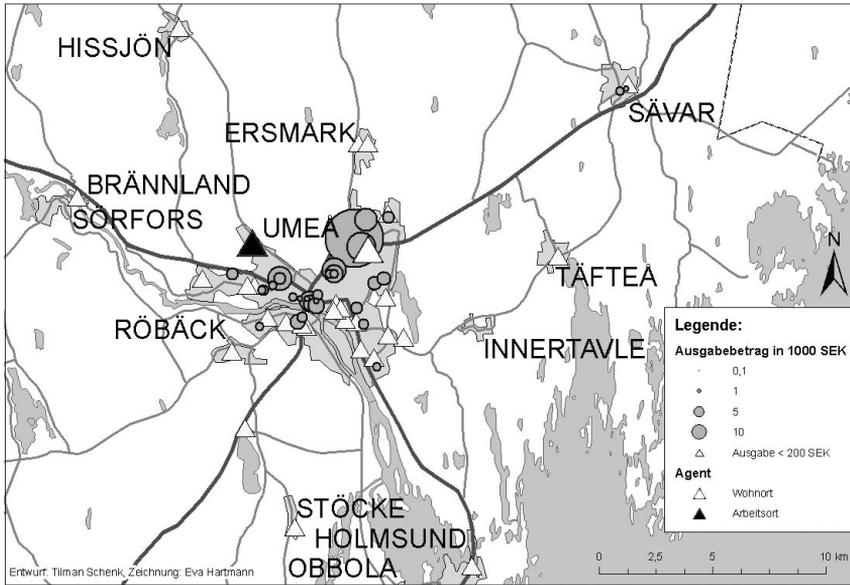


Fig. 5-16a: Einkaufsbiographie eines Agenten eines Stadtbewohners in Umeå/Mariehem. Eigene Berechnungen.



Fig. 5-16b: Einkaufsbiographie eines Agenten eines Stadtbewohners in Umeå/Mariehem. Eigene Berechnungen.

5.5.6.4 Bewertung

In der Regel lassen sich auf der Ebene einzelner Agenten die Auswirkungen von Modellannahmen wesentlich schneller und anschaulicher überprüfen als auf einer aggregierten Ebene. Deutlich sichtbar werden etwa die unterschiedlichen Orientierungen der Kaufkraftströme je nach Versorgung vom Wohnort aus oder auf dem Arbeitsweg. Damit wird der häufigen Kritik einer ausschließlich wohnungsbezogenen Fahrtenmodellierung (ARENTEZ & TIMMERMANS 2005a: 1) begegnet. Gleichzeitig wird die Modellierung von Kopplungen mit dem Arbeitsweg auf eine solide empirische Basis gestellt. Obwohl die Distanzen, wie im Fall der Grundversorgung zu erwarten, eine gewichtige Rolle spielen, dominieren sie nicht die übrigen Einflussgrößen in Gestalt der strukturellen Geschäftsattribute und der Konsumpräferenzen der Agenten. Auch die empirisch festgestellten Mehrfachorientierungen und der Einkauf in Transiträumen (HEINRITZ et al. 2003: 143ff) werden abgebildet. Dabei ist es gelungen, die Erfüllung der Ziele der Modellierung und Simulation auf der Makroebene, eine verlässliche Umsatzschätzung zu erreichen, sowie auf der Mikroebene, plausible Bewegungen der Agenten beim Lebensmitteleinkauf zu erzeugen, zu kombinieren. Defizite ergeben sich jedoch noch bezüglich einer Quantifizierung der Ergebnisse auf der Mikroebene. Auffallend ist etwa die insgesamt breite Streuung der Kaufkraftmengen über eine große Anzahl der Geschäfte, die insbesondere die Kaufkraftanteile der am häufigsten aufgesuchten Verkaufsstellen recht niedrig hält (durchweg <30%). Mit den Mitteln der amtlichen Statistik möglich ist ein Vergleich der Verkehrsaufwände der Modellagenten mit zugehörigen empirischen Daten, der in Kapitel 7.2 vorgenommen wird. Tatsächlich auf Basis der Individuen wären etwa Abgleiche mit Mobilitätstagebüchern anzustellen, deren Ersteller

dann mit den realen Repräsentanten der betrachteten Modellagenten identisch sein müssten. Dies ist nicht nur mit erheblichem Mehraufwand verbunden, sondern auch bezüglich des Datenschutzes bedenklich, weshalb in dieser Arbeit darauf verzichtet wurde.

5.5.7 Standorte und Gebietseinheiten

Die Ergebnisdarstellung und –bewertung bezog sich in den vergangenen Abschnitten dieses Kapitels zunächst auf die Gesamtgüte des Modells, anschließend wurde die Perspektive der Nachfrageseite eingenommen. Noch nicht beleuchtet wurden jedoch die Güte der Umsatzschätzungen einzelner Geschäftsstandorte und, einer eher regionalwissenschaftlichen Sicht folgend, nach administrativen Gebietseinheiten. In Fig. 5-17a und b sind zunächst die Umsatzfehlschätzungen der Geschäfte dargestellt, wobei diese zusätzlich gemäß ihrem Betriebsformat gekennzeichnet wurden. Zunächst kann festgestellt werden, dass es bezüglich der Formate keine systematischen Fehlschätzungen gibt. So werden beispielsweise die Vollsortimenter sowohl unter- (Holmsund, Robertsfors, Vindeln, Vännäs) als auch überschätzt (Hörnefors, Nordmaling, Obbola, Sävar). Ähnliches gilt für die übrigen Formate (Fig. 5-17a).

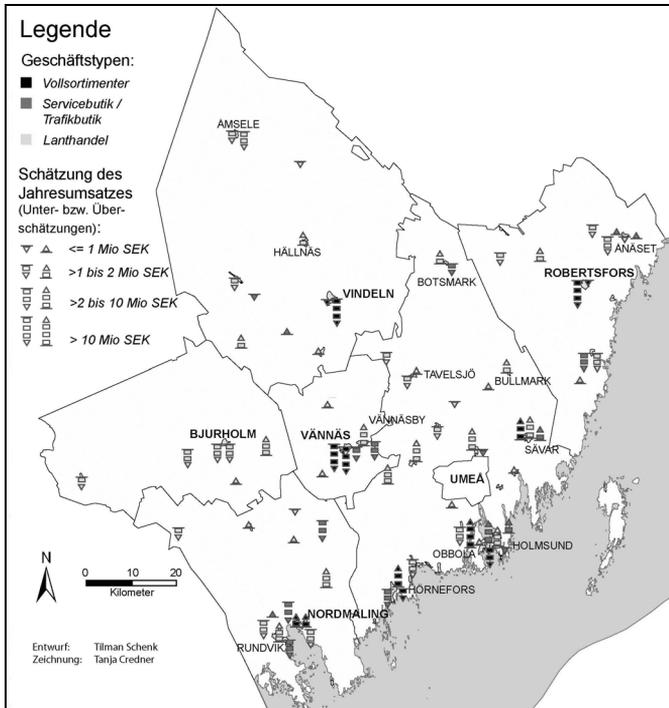


Fig. 5-17a: Umsatzfehlschätzungen einzelner Geschäftsstandorte in der Region Umeå. Eigene Berechnungen.

Innerhalb der Stadt Umeå lassen sich allenfalls lagespezifische Fehlschätzungen feststellen. Hier werden Innenstadt- und Stadtteilzentrumslagen (Carlschem, Haga, Ålidhem) eher überschätzt, großflächige, externe Angebote eher unterschätzt (Obs und Rimi in Teg bzw. Ersboda). Hier kann vermutet werden, dass unter der angenommenen Distanzwahrnehmung autoorientierte Einkaufswege aus den Stadtteilen und der Innenstadt in die externen Lagen nicht ausreichend wiedergegeben werden konnten (Fig. 5-17b).

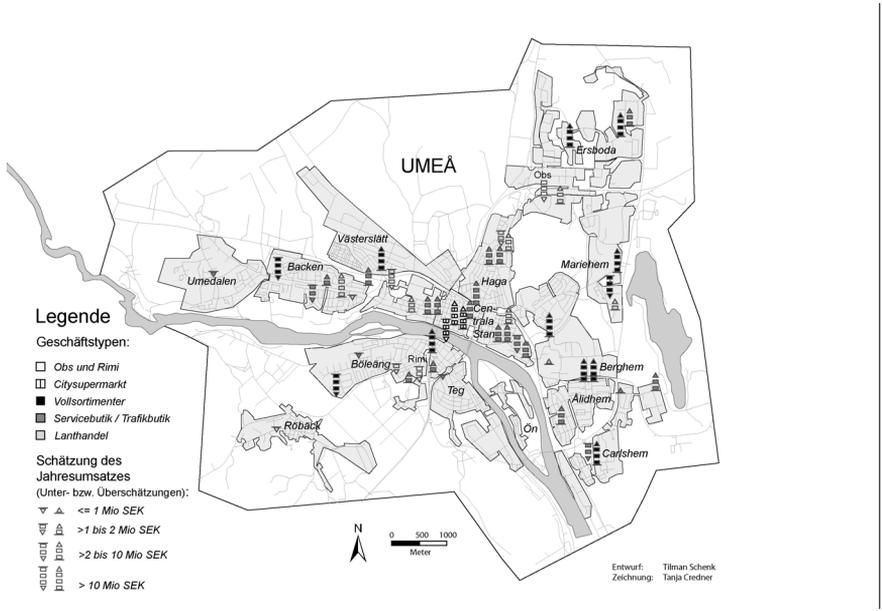


Fig. 5-17b: Umsatzfehlschätzungen einzelner Geschäftsstandorte in der Stadt Umeå. Eigene Berechnungen.

Für eine Bewertung der Simulationsergebnisse nach Gebietseinheiten ergeben sich zwei Möglichkeiten. Einerseits können die Geschäfte jeder Gebietseinheit zusammengefasst und für sie ein gemeinsamer Gütemaßwert berechnet werden (Fig. 5-18). Da der Simulationsgegenstand aber die Kaufkraftflüsse sind, bieten sich diese ebenfalls zur Darstellung an. Fig. 5-19 zeigt die simulierten Kaufkraftbindungsquoten, die sich mit den tatsächlichen (Fig. 4-10) vergleichen lassen. Als Gebietseinheiten wurden wiederum die *Församlingar* gewählt.

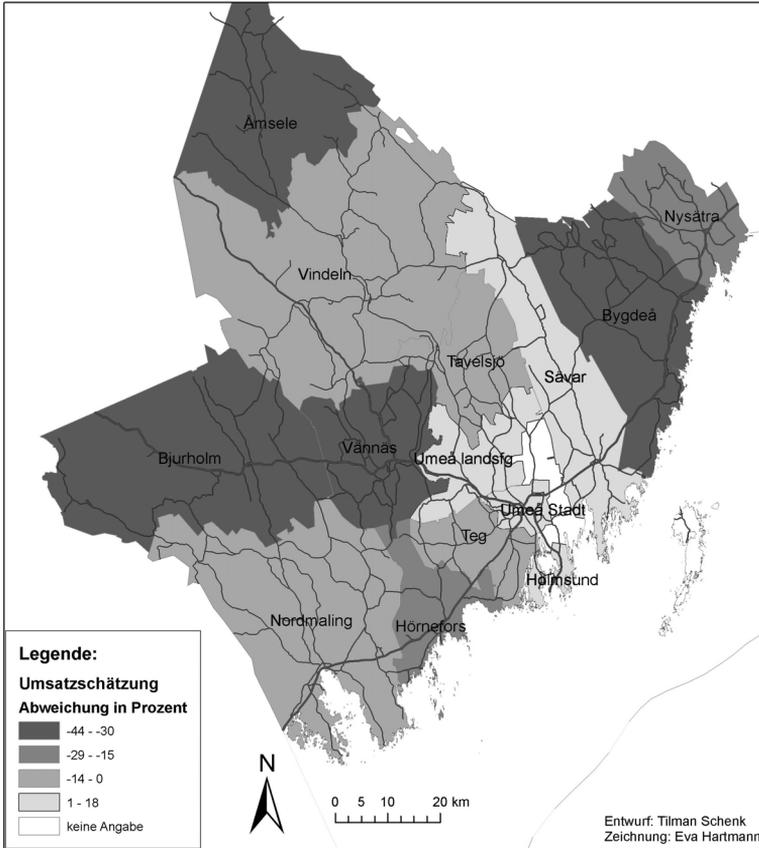


Fig. 5-18: Prozentuale Abweichung der Umsatzschätzungen der Simulation von den tatsächlichen Geschäftsumsätzen in den Församlingar und der Stadt Umeå. Eigene Berechnungen.

Geschäfte in den stadtnahen *Församlingar* Holmsund, Sävar, und Umeå landsförsamling werden eher überschätzt, was auf deren überwiegenden Kaufkraftabfluss zurückzuführen ist, der nicht ausreichend durch die Simulation reproduziert werden konnte. Trotz einer positiven Kaufkraftflussbilanz wurden die Geschäfte der Stadt Umeå insgesamt dennoch leicht überschätzt. Wesentlich größer sind jedoch die negativen Abweichungen im Hinterland, insbesondere in Bjurholm, Bygdeå, Vännäs und Åmsele. Wie aus einem Vergleich der beiden Kaufkraftbindungskarten (geschätzt: Fig. 5-19; real: Fig. 4-10) ersichtlich wird, tragen die Agenten aus diesen Teilräumen offensichtlich einen gegenüber den realen Verhältnissen erhöhten Anteil ihrer Kaufkraft in die Stadt oder in die übrigen *Församlingar*, da die Kaufkraftbindung dieser Gebietseinheiten kleiner geschätzt wurde, als sie tatsächlich ist. Dies wurde zunächst auf eine Überbetonung des Einkaufens auf dem Arbeitsweg zurückgeführt, da die Agenten erwerbstätiger Individuen stets die Geschäfte nach der Lage bezüglich ihres Arbeitswegs bewerten und die Stadt Umeå einen Einpendlerüberschuss aufweist (Fig. 4-9). Jedoch ergaben Experimente, bei denen nur ein Teil der Kaufkraft auf dem Arbeitsweg alloziert wird, nur geringfügig andere Ergebnisse. Hier macht sich also eher die fehlende Geschäftsvorauswahl durch die Agenten

bemerkbar, was zwar zur Abbildung der Mehrfachorientierung sehr nutzbringend war, jedoch dazu führt, dass von jedem Agenten sehr kleine Beträge auch zu weit entfernte Geschäften fließen, die in der Summe auf die Kaufkraftbindung durchschlagen. Ähnliches gilt für die nicht ganz so stark unterschätzten Geschäftsumsätze in den übrigen *Församlingar*. Für die weiß eingefärbten liegen deshalb keine Angaben vor, weil sich in ihnen kein Geschäft befindet. Damit ist ihre Kaufkraftbindung gleich Null.

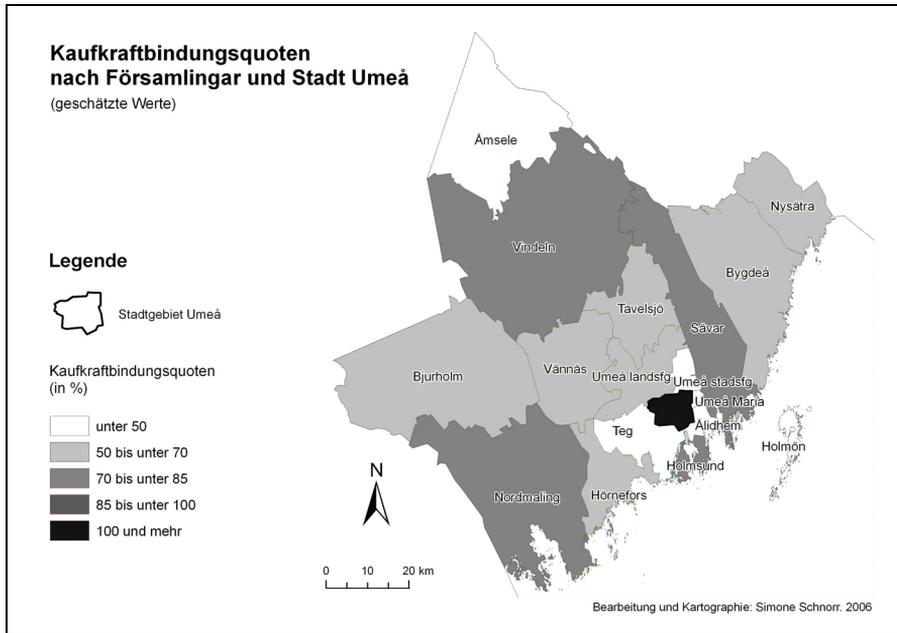


Fig. 5-19: Simulierte Kaufkraftbindungsquoten der Församlingar und Stadt Umeå. Eigene Berechnungen.

5.6 Endstand des Modells

Der Übersichtlichkeit halber ist es angebracht, den endgültigen Stand des Modells inklusive seiner Annahmen abschließend festzuhalten. Auf der Angebotsseite stehen 132 Lebensmittelgeschäfte der Region, die mittels eines planaren Koordinatensystems auf 100 Meter genau verortet sind. Daneben besitzen die Geschäfte strukturelle Attribute, deren Werte teils aus empirischen Studien, teils aus eigener Erhebung stammen und durch logistische Wahrnehmungsfunktionen mit Parameterwerten nach Fig. 5-11 verformt werden. In das Modell fließen lediglich noch die Merkmale Preis, Qualität und Sortimentsbreite/-tiefe ein. Auf der Nachfrageseite stehen die Haushalte mit ihren Mitgliedern, die auf dem gleichen Koordinatensystem verortet sind. Ebenfalls enthalten sind bei Erwerbstätigkeit die Koordinaten des Arbeitsplatzes. Aus Erkenntnissen einer Konsumentenbefragung stammen Werte für Konsumpräferenzen bezüglich der genannten Geschäftsattribute. Die lebensmittelrelevante Kaufkraft wurde nach empirischen Studien aus dem verfügbaren Einkommen geschätzt.

Jeder Familienagent wählt eines seiner Mitglieder für die Einkaufsaktion aus. Diese bewerten die Geschäfte gemäß Gleichung (5.4a). Eine Vorauswahl findet nicht statt. Jeder Agent gewichtet die verformten Geschäftsattribute mit seinen individuellen Konsumpräferenzen und summiert diese auf. Als Distanzbewertung erhält jedes Geschäft einen Distanzrangplatz, der aus der euklidischen Distanz zum Geschäft gebildet wird. Gleich weit entfernte Geschäfte erhalten denselben Rangplatz. Ist das Individuum nicht erwerbstätig, wird dafür die euklidische Distanz zwischen Wohnort und Geschäft herangezogen, andernfalls die Umwegdistanz, verstanden als der zusätzlich zu tätige Distanzaufwand zum Geschäft auf dem Weg zum oder vom Arbeitsplatz. Die Überquerung der Flüsse Umeälv und Vindelälvs ist dabei nur an den Standorten von Brücken möglich. Distanzen zwischen Orten auf verschiedenen Flussseiten setzen sich aus der euklidischen Distanz vom Ausgangsort zur Brücke und von dort zum Zielort zusammen. Im letzten Schritt verteilen die Agenten ihre Kaufkraft gemäß der Werte der Bewertungsfunktion (5.4a) anteilig auf die Geschäfte. Diese Kaufkraftanteile werden bei den Geschäften als Umsatzschätzung aufsummiert. Die zum Endstand des Modells erreichten Gütemaßwerte zeigt Fig. 5-20.

Geschäfte	Anzahl	Gütemaßwert
Alle	132	0,721
Alle (absolute Abweichungen $R^{(1)}$ nach (5.5b))	132	0,571
<i>Trafikbutiker</i> (Tankstellenshops)	22	0,399
<i>Servicebutiker</i> (Kioske)	19	-0,197
<i>Lanhandel</i> (200-400 m ²)	61	0,830
City-Supermärkte	3	0,913
Vollsortimenter (>400 m ²)	25	0,795
Hypermarkt	1	0,597
Discounter	1	0,987

Fig. 5-20: Gütemaßwerte $R(2)$ nach (5.5a) (außer anders angegeben) für alle und für Gruppen von Geschäften. Simulationsjahr 1997, eigene Berechnungen.

In der zweiten Zeile der Tabelle lässt sich erkennen, dass knapp 60% der in der Region zuzuordnenden Kaufkraft von der Simulation korrekt alloziert wurden. Allgemein ist festzustellen, dass die Umsatzprognose für solche Gruppen von Geschäften bessere Ergebnisse lieferte, je homogener diese bezüglich ihres Umsatzes sind. Für *Lanhandel* und Vollsortimenter, die (realiter) zusammen 66,3% der Kaufkraft in der Region auf sich vereinen können, liegen die Gütemaßwerte der Schätzung sogar noch über dem für alle Geschäfte. Starke Abweichungen nach unten ergeben sich vor allem für die flächen- und umsatzmäßig eher kleinen Formate der *Service-* und *Trafikbutiker*, die jedoch im Gesamtergebnis nur wenig zu Buche schlagen, da sie im Lebensmittelbereich einen Marktanteil von nur 6,7% haben. Die höchsten Gütemaßwerte werden für die drei City-Supermärkte und den Discounter erreicht, wobei deren geringe Anzahl und ihr vergleichsweise niedriger Umsatzanteil von 14,4% diese Werte etwas relativieren.

6 MODELLIEREN UND SIMULIEREN AUF VERSCHIEDENEN MAßSTABEBENEN

6.1 Diskussion um Mikro- und Makromodelle

Nun könnte man sich zunächst fragen, warum eine Arbeit, die sich mit Multiagentensystemen, und damit mit einem gezielt individuenbezogenen Ansatz beschäftigt, ein Kapitel enthält, das einen Blick auf andere Maßstabsebenen wirft. Hiermit verbinden sich wiederum mehrere Ziele. Einerseits sind Agentenansätze zur Abschätzung von Kaufkraftflüssen bisher nicht eingesetzt worden. Insofern sollte ein Vergleich mit den bislang verwendeten und durchaus etablierten Verfahren aus der Familie der Potenzialmodelle vorgenommen werden. Dabei geht es nicht nur um ein vordergründiges Vergleichen mit dem Ziel, den bezüglich aller Kriterien ‚besseren‘ Ansatz zu finden und den jeweils anderen zu verwerfen. Vielmehr wird sich dieser Vergleich um die Kennzeichen, Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Mikro- und Makromodellen drehen. Mit beiden sind im Allgemeinen auch auf der formaltheoretischen Ebene gewisse Annahmen verbunden. Ziel der kommenden Überlegungen ist, diese Verbindungen zu lösen und in variierenden Kombinationen wieder zu knüpfen. Dabei liegt es nahe, nach Möglichkeiten zu suchen, beide Ansätze formal und inhaltlich ineinander zu überführen.

Wie sich aus der Bezeichnung Mikro- und Makromodell vermuten ließe, geht es dabei in erster Linie um die Maßstabsebene, auf der modelliert und simuliert werden soll. Damit ist klar, dass die Wahl eines der beiden Ansätze vom Betrachtungsmaßstab abhängt, und somit nicht grundsätzlich einer dem anderen vorzuziehen ist. Aber es ist natürlich die Frage zu stellen, für welche Betrachtungsmaßstäbe welcher Ansatz gewählt werden sollte, bzw. ob es eine Grenze gibt, die die beiden Anwendungsbereiche voneinander trennt. Das Maßstabsproblem ist dabei durchaus nicht nur räumlich zu sehen, sondern besitzt auch inhaltliche Aspekte. In der Vergangenheit waren Mikro- und Makroebene schon im Ansatz deutlich voneinander getrennt. So unterscheidet beispielsweise RUSH-TON (1969) zwischen den Modellen des „*spatial behaviour*“, die auf ein Verständnis der Regeln und Entscheidungsprozesse hinter raumrelevanten Entscheidungen abzielen, und denen des „*behaviour in space*“ mit dem Zweck der Beschreibung der tatsächlich auftretenden Phänomene in einem System von Möglichkeiten. Schon aus dieser Unterscheidung wird die enge Konnotation mit diskreten Entscheidungsmodellen im ersten und Potenzialmodellen und verwandten Ansätzen im zweiten Fall deutlich. Diese Verbindungen sind jedoch nicht zwangsweise, wie LÖFFLER et al. (2005: 162) aufzeigen. Vielmehr ergibt sich ein Vielfaches an Typisierungsmöglichkeiten, die, zugeschnitten auf die Anwendung im Bereich der Handelsforschung, wie folgt formuliert werden können:

1. „Hinsichtlich des Grads der räumlichen Auflösung der Inputdaten, dann auch bezeichnet als Modelle oder Verfahren auf der
 - a. räumlichen Makroebene ≠ Makromodelle
 - b. räumlichen Mikroebene ≠ Mikromodelle
2. Hinsichtlich der formaltheoretischen Grundlagen der Schätzung:
 - a. Analogiemodelle (Einzelhandelsgravitation, Potenzialmodelle)
 - b. Nutzentheoretische Ansätze (Diskrete Entscheidungsmodelle)
 - c. Entropiemaximierungsmodelle (Maximierung der Entropie in einer Strom- oder Interaktionsmatrix)

3. Hinsichtlich der Integration eines unterschiedlichen Entscheidungsverhaltens auf der Nachfrageseite (unterschiedliche Konsumpräferenzen von Individuen):
 - a. ohne Berücksichtigung (Makromodelle)
 - b. mit Berücksichtigung (Mikromodelle)
4. Hinsichtlich der Art der Kaufkraftallokation:
 - a. probabilistisch (Einzelhandelsgravitation, Potenzialmodelle, Entropiemaximierungsmodelle)
 - b. diskret (Nutzentheoretische Ansätze, Entscheidungsmodelle)“

Am häufigsten zur Anwendung kamen bisher – nicht nur im Bereich der Handelsforschung – Kombinationen der vier ersten Alternativen (hier mit dem Buchstaben *a* gekennzeichnet) und der vier zweiten Alternativen (*b*) untereinander. Bevor nun Experimente mit anderen Permutationen vorgenommen werden, folgt zunächst eine formaltheoretische Betrachtung und ein Vergleich dieser beiden Ansätze. Der Übersichtlichkeit halber wird die Kombinationen der Alternativen (*a*) im Folgenden verkürzt als ‚Potenzialansatz‘ und die der Alternativen (*b*) als ‚Diskreter Entscheidungsansatz‘ bezeichnet.

6.2 Diskreter Entscheidungsansatz und Potenzialansatz

6.2.1 Formaltheoretische Überführung

Zu Beginn dieser formalen Betrachtung seien die Gleichungen, mit denen die Intensität der zu untersuchenden Phänomene modelliert wird, wiederholt. Im Diskreten Entscheidungsansatz besteht diese in der Formulierung eines Nutzens, über den die Entscheidungsalternativen miteinander in Wettbewerb treten. Dieser kann sich aus mehreren Teilen zusammensetzen, die untereinander generell oder für jedes Modellobjekt unterschiedlich gewichtet sein können. Der Entscheider vergleicht die Alternativen untereinander und wählt seine Aktionen gemäß der Werte der Nutzenfunktion.³¹ Sie hat demnach die Form:

$$U_{a,i} = \sum_k P_{i,k} * A_{a,k} \quad (6.1)$$

mit $U_{a,i}$: Nutzen (*utility*) einer Entscheidungsalternative *a* aus Sicht des Entscheiders *i*; $P_{i,k}$: Gewicht (Präferenz) des Entscheiders *i* für Kriterium *k*; $A_{a,k}$: Attributwert der Alternative *a* für Kriterium *k*

Erfolgt bei der Gewichtung der Attribute keine Differenzierung nach den Entscheidern, entfällt der Index *i* aus Gleichung (6.1). Handelt es sich um Modelle räumlich relevanter Entscheidungen, taucht auch ein Distanzterm in der Nutzenfunktion auf. Während die übrigen Attributwerte den Nutzen der Alternative steigern, wird der Distanz ein nutzenmindernder Charakter zugeschrieben. Um zu erreichen, dass ein vom Entscheider zu leistender Distanzaufwand alle Teilnutzenaspekte mindert, erfolgt häufig eine multiplikative Einbindung des Distanzterms als Kehrwert (6.2a), alternativ, um bei der Formulierung als Summe zu bleiben, auch in logarithmierter Form (6.2b).

$$U_{a,i} = \frac{1}{d_{a,i}} \sum_k P_{i,k} * A_{a,k} \quad (6.2a)$$

$$U_{a,i} = \sum_k P_{i,k} * A_{a,k} - \ln d_{a,i} \quad (6.2b)$$

Notation wie (6.1), zusätzlich: $d_{a,i}$: Distanz zwischen einer Entscheidungsalternative a und Entscheider i

Im Potenzialansatz werden nicht Entscheidungen, sondern Interaktionen direkt modelliert. Ihre Intensität wird von Attributwerten ihrer Quellen und Ziele bestimmt, die Distanz wirkt auch hier intensitätsmindernd. Zur ‚Kalibrierung‘ werden beide Teilterme exponentiellen Funktionen unterworfen, deren Parameter beim Vergleich des Modells mit der jeweiligen Anwendungssituation eingestellt werden:

$$I_{s,t} = \frac{(A_s * A_t)^\alpha}{d_{s,t}^\beta} \quad (6.3)$$

mit $I_{s,t}$: Intensität eines Interaktionsstroms von Quelle s nach Ziel t ; A_s, A_t : Attributeigenschaften der Quelle s und des Ziels t ; $d_{s,t}$: Distanz zwischen Quelle s und Ziel t ; α, β : Kalibrierungsparameter

Schwierigkeiten bereitet dabei die inhaltliche Deutung der Parameter α und β in Gleichung (6.3). Während der Distanzexponent noch leicht als generelle Mobilitätsaffinität der Bevölkerung der Quelle s interpretiert werden kann, ist der Exponent des Zählerterms kaum noch mit Inhalt zu belegen. Verbindungen zu empirischen Erkenntnissen, etwa Abhängigkeiten zwischen einer generellen Mobilitätsaffinität und der Motorisierung, des Ausstattungsgrads mit Infrastruktur und öffentlichem Verkehr sind nicht auf offensichtliche Weise möglich. Insbesondere treffen konkret eingestellte Werte keine Aussagen bezüglich dieser Zusammenhänge.

Wie schon im Kapitel 5 dargelegt, kam im vorliegenden Modell der auf nutzentheoretischen Überlegungen basierende Diskrete Entscheidungsansatz mit einer Bewertungsfunktion nach (6.2) zum Einsatz, vor allem, weil er sich besser für eine Berücksichtigung individuell ausdifferenzierter Eigenschaften der Modellobjekte eignet (LÖFFLER et al. 2005: 169). Allerdings fehlt diesem eine theoretische Fundierung bezüglich der Addition als Verknüpfungsvorschrift. Zwar werden „sachrelevante Struktureigenschaften für die Operationalisierung verwendet“ (ebd.: 168), jedoch kann die Wahl der Verknüpfungsvorschrift fachtheoretisch nur mit der Überführung in eine Nutzenmetrik begründet werden. Darüber, wie Konsumenten Werte von Geschäftsattributen miteinander zu einem Gesamtnutzen aus ihrer Sicht verknüpfen, liegen jedoch kaum empirische Kenntnisse vor. Lediglich VELDHUISEN (1988) kam anhand eines sehr kleinen Samples zu dem Schluss, dass für die einzelnen Probanden unterschiedliche Verknüpfungsformen anzunehmen sind (s. Kap. 2.1.1), was für größer angelegte Modellierungsvorhaben jedoch kaum praktikabel erscheint.

Wenn die Verknüpfungsvorschriften einer theoretischen Fundierung entbehren, dann liegt es nahe, auch andere als die Addition in Erwägung zu ziehen. Bleibt die Skalierung der Attribute unverändert, bedeuten also höhere Werte eine bessere Ausstattung in dem betrachteten Attribut, käme neben der Addition auch eine Multiplikation in Frage:

$$U_{a,i} = \prod_k P_{i,k} * A_{a,k} = \prod_k P_{i,k} * \prod_k A_{a,k} \quad (6.4)$$

Notation wie (6.1)

Dabei verlieren jedoch aufgrund des Kommutativgesetzes der Multiplikation die Präferenzen ihre differenzierende Wirkung auf die Attributwerte (6.4). Wie im Fall der Addition ist diese Wirkung nur durch ihren Einbezug in der nächst höheren Verknüpfungsform, der Potenzierung zu erreichen (ebd.: 167).

$$U_{a,i} = \prod_k A_{a,k}^{P_{i,k}} \quad (6.5)$$

Notation wie (6.1)

Soll die Distanz als eines dieser Attribute gesondert in der Gleichung ausgewiesen werden, benötigt sie aufgrund ihrer sinnigerweise umgekehrten Skalierung (nutzenmindernde Eigenschaft, höhere Werte bedeuten schlechtere Ausstattung) einen negativen Präferenzexponenten:

$$U_{a,i} = d_{a,i}^{-P_{i,d}} \prod_k A_{a,k}^{P_{i,k}} = \frac{\prod_k A_{a,k}^{P_{i,k}}}{d_{a,i}^{P_{i,d}}} \quad (6.6)$$

Notation wie (6.1)

Die Ähnlichkeit von Gleichung (6.6) zum Potenzialansatz aus (6.3) fällt dabei sofort auf. Statt der nur schwer interpretierbaren Kalibrierungsparameter stehen nun Präferenzen von Individuen als Exponenten bei den strukturellen Attributen und der Distanz. Werden anstelle der Individuen in aggregierten Modellansätzen Raumeinheiten gesetzt, werden aus individuellen kollektive Präferenzen des betrachteten Raumausschnitts. Der zweite Unterschied besteht in der Berücksichtigung mehrerer struktureller Attribute auf Seite des Interaktionsziels. Damit ist gezeigt, dass der Kritikpunkt am Potenzialansatz, es könne nur eine Einflussgröße, meist generell als „Attraktivität“ bezeichnet, berücksichtigt werden (GÜSSEFELDT 1988: 17f; LÖFFLER et al. 2005: 169), hinfällig ist.

6.2.2 Ergebnisvergleich eines Mikro- und Makromodell

Neben dem bisher rein formaltheoretischen Vergleich der beiden Ansätze muss der Blick auch auf die mit ihnen zu erzielenden Ergebnisse gerichtet werden. Als Datengrundlage für das Mikromodell diente der bisher verwendete Datensatz der Familien und Individuen, für das Makromodell wurden diese Daten auf die Raumzellen, die durch das 100m-Gitter entstehen ($n=12.515$), aggregiert. Verglichen wurden beide Ansätze hinsichtlich der erreichbaren Gütemaßwerte nach (5.5a) bei Verwendung verschiedener Attribute und ihrer Kombinationen, gewichtet und ungewichtet mit den individuellen bzw. kollektiven Präferenzen. Die bereits zuvor getesteten Annahmen des Mikromodells (Vorauswahl) wurden dabei als Nebenbedingungen (in Anlehnung an LÖFFLER & KLEIN 1989) in das Makromodell integriert. Diese Ergebnisse sind in Fig. 6-1 zusammengefasst.

Attribute und Verknüpfungen	Ohne Präferenzen		Mit Präferenzen	
	Makroansatz	Mikroansatz	Makroansatz	Mikroansatz
Preis (P)	0,245	0,431	0,521	0,558
Sortiment (S)	0,212	0,517	0,515	0,543
Qualität (Q)	0,358	0,591	0,518	0,440
1/Distanz (d)	0,726	0,707	-	-
P/d	0,777	0,756	0,776	0,285
S/d	0,776	0,753	0,776	0,249
Q/d	0,747	0,723	0,747	0,073
P*S*Q/d	0,806	0,794	0,678	0,149
(P+S+Q)/d	0,767	0,737	0,771	0,758

Fig. 6-1: Gütemaßwerte nach (5.5a) aus Experimenten unter Verwendung des Mikro- und Makroansatzes (LÖFFLER et al. 2005: 178f). Eigene Berechnungen.

Bereits die Distanz alleine führt zu einem hohen Erklärungsanteil mit Gütemaßwerten über 0,7, da sie auch im Makroansatz mit einer Auflösung von 100 Metern sehr genau gemessen wurde. Die Hinzunahme weiterer Erklärungsgrößen hat im Mikro- und im Makroansatz weit geringere Auswirkungen, als durch die Distanz erzielt werden können, wie der direkte Vergleich der Experimente mit den Einzelattributen mit und ohne Distanz belegt. Die höchsten Gütemaßwerte resultieren jeweils aus der Kombination aller untersuchten strukturellen Attribute. Bei gleichen Bewertungsfunktionen unterscheiden sich Mikro- und Makroansatz nur geringfügig. Dies erscheint jedoch in zweierlei Hinsicht plausibel:

1. Makro- und Mikroansatz unterscheiden sich durch die Art der Kaufkraftallokation. Während im Makroansatz die Kaufkraft durch einen Analogieschluss zum Gravitationsgesetz proportional zur Bewertung verteilt wird (Potenzialansatz), wird im diskreten Entscheidungsansatz die gesamte Kaufkraft dem durch eine mit der Bewertungsfunktion gewichtete Zufallsauswahl gewählten Geschäft zugeteilt (s. Kap. 6.1 und Löffler et al. 2005: 170). Durch eine mehrfache Wiederholung des letzteren Verfahrens werden beide jedoch äquivalent.

2. Die räumliche Auflösung der Angebots- wie der Nachfragedaten wird durch den Einsatz eines Makroansatzes als Schätzparadigma nicht berührt. Lediglich die Präferenzen wurden für alle in einer Raumzelle lebenden Einwohner gemittelt. Neben der einschlägigen Problematik von Mittelwertbildungen (Differenzierungen werden eher ausgeglichen als verstärkt), verringerte sich die Zahl der modellierten Objekte zunächst nur um den Faktor sechs, blieb damit jedoch im fünfstelligen Bereich. Diese würde sich erst durch eine weitere räumliche Aggregation der Ausgangsdaten deutlicher verkleinern (s. Kap. 6.3).

Die Einbindung der Präferenzen erfolgte bei den Einzelattributen und ihrem Produkt als Exponenten, bei ihrer Summe als Faktoren. Präferenzen und Attribute sind beide auf das Intervall $[0,1; 1]$ skaliert, um den Wert Null als Attributsausprägung, vor allem im Hinblick auf die Multiplikation, zu vermeiden. Dies führt im Makroansatz zu Veränderungen im Gütemaß kleiner 0,01 gegenüber den Experimenten ohne Präferenzen, im Mikroansatz jedoch zu einem Einbruch der Gütemaßwerte. Hier zeigt sich, dass die Präferenzen trotz ihrer aus formaler Sicht geklärten Rolle ohne eine Umskalierung durch Wahrnehmungsfunktionen kaum sinnvoll eingesetzt werden können.

6.3 Simulation mit aggregierten Ausgangsdaten

6.3.1 Räumliche Aggregation

Außer durch die formaltheoretische Form der Schätzung können sich Mikro- und Makroansätze auch durch die räumliche Auflösung der Inputdaten unterscheiden. Während sich die Bezeichnungen Mikro- und Makromodell auf die Ebene der inhaltlichen Auflösung, also auf die Frage, ob Merkmale von Einzelindividuen in die Modellierung einfließen oder nicht, beziehen, fallen in der Praxis inhaltliche und räumliche Auflösung oft zusammen. Liegen beispielsweise Kaufkraftdaten auf Gemeindeteilenebene vor, sind räumliche und inhaltliche Unterscheidungen darunter zwar möglich, die dafür erforderliche Disaggregation von Daten aber mit Unsicherheiten behaftet, die nicht immer in Kauf genommen werden können.

Im vergangenen Abschnitt dieses Kapitels sind die Ergebnisse von Experimenten mit Potenzial- und Diskreten Entscheidungsansätzen verglichen worden. In beiden Fällen wurde jedoch die gleiche räumliche Auflösung verwendet und die inhaltliche Auflösung nur geringfügig verändert. Dieser Abschnitt wird nun die Schätzmethode des Mikroansatzes beibehalten und dafür die räumliche und inhaltliche Auflösung schrittweise ‚verschlechtern‘, also vergrößern. Die Individuen werden in größeren räumlichen Einheiten und in Gruppen zusammengefasst, beispielsweise zu Besetzungszahlen von Altersklassen in Gemeindeteilen. Damit wird eine Situation der Datenverfügbarkeit künstlich erzeugt, wie sie in der Regel in anderen Untersuchungsgebieten, z.B. in Deutschland, vorliegt. Da die Simulationsergebnisse mit Individualdaten vorliegen, sind so direkte Vergleiche mit beinahe beliebigen verschiedenen Aggregationsebenen möglich. Einerseits sind so Erkenntnisse darüber zu gewinnen, in welcher räumlichen und inhaltlichen Auflösung Daten vorliegen müssen, um sinnvoll Mikromodellierungen mit ihnen vorzunehmen. Andererseits können Modellierungsergebnisse, die mit Daten auf der Mesoebene auskommen müssen, besser eingeschätzt werden, indem Effekte der Datenungenauigkeit gegen solche der Modellunsicherheit und Parametervariabilität abgegrenzt werden können.

Sowohl die räumliche Aggregation (Zusammenfassung zu größeren Raumeinheiten), als auch die inhaltliche Aggregation (Zusammenfassung zu Gruppen nach nicht-räumlichen Objektmerkmalen)

können unter verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen. Für die räumliche Aggregation können als Verfahrenswesen unterschieden werden:

- Nutzenorientierung: Hierzu wird eine Funktion definiert, die den ‚Nutzen‘ einer Aggregationsinstanz beschreibt. Ziel der Aggregation ist, diese so vorzunehmen, dass der Nutzenwert maximal wird. Als Nutzenfunktionen können etwa minimale Abstandsmaße der neuen Raumeinheiten dienen. Probleme können hier dadurch entstehen, dass für eine maximal hohe Bewertung die zusammenzufassenden Raumeinheiten nicht unbedingt benachbart sein müssen. Dies könnte allenfalls als Nebenbedingung in ein solches Verfahren einfließen.
- Rasterorientierung: Diese ist sicherlich das einfachste Verfahren. Dabei werden die Individuen in Quadraten unterschiedlicher Kantenlänge zusammengefasst. Nachteile ergeben sich vor allem durch die fehlende Berücksichtigung topographischer und topologischer Sachverhalte. So können zusammenhängende Siedlungen zerschnitten werden und weit voneinander entfernte Einzelwohnstandorte im selben Aggregat landen. Weiterhin besteht die Gefahr einer stark unterschiedlichen Besetzung der entstehenden Aggregate. Dem kann durch eine Aufspaltung stark besetzter Aggregate entgegengewirkt werden, falls diese einen vorher festgelegten Schwellenwert dafür überschreiten.
- Topologieorientierung begegnet eben diesen Nachteilen. Dabei werden Koordinatenpunkte aufgrund einer zu definierenden Nachbarschaftsbeziehung (etwa: weniger als 200 Meter voneinander entfernt) zusammengefasst. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass nicht kompakte Siedlungsagglomerationen, wie etwa Straßen- oder Streusiedlungen gut zusammengefasst werden können. Nachteilig wirkt sich aus, dass das Nachbarschaftskriterium für weitere Aggregationsstufen ungeeignet sein kann und durch ein neues ersetzt werden muss. Verfahren des Clustering sind ebenfalls in diese Kategorie einzuordnen. Dabei werden Raumeinheiten zusammengefasst, die aufgrund von festgelegten Merkmalen als ähnlich betrachtet werden. Die Ähnlichkeit wird durch eine Funktion (Ähnlichkeitsmaß) beschrieben, die auch Rauminformationen (Ähnlichkeit bezüglich der Lage im Raum) enthalten kann.
- Schließlich können Aggregierungsansätze, die sich an administrativen Grenzen orientieren als Topographieorientierung bezeichnet werden. Vorteil ist hier, dass Daten in anderen Untersuchungsräumen meist auf solchen Gebietseinheiten basieren, und die Behandlung der Aggregatfrage ja gerade auf die Übertragbarkeit der Modellierung abzielt. Andererseits ist auch hier (und gerade im Untersuchungsgebiet) die Zahl der möglichen unterschiedlichen Aggregationsebenen beschränkt.

In einer projektbegleitend angefertigten Diplomarbeit (WEIGELT 2006) werden alle Verfahren ausführlich diskutiert und ihre Anwendung erläutert. Eine Auswahl daraus wird im Kapitel 6.3.3 vorgestellt.

Sind die Gebietseinheiten – nach welcher der genannten Methoden auch immer – zusammengefasst, stellt sich die Frage ihrer Verortung im Raum. In der Regel bestehen die Aggregate aus zwei oder mehr Elementen der vorherigen Stufe, denen nun ein gemeinsames Koordinatenpaar zugewiesen werden muss. Hierzu gibt es ebenfalls eine Reihe von Möglichkeiten (ebd.: 44-47):

- Am schlichtesten ist die des arithmetischen Mittelpunkts, dessen Koordinaten aus den Mittelwerten derer der Aggregatsmitglieder entstehen. Der Raumpunkt des Aggregats rutscht dadurch in die Mitte seiner Mitglieder. Sind die zusammengefassten Raumeinheiten unterschiedlich stark besetzt, wird dabei für eine größere Anzahl Einwohner die

schiedlich stark besetzt, wird dabei für eine größere Anzahl Einwohner die Rauminformation verfälscht.

- Diesem Nachteil kann durch eine Gewichtung bei der Mittelwertbildung begegnet werden. Stark besetzte Raumstellen bekommen somit mehr Gewicht bei der Bildung des zukünftig repräsentierenden Raumpunktes.
- Einen höheren Wert auf die Raumsituation legt die Berechnung des Medianzentrums. Das ist derjenige Punkt, für den die Summe der Entfernungen zu den anderen Punkten minimal wird. Einzelne, weit von einer Agglomeration entfernte Punkte, fallen damit weniger ins Gewicht als beim arithmetischen Mittelpunkt.
- Zur Bildung des Modalzentrums wird über die Punktmenge ein Gitternetz gelegt. Das Modalzentrum besteht aus derjenigen Gittermasche, in der die größte Anzahl Punkte zu liegen kommt. Damit ergeben sich zwei Nachteile dieses Verfahrens: Erstens ist das Ergebnis kein Punkt, sondern eine Fläche und hat somit kein exaktes Koordinatenpaar. Zweitens hängt die Wahl des Modalzentrums von der Lage der Gittermaschenkanten ab und ist somit nicht eindeutig bestimmbar.

6.3.2 Inhaltliche Aggregation

Aber nicht nur Raumpositionen müssen zu einer neuen Instanz zusammengeführt werden, gleiches gilt für Modellobjekte, also die Einwohnerdaten. Sie verlieren ihren Individuenbezug und gelten nun für die Gesamtheit der Individuen in einem Aggregat. Bezüglich der Repräsentation in einem Agentenmodell stellt sich nun die Frage, ob jedes Aggregat durch nur einen Agenten repräsentiert werden soll, dem dann als Attributwerte etwa die Mittelwerte der Attribute der ursprünglichen Population zugewiesen werden könnten. Während dies bei metrischen Informationen (Alter, Einkommen, etc.) problemlos möglich ist, sind kategoriale Informationen (Geschlecht, Haushaltstyp) so kaum übertragbar. Alternativ könnte eine künstliche Population kreiert werden, die die gleiche Mächtigkeit besitzt wie vor der Aggregation. Metrische Informationen können dann als Mittelwerte allen künstlichen Individuen zugewiesen, kategoriale Informationen können im entsprechenden Verhältnis (z.B. Geschlechterproportionen) wiedergegeben werden. Mit Blick auf das eine oben genannte Ziel der Datenaggregation, die Übertragbarkeit auf andere Untersuchungsräume zu bewerten, ist es aber auch sinnvoll, sich in dieser Frage an verfügbaren Daten zu orientieren. Für viele an sich kontinuierliche Merkmale liegen statt Mittelwerten eher Klasseneinteilungen mit Besetzungszahlen (Altersklassen, Einkommensklassen) vor. Einerseits lassen sich daraus gar keine Mittelwerte ableiten, andererseits ist die Information von Klassenbesetzungen, so die Intervalle klein genug sind, viel genauer als Mittelwerte, so dass diese Information auch verwendet werden sollte.

Bildet man solche Klassen aus Individualdaten, müssen die Klassengrenzen festgelegt werden. Da es im vorliegenden Fall nur um die prinzipielle Übertragbarkeit geht, kann dies recht willkürlich geschehen. Im Hinblick auf die Zuweisung von Konsumpräferenzen aus den Befragungsergebnissen (s. Kap. 5.1), erscheint es sinnvoll, sich bei der Klassenfestlegung an der Befragung zu orientieren, wobei etwa die Besetzungszahl an Befragten in jeder Klasse als Maß für die Sinnhaftigkeit der Klassengrenzen dienen kann. Die verwendeten Klassen sind in Fig. 6-2 dargestellt.

Alter → Mtl. verfügb. Einkommen ↓	Weiblich			Männlich		
	15-31	32-51	>51	15-31	32-51	>51
1-14 TSEK	86	31	58	73	23	17
15-20 TSEK	39	48	35	31	44	43
>20 TSEK	41	91	65	26	61	63

Fig. 6-2: Besetzungszahlen der gewählten Klassen aus der Konsumentenbefragung (nach WEI-GELT 2006: 105, verändert).

So ergeben sich insgesamt 18 Klassen. Schwierig gestaltete sich vor allem die Wahl der Klassengrenzen für das Einkommen, da dieses Merkmal in der Regel sowohl über die Geschlechter als auch über die Altersgruppen asymmetrisch verteilt ist. Dies kann auch an Fig. 6-2 nachvollzogen werden:

Alter → Mtl. verfügb. Einkommen ↓	Weiblich			Männlich		
	15-31	32-51	>51	15-31	32-51	>51
Preis						
1-14 TSEK	0,419	0,419	0,414	0,370	0,261	0,294
15-20 TSEK	0,462	0,237	0,302	0,355	0,386	0,349
>20 TSEK	0,268	0,231	0,154	0,385	0,426	0,222
Qualität						
1-14 TSEK	0,337	0,290	0,517	0,356	0,435	0,294
15-20 TSEK	0,282	0,605	0,491	0,452	0,318	0,419
>20 TSEK	0,488	0,374	0,692	0,308	0,311	0,587
Sortiment						
1-14 TSEK	0,244	0,290	0,069	0,274	0,304	0,412
15-20 TSEK	0,256	0,158	0,208	0,194	0,295	0,233
>20 TSEK	0,244	0,396	0,154	0,308	0,262	0,190

Fig. 6-3: Konsumpräferenzen der gewählten Klassen aus der Konsumentenbefragung (nach WEI-GELT 2006: 105, verändert).

Junge Menschen (unter 30 Jahren) haben selten hohe Einkommen, umgekehrt beschränken sich niedrige Einkommen bei Menschen über 51 auf die befragten Frauen. Personen unter 15 wurden aus dieser Aufstellung gestrichen, da die Bevölkerungsdaten (SCB 2002b) auch nur für Personen über 15 vorliegen. Die Präferenzen bezüglich der Geschäftsattribute Preis, Qualität und Sortiment ergeben sich nun aus den relativen Häufigkeiten der Nennung des jeweiligen Merkmals als entscheidend für die Einkaufsstättenwahl in der Konsumentenbefragung. Diese sind in Fig. 6-3 wiedergegeben, auf eine Interpretation wird an dieser Stelle verzichtet.

6.3.3 Auswirkungen auf das Modellergebnis

Die Ergebnisse der Aggregation und ihre Auswirkungen auf das Modellergebnis bei der Anwendung der unterschiedlichen räumlichen Aggregationsverfahren sind in WEIGELT (2006) dargestellt. Zur prinzipiellen Erläuterung genügt hier die Auswahl dreier solcher Verfahren, einer hierarchischen Rasterung, eines Nachbarschaftsalgorithmus und eines Clusterings.

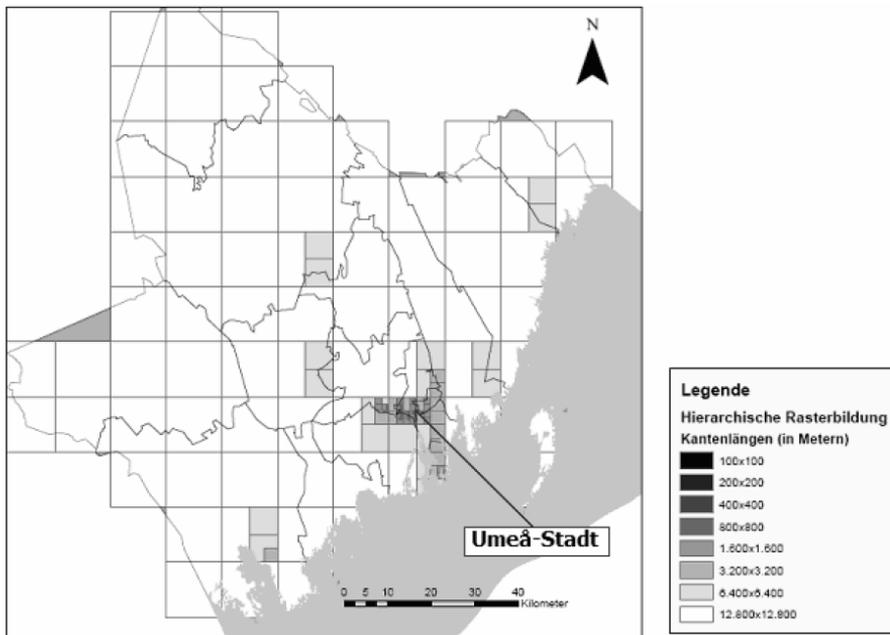


Fig. 6-4: Hierarchische Rasterung des Untersuchungsgebiets mit einem Schwellenwert von 200 Personen je Rastermasche (WEIGELT 2006: 55). Gebiete außerhalb der Rastermaschen sind bevölkerungsleer.

Für die hierarchische Rasterung wurde das Untersuchungsgebiet in Zellen eingeteilt, zunächst mit einer Kantenlänge von 12.800 Metern. Die Zellen wurden geteilt, wenn die Bevölkerungszahl in der

Zelle einen Schwellenwert überschritt. Dies wird rekursiv auch für die geteilten Zellen wieder ausgeführt, so dass sich die Dichte der Besiedlung in der Rasterung widerspiegelt. Ein Beispiel für eine solche Rasterung ist in Fig. 6-4 zu sehen. Je größer der Schwellenwert, desto gröber wird die räumliche Auflösung auch in dicht besiedelten Teilräumen, was zu einer Verringerung des Gütemaßes führt (ebd.: 56): Bei einem Schwellenwert von 50 beträgt das Gütemaß fast unverändert 0,700 und sinkt für den Schwellenwert 400 auf 0,590 (100: 0,697; 200: 0,682). Die Zahl der Raumstellen sinkt von ursprünglich 12.388 über 3.412 (Schwellenwert 50), 3.213 (100), 2.432 (200) auf 2.266 (400). Der relativ geringe Rückgang beim Erhöhen des Schwellenwerts ist darauf zurückzuführen, dass dabei vornehmlich innerhalb des Stadtgebiets von Umeå noch Teilungen stattfinden, während der weitaus größte Teil der Rasterzellen keine Veränderung mehr erfährt (Fig. 6-4).

Die Vorteile der Rasteraggregation liegen auf der Hand: Ihre Instanzen sind einfach zu konstruieren, mehrere Aggregationsebenen zu bilden, ist ebenfalls schnell möglich. Durch eine hierarchische Rasterung mittels eines Schwellenwerts können auch raumstrukturelle Aspekte der Bevölkerungsverteilung hinreichend berücksichtigt werden. Hierin verbirgt sich aber auch ein Pferdefuß dieses Verfahrens: Wie gut diese Raumrepräsentation gelingt, hängt zentral von der Wahl des Schwellenwerts ab, da dieser über die Teilung der Zellen entscheidet. Erst auf den zweiten Blick wird klar, dass auch eine Abhängigkeit von der Wahl des Koordinatenursprungs besteht. Schließlich ergeben sich die Besetzungszahlen der Rasterzellen aus der Lage ihrer Begrenzungen.

Um diese Abhängigkeiten zu umgehen, wäre es besser, von den ursprünglichen Koordinatenpaaren auszugehen. Dieser Ansatz wird von einem Nachbarschaftsalgorithmus verfolgt. Ziel ist, Agenten zu Aggregaten zusammenzufassen, die gemäß einer Nachbarschaftsregel zueinander in einer solchen Beziehung stehen. Da in den Bevölkerungsdaten nur diskrete Raumstellen im 100-Meter-Abstand unterschieden werden, liegt die Definition einer direkten Nachbarschaft durch diese Entfernung in Nord- oder Ostrichtung nahe. Zusätzlich können auch diagonal benachbarte, also in Nord- und Ostrichtung 100 Meter, in Diagonalrichtung 141 Meter entfernte Agenten, als direkt benachbart angesehen werden. Ein rekursiver Aufruf sorgt dafür, dass kompakte Mengen von Agenten entstehen, die als Aggregate weiterverwendet werden können (Fig. 6-5), wobei eine vorher festgelegte durchschnittliche Besetzungszahl dafür sorgt, dass die Aggregate nicht zu groß werden. Die geringe Entfernungsschranke für die Nachbarschaftseigenschaft führt jedoch dazu, dass gerade im Ländlichen Raum kaum Agenten zusammengefasst werden. Dadurch steigt während der Aggregation der Anteil der Agenten in der Peripherie, was auch als Begründung dafür gelten kann, dass sich die Gütemaße durch diese Form der Aggregation kaum verändern (Abweichungen gegenüber dem unaggregierten Modell $< 0,03$). Vereinzelt treten auch Anomalien auf, deren Ursache in der zufälligen Auswahl der ‚Marschrichtung‘ des Aggregationsalgorithmus beim rekursiven Aufruf liegt. So wurden vereinzelt Agenten zusammengefasst, die näher an einem schon bestehenden Aggregat lagen, als zueinander. Diese zufälligen Abweichungen abzufangen, ohne grundsätzlich in die Funktionsweise des Algorithmus einzugreifen, gelang leider nicht. Dem konnte erst durch die Kombination mit einem Clusterverfahren begegnet werden.

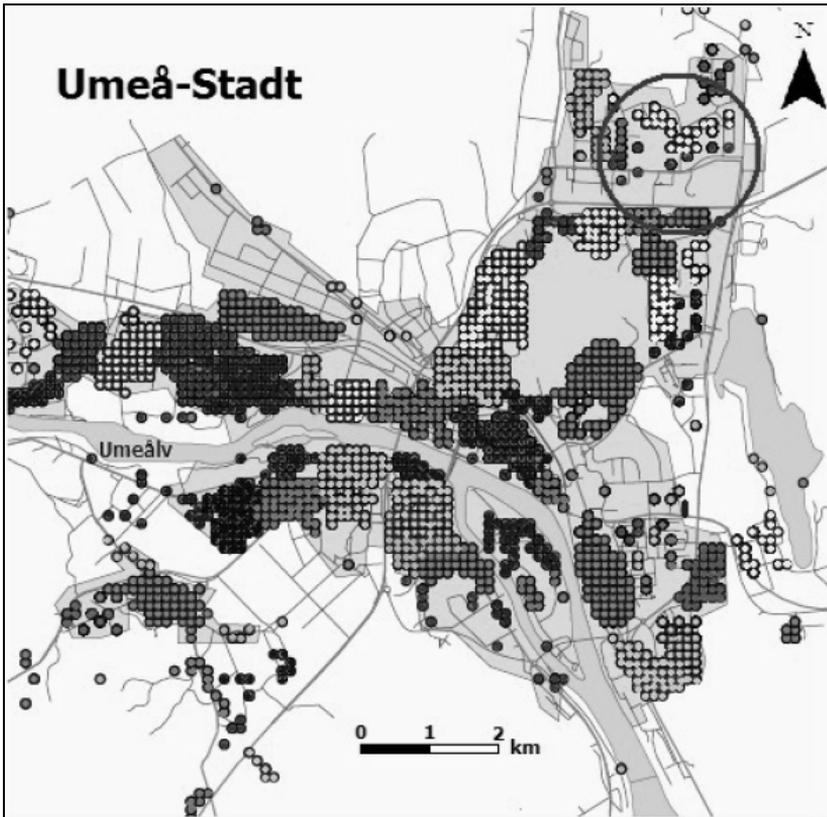


Fig. 6-5: Ergebnis des Nachbarschaftsalgorithmus für das Stadtgebiet von Umeå. Identisch eingefärbte Koordinatenpunkte bilden Aggregate. Eingekreist ist ein Beispiel für Zusammenfassungsanomalien (WEIGELT 2006: 59).

Clusterverfahren haben zum Ziel, Objekte auf Ähnlichkeit zu untersuchen und Gruppen ähnlicher Objekte zu bilden. Grundlage für die Gruppenbildung ist ein Ähnlichkeitsmaß, das auch durch eine Rauminformation gegeben sein kann. Für die Bildung der Cluster können wiederum mehrere Verfahren (WEIGELT 2006: 61-70) verwendet werden, hier wird nur das KMeans-Verfahren behandelt. Hierbei wird zunächst die gewünschte Clusteranzahl K festgelegt, die sich durch den Quotienten aus der anfangs Gesamtzahl der Objekte und der gewünschten durchschnittlichen Besetzungszahl ergibt. Der Algorithmus startet mit einer Anzahl K zufällig ausgewählter Objekte als Anfangszentroide und ordnet alle restlichen Objekte dem jeweils ähnlichsten zu. Hernach wird der arithmetische Mittelpunkt eines jeden so entstandenen Clusters berechnet, und alle Objekte bezüglich ihrer Ähnlichkeit zu diesem neuen Zentroid bewertet. Gegebenenfalls werden dabei Objekte anderen Clustern zugeteilt, wenn sie bei diesen einen höheren Wert des Ähnlichkeitsmaßes erreichen können. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis keine Veränderungen in der Clustering mehr beobachtet werden können (ebd.: 63). Testweise wurden Simulationen mit $K=100$ und mit $K=500$ räumlichen Clustern berechnet, zusätzlich wurden noch die Agentenkategorien (Fig. 6-2) neben der Rauminformation in das Ähnlichkeitsmaß einbezogen. Dadurch sind jedoch auch mehr Unterscheidungsmöglichkeiten gegeben, so dass die Zahl der resultierenden Aggregate gegenüber der rein räumlichen Zusammenfassung stark

steigt. Die Ergebnisse der Simulation sind in Fig. 6-6 zusammengetragen, ihre Interpretation folgt im kommenden Abschnitt.

K	Zusätzliche Berücksichtigung der Agentenkategorie	Anzahl Aggregate	Wert des Simulationsgütemaßes
100	ohne	2.130	0,73
100	mit	7.873	0,74
500	ohne	8.985	0,74
500	mit	24.114	0,74

Fig. 6-6: Ergebnisse der Aggregation nach dem KMeans-Verfahren (WEIGELT 2006: 69).

6.4 Fazit zum Aggregatsproblem

Die gewonnenen Erkenntnisse dieses Kapitels lassen sich in zwei Kategorien einteilen, die aus den formaltheoretischen Überlegungen und die aus den inhaltlichen Untersuchungen. Grundlegend Neues erbrachten eher die formalen Betrachtungen, mit denen es gelungen ist, Potenzialansätze und Diskrete Entscheidungsansätze formal ineinander zu überführen, sowie die bisher nur schwer mit Inhalt zu füllenden Kalibrierungsexponenten einer Interpretation zuzuführen. Bezüglich inhaltlicher Fragestellungen im Zusammenhang mit Aggregatsproblemen ging es einerseits um Vergleiche zwischen Ergebnissen aus Mikro- und Makromodellen und andererseits um die Abschätzung von möglichen Qualitätsverlusten von Mikromodellen bei systematischer Reduktion ihrer räumlichen Auflösung. In beiden Fällen konnten Konstellationen identifiziert werden, bei denen die Ergebnisse der jeweils gegenübergestellten Verfahren vergleichbar waren und nur wenig voneinander abwichen. Dies erscheint erstaunlich und entsprach in diesem Ausmaß auch nicht den Erwartungen. Begründbar ist dieser Sachverhalt mit den statistischen Eigenschaften des Vorgangs der Datenaggregation: Hierbei werden viele Agenten einer Raumeinheit durch weniger ersetzt, die jedoch repräsentative Merkmale der Ursprungspopulation tragen. Insofern sind der Aggregation ähnliche Eigenschaften wie dem Ziehen einer Stichprobe zuzuschreiben, von der üblicherweise, wenn sie fehlerfrei vorgenommen wird, sogar verlangt wird, dass mit ihr die gleichen Aussagen zu treffen sind wie mit der Grundgesamtheit.

Daraus lassen sich nun mehrere Folgerungen ableiten:

1. Die Übertragbarkeit von Mikromodellen auf Untersuchungsräume mit weniger differenzierte Ausgangsdaten ist damit gegeben, sofern zumindest Daten vorliegen, die sozioökonomische Differenzierungen, etwa bezüglich Alters- und Einkommensstruktur, in den betrachteten Raumeinheiten zulassen. Die zusätzliche Beeinflussung, die durch die Bildung von Konsumpräferenzen aus Befragungsergebnissen vorgenommen wird, erlaubt eine weitaus größere Ausdifferenzierung als durch höhere räumliche Auflösung erreicht werden kann.
2. Umgekehrt können Mikroansätze, liegen diese differenzierten Informationen vor, trotz der erhöhten Zahl der Freiheitsgrade gegenüber Makromodellen bei der Umsatzprognose Ergebnisse in vergleichbarer Qualität liefern.

Darüber hinaus bieten Mikromodelle jedoch den weiteren Vorteil, dass sie den Blick auf die individuellen Entscheidungsprozesse bei der Einkaufsstättenwahl und damit deren Einflussgrößen eröffnen. Besser als durch Makromodelle können so Auswirkungen von Veränderungen dieser Einflussgrößen auf die Bewegungen im Raum und die Kaufkraftallokation an den Geschäftsstandorten abgeschätzt werden. So liegt es nahe, einen prognostischen Blick in die Zukunft zu wagen und diese Prozesse unter veränderten Rahmenbedingungen zu beleuchten. Diese Aufgabe wird zu Beginn des nächsten Kapitels angegangen.

7 WEITERGEHENDE EXPERIMENTE

Dieses Kapitel fasst einige weitere Experimente zusammen, die mit dem Simulationsmodell vorgenommen wurden. Dabei wurden überwiegend Anregungen aus Workshops, Tagungsdiskussionen und aus der Literatur aufgegriffen.

7.1 Prognose

Mit dem Ziel, planungsrelevante Aussagen zu generieren, wird das vorhandene Modell dazu eingesetzt, zukünftig mögliche Szenarien unter Beibehaltung der Modellannahmen zu simulieren. Anwendungsbereiche dafür ergeben sich bei der Planung neuer Angebotsstandorte sowohl auf der Anbieterseite, als auch auf der Seite der Stadtplanung. Hierbei gilt es etwa, die Frage zu klären, welche potenziell neuen Standorte überlebensfähig sind, aber auch, welche Standorte durch die Ansiedlung des neuen Angebots besonders gefährdet werden. Auf der Nachfrageseite lassen sich etwa die Veränderungen des zum Zweck der Grundversorgung zu leistenden Distanzaufwands durch die Agenten unter verschiedenen Angebotsszenarien untersuchen (s. Kap. 7.2 und Rauh et al., eingereicht).

Als Ausgangsjahr für die reproduktive Simulation war aus Datenverfügbarkeitsgründen vor allem auf der Angebotsseite 1997 gewählt worden. Als Zeitschnitt für die Prognose bietet sich einmal das Jahr 2004 an, da in diesem die Geschäftskartierung mit der Einstufung bezüglich der Attributwerte stattfand. So konnten ohne zusätzlichen Datenbeschaffungsaufwand die bis dahin erfolgten Geschäftsschließungen erfasst werden. Im selben Zeitraum fand mit dem Warenhaus ICA Maxi im Gewerbegebiet Strömpilen am südlichen Stadtrand von Umeå nur eine Neueröffnung statt. Leider waren für dieses Jahr keine vollständigen aktuellen Umsatzzahlen verfügbar, jedoch entsprach der bekannte Umsatz des ICA Maxi bis auf wenige Millionen SEK der Umsatzsumme der zwischen 1997 und 2004 geschlossenen Geschäfte, so dass von einer identischen Verteilung der Umsätze auf die restlichen Geschäfte ausgegangen werden konnte. Als zweiter Zeitschnitt wird eine Prognose für ein mögliches Zukunftsszenario abgegeben. Seit einigen Jahren plant die kommunale Verwaltung von Umeå, ein drittes Einkaufszentrum am westlichen Stadtrand in Klockarbäcken zu errichten (LÖFFLER & SCHRÖDL 2002). Auch wenn dort vorerst kein Lebensmittelmarkt gebaut werden soll (UMEÅ KOMMUN 2005), ist dies in Zukunft nicht auszuschließen. Für die Nachfrageseite konnte eine Bevölkerungsprognose des schwedischen Bevölkerungsmodells SVERIGE (UMEÅ KOMMUN 2005) für das Jahr 2015 erstellt werden.

7.1.1 Prognose 2004

Die Veränderungen der Standorte des Lebensmitteleinzelhandels im Untersuchungsgebiet sind im Kapitel 4.3.2 bereits ausführlich dargestellt worden und werden hier nur kurz wiederholt. Insgesamt verringerte sich die Zahl der Geschäfte zwischen 1997 und 2004 von 132 auf 85, die Schließungen betrafen vor allem kleinere Geschäfte (Format *Lanhandel*) im Ländlichen Raum sowie Kioske und andere kleinflächige Angebotsformen in den Zentralen Orten und der Stadt Umeå. Auf der Nachfrageseite wurden im Modell keine Veränderungen vorgenommen, auch um zu testen, wie die Agenten ohne diese auf die veränderte Angebotsituation reagieren. Als Ergebnis wurden wiederum die Gütemaßwerte für alle und für Gruppen von Geschäften ermittelt (Fig. 7-1).

Geschäfte	Anzahl		Gütemaßwert	
	1997	2004	1997	2004
Alle	132	85	0,721	0,689
Alle (absolute Abweichungen $R^{(1)}$ nach (5.5b))	132	85	0,571	0,528
<i>Trafikbutiker</i> (Tankstellenshops)	22	20	0,399	0,243
<i>Servicebutiker</i> (Kioske)	19	4	-0,197	-1,424
<i>Lanhandel</i> (200-400 m ²)	61	33	0,830	0,795
City-Supermärkte	3	3	0,913	0,749
Vollsortimenter (>400 m ²)	25	22	0,795	0,768
Hypermarkt	1	2	0,597	0,763
Discounter	1	1	0,987	0,989

Fig. 7-1: Gütemaßwerte $R^{(2)}$ nach (5.5a) (außer anders angegeben) für alle und für Gruppen von Geschäften, Simulationsjahre 1997 und 2004. Eigene Berechnungen.

Im direkten Vergleich mit den entsprechenden Werten für das Simulationsjahr 1997 (aus Fig. 5-20), fällt auf, dass die Gütemaßwerte überwiegend sinken. Dies kann vor allem damit begründet werden, dass die Parameter der Wahrnehmungsfunktionen (Fig. 5-11), deren Werte von der Angebotsstruktur abhängen, zwischen den Simulationen für 1997 und 2004 nicht verändert wurden. Ziel dieses Experiments war ja nicht, erneut eine optimale Umsatzschätzung abzugeben, sondern die Effekte der Angebotsänderungen zu beleuchten. Die Gütemaßwerte für alle Geschäfte sinken nur geringfügig, stärkere Einbrüche ergeben sich vor allem bei den Tankstellenshops und den City-Supermärkten, obwohl sich deren Anzahl und realen Marktanteile kaum veränderten. Hierbei handelt es sich durchweg um Überschätzungen: Gerade die Innenstadtgeschäfte konnten in der Simulation nach dem Wegbrechen der Standorte in den Stadtteilen Öst på stan und Haga (Fig. 4-15) Kunden hinzugewinnen. Die Umsätze der Geschäfte in der Kategorie *Lanhandel* werden weiterhin gut geschätzt, auch wenn sich ihre Anzahl und ihr Marktanteil fast halbieren.

Besonders im Hinblick auf den planungsrelevanten Einsatz der Simulation sind die Auswirkungen der Angebotsveränderungen auf einzelne Standorte zu untersuchen. Dazu wurden die für das Simulationsjahr 2004 prognostizierten Umsätze der Geschäfte mit denen aus dem Simulationsjahr 1997 verglichen (Fig. 7-2).

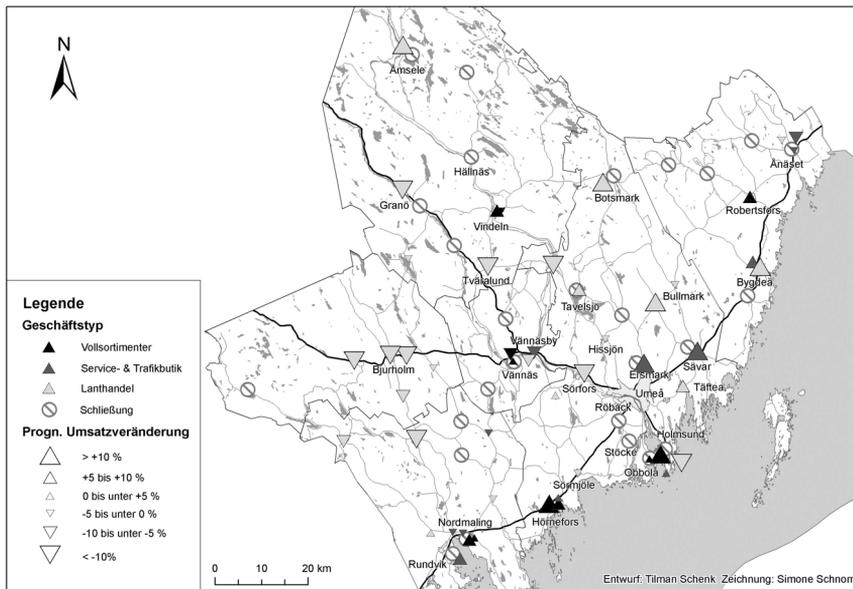
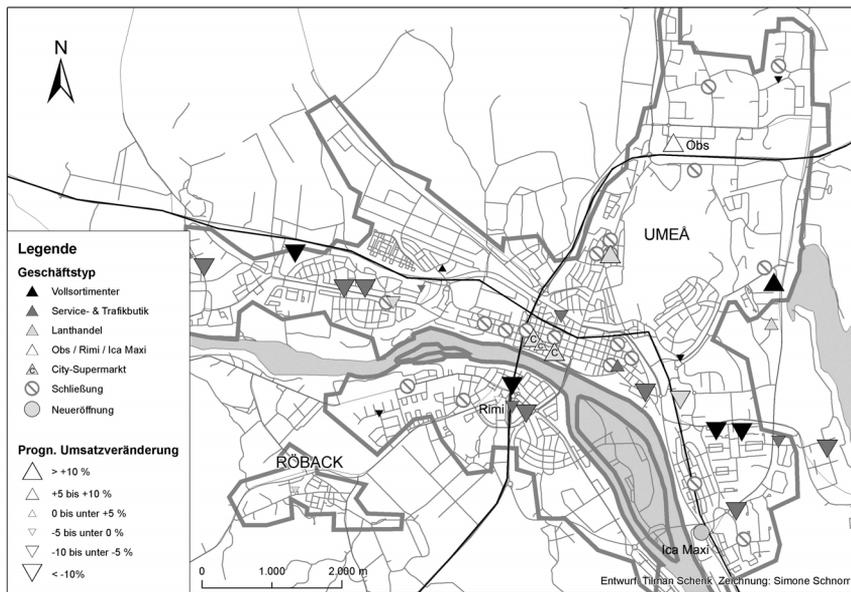


Fig. 7-2a, b: Umsatzgewinne und -verluste einzelner Geschäfte im Simulationsjahr 2004 gegenüber 1997 in der Stadt (a) und Region Umeå (b). Eigene Berechnungen. Schließungen und Neueröffnungen ergeben sich aus der Geschäftskartierung 2004.

Vor allem die kleineren Geschäfte (*Lanthandel*) im Ländlichen Raum verlieren durch den neuen Hypermarkt an Umsatz. Auf Stadtgebiet sind davon in erster Linie Nachbarschaftsläden in den Formaten *Servicebutik* und *Vollsortimenter* betroffen, mit Ausnahme des ‚Ica Raketen‘ im östlichen Stadtteil Mariehem, der von der Schließung des unmittelbar benachbarten ‚Konsum‘ profitieren kann. Gleichzeitig können jedoch durch die Ausdünnung des Standortnetzes gerade die Vollsortimentgeschäfte in den Zentralen Orten sowie die Supermärkte in der Innenstadt von Umeå teils kräftig zulegen. Ohne dass dies der Simulation explizit zugeführt worden wäre, scheinen sich hier die Konzentrationsprozesse auch von Konsumentenseite betrachtet fortzusetzen. Da von den Schließungen zwischen 1997 und 2004 einseitig (v.a. in den wichtigen Attributen ‚Preis‘ und ‚Sortiment‘) niedrig bewertete Geschäfte betroffen waren, erhöht sich der Anteil der hoch bewerteten innerhalb der zur Auswahl stehenden Geschäfte, die daraufhin noch häufiger von den Agenten besucht werden. Hieraus erwächst die bemerkenswerte Erkenntnis, dass räumliche Konzentrationsprozesse des Angebots nicht nur aus Unternehmensstrategien oder sich ändernden Konsumpräferenzen erwachsen können, sondern dahinter auch ein selbstverstärkender Prozess zu vermuten ist.

Neben der Betrachtung der Umsätze sollen auch an dieser Stelle wieder ausgewählte Agenten bei ihren Einkaufsfahrten beobachtet werden. Da die Nachfragedaten gegenüber 1997 nicht verändert wurden, bietet es sich an, zur besseren Vergleichbarkeit Agenten auszuwählen, die auch für den ersten Zeitschnitt (s. Kap. 5.5.6) betrachtet wurden. Zunächst wurde wieder der 70jährige Rentner aus Västeråker (Fig. 5-14a) gewählt. Aufgrund des Wegfalls von Einkaufsmöglichkeiten in Hissjön, Tavelsjö, Bullmark, Ersmark und Flurmark muss der Agent nun verstärkt beim 23 km entfernten Hypermarkt Obs einkaufen, gelegentlich sucht er auch noch die Innenstadt von Umeå auf (Fig. 7-3a). Für die 40jährige Mutter mit ihrem 20jährigen Sohn in Obbola hat der sehr attraktive ICA Maxi am südlichen Stadtrand von Umeå das Geschäft am Ort ersetzt, er wird der meist besuchte Standort. Sehr viel seltener besucht ihr Agent die Innenstadt (Fig. 7-3b). Schließlich ist noch das Einkaufsmuster des Agenten der 20 Jahre alten Frau aus dem Stadtteil Mariehem dargestellt, der sich nach der Schließung der Konsum-Filiale in ihrem Stadtteilzentrum ebenfalls vermehrt dem Obs Stormarknad in Ersboda zuwendet (Fig. 7-3c). Bei allen gewählten Beispielagenten fällt auf, dass die Hypermärkte in externer Lage eine prominentere Rolle einnehmen als 1997. Insbesondere für die Bewohner außerhalb des Stadtgebiets stellen diese nach dem Rückzug des Handels aus dem Ländlichen Raum nicht nur eine sehr attraktive, sondern oft auch die nächstgelegene Einkaufsmöglichkeit dar. Ob und in wie weit sich dadurch die insgesamt zur Grundversorgung zurückzulegenden Distanzen ändern, wird im Kapitel 7.2 noch näher beleuchtet. Welcher der externen Angebotsorte angesteuert wird, hängt stark von der ‚Einfallsrichtung‘ der Agenten, also der relativen Lage ihres Wohnorts zur Stadt ab.

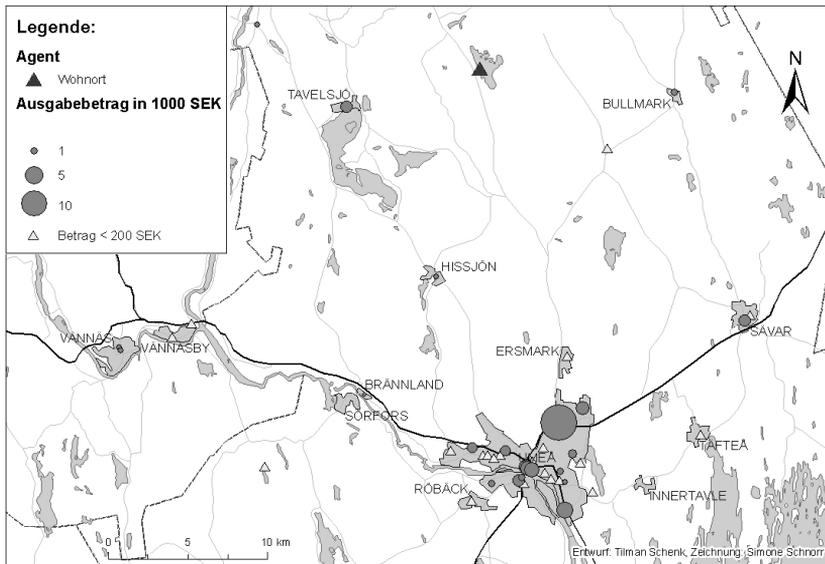


Fig. 7-3a, b: Einkaufsbiographien einzelner Agenten mit Wohnort in Västeråker (a) und Umeå / Mariehem (b) für das Simulationsjahr 2004. Eigene Berechnungen.

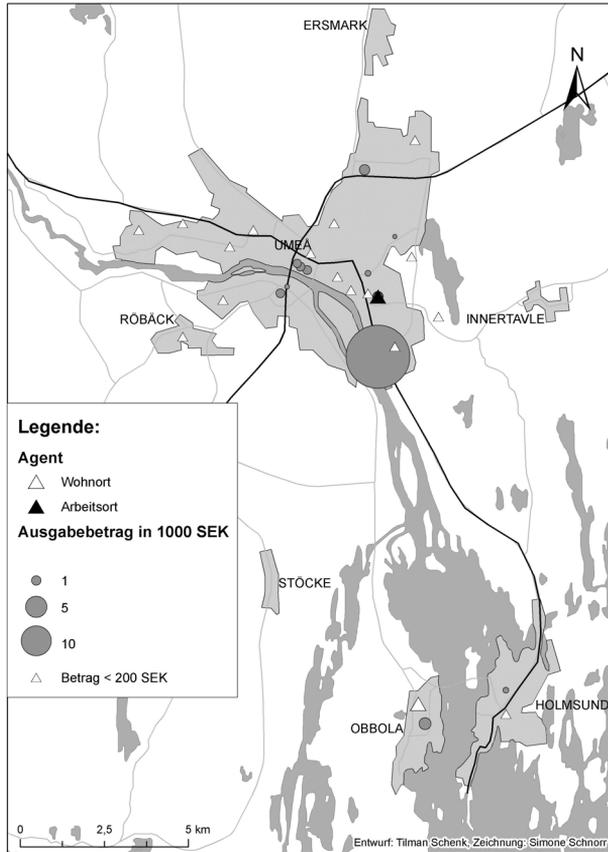


Fig. 7-3c: Einkaufsbiographie eines einzelnen Agenten mit Wohnort in Umeå / Obbola für das Simulationsjahr 2004. Eigene Berechnungen.

7.1.2 Prognose 2015

Eine Prognose für einen deutlich in der Zukunft liegenden Zeitpunkt zu erstellen, ist mit größeren Unsicherheiten behaftet. Wichtig ist, festzuhalten, dass es sich dabei um *eine* mögliche Entwicklung handelt, sowohl was die Ausgestaltung der Nachfrageseite, als auch der Angebotsseite betrifft. Die Nachfragedaten für das Jahr 2015 wurden aus einer vom schwedischen Bevölkerungsprognosemodell SVERIGE erstellten Vorhersage abgeleitet. Sie enthält für alle Haushalte im Untersuchungsgebiet die Wohnkoordinaten, ein prognostiziertes Haushaltseinkommen sowie das Alter des Haushaltsvorstands, der als das jeweils älteste Haushaltsmitglied definiert ist. Nicht vorhergesagt wird die Entwicklung der Arbeitsorte, weshalb der Einkauf auf dem Arbeitsweg aus der Simulation für 2015 entfallen musste. Ebenso nicht enthalten ist das Geschlecht des Haushaltsvorstands, hier wurden die Geschlechter-

proportionen des Jahres 1997 übernommen und zufällig den Agenten zugewiesen. Dazu ist zu bemerken, dass durch gesellschaftliche Veränderungen, etwa die Zunahme von Singlehaushalten, der Anteil der weiblichen Haushaltsvorstände (1997: 34%) bis 2015 deutlich steigen könnte. Eine konkrete Steigerung anzunehmen, hätte jedoch ein starkes Maß an Spekulation bedeutet. Die Beschränkung der Bevölkerungsprognose auf Haushalte hat ebenso zur Folge, dass nun nur noch das älteste Haushaltsmitglied als Einkaufsagent in Frage kommt. Davon abgesehen können jedoch die lebensmittelrelevante Kaufkraft und die Präferenzen auf identische Weise geschätzt werden, wie dies mit dem Ausgangsdatensatz für 1997 geschehen ist (s. Kap. 4.2.1 und 5.1). Für die Simulation wurde wiederum eine einprozentige Stichprobe, nach Kommunen getrennt, gezogen. Für eine Analyse der Umsatzentwicklung einzelner Geschäfte sind damit auch Veränderungen auf der Nachfrageseite, insbesondere bei der zur Verfügung stehenden Kaufkraft, zu betrachten (Fig. 7-4). Insgesamt prognostiziert das Bevölkerungsmodell SVERIGE ein Sinken der Kaufkraft bis 2015, wovon in erster Linie die stadtnahen Kommunen Nordmaling, Rbertsfors und Vännäs betroffen sind. Diese Verluste werden sich in den Umsatzveränderungen der dort liegenden Geschäfte bemerkbar machen.

Kommune	Lebensmittelrelevante Kaufkraft (1000 SEK)		Veränderung
	1997 / 2004	2015	
Nordmaling	1169	857	-26,7%
Bjurholm	376	364	-3,2%
Vindeln	1024	1069	+4,4%
Robertsfors	1358	557	-59,0%
Vännäs	1459	829	-43,2%
Umeå	17209	13227	-23,1%
Gesamte Region	22595	16903	-25,2%

Fig. 7-4: Vom SVERIGE-Modell prognostizierte Veränderungen der lebensmittelrelevanten Kaufkraft (in 1000 SEK) nach Kommunen 2015.

Auf der Angebotsseite wurde wie oben angedeutet ein neuer Hypermarkt am westlichen Stadtrand von Umeå mit einem Jahresumsatz von 250 Millionen SEK angenommen, was in etwa der Größenordnung der beiden schon bestehenden Obs und Ica Maxi entspricht, und dem Modell hinzugefügt. Da in der Bevölkerungsprognose für 2015 keine Arbeitsplätze enthalten waren, wurde für den Umsatzvergleich der Geschäfte mit dem Simulationsjahr 2004 für selbiges ein separater Simulationslauf ohne Einkauf auf dem Arbeitsweg gerechnet. Dennoch ist der Vergleich mit einigen Unsicherheiten behaftet: Die Prognose selbst unterliegt einer spezifischen Eintrittswahrscheinlichkeit, die Stichprobe für den Simulationslauf ist, wenn auch auf identische Weise gezogen, eine andere, schließlich wurden die lebensmittelrelevante Kaufkraft und die Präferenzen durch Regressionsmodelle geschätzt, die auf wesentlich früher liegenden Jahren beruhen. Dennoch ist nur in dieser Form eine Prognose für ein Zukunftsszenario möglich, um planungsrelevante Aussagen für die Struktur des Lebensmitteleinzelhandels zu erhalten. In Fig. 7-5 sind die Umsatzgewinne und -verluste der Geschäfte im Simulationsjahr 2015 gegenüber 2004 dargestellt.

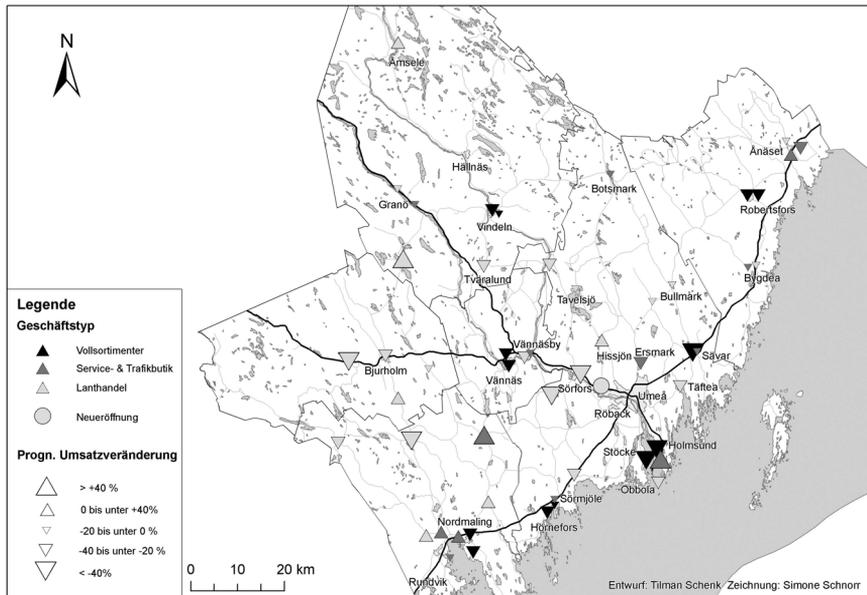
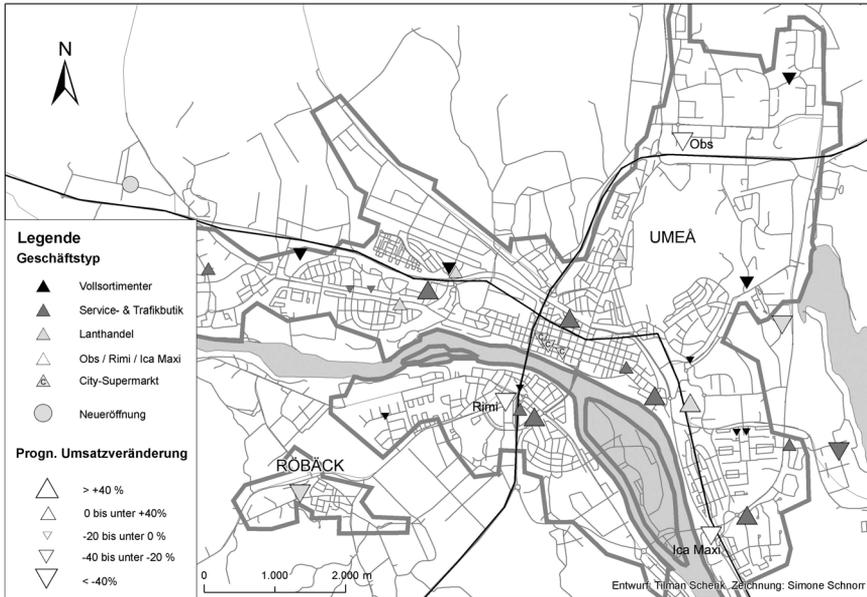


Fig. 7-5a, b: Umsatzgewinne und –verluste einzelner Geschäfte im Simulationsjahr 2015 gegenüber 2004 in der Stadt (a) und Region Umeå (b). Eigene Berechnungen.

Die drei Warenhäuser an den Stadträndern treten nun in starke Konkurrenz untereinander und zur Innenstadt, so dass all diese Standorte deutlich an Kaufkraft verlieren. Vollsortimenter und *Lanthandel* im Umland verlieren ebenso weiter an Umsatz, hinzugewinnen können jedoch einzelne Tankstellenshops in isolierter Lage (etwa in Gräsmyr, Hissjön, Skivsjö, Åmsele), die offensichtlich die Nahversorgung für die jeweiligen Teilräume übernehmen. Ähnliches lässt sich auch in diversen Stadtteilen von Umeå beobachten, wo Umsatzanteile kleinerer Nachbarschaftsläden eher auf Tankstellen und Kioske verteilt werden als auf die weiter entfernt gelegenen Stadtteilzentren. Dies ist aber auch eine Auswirkung des Umstands, dass nun keine Kopplungen mit dem Arbeitsweg mehr berücksichtigt werden konnten.

Vergleichbar mit dem Zeitraum zwischen 1997 und 2004 wird auch weiterhin mit einem Rückzug von Einzelhandelsstandorten als Konsequenz aus ihren Umsatzverlusten gerechnet. So wurde zur Betrachtung möglicher Auswirkungen auf die Einkaufswege einzelner Individuen die Tabelle der Geschäfte um die Standorte mit den größten Umsatzverlusten (mit Ausnahme der Innenstadtsupermärkte) bis zur Erreichung einer Umsatzsumme von 250 Millionen SEK gekürzt. Damit reduziert sich das Einzelhandelsangebot auf 72 Geschäfte (1997: 132; 2004: 85). Auch wenn dies nur ein mögliches Szenario darstellt, ist es dennoch nicht unplausibel, da es vergangene Entwicklungen fortschreibt und aktuelle Planungen einbezieht.

In dieser Situation sinkt das Gütemaß der Simulation aus den gleichen Gründen wie bei der Prognose 2004 (identische Parameter der Wahrnehmungsfunktionen) weiter gegen 0,5. Zusätzlich sind die Bestandteile dieser Simulation mit weiteren Unsicherheiten behaftet. Da wäre einmal der Prognosefehler der Bevölkerungsvorhersage zu nennen, jedoch auch die der Annahmen bezüglich der weiteren Angebotsentwicklung. In dieser Hinsicht erscheint eine weitere Interpretation der Gütemaßwerte wenig sinnvoll. Jedoch können wiederum Agenten bei ihrer Anpassung an die reduzierte Angebotssituation beobachtet werden. Da es sich um eine neue Stichprobe handelt, mussten dafür andere Agenten als die bisherigen ausgewählt werden, jedoch wurde darauf geachtet, dass diese wieder aus unterschiedlichen Raumkategorien stammen.

Auch bei den Einkaufsbiographien setzen sich die zwischen 1997 und 2004 erkennbaren Entwicklungen fort. Für die Bewohner des Ländlichen Raums (Fig. 7-6a) werden abhängig von ihrer Einfahrtsrichtung die Hypermärkte am Stadtrand zu attraktiven und auch nahe liegenden Einkaufsorten, so wie im dargestellten Fall des Einwohners von Tavelsjö, der neben dem Geschäft in seinem Wohnort den zweitgrößten Teil seines Lebensmittelbudgets im 2015 neu als Standort angenommenen Gewerbegebiet von Klockarbäcken ausgibt. Interessanterweise stehen weniger die Innenstadt als mehr die übrigen externen Lagen (Ersboda) zu diesem in einem Konkurrenzverhältnis. Die Einkäufer in Stadtteilen orientieren sich weiterhin überwiegend wohnortnah, wovon jedoch auch die externen Lagen profitieren können (Fig. 7-6b, c). Durch die Ausdünnung des Standortnetzes kommt es logischerweise zu einer Konzentration der Kaufkraftflüsse auf die verbliebenen Standorte in den Zentralen Orten, Stadtteilzentren und Stadtrandlagen. Diese drei Lagetypen stehen jeweils in stärkerer Konkurrenz zueinander als zur Innenstadt.

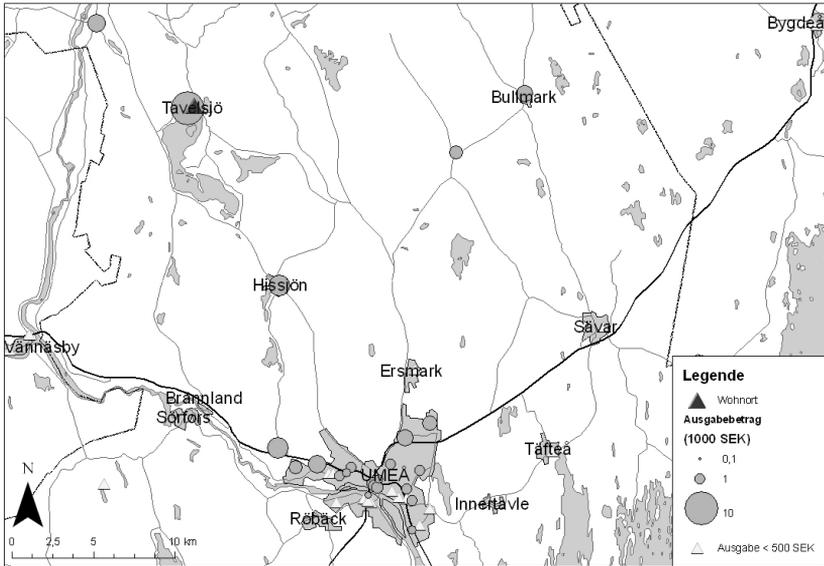


Fig. 7-6a, b: Einkaufsbiographien einzelner Agenten mit Wohnort in Tavelsjö (a) und Innertavle (b) für das Simulationsjahr 2015. Eigene Berechnungen.



Fig. 7-6c: Einkaufsbiographie eines einzelnen Agenten mit Wohnort in Umeå / Gimonäs für das Simulationsjahr 2015. Eigene Berechnungen.

7.2 Abschätzung von Verkehrsaufwänden

Da die Distanz zu den Geschäften expliziter Bestandteil des Modells der Einkaufsentscheidungen ist, können die von den Agenten zurückzulegenden Distanzen beim Geschäftsbesuch protokolliert werden. Damit eröffnet sich die Chance zu einem weiteren Realitätsabgleich der Ergebnisse neben den Geschäftsumsätzen. Aus nationalen Statistiken sind Informationen zur Mobilität der Bevölkerung verfügbar, die Wegelängen nach Fahrtzweck und Haushaltstyp unterscheiden (SCB 1999a, SCB 1999b). Für einen Vergleich müssen die vom Modell berechneten jährlichen Ausgaben in einem Geschäft in Einkaufshäufigkeiten umgerechnet werden, indem für unterschiedliche Betriebsformate und Haushaltstypen verschiedene durchschnittliche Ausgaben pro Einkauf angenommen werden. Multipliziert mit der Distanz ergeben sich damit jährliche Distanzaufwände bezogen auf jedes Geschäft, die aufsummiert und nach Haushaltstypen differenziert untersucht werden können. Fig. 7-7 zeigt die recht hohe Übereinstimmung mit den Werten aus den nationalen Verkehrserhebungen.

Die im Modell systematisch erhöhten Werte ergeben sich einerseits aus der Modellannahme, dass die Agenten alle Geschäfte im Untersuchungsgebiet wahrnehmen und, zwar selten, auch weit entfernte Geschäfte besuchen, andererseits sind die Werte des SCB für ganz Schweden erhoben, also auch

für die wesentlich dichter besiedelten Regionen im Süden des Landes. Für Beispielfamilien aus Umeå ergeben sich Werte, die näher an den ermittelten empirischen Werten liegen, während für ländliche Räume extrem hohe Werte modelliert werden.

Besondere Brisanz erhält diese Analyse bei der Untersuchung unterschiedlicher Angebotsszenarien. Vielfach wird mit der Konzentration des Angebots an nicht integrierten Standorten und der Ausdünnung im Ländlichen Raum eine Erhöhung der Verkehrsaufwände verbunden (u.a. KULKE 1994: 290; HOLZ-RAU 1991: 302; REINHOLD et al. 1997: 114). Als gegenläufige Hypothesen ließen sich somit formulieren:

1. „Durch eine Ausdünnung des Versorgungsnetzes im Einzelhandel kommt es in der Summe zu längeren Einkaufswegen, aber auch überwiegend zu einer erhöhten Distanz pro Einkauf. [...] Dies bedeutet, dass sich bei unveränderter Mobilität (Zahl der Einkäufe) der Gesamtdistanzaufwand für die meisten Familien erhöht.
2. Jedoch kann es mit der Veränderung der Mobilität, d.h. durch eine Anpassung des Einkaufsverhaltens, zu einer Verringerung des Distanzaufwandes kommen.“ (RAUH et al., eingereicht)

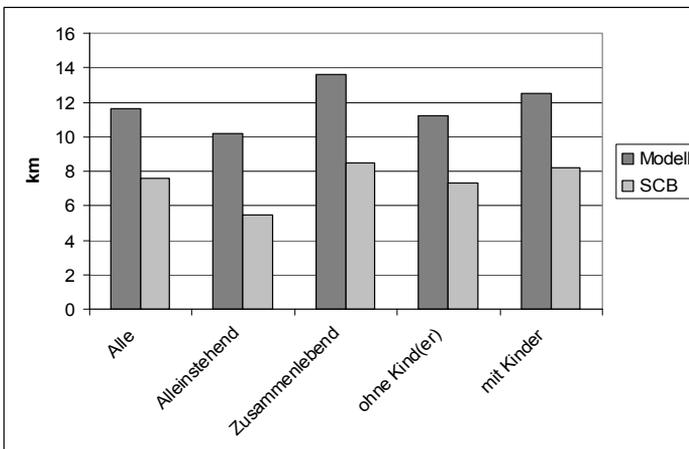


Fig. 7-7: Distanzen je Einkauf in Kilometer. Gegenüberstellung der Modellergebnisse und der nationalen Untersuchungen (SCB 1999a, SCB 1999b) für einzelne Haushaltstypen. Quelle: Rauh et al. (eingereicht).

Als Zeitschnitte für diese Untersuchung wurden wiederum die Jahre 1997 und 2004 gewählt, da für diese Jahre zum Zweck der Umsatzprognose die Angebotssituation erfasst worden war. Durch die strukturellen Veränderungen auf der Angebotsseite (unterschiedliche Entwicklung einzelner Betriebsformate, als Folge des Betriebsformenwandels; Fig. 7-1) können sich für die Familien die Einkaufshäufigkeiten ändern. Durch die Standortkonzentration kommt es in der Summe für die Gesamtbevölkerung zu einer Abnahme der Einkaufshäufigkeiten. Jedoch sind die Familien recht unterschiedlich von der Veränderung des Gesamtdistanzaufwandes betroffen. So kommt es für 58% aller Familien zu einer Zunahme der Distanz pro Einkauf. Für einen Großteil der Familien in Umeå ergibt sich jedoch

durch eine stärkere Kaufkraftbindung für die Stadt Umeå eine Verringerung. Zur Verdeutlichung werden in Fig. 7-8 Beispielfamilien mit Wohnung in verschiedenen Teilen der Region herangezogen.

Wohnort	1997			2004			Veränderung	
	DE	D	H	DE	D	H	D	H
Innenstadt	3,79	461,5	122	3,34	386,3	116	-16,30%	-5,25%
Nordmaling	24,06	1205,2	50	25,94	1234,9	48	+2,46%	-4,99%
Gimonäs	5,68	660,8	116	4,00	364,4	91	-44,86%	-21,58%
Obbola	12,93	1953,3	151	11,48	1278,0	111	-34,57%	-26,34%

Fig. 7-8: Veränderungen der durch das Modell errechneten Distanzaufwände einzelner Familien zwischen den Angebotsstrukturen 1997 und 2004. Eigene Berechnungen. Abkürzungen: DE: Distanz pro Einkauf; D: Gesamtdistanzaufwand pro Jahr; H: Anzahl der Einkäufe pro Jahr.

Die Lage zum neuen ICA Maxi in Umeå ist besonders bedeutsam. Für die Familie mit Wohnsitz in der Innenstadt ergeben sich kaum Veränderungen der Haupteinkaufsstätten. Die zweite Familie wohnt in Nordmaling. Im 5km entfernten Rundvik hat ein Geschäft geschlossen, in dem 1997 ca. 6% der lebensmittelrelevanten Kaufkraft ausgegeben wurden. Die Familie im Umeå-Stadtteil Gimonäs hat mit ICA Maxi in unmittelbarer Nähe eine neue attraktive Einkaufsmöglichkeit bekommen. Schließlich reagiert die Familie aus Obbola auf die Schließung eines mittelgroßen Supermarktes im Osten von Umeå. Das neue SB-Warenhaus ist fast genauso weit entfernt. Für viele Familien entscheidet die Neuverteilung der Ausgaben auf die beiden SB-Warenhäuser in Umeå meist schon darüber, ob sich die Gesamtdistanz erhöht.

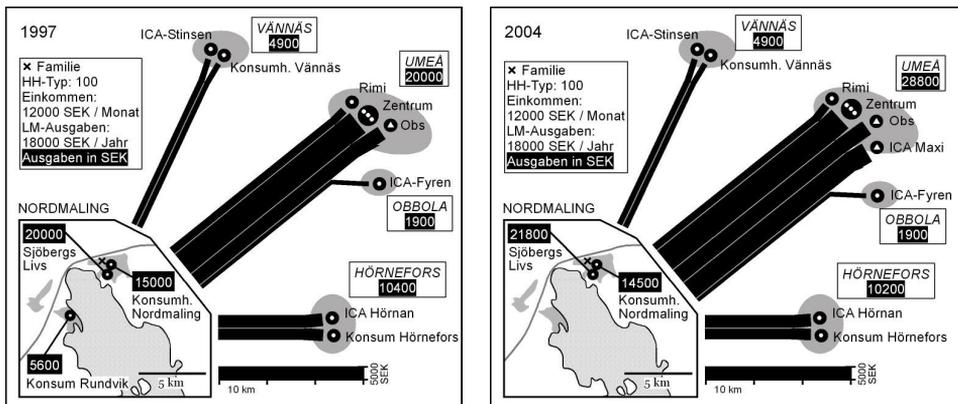


Fig. 7-9a, b: Verteilung der Kaufkraft (SEK, gerundet) einer Familie in Nordmaling auf verschiedene Geschäftsstandorte 1997 (a) und 2004 (b). Berechnung und Darstellung: Philip Ulrich.

Die Jahreswerte für alle Geschäfte bringen nicht genügend Einsicht in die Ursachen für die Veränderungen. Erneut liefert die ‚Verfolgung‘ einzelner Agenten auf ihren Einkaufswegen zusätzliche Erkenntnisse über einige wichtige Zusammenhänge. Fig. 7-9 zeigt die räumliche Verteilung der Ausgaben auf die ersten acht Geschäfte für die beiden Jahre für den Agenten der Familie in Nordmaling.

Zusätzlich sind die Distanzen zwischen den Geschäften und der Wohnung der Familie angegeben. Durch die Schließung einer bedeutenden Einkaufsstätte (Konsum Rundvik) und die Ansiedlung des neuen Hypermarkts kommt es zu größeren Verschiebungen der Kaufkraftströme. Dabei werden Einkäufe bei Konsum mit 5 km pro Einkauf durch Einkäufe bei ICA Maxi mit 47 km nahezu ersetzt.

Die bereits beschriebenen Entwicklungen für die Familie in Nordmaling haben zur Folge, dass in Geschäften, die näher als ICA Maxi liegen, fünf Einkäufe weniger getätigt werden. Stattdessen wird dreimal bei ICA Maxi eingekauft. So ergibt sich ein erhöhter Kaufkraftfluss Richtung Stadt Umeå. Für die übrigen Geschäfte und die Haupteinkaufsstätte (Sjöbergs Livs) ergeben sich kaum Unterschiede. Die Verringerungen der Gesamtdistanzaufwände der übrigen Familien resultieren vor allem aus der Umorientierung der Einkaufswege zu Gunsten des neuen Hypermarkts, bei dem jedoch deutlich weniger häufig eingekauft wird als bei den inzwischen geschlossenen, näher liegenden Geschäften. Es zeigt sich also eine ambivalente Entwicklung: Obwohl die Distanzen pro Einkauf überwiegend wachsen, sinken als Folge des Betriebsformenwandels die Einkaufshäufigkeiten, so dass die jährlich zu leistenden Distanz-aufwände sich kaum verändern.

7.3 Modellieren mit *Beliefs*

Die Geschäftsbewertungen durch die Agenten werden zwar durch Berücksichtigung von Präferenzen individuell ausdifferenziert, stets sind aber die Attributwerte der Geschäftseigenschaften Bestandteil der Nutzenfunktion. Es wird also davon ausgegangen, dass diese den Agenten bekannt sind. Dies ist zur Reproduktion der Geschäftsumsätze und Einkaufsmuster sicherlich eine sinnvolle, jedoch auch restriktive Annahme. Im Allgemeinen wird wohl davon auszugehen sein, dass Agenten auch über die ihnen bekannten Geschäfte nur beschränkte Information besitzen. ARENTZE & TIMMERMANS (2005b) führen dafür den Begriff *Belief* (engl.: Glaube, Meinung, Vorstellung) in den Zusammenhang mit der Agententechnologie ein. Die Grundlage der Entscheidung eines Agenten wird demnach nicht aus einer Kombination präferenzengewichteter Attributwerte gebildet, sondern aus seinen Vorstellungen über die Werte dieser Attribute. Durch den Besuch eines Geschäfts könnte dieser Informationsstand jedoch verbessert werden, da die Agenten beim Besuch des Geschäfts einen neuen Eindruck von den Geschäftsattributen gewinnen. Dieser Prozess des ‚Lernens‘ ist durch die dezentrale Organisation und durch die anthropomorphen Eigenschaften des Agentenansatzes ohne aufwändige Änderungen integrierbar. Dies wird im Folgenden am Beispiel der vorliegenden Einkaufssimulation gezeigt.

Angenommen wird, dass die Agenten zu Beginn der Simulation zunächst keinerlei Wissen über die Attributwerte der Geschäfte besitzen. Dies wird realisiert, indem alle Agenten für alle wahrgenommenen Geschäfte in jedem Attribut einen Wert in der Mitte der Skala zwischen Minimal- und Maximalwert des Attributs annehmen. Je nach Häufigkeit des Besuchs, operationalisiert durch den Anteil des jährlich im Geschäft ausgegebenen Kaufkraftbetrags, wird diese Wahrnehmung den empirisch ermittelten Geschäftsattributen mehr oder weniger stark angenähert. Dies lässt sich zusätzlich mit der Präferenz des Individuums für dieses Attribut gewichten, womit die Annahme verbunden ist, dass Individuen ihnen wichtige Attribute stärker beachten und ihre Wahrnehmung schneller an die Realität anpassen. Formal lässt sich dies in folgender Weise ausdrücken:

$$B'_{i,g,k} = B_{i,g,k} + P_{i,k} * (A_{g,k} - B_{i,g,k}) * W_{i,g} \quad (7.1)$$

mit $B'_{i,g,k}$ ($B_{i,g,k}$): Neuer (bisheriger) wahrgenommener Attributwert (*Belief*) des Kriteriums k eines Geschäfts g aus Sicht des Entscheiders i ; $P_{i,k}$: Gewicht (Präferenz) des Entscheiders i für Kriterium k ; $A_{g,k}$: empirisch ermittelter Attributwert des Geschäfts g für Kriterium k ; $W_{i,g}$: Geschäftsbewertung (Kaufkraftanteil) des Geschäfts g aus Sicht des Entscheiders i nach (5.4a).

Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis sich die wahrgenommenen Attributwerte genügend an die empirisch gemessenen angenähert haben. Dies kann etwa durch die Gütemaßwerte ausgedrückt werden. Innerhalb von 40 Iterationen nähern sich diese den ursprünglich gemessenen an (Fig. 7-10).

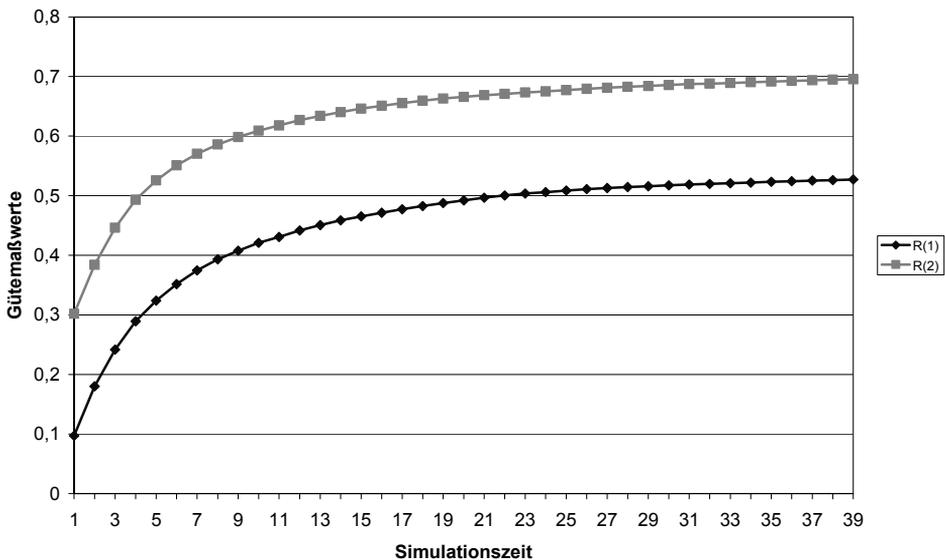


Fig. 7-10: Gütemaßwerte der Simulation mit *Beliefs* in Abhängigkeit von der Simulationszeit (Anzahl Iterationen). R(1) und R(2) bezeichnen die Gütemaße der Umsatzschätzung nach (5.5b) bzw. (5.5a). Eigene Berechnungen.

Beindruckend ist dabei die Schnelligkeit und Effektivität, mit der ein solcher Lernprozess in ein Agentenmodell integriert werden kann. Aggregierte Potenzialansätze hätten hier vor einer großen Herausforderung gestanden, bei der Agententechnologie genügt die Aufstellung eines recht schlichten Zusammenhangs zwischen ursprünglicher und geänderter Geschäftsattributwahrnehmung (7.1), die zudem je nach Präferenzen und Standort für jeden Agenten unterschiedlich ausfallen kann und dennoch auf einer aggregierten Ebene zu plausiblen Ergebnissen führt.

Eine weitere Eigenschaft von Multiagentensystemen, die bisher noch nicht für die Einkaufssimulation nutzbar gemacht wurde, ist die der Fähigkeit der Agenten zur Kommunikation. Dieser Aspekt wurde in das ursprüngliche Modell nicht aufgenommen mit dem Argument, dass Kommunikation und soziale Verhaltensaspekte beim Einkauf von Lebensmitteln eine eher untergeordnete Rolle spielen. Bei anderen Branchen, etwa dem Bekleidungssektor, der viel stärker unter sozialen Einflüssen steht, wäre dies umso wichtiger. Im vorliegenden Fall ist aber denkbar, dass Agenten Informationen über Geschäfte untereinander austauschen. Dabei stellt sich natürlich die Frage, welche Agenten mit welchen anderen in Kontakt treten sollen, mithin ist also eine Modellierung eines Bekanntschaftsnetzwerks erforderlich. Arbeiten, die sich mit dem Zustandekommen solcher Netzwerke beschäftigen, gehen häufig von einem zufallgesteuerten Aufbau aus. Hier soll jedoch in Anlehnung an WHITMEYER (2002) ein deduktiver Ansatz zur Konstruktion eines solchen Netzwerks gewählt werden, der weniger das Zustandekommen, sondern das Beschreiben des vorhandenen Netzwerks zum Ziel hat. Schließlich geht es im vorliegenden Fall nicht um die Frage, wie die Agenten sich ‚kennen gelernt‘ haben, sondern lediglich darum, welche Agenten untereinander Informationen austauschen.

Bevor der Ansatz von WHITMEYER nun in das Einkaufsmodell integriert wird, seien seine Annahmen hier kurz erläutert (ebd.: 149-155). Demnach haben Freundschaften eine variable Intensität, jedoch oberhalb eines Minimums, da sie ansonsten eher in die Kategorie ‚Bekannschaft‘ oder ‚Vom-Sehen-kennen‘ fallen würden. Jeder Akteur besitzt eine maximale Kapazität für solche Freundschaftsintensitäten, die nicht überschritten werden darf. Das soziale Netzwerk befindet sich in einem Gleichgewichtszustand, wenn alle Akteure keine zusätzlichen Freundschaften mehr knüpfen können, ohne diese Kapazitätsschranke zu verletzen. Formal bezeichne $x_{i,j}$ die Intensität einer Freundschaft zwischen den Akteuren i und j , mit $x_{i,j} > 0$. Dies kann operationalisiert werden durch die Zeitdauer, die die beiden Akteure in „sozio-emotionaler Interaktion“ miteinander verbringen. Dies impliziert, dass die Freundschaften symmetrischer Natur sind, es gilt also $x_{i,j} = x_{j,i}$. Damit kann für jeden Akteur ein Maß für seine insgesamt ausgeübten Freundschaften als die zu diesem Zweck verwendete Zeit angegeben werden:

$$X_i = \sum_j x_{i,j} \quad (7.2)$$

mit X_i : Insgesamt ausgeübte Freundschaften (in sozio-emotionaler Interaktion verbrachte Zeit) des Akteurs i ; $x_{i,j}$: Intensität der Freundschaft zwischen den Akteuren i und j .

Weiterhin wird angenommen, dass alle Akteure eine gemeinsame obere Kapazitätsschranke für ihre insgesamt ausgeübten Freundschaften besitzen, z.B. $X_i \leq 1 \forall i$, sowie dass Freundschaften mindestens eine Stärke von 0,2 besitzen und in ihrer Intensität lediglich in Schrittgrößen von 0,1 variieren. Der Gleichgewichtszustand des Netzwerks wird somit erreicht, wenn für alle Akteure i gilt: $0,9 \leq X_i \leq 1$. In diesem Zustand hat jeder Akteur nun zwischen einem und fünf Freunden, wobei sich aufgrund der unterschiedlichen möglichen Intensitäten dieser Freundschaften insgesamt 20 mögliche Kombinationen ergeben (ebd.: 155). Hat der Akteur noch Kapazitäten frei (also $X_i < 0,8$), können entweder bestehende Freundschaften intensiviert oder neue geknüpft werden, allerdings aufgrund der Symmetrieeigenschaft nur mit solchen Akteuren j , deren Kapazitätsschranke dadurch ebenfalls nicht verletzt werden würde ($X_j \leq 0,8$). Der Autor zeigt, dass mit diesem deduktiven Ansatz einige empiri-

sche Freundschaftsnetzwerke wesentlich besser reproduziert werden können, als durch zufällige Zuordnung von Beziehungen zu den Akteuren. Jedoch skizziert er auch zwei mögliche Extremsituationen, in denen entweder lauter intensiv befreundete Paare entstehen können oder relativ lose Netzwerke, in denen beinahe jeder jeden kennt (ebd.: 162).

Für die Einkaufssimulation wird zunächst ein Netz von Bekanntschaften in diesem Sinne wie folgt konstruiert: Zum ‚Kennenlernen‘ wählt jeder Agent einen anderen per Zufall³² aus, dessen Kapazitätsschranke dadurch nicht verletzt wird. Beide gehen daraufhin eine Freundschaft von der Intensität 0,2 ein. Hat der Agent schon mindestens einen Bekannten, so entscheidet er sich entweder, diese Bekanntschaft um den Betrag von 0,1 zu intensivieren, oder einen neuen Bekannten zu suchen, so lange, bis alle Agenten keine weiteren Bekanntschaften mehr schließen können, ohne ihre Kapazitätsschranke zu verletzen. Ist dieses Freundschaftsnetz aufgebaut, können die Agenten beginnen, untereinander Informationen zu tauschen. Dazu wurde das oben beschriebene Verfahren des Modellierens mit *Beliefs* angepasst. Angenommen wurde, dass die Agenten nun ihre Wahrnehmung der Geschäftsattribute nicht nur aus eigener Anschauung, sondern auch aus der ihrer Bekannten verändern. Dazu muss Gleichung (7.1) umformuliert werden:

$$B'_{i,g,k} = B_{i,g,k} + P_{i,k} * (A_{g,k} - \bar{B}_{i,J,g,k}) * W_{i,g} \quad (7.3)$$

Notation wie (7.1), zusätzlich mit $\bar{B}_{i,J,g,k}$: Mittlerer (bisheriger) wahrgenommener Attributwert (*belief*) des Kriteriums k eines Geschäfts g aus Sicht der Menge der Bekannten J des Entscheiders i.

Wie beim Modellieren mit *Beliefs* ohne Einfluss von Bekanntschaftsnetzwerken können die Auswirkungen durch Betrachten der Gütemaßwerte deutlich gemacht werden (Fig. 7-11). Man erkennt im Vergleich mit Fig. 7-10, dass es nun deutlich länger dauert (ca. 100 Iterationen), bis die ursprünglich gemessenen Gütemaßwerte erreicht werden. Dies kann damit begründet werden, dass nun die Vorstellungen der Agenten von den Attributwerten der Geschäfte nicht nur aus der eigenen Anschauung korrigiert werden, sondern auch unter dem Einfluss ihrer Freunde stehen, deren Vorstellungen wiederum ungenauer als die eigenen sein können. Durch die Kommunikation mit anderen Agenten werden daher die Informationen zu den Geschäften nur bedingt genauer. Insgesamt zeigt sich aber, dass auch der zusätzliche Modellierungsaspekt der Netzwerke ohne große Veränderungen erfolgreich in das Modell integriert werden konnte.

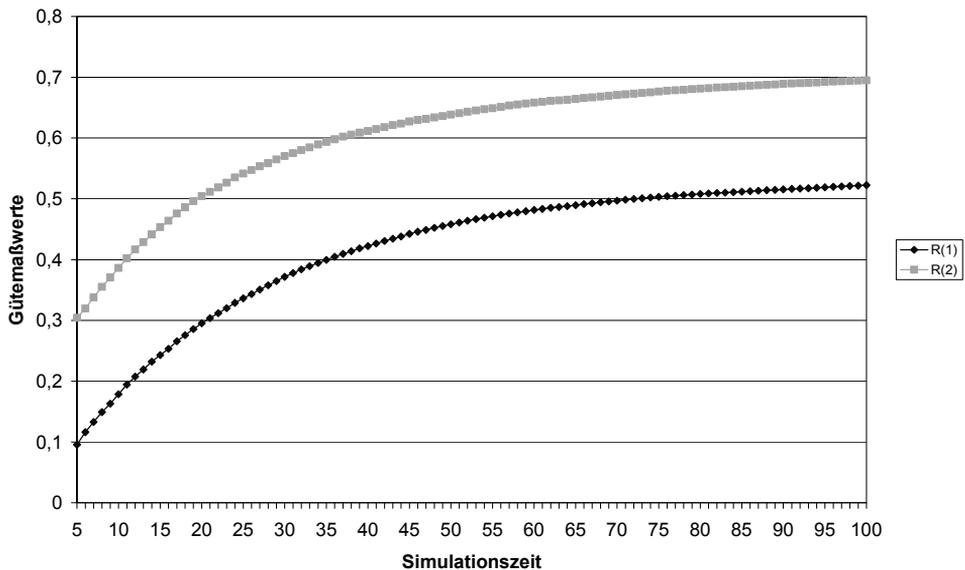


Fig. 7-11: Gütemaßwerte der Simulation mit *Beliefs* unter Einfluss von Bekanntschaftsnetzwerken in Abhängigkeit von der Simulationszeit (Anzahl Iterationen). R(1) und R(2) bezeichnen die Gütemaße der Umsatzschätzung nach (5.5b) bzw. (5.5a). Eigene Berechnungen.

Wünschenswert wären hier natürlich empirische Erkenntnisse, ob Netzwerke zwischen Personen im Allgemeinen, und von welchen Netzwerken im Besonderen der Lebensmitteleinkauf beeinflusst wird, sowie darüber, wie eine solche Beeinflussung vonstatten geht. Dadurch müsste man diese Analyse nicht über eine Reihe von einerseits sicherlich plausiblen, andererseits durch Literatur abgesicherten Annahmen durchführen. Hier ging es jedoch nur darum, die Machbarkeit zu demonstrieren und aufgrund der getroffenen Annahmen ein plausibles Ergebnis zu erzielen.

7.5 Hybride Konsumenten

Auch wenn die Einkaufsentscheidungen vom vorliegenden Modell in ihrer individuellen Ausdifferenzierung betrachtet werden, werden sie jedoch stets auf identische Weise getroffen: Die Präferenzen ändern sich im Lauf der Simulation nicht. Aus Untersuchungen ist jedoch bekannt, dass Typen des Konsumentenverhaltens, das durch solche Präferenzen beschrieben werden kann, nicht starr einzelnen Personen zuzuordnen sind, sondern auch je nach Einkaufssituationen und – zusammenhängen variieren können. Man spricht dann von „Hybridem Kundenverhalten“ (HEINRITZ et al. 2003: 166). VAG & BECK (2006) schlagen vor, in einem Multiagentenmodell des Konsumentenverhaltens Konsumpräferenzen veränderbar zu gestalten. Als Einflüsse werden Kommunikation mit anderen Agenten, Erfahrungen durch den Kauf und Beeinflussungen „von außen“ (durch soziale

Zwänge, Meinungsführer, Medien etc.) ausgemacht. Diese Vorgehensweise weist viele Parallelen zu den bereits durchgeführten Experimenten zur Wahrnehmungsanpassung nach dem Geschäftsbesuch (Kap. 7.3) und durch Kommunikation (Kap. 7.4) auf. Der einzige Unterschied besteht darin, dass in den hier geschilderten Experimenten in den Bewertungsfunktionen (7.1) und (7.3) der Attributterm des Geschäfts statt des Präferenzterms des Agenten verändert wurde. Formal wären diese beiden Variationen jedoch gleichbedeutend.

Aus diesem Grund wird hier ein alternativer Ansatz zum Experimentieren mit hybridem Konsumverhalten verfolgt, bei dem mehr vom Zweck des einzelnen Einkaufswegs ausgegangen wird. These ist, dass Einkaufsentscheidungen je nach Situation grundsätzlich verschieden getroffen werden können. Zwei solche Situationen ließen sich etwa mit folgenden Gedankengängen eines Konsumenten in Verbindung bringen:

- „Gleich schließen die Geschäfte. Ich brauche noch schnell Milch, Butter und ein Brot.“
- „Morgen Abend besuchen mich zwei Freunde, ich werde uns etwas Besonderes zum Abendessen besorgen.“

Während der angesprochene Konsument im ersten Fall vielleicht zum nächstgelegenen Discounter eilt und einige vakuumverpackte Artikel ersteht, wird er sich im zweiten Fall eher etwas Zeit nehmen und ein Delikatessengeschäft in der Innenstadt aufsuchen. Dennoch kann es sich dabei um ein und dieselbe Person handeln. Diese Variationen können im vorliegenden Modell etwa durch gänzlichliches Zu- oder Abschalten einzelner Entscheidungskriterien bewirkt werden. Wie sich die Einkaufswege in Abhängigkeit dieser Variationen umorientieren, soll anhand eines einzelnen Agenten in drei Situationen verdeutlicht werden. In der ersten Situation deckt der Agent lediglich seinen Tagesbedarf an schnell verderblichen Lebensmitteln und achtet nur auf den Preis (Fig. 7-12a). In der zweiten Situation erledigt er seinen Wocheneinkauf und achtet vor allem auf eine große Auswahl (Sortimentstiefe) und möchte alle Einkäufe möglichst an einem Standort erledigen (Sortimentsbreite) (Fig. 7-12b). In der dritten Situation schließlich sucht der Agent etwas Besonderes und bezieht lediglich die Qualität des Angebots in seine Einkaufsentscheidung ein (Fig. 7-12c). Wie kaum anders zu erwarten, besucht der Agent nun gerade die Geschäfte bevorzugt, die eine hohe Ausstattung in dem gerade ausgewählten Geschäftsattribut aufweisen. Spielt lediglich das Preiskriterium eine Rolle, wird der höchste Kaufkraftanteil beim Hypermarkt OBS ausgegeben, ist dagegen die Produktqualität bedeutsam, profitieren davon die Nachbarschaftsläden in den Stadtteilen Ersboda und Haga. Aufgrund ihrer weiteren Entfernung sowie ihrer wenig auf ein bestimmtes Merkmal ausgeprägten Eigenschaften werden die Innenstadtgeschäfte weitgehend gleichmäßig besucht. Zum Vergleich zeigt Fig. 7-12d das Ergebnis für alle Attribute, aus dem die Summenbildung in der Bewertungsfunktion (5.4a) recht deutlich wird.

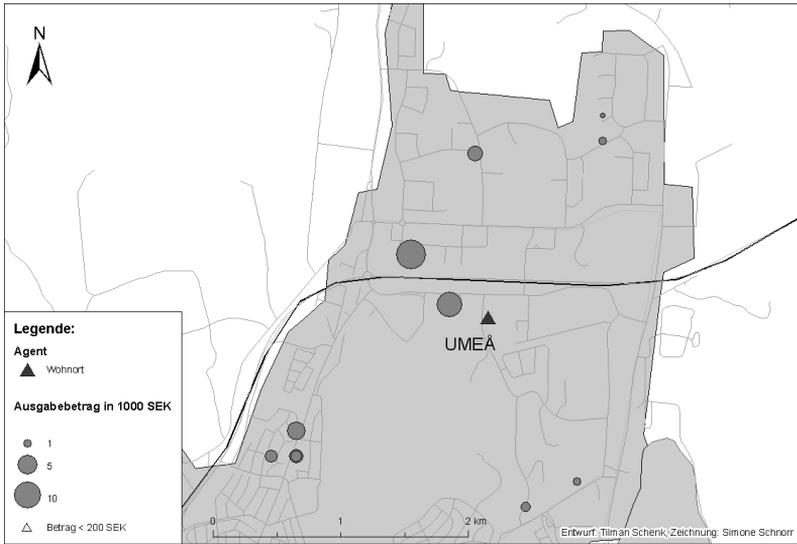
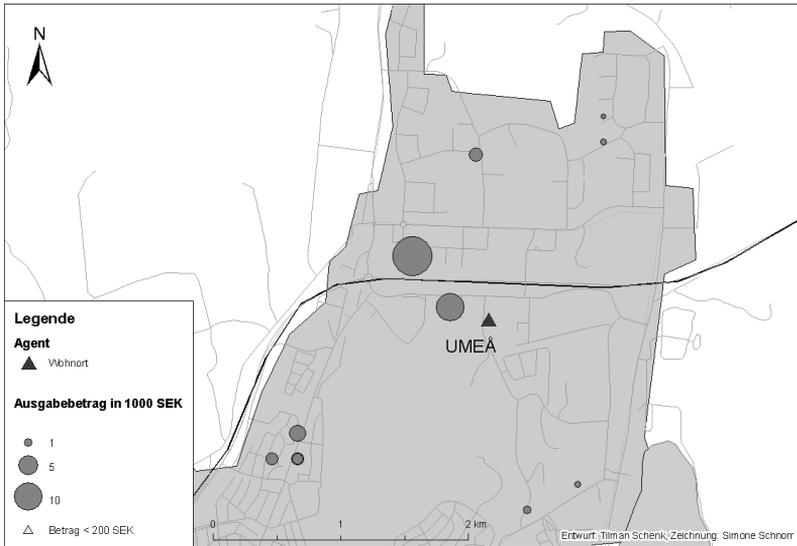


Fig. 7-12a,b: Einkaufsbiographien eines Agenten in verschiedenen Einkaufssituationen, in denen er jeweils nur auf den Preis (a) oder das Sortiment (b) achtet. Simulationsjahr 1997. Eigene Berechnungen.

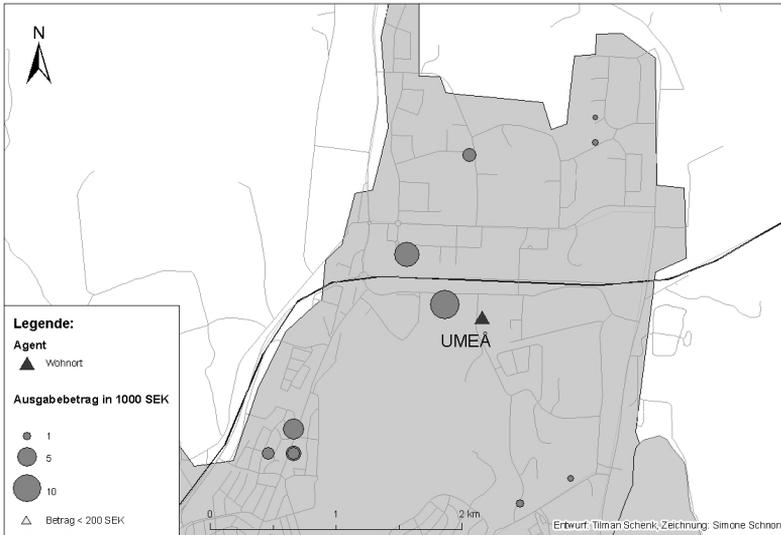


Fig. 7-12c,d: Einkaufsbiographien eines Agenten in verschiedenen Einkaufssituationen, in denen er nur auf die Qualität des Angebots (c) bzw. auf alle Kriterien (d) achtet. Simulationsjahr 1997. Eigene Berechnungen.

8.1 Übertragbarkeit

Sowohl bei methodischen als auch bei empirischen Arbeiten mit scharf umgrenztem Raumbezug stellt sich die Frage, inwiefern die gewonnenen Erkenntnisse auf andere Untersuchungsräume übertragbar sind. In der vorliegenden Arbeit teilen sich diese in die bezüglich der Umsetzbarkeit der Methodik im Bereich von Konsumentenentscheidungen einerseits und die Ergebnisse der Modellierung und Simulation andererseits.

Grundsätzlich ist die Agententechnologie natürlich in jedem Untersuchungsraum einsetzbar. Die größere Herausforderung liegt in der Datenverfügbarkeit. Kapitel 6.3 hat gezeigt, dass vergleichbare Ergebnisse auch mit weniger genauen Ausgangsdaten als ursprünglich für das Modell vorgesehen erzielbar sind. Dennoch ist eine möglichst feine räumliche und inhaltliche Auflösung der Ausgangsdaten für individuenbezogene Modelle unerlässlich. Insbesondere ist darauf Wert zu legen, dass alle einfließenden Daten in zumindest ähnlichen Auflösungen verfügbar gemacht werden können. Kleinräumige Bevölkerungszahlen sind häufig nicht sonderlich schwierig zu erhalten, gerade kleinere Gemeinden halten jedoch selten genauere Daten zu Alters-, Haushalts-, oder Einkommensstrukturen vor. Für eine Gemeinde mit 5.000 Einwohnern in vier Ortsteilen den Anteil der 18- bis 65-Jährigen zu kennen, ist für Individualmodelle eine nicht sehr nützliche Information. Welche Daten im Einzelnen benötigt werden, kann nicht allgemein festgestellt werden. Der Datenbedarf hängt wie bei jeder anderen Untersuchung vom Gegenstand und den Zielen derselben ab. Als Mindestanforderungen für ein Agentenmodell zum Lebensmitteleinkauf können gelten:

Auf der Nachfrageseite:

- Kleinräumige Bevölkerungsdaten in möglichst innerhalb des Untersuchungsgebiets gering variierender Auflösung mit Informationen zur räumlichen Lage des Wohnorts, zu Haushaltsgröße und idealerweise auch zu seiner Zusammensetzung. Informationen zu den Einkommensverhältnissen sind wichtiger als genaue Altersangaben, da erstere vor allem als Grundlage für die Kaufkraftberechnung den größeren Einfluss auf die zu modellierenden Ströme haben.
- Eine Konsumentenbefragung an möglichst verschiedenen Standorttypen (Innenstadt, Stadtteilzentren, externe Lagen, Ländlicher Raum), oder eine Haushaltsbefragung, die die Informationen aus den Bevölkerungsdaten mit Präferenzen für Geschäftseigenschaften verbindet. Hierbei können und sollten in Zukunft verstärkt auch qualitative Informationen zu Raumbewertungen und –wahrnehmungen einfließen. Weiterhin von Vorteil wären Erkenntnisse über tatsächlich auftretende Einkaufsmuster für die spätere Kalibrierung des Modells.

Auf der Angebotsseite:

- Räumliche Lage und strukturelle Eigenschaften in den konsumpräferenzrelevanten Merkmalen der Verkaufsstellen, Umsatzzahlen und ggf. Daten über Kundentypen. Durch letztere Information böte sich die Möglichkeit, zur Beurteilung des Modellergebnisses außer den Umsatzzahlen auch die Kundenbeziehungen zu berücksichtigen.

Als Rauminformation:

- Digitales Kartenmaterial mit Straßen- und ÖPNV-Netzen zur Berechnung von Wegelängen und –dauern. Dabei ist zu berücksichtigen, dass gerade im Lebensmittelbereich trotz aller voranschreitender Motorisierung und Mobilität ein relevanter Anteil der Wege zu Fuß zurückgelegt wird.

Damit wird nicht impliziert, dass nicht auch Agentenmodelle in diesem Bereich mit weniger umfangreichen Daten zu zufrieden stellenden Ergebnissen führen können. Es darf nur nicht aus den Augen verloren werden, dass Modellierungsergebnisse außer von Unsicherheiten des Modells selbst auch von solchen der Ausgangsdaten abhängig sind. Dabei verhalten sich diese Unsicherheiten nicht unbedingt indirekt proportional zum Datenumfang oder zur Datenmenge. Wichtig bleibt, festzuhalten, dass die verwendeten Daten in Quantität und Qualität am Untersuchungsgegenstand und ihren Zielen ausgerichtet zu sein haben.

Sind auch die Ergebnisse, die nicht mit dem Testen der Methodik in Zusammenhang stehen, auf andere Räume übertragbar? Dazu wären etwa die Resultate zu den Umsatzprognosen (Kap. 7.1) und Verkehrsaufwänden (Kap. 7.2) heranzuziehen. An diesen Stellen offenbart sich die Relevanz der Agententechnologie in planerischen Fragestellungen. Auf der Angebotsseite können Aussagen zu positiven und negativen Auswirkungen von Strukturveränderungen auf der Ebene einzelner Standorte getroffen werden, auf der Nachfrageseite sind ebenso kleinteilige Analysen auf der Ebene einzelner Haushalte möglich. Die obige Frage darf also mit gutem Gewissen bejaht werden, wenn das gilt, was bei der Übertragung von Untersuchungsergebnissen immer zu fordern ist: Dass exportierender Untersuchungsraum, aus dem die Erkenntnisse stammen, und importierender Untersuchungsraum, in den sie übertragen werden, in entscheidenden Größen Gemeinsamkeiten aufweisen. Solche können zum Beispiel aus ähnlichen Entwicklungspfaden der Angebotsituation erwachsen (s. Kap. 4.2.3).

Als dritte Übertragungsfrage stellt sich diejenige der Übertragbarkeit auf andere Branchen als den Lebensmitteleinkauf. Je nach Branche und Produkten spielen sich die Entscheidungsabläufe beim Einkaufen sehr unterschiedlich ab. Während bei Lebensmitteln sicherlich davon ausgegangen werden kann, dass dabei Merkmale der Produkte und der Geschäfte sowie Distanzen im Vordergrund stehen, sind etwa beim Bekleidungskauf soziale Aspekte, Modetrends und persönliche Vorlieben viel wichtiger. Klassische Modellierungsansätze, die auf Analogieschlüssen zu physikalischen Gesetzen beruhen, sind mit solchen Dimensionen menschlichen Handelns weit überfordert. Der Agentenansatz bietet als Erster die Chance, solche Prozesse zumindest ansatzweise abzubilden, auch wenn hier noch keine Vorarbeiten bekannt sind und somit über die Umsetzung Unklarheit herrscht. Das vorgestellte Modell des Lebensmitteleinkaufs ist der erste Teil eines Forschungsprojekts, das sich im weiteren Verlauf mit der Anwendung im Bekleidungssektor (SCHRÖDL et al. 2006) beschäftigen wird. Je langfristiger jedoch die Güter werden, desto komplexer und vielfältiger werden auch die Entscheidungsprozesse, dennoch sind etwa Agentenmodelle des Auto-, Möbel-, oder Haushaltswarenkaufts denkbar. Für eine weit gefächerte Anwendung der Agentenansätze sind allerdings auch noch einige Fortschritte im methodischen Bereich zu erzielen, auf die im folgenden Abschnitt näher eingegangen wird.

8.2 Aufgaben für die Zukunft

8.2.1 Methodischer Forschungsbedarf

Der methodische Forschungsbedarf ist weniger bei der Agententechnologie an sich, als bei der Verbindung zu den Arbeitsmethoden der Sozialwissenschaften auszumachen. Diese lassen sich wiederum nach der Phase der Datenbeschaffung und der Ergebnisbewertung unterscheiden.

Zu Beginn der Erstellung eines Agentenmodells sollten empirische Erhebungen stehen, aus denen der Handlungsregeln der Agenten abzuleiten sind, naheliegenderweise in Form einer Befragung der als Agenten zu modellierenden Teilgruppe. Dabei ist darauf zu achten, dass aus den Befragungsergebnissen auch tatsächlich Handlungsregeln abgeleitet werden können. Fragt man etwa nach den Präferenzen für bestimmte Geschäftsattribute, kann nicht ohne weiteres gefolgert werden, dass die Konsumenten auch dementsprechend handeln, selbst dann nicht, wenn die Fragen offen gestellt werden. Hier offenbart sich ein grundlegendes Defizit quantitativ ausgerichteter Empirie: Das Fragen nach Präferenzen unterstellt Abhängigkeiten zwischen diesen und dem Handeln. Im Modell mögen diese stochastischen Variationen unterliegen und individuell ausdifferenziert sein, die Klammer der Abhängigkeit mit der Tendenz zum Determinismus erweist sich jedoch als äußerst beharrlich. Hier sind also Verfahren zu entwickeln, mit denen Handlungsweisen direkt in Agentenmodelle integriert werden können, ohne dafür den Umweg über die Parametrisierung von Präferenzen wählen zu müssen. Dafür böte sich an, Brücken zu qualitativen Methoden zu schlagen. Dank der anthropomorphen Eigenschaften der Agenten sind sie prädestiniert dafür, eben auch Informationen aus qualitativen Erhebungen aufzunehmen. Bisher wurden jedoch Modellierungen gleich welcher Art ausschließlich mit quantitativer Arbeitsweise in Verbindung gebracht. Qualitative Erhebungen waren allenfalls den quantitativen als Einflussanalyse vorgeschaltet, ihre Ergebnisse flossen aber nie direkt in die Modellierung ein. Folglich fehlt hierfür auch ein methodisches Instrumentarium gänzlich. Da beide Ansätze jedoch, ausgehend von einem „komplizierten Menschenbild“ (MEIER KRUKER & RAUH 2005: 21) und der Einzigartigkeit individueller Handlungs- und Sichtweisen, in der gleichen Perspektive denken, sollte hier eine Verbindung möglich sein. Gerade der qualitativen Sozialforschung geht es um das „Sinnverstehen sozialen Handelns“, mit dem die Ziele, Gründe und Motive von typischen Handlungsweisen zu erschließen und in Modelle zu überführen sind (ebd.: 23f). Solche Modelle sollten ideale Grundlagen für Agentensimulationen darstellen. Insbesondere die Erkenntnisse über die sozialen Konstruktionen von Lebenswelten ließen sich in hervorragender Weise durch die Möglichkeit der Abbildung von Lernprozessen in das Agentenhandeln einbringen. Eine solche Verbindung existiert jedoch nach aktuellem Forschungsstand noch nicht.

In der Konsumforschung wird das Zusammenwirken von aktivierenden und kognitiven Vorgängen bei der Einkaufsentscheidung immer wieder stark betont (KROBER-RIEL & WEINBERG 2003: 368; FOSCHT & SWOBODA 2005: 37). Während die aktivierenden Komponenten zumindest teilweise durch Geschäfts- oder Produktattribute und Konsumpräferenzen repräsentierbar sind, wird die Umsetzung kognitiver Vorgänge in sozialwissenschaftlichen Simulationen, insbesondere in auf Agentenmodellen basierende, erst in jüngster Zeit gefordert (SUN 2006: 7). Davon verspricht man sich bessere Grundlagen für Agentenmodelle emergenter Phänomene auf der Makroebene, indem kognitive Beschränkungen, Fähigkeiten und Neigungen der Agenten bezüglich der Interaktion mit ihrer physischen und sozialen Umwelt einbezogen werden. Der Agent begeben sich damit in ein „goldenes Dreieck“ zwischen Kognition, Motivation und Struktur (ebd.: 12f), von denen sein Handeln wechsel-

seitig beeinflusst wird. Diese Beeinflussungen unterliegen einer hohen Komplexität, so dass davon auszugehen ist, dass diese nur durch die Mittel einer Simulation verstanden werden können.

Ähnliches gilt für Methoden der Ergebnisbewertung. Quantitative Maße zu diesem Zweck, wie im vorliegenden Fall die Gütemaße der Umsatzschätzung, sind einschlägig bekannt und einsetzbar. Bei eher qualitativ zu bewertenden Ergebnissen, wie den gezeigten Einkaufsbiographien, existieren kaum Möglichkeiten eines empirischen Vergleichs. Diese Arbeit hat sich bezüglich der qualitativen Ergebnisbewertung auf eine Plausibilitätsprüfung ‚per Augenschein‘ beschränkt, was eine legitime Vorgehensweise ist, jedoch keinen hohen Ansprüchen gerecht wird. Zusätzlich wäre denkbar, die realweltlichen Gegenstücke der simulierten Agenten Mobilitätstagebücher anlegen zu lassen, um so deren tatsächliche Einkaufswege herauszuarbeiten. Dabei stehen einem extrem hohen Aufwand große Unsicherheiten bezüglich der Repräsentativität der Modellergebnisse und der Tagebuchaufzeichnungen gegenüber: Bei fehlender Übereinstimmung der beiden, was anzunehmen ist, stellt sich die Frage, ob die Simulation fehlerhaft war oder die Tagebücher nicht repräsentativ. In jedem Fall beschränken sich sowohl solche Analysen als auch die ‚Augenschein-Methode‘ auf Einzelfälle. Eine Bewertung der Simulationsergebnisse in dieser Hinsicht auf einfache Weise und auf breiter Basis vorzunehmen, stellt noch eine große Herausforderung dar.

8.2.2 Weitere Einsatzmöglichkeiten

Neben der geographischen Handels- und Konsumforschung sind Agentensimulationen schon in einigen weiteren Arbeitsgebieten der Geographie und der übrigen raumrelevanten Wissenschaften angewendet worden (s. Kap. 1.2). Anhand einiger weiterer Teildisziplinen der Humangeographie, teils unter Hinweis auf dort aktuelle Fragestellungen und Forschungsansätze, werden hier weitere Einsatzmöglichkeiten der Agententechnologie vorgeschlagen. Grundsätzlich ergeben sich Anwendungsfelder überall dort, wo es um Entscheidungen von Individuen geht, deren Folgen nicht auf einfache Weise abzuleiten sind, etwa weil die Zahl der Akteure oder ihrer Handlungsalternativen sehr groß ist. Weiterhin bieten sich vor allem Bereiche an, in denen Kommunikation und Kooperation zwischen Akteuren auch als Forschungsgegenstand eine große Rolle spielen.

In der Wirtschaftsgeographie werden aktuell relationale Sichtweisen diskutiert (zuletzt etwa GLÜCKLER & BATHELT 2003), in denen die sozialen Bindungen zwischen Akteuren als raumwirksame Elemente der wirtschaftlichen Entwicklung von Teilräumen hervorgehoben werden. Hier wären Agentenmodelle ein viel versprechender Ansatz, diese Raumwirksamkeiten in einen quantitativen Zusammenhang zu bringen und damit den Entweder-oder-Dualismus im Sinne SCHEINERS (1998) zur Neoklassik aufzuheben. Dann wäre es besser möglich, zu untersuchen, wie bedeutsam die Faktoren aus neoklassischer und aus relationaler Sicht tatsächlich sind und welchen Zusammenhängen diese unterliegen.

Die Sozialgeographie begreift räumliche Phänomene zunehmend als soziale Konstrukte, als Ergebnis von „Prozesse[n] der Identifikation, der Selbstdarstellung und Bedeutungszuweisung von Individuen und Gruppen“ (KEMPER 2005: 167). Auch hier geht es also um Handlungen von Individuen, die einzeln oder in Gruppen kommunizierend nach einer (auch räumlichen) Position in der Gesellschaft suchen; die ihre Umgebung eingeschränkt und individuell unterschiedlich wahrnehmen und demzufolge ihren Elementen Bedeutungen zuweisen; die sich schließlich über ihre mentale Konzepte mit ihrer Umwelt identifizieren. Auffälligerweise ist dies nicht nur eine Aufzählung der Merk-

male poststrukturalistischer Sozialgeographie, sondern auch der Agenteneigenschaften (s. Kap. 3.2.1), was eine Anwendung von Agentenmodellen in diesem Bereich umso attraktiver erscheinen lässt.

Die Entwicklung von Städten wird schon lange aus der Perspektive des Zusammenspiels privater, öffentlicher/politischer und wirtschaftlicher Akteuren betrachtet (HEUER 1977: 30; GAEBE 2004: 162ff; KAPLAN et al. 2004: 316ff). Modelle der Stadtentwicklung, die die Prozesse zwischen den Akteuren aus allen Gruppen einbeziehen, befinden sich noch weitgehend im Entwicklungsstadium (MILLER 2006: 71). Wiederum stehen Handlungsweisen von Einzelpersonen oder Gruppen mit differenzierten Zielen, Motivationen, Wahrnehmungen und Handlungsspielräumen im Mittelpunkt des Interesses, die so nur mit Agentenmodellen abgebildet werden könnten. Aktuell in den Vordergrund des Forschungsinteresses rückende Prozesse wie der der schrumpfenden Städte bilden ebenfalls ein ideales Anwendungsgebiet, wenn es darum geht, ihre Ursachen und Wirkungen herauszuarbeiten, um damit Prognosen vorzunehmen und mögliche zukünftige Entwicklungspfade unter unterschiedlichen politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen aufzuzeigen.

Im Verkehrsbereich haben sich die bisherigen Arbeiten zur Agentenmodellierung auf die Mobilität von Personen beschränkt (s. Kap. 1.2.1) und dabei den Fokus auf öffentliche und Individualverkehre sowie Fußgängerströme gelegt. Dabei wären genauso Anwendungen im Güterverkehr denkbar. In einem solchen Modell könnten etwa Produzenten, Verlader und Transporteure als Akteure auftreten, die über ihre Standortentscheidungen, Verkehrsträger- und Routenwahl über die Verkehrs- und Umweltbelastungen einzelner Teilräume entscheiden. Hier treten die kommunikativen Eigenschaften der Agenten in den Vordergrund, da die Akteure untereinander in Vertragsverhandlungen über die zu erbringenden Leistungen treten müssen.

Bevölkerungsprognosen sind eine sehr nahe liegende Anwendung für Mikrosimulationen, wenn auch bisher häufig gleichungs- statt agentenbasiert (HOLM et al. 2002). Anstelle einer mehr oder weniger linearen Fortschreibung bestimmter Trends treten Ansätze, die Bevölkerungsentwicklung vor allem aus Folgen individueller Entscheidungsprozesse, etwa über Partnerschaften, generatives Verhalten oder Migration, ableiten. Fast schon müßig ist, zu wiederholen, dass auch hier Überzeugungen, mentale Konzepte und gesellschaftliche Normen Einfluss haben, deren Repräsentation zu den besonderen Merkmalen der Agenten gehört.

Denkt man an strategiegeleitete Verhandlungen zwischen Akteuren, bei denen Überzeugungen in der Form von Weltbildern und Raumideologien eine Rolle spielen, so eröffnet sich sogar das Feld der politischen Geographie zum Anwendungsbereich agentenbasierter Modellierung. Auch wenn damit hier nur einige solche Möglichkeiten angerissen werden konnten, wird deutlich, wie breit das Spektrum zukünftiger Arbeiten auf diesem Gebiet sein kann. Sicherlich werden sich in Zukunft auch noch weitere eröffnen.

8.3 Zum Mitnehmen

Zum Abschluss werden hier noch einmal die wesentlichen Erkenntnisse dieser Arbeit zusammengefasst. Diese lassen sich in die drei Sphären der Theorie, der Methodik und der Empirie unterteilen:

Im Bereich der theoretischen Überlegungen konnte gezeigt werden, dass mit der Agentenmodellierung ein Ansatz vorhanden ist, der in der Lage ist, Modellbildungen in den humangeographischen

Teildisziplinen an den Forderungen der Handlungstheorie auszurichten. Sie ermöglichen erstmals, gesellschaftliche Phänomene auf der Ebene ihres Zustandekommens, dem Individuum, zu erfassen, sowie komplexe mentale Vorgänge des Handelns, Lernens und Kommunizierens auf einfache Weise in ein Modell zu integrieren. Damit können die bisher der aktionsräumlichen Denkstruktur nahe stehenden Modellbildungen aus der Klammer der kausalistischen Herangehensweise gelöst und Aktionsräume als Ergebnis individueller Handlungsziele und –maxime betrachtet werden. Handlungsrationalität steht damit nicht mehr dem Handelnden objektiv gegenüber, sondern bezieht sich auf den Standpunkt des Subjekts (SCHEINER 1998: 51ff). „Damit erscheint eine Gegenüberstellung der Handlungstheorien der zweckrationalen und der phänomenologischen Tradition im Sinne eines Entweder-Oder nicht mehr notwendig“ (ebd.: 54). Was SCHEINER hier aus theoretischer Sicht formuliert, wird durch die Agententechnologie auch methodische Wirklichkeit.

Ähnlich der theoretischen Ebene gelang auch eine Zusammenführung der Formalisierungen von aktionsräumlichen Makro- mit den individualanalytischen Mikroansätzen. Hier konnten insbesondere die Kalibrierungsparameter der Potenzial- und Gravitationsmodelle einer inhaltlichen Interpretation und damit einer theoretischen Fundierung zugeführt werden (s. Kap. 6.2.1).

Die wichtigste Errungenschaft aus methodischer Sicht war die Anwendung einer Agentensimulation auf einer regionalen Maßstabsebene, die es erlaubte, aus den Ergebnissen planungsrelevante Aussagen abzuleiten. Dazu war bei der Datenbereitstellung und der Modellimplementierung zwar erheblicher Zusatzaufwand notwendig; dieser hielt sich jedoch in einer handhabbaren Größenordnung. Insbesondere stellten sich an die technische Ausstattung keine über gängige Arbeitsplatzgeräte hinausgehenden Anforderungen. Der Agentensimulation steht damit in Zukunft ein breites Anwendungsspektrum offen, das kaum technischen Restriktionen unterliegt.

In der Zusammenschau der empirischen Erkenntnisse ist in erster Linie der Ergebnisdualismus zwischen aggregiertem (Umsatzschätzung für die Geschäfte) und individuellem Handeln (Einkaufsbiographien) hervorzuheben. In beiden Kategorien zu zufriedenen stellenden Ergebnissen zu gelangen, stellte eine zentrale Herausforderung dieser Arbeit dar. Schließlich konnte ein ausgewogenes Verhältnis zwischen beiden hergestellt werden, indem zunächst die Güte der Umsatzschätzung als planungsrelevantes Untersuchungsziel maximiert wurde (s. Kap. 5.5.5.3), und danach ohne weitere Verluste derselben die individuellen Einkaufswege der Agenten vorrangig durch Veränderungen in der Distanzwahrnehmung Plausibilitätsprüfungen und –anpassungen unterzogen wurden. Ferner wurde gezeigt, dass die Simulation auch zur Beantwortung noch weiterer Fragestellungen herangezogen werden kann: So wurden Vorhersagen zu Verkehrsaufwänden der Agenten und Umsatzveränderungen der Geschäfte unter verschiedenen Szenarien der Angebotsstruktur getroffen. Zum Teil bereits eingetretene und zukünftig zu erwartende Angebotsumgestaltungen wurden dem Modell zugeführt. Damit konnte erstmals der Notwendigkeit, deren Auswirkungen auf der Ebene einzelner Individuen zu bewerten, Rechnung getragen werden. Schnell wurden deren stark differenzierende Effekte deutlich, die die Einwohner der Region recht unterschiedlich betroffen macht. Wichtig für die Übertragung des erstellten Modelldesigns auf andere Untersuchungsräume war die Prüfung der Auswirkungen von Aggregationen der Ausgangsdaten, deren Toleranzen und Grenzen aufgezeigt wurden. Schließlich wurde gezeigt, wie Kommunikations- und Lernprozesse in Agentenmodelle von Konsumentenentscheidungen integriert werden können.

An agentenbasierte Simulationen werden in den Sozialwissenschaften große Erwartungen geknüpft. In Kombination mit anderen Anwendungen im Bereich der Bevölkerungsprognose, des Ver-

kehrs und der innerstädtischen Migration haben Agentensimulationen alle Voraussetzungen zu einem zukunftsweisenden Paradigma für die Raum- und Fachplanung.

-
- ¹ Zur genauen Definition von Multiagentensystemen siehe Kapitel 3.2.
- ² Das Modell ist unter dem Namen CityDev auch online verfügbar: fs.urba.arch.unifi.it:8080/suncity/.
- ³ Zur Begrifflichkeit von Objektklassen und –instanzen wird auf die Einführung in objektorientierte Programmierung in Kapitel 5.4 verwiesen.
- ⁴ Mehr Informationen auch unter www.urbansim.org.
- ⁵ Zur Definition von Zellularen Automaten s. Kap. 3.1.
- ⁶ Diese Bezeichnung wird bewusst gewählt, um keine scharfe Trennlinie zwischen ‚geographischen‘ und ‚nicht-geographischen‘ Anwendungen von MAS ziehen zu müssen. Der Übergang zwischen räumlichen und aräumlichen Modellen sind fließend, und dort sind auch solche zu finden, die sich nicht mit klassisch-geographischen Themen wie Städten, Verkehr, Landnutzung oder menschlichen Interaktionen beschäftigen.
- ⁷ Graphen werden als dicht bezeichnet, wenn sie eine hohe Interkonnektivität besitzen, die Zahl der Kanten also wesentlich größer als die Zahl der Knoten ist.
- ⁸ Dass dies möglich ist, zeigt Kapitel 5.1.
- ⁹ Einen umfassenden Überblick über die Konzepte der Mikrogeographie liefert TZSCHASCHEL 1986, der nur wenig Ergänzung bedarf. Aus diesem Grund wird sich die Darstellung der Mikrogeographie weitestgehend auf ihre Arbeit beschränken.
- ¹⁰ Ähnlich argumentiert übrigens auch WERLEN (1999: 259) als Reaktion auf den Vorwurf, dass seine Handlungstheorie eine „freie Willensentscheidung“ unterstelle (s.a. Kap. 2.1.3).
- ¹¹ *Bayesian Networks* dienen zur Repräsentation unsicherer Zusammenhänge zwischen Variablen. Obwohl schon länger bekannt, konnten erst kürzlich Algorithmen zu ihrer Anwendung in real existierenden Kontexten entwickelt werden. Weitere Informationen finden sich u.a. bei HECKERMAN & WELLMAN 1995 sowie HECKERMAN; MAMDANI; WELLMAN 1995.
- ¹² Der Autor stellte das Modell auch auf dem 42. Deutschen Geographentag 1979 in Göttingen vor. Es ist also anzunehmen, dass seine Arbeiten unter den deutschen Kolleginnen und Kollegen bekannt waren.
- ¹³ Die Konzepte der Zeitgeographie können hier nicht erschöpfend behandelt werden. Details finden sich u.a. bei CARLSTEIN 1978, LENNTORP 1979, GRUNDMANN & HÖLSCHER 1989.
- ¹⁴ Mit Blick auf die Chaosforschung mag SEDLACEK damit den heutigen Naturwissenschaften nicht mehr gerecht werden. Auf diesen Aspekt wird gleich noch einmal zurückzukommen sein.
- ¹⁵ WERLEN (2000: 315) nimmt hier Bezug auf die drei Bewusstseinsstufen nach GIDDENS.
- ¹⁶ Siehe auch WERLEN 2000: 314. Hier klingen Konzepte der Institutionentheorie an, auf die im folgenden Kapitel eingegangen wird.

-
- ¹⁷ Ausführliche Erläuterungen dazu im Kap. 3.4.
- ¹⁸ VELDHUISEN (1988) hatte eine empirische Überprüfung vorgenommen und kam zu der Erkenntnis, dass seine Probanden (n=20) die Nutzenkomponenten individuell unterschiedlich verknüpfen. In praktischen Modellanwendungen ist diese Erkenntnis jedoch kaum verwertbar.
- ¹⁹ Eine sehr viel differenziertere Einteilung nehmen LÖFFLER; RAUH; SCHENK (2005) vor: Grundsätzlich können Modelle nach der räumlichen Auflösung der Inputdaten, nach Art der Entscheidungsmodellierung und Wahl der Modellobjekte (Einzelindividuen oder Gruppen) unterschieden werden.
- ²⁰ Ohne diese Annahme sind Entscheidungsmodelle mit für gegenwärtige Situationen gefundenen Parametern für Prognosezwecke nicht einsetzbar, wie MEYER & EAGLE (1982) zeigen konnten.
- ²¹ Alle nicht aggregierten Daten, die sich also auf Einzelpersonen oder einzelne Geschäfte beziehen, sind nicht frei oder kostenpflichtig verfügbar, sondern konnten nur in der abgeschotteten Datenbank des Spatial Modelling Centre (SMC) in Kiruna eingesehen und verwendet werden.
- ²² Eine Familie besteht im schwedischen Zensus aus Personen maximal zweier Generationen, die eine Beziehung zueinander haben (verheiratet, registrierte Partnerschaft, Mitbewohner(in) mit gemeinsamen Kindern), an der gleichen Adresse gemeldet sind und von denen die Angehörigen genau einer Generation nicht verheiratet oder zusammenlebend sind (SCB 2002b: 26).
- ²³ Die Werte des Konsumgewichts sind für die einzelnen Haushaltstypen gesetzlich festgelegt und bilden die Grundlage für die Berechnung von Sozialleistungen (SCB 2002b: 47). Zu den möglichen Zahlenwerten siehe Anhang 10.2.
- ²⁴ Einordnung nach EUROSTAT 1996.
- ²⁵ Die schwedische Statistik spricht statt von Betriebsformen von ‚Geschäftstypen‘ (*butikstyp*). Diese Bezeichnung wird hier und im Folgenden bei der Ansprache einzelner Geschäfte übernommen, ihre Veränderungsprozesse aber, der üblichen deutschsprachigen Nomenklatur gehorchend, weiterhin als Betriebsformenwandel bezeichnet.
- ²⁶ Laut Erklärung der Kommune Umeå (UMEÅ KOMMUN 2005) ist dort jedoch vorerst kein Warenhaus für den kurzfristigen Bedarf geplant, Ende 2006 begann die Errichtung eines Baumarkts.
- ²⁷ Tätort = schwed. für ‚dichtbesiedelter Ort‘. Als Tätort gilt jede Siedlung mit mindestens 200 Einwohnern, deren Gebäude nicht weiter als 200 m auseinander stehen. Da diese Definition in der schwedischen Statistik ebenfalls dazu dient, die städtische Bevölkerung abzugrenzen, ergibt sich in internationalen Vergleichen ein recht hoher Verstärkerungsgrad Schwedens.
- ²⁸ Zur Diskussion dieser Ergebnisse siehe Kapitel 2.3.
- ²⁹ Hash Tables sind eine intelligente Form der Speicherung, die vor allem bei großen Datenmengen zur Anwendung kommt. Ihr großer Vorteil besteht im schnellen Zugriff auf die Daten, indem sie als Speicheradresse die ID des Datensatzes selbst benutzen. Statt also viele Speicheradressen nach dem angeforderten Datensatz zu durchsuchen, muss in einer Hash Table nur an einer bestimmten Stelle gesucht werden.
- ³⁰ Die Berechnungen dafür wurden durch die Kooperationspartner am Lehrstuhl für Künstliche Intelligenz im Institut für Informatik, namentlich von Manuel Fehler, durchgeführt.
- ³¹ „Essentially, sites are assumed to compete, and individuals to compare.” (PIPKIN 1981: 316).

³² Liegen entsprechende empirische Erkenntnisse vor, ist hier auch eine räumliche Differenzierung möglich. Diese unterbleibt aber an dieser Stelle, da hier lediglich die Eignung des Modells zur Integration von sozialer Kommunikation demonstriert werden soll.

- ARENTZE T. & H. TIMMERMANS: Impact of Institutional Change on Shopping Patterns: Application of a Multi-Agent Model of Activity-Travel Behavior. Proceedings of the 12th Recent Advances in Retailing and Services Science Conference. Eindhoven 2005a.
- ARENTZE T.A. & H.J.P. TIMMERMANS: Representing mental maps and cognitive learning in micro-simulation models of activity-travel choice dynamics. *Transportation* 32 (2005b) 321-340.
- ARENTZE T.A., A.W.J. BORGERS & H.J.P. TIMMERMANS: Multistop-based measurements of accessibility in a GIS environment. *International Journal of Geographical Information Systems* 8 (1994) 343-356.
- BAHRENBURG G., E. GIESE & J. NIPPER: *Statistische Methoden in der Geographie*. Stuttgart 1992.
- BAKER R.G.V.: Multipurpose shopping behaviour at planned suburban shopping centres: a space – time analysis. *Environment and Planning A* 28 (1996) 611-630.
- BARADARAN S. & F. RAMJERDI: Performance of Accessibility Measures in Europe. *Journal of Transportation and Statistics* 4/2-3 (2001) 31-48.
- BARTELS D.: Zur wissenschaftstheoretischen Grundlegung einer Geographie des Menschen. *Erdkundliches Wissen* 19 (1968), Wiesbaden.
- BATTY M.: Agent-based pedestrian modelling. Centre for Advanced Spatial Analysis Working Paper 61. www.casa.ucl.ac.uk/working_papers/paper61.pdf (2003a).
- BATTY M.: Agents, Cells and Cities: New Representational Models for Simulating Multi-Scale Urban Dynamics. Centre for Advanced Spatial Analysis Working Paper 65. www.casa.ucl.ac.uk/working_papers/paper65.pdf (2003b).
- BATTY M. & B. JIANG: Multi-agent simulation: computational dynamics within GIS. In: ATKINSON P. & D. MARTIN (Hg.): *GIS and Geocomputation*. *Innovations in GIS* 7 (2000) 55-71.
- BECK G.: Der verhaltens- und entscheidungstheoretische Ansatz. Zur Kritik eines modernen Paradigmas in der Geographie. In: SEDLACEK P. (Hg.): *Kultur-/Sozialgeographie*. Paderborn 1982, 55-89.
- BENENSON I.: Modelling Population Dynamics in the City: from a Regional to a Multi-Agent Approach. *Discrete Dynamics in Nature and Society* 3 (1999) 149-170.
- BLOTEVOGEL H.H.: Sozialgeographischer Paradigmenwechsel? Eine Kritik des Projekts der handlungszentrierten Sozialgeographie von Benno Werlen. In: MEUSBURGER P. (Hg.):

Handlungszentrierte Sozialgeographie. Benno Werlens Entwurf in kritischer Diskussion. *Erdkundliches Wissen* 130 (1999) 1-33.

BORGERS A. & H. TIMMERMANS: A context-sensitive model of spatial choice behaviour. In: GOLLEDGE R.G. & H. TIMMERMANS (Hg.): *Behavioural modelling in geography and planning*. London 1988, 159-178.

BUCKLIN L.P.: Retail Gravity Models and Consumer Choice. A Theoretical and Empirical Critique. *Economic Geography* 47 (1971) 489-497.

BURA S., F. GUÉRIN-PACE, H. MATHIAN, D. PUMAIN & L. SANDERS: Multiagent Systems and the Dynamics of a Settlement System. *Geographical Analysis* 28/2 (1996) 161-178.

CARLSTEIN T. (HG.): *Timing Space and Spacing Time, Vol. 2: Human Activity and Time Geography*. New York 1978.

COHEN P.R., M.L. GREENBERG, D.M. HART & A.E. HOWE: Trial by fire. Understanding the design requirements for agents in a complex environment. *AI Magazine* 10/3 (1989) 32-48.

COX K.R. & R.G. GOLLEDGE (HG.): *Behavioral Problems in Geography*. Evanston IL (USA) 1969.

COX K.R. & R.G. GOLLEDGE (HG.): *Behavioral Problems in Geography Revisited*. London 1981.

DIBBLE C.: *Theory in a Complex World: Agent-Based Simulations of Geographic Systems*. www.geocomputation.org/1996/abs027.htm (1996), Zugriff: 30.06.2006.

EAGLE T.C.: Context effects in consumer spatial behaviour. In: GOLLEDGE R.G. & H. TIMMERMANS (Hg.): *Behavioural modelling in geography and planning*. London 1988, 299-324.

EUROSTAT: NACE Rev. 1, *Statistische Systematik der Wirtschaftszweige der Europäischen Gemeinschaft*, 2E. Luxembourg 1996.

FORSBERG H.: Institutions, consumer habits and retail change in Sweden. *Journal of Retailing and Consumer Services* 5/3 (1998) 185-193.

FOSCHT T. & B. SWOBODA: *Käuferverhalten. Grundlagen – Perspektiven – Anwendungen*. Wiesbaden ²2005.

FOTHERINGHAM A.S. & R. TREW: Chain image and store-choice modelling: the effects of income and race. *Environment and Planning A* 25 (1993) 179-196.

FOTHERINGHAM A.S., T. NAKAYA, K. YANO, S. OPENSHAW & Y. ISHIKAWA: Hierarchical destination choice and spatial interaction modelling: a simulation experiment. *Environment and Planning A* 33 (2001) 901-920.

- FOX E.J., A.L. MONTGOMERY & L.M. LODISH: Consumer Shopping and Spending across Retail Formats. *Journal of Business* 77/2 Suppl. (2004) S25-S60.
- GAEBE W.: *Urbane Räume*. Stuttgart 2004.
- GALANDA M. & R. WEIBEL: Ein Multiagentensystem zur Generalisierung von Polygonmosaiken in thematischen Karten. *Klagenfurter Geographische Schriften* 23 (2003) 139-166.
- GARVILL J., E. KNUTSSON, A. MARELL & K. WESTIN: Betydelsen av lokalisering av handel för inköps- och resmönster. *TRUM* 4 (2003), Umeå.
- GERHARD U. & B. HAHN: Wal-Mart and Aldi: Two Retail Giants in Germany. *GeoJournal* 62 (2005) 15-26.
- GILBERT N.: When does Social Simulation Need Cognitive Models? In: SUN R. (Hg.): *Cognition and Multi-Agent Interaction. From Cognitive Modeling to Social Simulation*. Cambridge MA (USA) 2006, 428-432.
- GLOOR C., D. CAVENS, E. LANGE, K. NAGEL & W. SCHMID: A Pedestrian Simulation for Very Large Scale Applications. *Klagenfurter Geographische Schriften* 23 (2003) 167-188.
- GLÜCKLER J. & H. BATHELT: Relationale Wirtschaftsgeographie. Grundperspektive und Schlüsselkonzepte. In: GEBHARDT H. & H. BATHELT: *Kulturgeographie. Aktuelle Ansätze und Entwicklungen*. Heidelberg u.a. 2003, 171-190.
- GOLD J.R.: *An Introduction to Behavioural Geography*. Oxford 1980.
- GOLLEDGE R.G.: Reflections on Recent Cognitive Behavioural Research with an Emphasis on Research in the United States of America. *Australian Geographical Studies* 41 (2003) 117-130.
- GOLLEDGE R.G. & R.J. STIMSON: *Analytical behavioural geography*. London 1987.
- GOLLEDGE R.G. & H. TIMMERMANS (HG.): *Behavioural modelling in geography and planning*. London 1988.
- GOULD P. & R. WHITE: *Mental Maps*. New York 1974.
- GRUNDMANN M. & U. HÖLSCHER: *Zeitgeographie: Ein systematischer Überblick gegenwärtiger Ansätze*. IMU-Informationsdienst 7/1 (1989), München.
- GÜSSEFELDT J.: *Kausalmodelle in Geographie, Ökonomie und Soziologie*. Heidelberg 1988.
- GÜSSEFELDT J.: Zur Modellierung von räumlichen Kaufkraftströmen in unvollkommenen Märkten. *Erdkunde* 56 (2002) 351-370.

- HÄGERSTRAND T.: What about people in Regional Science? Papers of the Regional Science Association 24 (1970) 7-21.
- HAGGET P.: Prediction and predictability in geographical systems. Transactions of the Institute of British Geographers NS 19 (1994) 18.
- HANSON S. & J. HUFF: Repetition and day-to-day variability in individual travel patterns: implications for classification. In: GOLLEDGE R.G. & H. TIMMERMANS (Hg.): Behavioural modelling in geography and planning. London 1988, 368-398.
- HARTUNG J., B. ELPELT & K.-H. KLÖSENER: Statistik. Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. München/Wien 1993.
- HECKERMAN D. & M.P. WELLMAN: Bayesian networks. Communications of the Association for Computing Machinery 38/3 (1995) 27-30.
- HECKERMAN D., A. MAMDANI & M.P. WELLMAN: Real-world application of Bayesian networks. Communications of the Association for Computing Machinery 38/3 (1995) 24-26.
- HEINEBERG H.: Einführung in die Anthropogeographie, Humangeographie. Paderborn 2004.
- HEINRITZ G., K. KLEIN & S. POPP: Geographische Handelsforschung. Stuttgart 2003.
- HEUER H.: Sozioökonomische Bestimmungsfaktoren der Stadtentwicklung. Stuttgart 1977.
- HOINVILLE G.: Evaluating community preferences. Environment and Planning 3 (1971) 33-50.
- HOFMAYER, A.: Räumliche versus nichträumliche Strukturmerkmale als Einflussgrößen des Versorgungsverhaltens. Eine vergleichende Analyse der Grundbedarfsdeckung im ländlichen Raum. Wiener Geographische Schriften 65 (1997).
- HOLM E., K. HOLME, K. MÄKILÄ, M. MATTSSON-KAUPPI & G. MÖRTVIK: The SVERIGE spatial microsimulation model. Content, validation, and example applications. GERUM Kulturgeografi 2002:4, Umeå.
- HOLZ-RAU H.-C.: Verkehrsverhalten beim Einkauf. Wechselwirkungen zwischen Siedlungsstruktur und Verkehr. Internationales Verkehrswesen 43 (1991) 300-305.
- HUFF D.L.: Defining and estimating a trading area. Journal of Marketing 28 (1964) 34-38.
- HUI: Prispridningen i dagligvaruhandeln. AB Handelns Utredningsinstitut. Stockholm 1997.
- HUI: Handeln i Sverige. AB Handelns Utredningsinstitut. Stockholm 1999.
- HUNT L.M., B. BOOTS & P.S. KANAROGLOU: Spatial choice modelling: new opportunities to incorporate space into substitution patterns. Progress in Human Geography 28 (2004) 746-766.

- ICA MAXI UMEÅ: Om oss. www.icamaxiumea.se/index.aspx?p=om_oss (2006), Zugriff: 10.08.2006.
- JENSEN-BUTLER C.: Gravity Models as Planning Tools: A Review of Theoretical and Operational Problems. *Geografiska Annaler* 54 (1972) 68-78.
- JENSEN-BUTLER C.: A critique of behavioural geography: An epistemological analysis of cognitive mapping and of Hägerstrand's time-space model. *Arbejdsrapport 12* (1981), Geografisk Institut, Aarhus Universitet, Aarhus.
- JESSEN J.: Als die Fantasie rechnen lernte. *DIE ZEIT* 60/1 (2005) 41.
- JUNG A.F.: Is Reilly's Law of Retail Gravitation Always True? *Journal of Marketing* 24/2 (1959) 62-63.
- KANHÄUSSER C.: Die Prognose von Marktgebieten am Beispiel des Möbele Einzelhandels. Das Huff-Modell auf dem Prüfstand. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Department für Geo- und Umweltwissenschaften, Ludwig-Maximilians-Universität, München 2004.
- KAPLAN D.H., WHEELER J.O. & S.R. HOLLOWAY: *Urban Geography*. Chichester 2004.
- KEMPER F.-J.: Sozialgeographie. In: SCHENK W. & K. SCHLIEPHAKE (Hg.): *Allgemeine Anthropogeographie*. Gotha/Stuttgart 2005, 145-211.
- KLEIN K.: Wandel der Betriebsformen im Einzelhandel. *Geographische Rundschau* 49 (1997) 499-504.
- KLÜGL F.: *Multiagentensimulation. Konzepte, Werkzeuge, Anwendungen*. München 2001.
- KOCH A.: Linking Multi Agent Systems and GIS. Modeling and Simulating Spatial Interactions. www.rwth-aachen.de/geo/Ww/deutsch/MultiAgentsKoch.PDF (2000), Zugriff: 10.07.2006.
- KROBER-RIEL W. & P. WEINBERG: *Konsumentenverhalten*. München ⁸2003.
- KULKE E.: Veränderungen in der Standortstruktur des Einzelhandels. *Wirtschaftsgeographie* 3 (1992), Münster/Hamburg.
- KULKE E.: Auswirkungen des Standortwandels im Einzelhandel auf den Verkehr. *Geographische Rundschau* 46 (1994) 290-296.
- KWAN M.-P.: Space-time and integral measures of individual accessibility: A comparative analysis using a point-based framework. *Geographical Analysis* 30 (1998) 191-216.
- LENNTORP B.: Das PESASP-Modell: Seine theoretische Grundlegung im Rahmen des zeitgeographischen Ansatzes und Anwendungsmöglichkeiten. *Geographische Zeitschrift* 67 (1979) 336-353.

- LINDEMANN R.: Dünnbesiedelte Gebiete in Skandinavien. Entstehung, Entleerung, Erhalt. *Geographische Rundschau* 56/2 (2004) 10-17.
- LINDGREN U.: Simulating the long-term labour market effects of an industrial investment. A micro-simulation approach. *Erdkunde* 53 (1999) 150-162.
- LÖFFLER G.: Konzeptionelle Grundlagen der chorologischen Betrachtungsweise in deterministischen Modellansätzen. In: BAHRENBERG G. et al.: *Geographie des Menschen – Dietrich Bartels zum Gedenken. Bremer Beiträge zur Geographie und Raumplanung* 11 (1987) 195-206.
- LÖFFLER G.: Wer kann künftig noch wo Lebensmittel einkaufen? Strategien und Maßnahmen zur Sicherung der Grundversorgung der Bevölkerung dünn besiedelter Räume in Schweden. In: LÖFFLER G. & H. VOSSMERBÄUMER (Hg.): *Mit unserer Erde leben. Würzburg* 2002, 225-243.
- LÖFFLER G.: Perspektiven der Versorgungssicherung der Bevölkerung in dünn besiedelten Räumen der EU und künftige Handlungsfelder – Fallstudie: Nordschweden. *Europa Regional* 12/02 (2004a) 81-91.
- LÖFFLER G.: Der Wandel der Betriebsformen im Lebensmitteleinzelhandel in Schweden und seine Bedeutung für die Grundversorgung. *Geographische Rundschau* 56/2 (2004b) 18-24.
- LÖFFLER G. & R. KLEIN: Raumfunktionale Modellansätze zur Bestimmung von Standorten und Kaufkraftströmen im Lebensmitteleinzelhandel. *Kurzberichte aus der Bauforschung* 30 (1989) 405-410.
- LÖFFLER G. & D. SCHRÖDL: Retail Business in the Functional Region of Umeå 1985-2000. CERUM Working Paper 56 (2002), Umeå.
- LÖFFLER G., J. RAUH & T. SCHENK: Von der Einzelhandelsgravitation zum Multi-Agenten-System. Modelltheoretische Überlegungen und erste Ergebnisse einer Simulation von Kaufkraftströmen im Lebensmitteleinzelhandel. *Seminarberichte der Gesellschaft für Regionalforschung* 48 (2005) 160-183.
- LOIBL W. & J. PETERS-ANDERS: Transition von suburbanen und ländlichen Landschaften und deren Simulation mit Agenten. *Klagenfurter Geographische Schriften* 23 (2003) 89-122.
- LUKERMAN F. & P.W. PORTER: Gravity and Potential Models in Economic Geography. *Annals of the Association of American Geographers* 50 (1960) 493-504.
- LUNDBERG J., S. LUNDBERG & L. WESTIN: Hushållens efterfrågan på dagligvaror och val av dagligvarubutik i Umeå kommun. CERUM Working Paper 72 (2004), Umeå.
- MEIER KRUKER V. & J. RAUH: *Arbeitsmethoden der Humangeographie*. Darmstadt 2005.

- MEINKE D.: Das Gravitations- und Potentialkonzept als Abgrenzungsmethode großstädtischer Einflussbereiche. *Zeitschrift für Nationalökonomie* 31 (1971) 453-473.
- MEUSBURGER P.: Subjekt – Organisation – Region. Fragen an die subjektorientierte Handlungstheorie. In: Ders. (Hg.): *Handlungszentrierte Sozialgeographie. Benno Werlens Entwurf in kritischer Diskussion. Erdkundliches Wissen* 130 (1999) 95-132.
- MILLER E.J., J.D. HUNT, J.E. ABRAHAM & P.A. SALVINI: Microsimulating urban systems. *Computers, Environment and Urban Systems* 28 (2004) 9-44.
- MILLER E.J.: Integrated Urban Modelling: Some Theoretical Considerations. *Tagungsband AMUS 2006, Aachen. Stadt Region Land* 81 (2006) 71-79.
- O'KELLY M.E.: Trade-area models and choice-based samples: methods. *Environment and Planning A* 31 (1999) 613-627.
- OPENSHAW S.: A geographical solution to scale and aggregation problems in region-building, partitioning and spatial modelling. *Transactions of the Institute of British Geographers* 2 (1977) 459-472.
- OPENSHAW S.: An empirical study of some zone design criteria. *Environment and Planning A* 10 (1978) 781-794.
- OPENSHAW S. & P.J. TAYLOR: A million-or so correlation coefficients: three experiments on the modifiable areal unit problem. In: WRIGLEY N. (Hg.): *Statistical Applications in the Spatial Sciences*. London 1979, 127-144.
- OPENSHAW S. & C. OPENSHAW: *Artificial Intelligence in Geography*. Chichester 1997.
- OPPEWAL, H., H.J.P. TIMMERMANS & J.J. LOUVIERE: Modelling the effects of shopping centre size and store variety on consumer choice behaviour. *Environment and Planning A* 29 (1997) 1073-1090.
- O'SULLIVAN D. & M. HAKLAY: Agent-based models and individualism: is the world agent-based? *Environment and Planning A* 32 (2000) 1409-1425.
- PARKER D.C., S.M. MANSON, M.A. JANSSEN, M.J. HOFFMANN & P. DEADMAN: Multi-Agent Systems for the Simulation of Land-Use and Land-Cover Change: A Review. *Annals of the Association of American Geographers* 93/2 (2003) 314-337.
- PERSSON L.O.: Anpassungsstrategien für Regionen mit starkem Bevölkerungsrückgang – Gibt es solche Strategien in Schweden? *Informationen zur Raumentwicklung* (2003) 719-723.
- PIPKIN J.S.: The concept of choice and cognitive explanations of spatial behavior. *Economic Geography* 57 (1981) 315-331.

- POON J.P.H.: Quantitative methods: not positively positivist. *Progress in Human Geography* 29 (2005) 766-772.
- PRO: Prisundersökningar 1993-2004. Pensionärernas Riksorganisation. Stockholm 2004.
- RANEY B., N. CETIN, A. VÖLLMY, M. VRTIC, K. AXHAUSEN & K. NAGEL: An Agent-Based Microsimulation Model of Swiss Travel: First Results. *Networks and Spatial Economics* 3 (2003) 23-41.
- RAUH J. & R. HESSE: Agentenbasiertes geographisches Informations- und Simulationssystem als Werkzeug zur Shopping-Center-Planung. *Geo-Informations-Systeme* 12 (2002) 10-15.
- RAUH J., T.A. SCHENK, FEHLER M., F. KLÜGL & F. PUPPE: Der simulierte Konsument. In: KLEIN R. & J. RAUH (Hg.): *Analysemethodik und Modellierung in der geographischen handelsforschung*. Schriftenreihe Geographische Handelsforschung 13 (2006), Passau.
- RAUH, J., T.A. SCHENK & P. ULRICH: Einzelhandel und Verkehr – Ergebnisse einer Multi-agentensimulation von Konsumentenentscheidungen. *Zeitschrift für Verkehrswissenschaft* (eingereicht).
- REILLY W.J.: *The law of retail gravitation*. New York 1931.
- REINHOLD T., JAHN H., & C. TSCHUDEN: Die verkehrserzeugende Wirkung von Einkaufszentren auf der grünen Wiese. *Raumforschung und Raumordnung* 55 (1997) 106-114.
- RUSHTON G.: Analysis of spatial behavior by revealed space preference. *Annals of the Association of American Geographers* 59 (1969) 391-400.
- SCB: Svenskarnas resor. Riks-RVU - Resultatrapport för 1998. Statistiska Centralbyrån, Stockholm 1999a.
- SCB: Resvanorundersökningar (RVU) 1996-1998. Statistiska Centralbyrån, Stockholm 1999b.
- SCB: Hushållens Utgifter 1999-2001. Statistiska Centralbyrån, Stockholm 2002a.
- SCB: En longitudinell databas kring utbildning, inkomst och sysselsättning (LOUISE) 1990-1999. Statistiska Centralbyrån, Stockholm 2002b.
- SCB: Statistikdatabasen Befolkning. www.ssd.scb.se/databaser/makro/start.asp. Statistiska Centralbyrån 2006a, Zugriff: 09.08.2006.
- SCB: Vännäs Kommunfakta. Statistiska Centralbyrån 2006b.
- SCHAMP E.W.: Raum, Interaktion und Institution. Anmerkungen zu drei Grundperspektiven der deutschen Wirtschaftsgeographie. *Zeitschrift für Wirtschaftsgeographie* 47 (2003) 145-158.

- SCHARPF F.W.: Interaktionsformen. Akteurszentrierter Institutionalismus in der Politikforschung. Opladen 2000.
- SCHEINER J.: Aktionsraumforschung auf phänomenologischer und handlungstheoretischer Grundlage. *Geographische Zeitschrift* 86 (1998) 50-66.
- SCHELLING T.C.: Dynamic models of segregation. *Journal of Mathematical Sociology* 1 (1971) 143-186.
- SCHENK T.A., F. KLÜGL, G. LÖFFLER, F. PUPPE & J. RAUH: Multiagentensysteme zur Simulation von Konsumentenverhalten. *Hallesches Jahrbuch Geowissenschaften A* 26 (2004) 117-130.
- SCHENK T.A., G. LÖFFLER & J. RAUH: Agent based simulation of consumer behaviour in grocery shopping on a regional level. *Workshop Proceedings Agent Based Models of Market Dynamics and Consumer Behaviour*. Guildford, Surrey 2006.
- SCHRÖDL D., G. LÖFFLER & J. RAUH: Agent based simulation of fashion shopping in the functional region of Regensburg. *Workshop Proceedings Agent Based Models of Market Dynamics and Consumer Behaviour*. Guildford, Surrey 2006.
- SEDLACEK P: Kulturgeographie als normative Handlungswissenschaft. In: Ders. (Hg.): *Kultur-/Sozialgeographie*. Paderborn 1982, 187-216.
- SEMBOLONI F., J. ASSFALG, S. ARMENI, R. GIANASSI & F. MARSONI: CityDev, an interactive multi-agents urban model on the web. *Computers, Environment and Urban Systems* 28 (2004) 45-64.
- STRAUCH D.: Ein neuer mikroskopisch-dynamischer Modellansatz für eine integrierte Flächennutzungs- und Verkehrsplanung: Das Simulationsmodell ILUMASS. *Klagenfurter Geographische Schriften* 23 (2003) 123-137.
- SUN R. (Hg.): *Cognition and Multi-Agent Interaction. From Cognitive Modeling to Social Simulation*. Cambridge MA (USA) 2006.
- SUNTUM U. van: Kaufkraftströme im Einzelhandel. Ein gravitationstheoretisches Prognosemodell. *Raumforschung und Raumordnung* 58 (2000) 448-456.
- THILL J.-C.: Modeling store choices with cross-sectional and pooled cross-sectional data: a comparison. *Environment and Planning A* 27 (1995) 1303-1315.
- THOMALE E.: Geographische Verhaltensforschung. *Marburger geographische Schriften* 61 (1974) 9-30.
- TIMMERMANS H.: Multipurpose trips and individual choice behaviour: an analysis using experimental design data. In: GOLLEDGE R.G. & H. TIMMERMANS (Hg.): *Behavioural modelling in geography and planning*. London 1988, 356-367.

- TIMMERMANS H. & P. VAN DER WAERDEN: Modelling sequential choice processes: the case of two-stop trip chaining. *Environment and Planning A* 24 (1992) 1483-1490.
- TIMMERMANS H., T. ARENTZE & C.-H. JOH: Analysing space-time behaviour: new approaches to old problems. *Progress in Human Geography* 26 (2002) 175-190.
- TOLMAN E.C.: Cognitive maps in rats and men. In: DOWNS R.M. & D. STEA (Hg.): *Image and Environment. Cognitive Mapping and Spatial Behavior*. Chicago 1973, 27-50.
- TORRENS P.M.: Can geocomputation save urban simulation? Throw some agents into the mixture, simmer, and wait... Centre for Advanced Spatial Analysis Working Paper 32. www.casa.ucl.ac.uk/paper32.pdf (2001).
- TORRENS P.M. & D. O'SULLIVAN: Editorial. Cellular automata and urban simulation: where do we go from here? *Environment and Planning B* 28 (2001) 163-168.
- TROITZSCH K.G.: Self-organisation in social systems. In: GLADITZ J. & K.G. TROITZSCH (Hg.): *Computer Aided Sociological Research. Proceedings of Workshop "Computer Aided Sociological Research" (CASOR '89)*. Berlin 1990, 353-377.
- TROITZSCH K.G.: Computersimulationen in den Sozialwissenschaften. In: HERZ D. & A. BLÄTTE: *Simulation und Planspiel in den Sozialwissenschaften. Eine Bestandsaufnahme der internationalen Diskussion*. Münster/Hamburg/London 2000, 181-203.
- TZSCHASCHEL S.: Geographische Forschung auf der Individualebene – Darstellung und Kritik der Mikrogeographie. *Münchener geographische Hefte* 53 (1986).
- ULRICH P.: Mobilität und Verkehr in Zusammenhang mit dem Lebensmitteleinkauf: Berechnungen und Analyse für die Region Umeå unter Verwendung von agentenbasierter Mikrosimulation. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Geographisches Institut, Universität Würzburg, 2005.
- UMEÅ KOMMUN: Byggvarukedja till Klockarbäcken. www.umea.se/arkiv/arkivnhyheter/5.4dc43037107a242e4d47ff26218.html (2005), Zugriff: 15.08.2006.
- VAG A. & L. BECK: Simulating Dynamically Changing Consumer Preferences: The Integration of Conjoint Analysis and Multi-Agent Simulation. *Workshop Proceedings Agent Based Models of Market Dynamics and Consumer Behaviour*. Guildford, Surrey 2006.
- VELDHUISEN J.: Utilities, preferences and choice. Some experiments to assess the usefulness of three measurement procedures for the judgement and choice of residential situations. In: GOLLEDGE R.G. & H. TIMMERMANS (Hg.): *Behavioural modelling in geography and planning*. London 1988, 223-244.
- WADDELL P., A. BORNING, M. NOTH, N. FREIER, M. BECKE & G. ULFARSSON: Microsimulation of Urban Development and Location Choices: Design and Implementation of UrbanSim. *Networks and Spatial Economics* 3 (2003) 43-67.

- WEIGELT W.: Multiagentensysteme und Datenaggregation zur Marktgebietsabgrenzung und Umsatzprognose im Einzelhandel – untersucht am Beispiel der Funktionalregion Umeå (Nordschweden). Unveröffentlichte Diplomarbeit, Geographisches Institut, Universität Würzburg, 2006.
- WERLEN B.: Gesellschaft, Handlung und Raum. Grundlagen handlungstheoretischer Sozialgeographie. *Erdkundliches Wissen* 89 (1987), Stuttgart.
- WERLEN B.: Handlungszentrierte Sozialgeographie. Replik auf die Kritiken. In: MEUSBURGER, P. (Hg.): *Handlungszentrierte Sozialgeographie*. Benno Werlens Entwurf in kritischer Diskussion. *Erdkundliches Wissen* 130 (1999) 247-268.
- WERLEN B.: *Sozialgeographie*. Bern 2000.
- WHITE R. & G. ENGELEN: High-resolution integrated modelling of the spatial dynamics of urban and regional systems. *Computers, Environment and Urban Systems* 24 (2000) 383-400.
- WHITMEYER J.M.: A deductive approach to friendship networks. *Journal of Mathematical Sociology* 26 (2002) 147-165.
- WIESSNER R.: Verhaltensorientierte Geographie. Die angelsächsische behavioral geography und ihre sozialgeographischen Ansätze. *Geographische Rundschau* 30 (1978) 420-426.
- WIRTH E.: Die deutsche Sozialgeographie in ihrer theoretischen Konzeption und in ihrem Verhältnis zu Soziologie und Geographie des Menschen. *Geographische Zeitschrift* 65 (1977) 161-187.
- WIRTH E.: Kritische Anmerkungen zu den wahrnehmungszentrierten Forschungsansätzen in der Geographie. Umweltpsychologisch fundierter „Behavioural Approach“ oder Sozialgeographie auf der Basis moderner Handlungstheorien? *Geographische Zeitschrift* 69 (1981) 161-189.
- WIRTH E.: Handlungstheorie als Königsweg einer modernen Regionalen Geographie? *Geographische Rundschau* 51 (1999) 57-64.
- YOUNG W.: Thresholds and spatial analysis models. In: GOLLEDGE R.G. & H. TIMMERMANS (Hg.): *Behavioural modelling in geography and planning*. London 1988, 138-158.
- ZHANG J., H. TIMMERMANS & A. BORGERS: Modeling Reactive Agents: Analysis of Household Synchronized Shopping Decisions. *Proceedings of the 12th Recent Advances in Retailing and Services Science Conference*. Eindhoven 2005.

10.1 Fragebogen der Konsumentenbefragung (2002)

	Ditt eget intervjunummer	<input type="text"/>
	Plats: Centrum (1), Ersboda (2), Strömpilen (3)	<input type="text"/>
Datum:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Klockslag:	Dag	Månad
Kön?	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Kvinna (1) man (2)	Tim	Min
	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<hr/>		
1. Var kom Ni närmast ifrån när Ni kom hit?		<input type="text"/>
a. Arbetet	(1)	
b. Bostaden	(2)	
c. Annat affärsområde i Umeå.	(3)	
d. Annat: _____	(4)	
2. Hur lång tid tog det för Er att komma hit i dag? Ange i minuter.		<input type="text"/>
(Ange tiden från den plats i fråga 1, där man startade resan.)		
3. Hur har ni tagit er hit i dag?		
a. Till fots	(1)	
b. Buss	(2)	
c. Cykel	(3)	
d. Moped eller, motorcykel	(4)	<input type="text"/>
e. Egen bil	(5)	
f. I bil tillsammans med släktingar, grannar eller vänner.	(6)	
4. Var köper Ni vanligtvis Era dagligvaror?		
a. Umeå centrum	(1)	
b. I ett shoppingcenter eller fackhandel i utkanten av staden	(2)	<input type="text"/>
c. Där Ni bor	(3)	
5. Var köper Ni vanligtvis Era kläder?		
a. Umeå centrum	(1)	
b. I ett shoppingcenter eller fackhandel i utkanten av staden	(2)	<input type="text"/>
c. Där Ni bor	(3)	
6. Var köper ni vanligtvis husgeråd?		
a. Umeå centrum	(1)	
b. I ett shoppingcenter eller fackhandel i utkanten av staden	(2)	<input type="text"/>
c. Där Ni bor	(3)	
7. Vilka varor har ni köpt i dag?		
a. I huvudsak Livsmedel	(1)	<input type="text"/>
b. Andra varor	(2)	
8. Hur mycket har Ni handlat för i dag? Anges i 100 tal kronor		<input type="text"/>
9. Hur ofta köper ni Era livsmedel här?		
a. Dagligen	(1)	
b. Flera gånger i veckan	(2)	
c. En gång i veckan	(3)	<input type="text"/>
d. En till två gånger i månaden	(4)	
e. Mera sällan	(5)	
10. Vilka av följande tre aspekter är viktigast för Er när Ni gör inköp ?		<input type="text"/>
a. Låga priser och många extraerbjudanden	(1)	
b. Hög kvalitet och fräscha produkter	(2)	
c. Brett variationsrikt utbud / Stort urval	(3)	
11. Vilka av följande tre aspekter är viktigast för Er i fråga om Service?		<input type="text"/>
a. Mycket och kvalificerad betjäning	(1)	
b. Tiltalande atmosfär och vänlig personal	(2)	
c. Korta väntetider respektive många kassor	(3)	

12. Var föredrar Ni att handla? |_|
- a. Nära till bostadsorten/bostaden? (1)
 - b. Nära till arbetsplats eller utbildningsställe (2)
 - c. Nära till flera andra butiker (3)

13. Vilken av följande tre aspekter är viktigast för Er? |_|
- a. Lätt att nå med buss (1)
 - b. Lätt att nå med bil (2)
 - c. Gratis parkering (3)

14. Bor Ni inom Umeå kommun? Ja (1) |_|

Om Ni inte bor inom Umeå kommun; Hur länge skall Ni stanna i Umeå denna gång?

Bara i dag. (2), 2-3 dagar (3) mer än 3 dagar (4)

15. Har Ni gjort flera ärenden till andra verksamheter i Umeå under denna resa eller planerar Ni att utföra flera ärenden i Umeå tätort? |_|
- Ja (1) Nej (0)

Om Nej, gå vidare till fråga 18.

16. Om ja, inom vilka områden? Sätt X för de aktuella alternativen:
- 1. Inköp i andra butiker (1) |_|
 - 2. Arbete/skola (2) |_|
 - 3. Läkar- eller sjukhusbesök (3) |_|
 - 4. Andra tjänster (4) |_|
 - 5. Besök hos myndigheter (5) |_|
 - 6. Privata besök (hos vänner och bekanta) (6) |_|
 - 7. Biobesök (7) |_|
 - 8. Konsert eller teaterbesök (8) |_|
 - 9. Besök vid eller deltagande i ett sportevenemang (9) |_|
 - 10. Besök på en utställning eller ett museum (10) |_|
 - 11. Gå på restaurang eller café (11) |_|
 - 12. Annat _____ (12) |_|

17. Vilket är huvudskälet till Ert besök i Umeå-i dag? |_|
- (Var vänlig fyll i något av alternativen 1-12 ovan!)

18. Hur gammal är Ni!? |_|_|

19. Hur många personer tillhör Ert hushåll? |_|

20. Hur många bilar förfogar Ni över inom hushållet? |_|

21. Hur stor är Ert hushålls månads inkomst (efter skatt)? (1 tusentals kronor.) |_|_|_|.0|0|0|

22. Var bor Ni?

Bostadsortens namn: _____

Stadsdel eller ortsdel _____

Gatuadress: _____

Gata nr

Postnummer |_|_|_|_| |_|_|

Tack för Er medverkan! _____

10.2 Erläuterungen zu den Variablen der LOUISE-Daten

Folgende Variablen wurden aus dem LOUISE-Datensatz (SCB 2002b) für das Jahr 1997 extrahiert:

Variable	Kurzbez.	Variablentyp, Werte
Personen ID	PID	Natürliche Zahl
Geburtsjahr	FodAr	Jahreszahl
Geschlecht	Sex	1: weiblich; 2: männlich
Kommune	Kommun	Vierstellige, natürliche Zahl
Nordkoordinate	N	Entfernung vom Äquator in Metern
Ostkoordinate	E	Abstand vom Nullmeridian in Metern
Familien ID	FamID	Natürliche Zahl, gleich der PID des ältesten Familienmitglieds
Verfügbares Einkommen	DispInk	In 100 SEK
Konsumgewicht	KonsViktF	Dezimalzahl
Arbeitsstellennummer	CFAR	Natürliche Zahl
Nordkoordinate der Arbeitsstelle	astN	Entfernung vom Äquator in Metern
Ostkoordinate der Arbeitsstelle	astE	Abstand vom Nullmeridian in Metern
Familientyp	FamTypF	Diskret

Erläuterungen:

- Konsumgewicht:

Das Konsumgewicht einer Familie berechnet sich aus der Summe der Konsumgewichte ihrer Mitglieder nach folgender Aufstellung:

Kind im Alter von 0 bis 3 Jahren: 0,56
 Kind im Alter von 4 bis 10 Jahren: 0,66
 Kind im Alter von 11 bis 17 Jahren: 0,76
 Ein Erwachsener: 1,16
 Zwei Erwachsene (zusammen): 1,92
 Jeder weitere Erwachsene: 0,96

- Familientyp:

- 11: Verheiratet (Partnerschaft) ohne Kinder
- 12: Verheiratet (Partnerschaft) mit mindestens einem Kind unter 18
- 13: Verheiratet (Partnerschaft) mit jüngstem Kind über 18
- 21: Zusammenwohnende ohne Kinder
- 22: Zusammenwohnende mit mindestens einem Kind unter 18
- 23: Zusammenwohnende mit jüngstem Kind über 18
- 31: Alleinstehender Vater mit mindestens einem Kind unter 18
- 32: Alleinstehender Vater mit jüngstem Kind über 18
- 41: Alleinstehende Mutter mit mindestens einem Kind unter 18
- 42: Alleinstehende Mutter mit jüngstem Kind über 18
- 50: Übrige Alleinstehende (Singles)
- 00: Personen mit unvollständigen oder widersprüchlichen Angaben

10.3 Daten für die Lebensmittelgeschäfte

10.3.1 Daten aus der Arbeitsstellenstatistik

Variable	Beschreibung	Einheit
OrgID	Unternehmensnummer	
Cfar	Arbeitsstellenummer	
Butiknamn	Name des Geschäfts	
Butikort	Ort	
Kommun	Gemeindeschlüssel	
Kedja	Kettenzugehörigkeit	
Butikstyp	Geschäftstyp (Betriebsformat)	
Saljyta	Verkaufsfläche	m ²
Sni92	Branchenschlüssel nach EUROSTAT 1996	
Östkoord	Ostkoordinate	Meter
Norrkoord	Nordkoordinate	Meter
Omsättning	Umsatz (bei Einbetriebsunternehmen)	1000 SEK
OmsKlass	Umsatzklasse (bei Filialen)	

Unterschiedene Geschäftstypen / Betriebsformate (Erläuterungen nach LÖFFLER 2004: 83):

- 200: Varumarknad (Warenhaus), mehr als 800 m² Verkaufsfläche, 50 bis 90% des Umsatzes aus Lebensmitteln.
- 210: Dagligvarumarknad (Warenhaus des täglichen Bedarfs), mehr als 800 m² Verkaufsfläche, mehr als 90% des Umsatzes aus Lebensmitteln.
- 220: Varuhall (Supermarkt), 400 bis 800 m² Verkaufsfläche, 50 bis 90% des Umsatzes aus Lebensmitteln.
- 230: Dagligvaruhall (Supermarkt des täglichen Bedarfs), 400 bis 800 m² Verkaufsfläche, mehr als 90% des Umsatzes aus Lebensmitteln.
- 240: Servicebutik / 270: Trafikbutik (Servicegeschäfte / Tankstellengeschäfte), Verkaufsstellen mit maximal 250 m² Verkaufsfläche und Öffnungszeiten von mehr als 70 Stunden pro Woche.
- 280: Övriga dagigvarubutiker (Übrige Geschäfte des täglichen Bedarfs, ‚Lanthandel‘), weniger als 400 m² Verkaufsfläche, keine Service-/Trafikbutiker.

10.3.2 Daten aus eigener Erhebung

Einstufung der Geschäfte auf einer ordinalen Skala mit jeweils drei Stufen nach folgendem Kriterienkatalog:

Attribut	Kriterien zur Bewertung
Qualität	Qualität der Frischwaren: <ul style="list-style-type: none"> • Obst / Gemüse • Fleisch / Wurst • Fisch
Beratung	<ul style="list-style-type: none"> • Personaleinsatz • Vorhandensein einer Bedienungstheke
Atmosphäre	Subjektive Einstufung nach folgenden Kriterien: <ul style="list-style-type: none"> • Sauberkeit • Präsentation der Ware (Kisten / aufgeräumte Regale, ...) • Innere Gliederung, Breite der Wege • Zustand / Pflege der Einrichtung • Eingangsbereich
Wartezeit	<ul style="list-style-type: none"> • Personaleinsatz • Zahl der Kassen

10.4 Abbildungsverzeichnis

Fig. 4-1: Variablen der Nachfrageseite	61
Fig. 4-2: Geschäftsattribute aus den beiden verfügbaren Quellen	62
Fig. 4-3: Lage und Aufbau des Untersuchungsgebiets.	63
Fig. 4-4: Bevölkerungsdichte und Altersaufbau der Församlingar 1997.	65
Fig. 4-5: Rasterkarte der Bevölkerungsdichte 1997.	66
Fig. 4-6a-d: Bevölkerungsentwicklung (in %) in den Kommunen insgesamt (a), Hauptorten (b) und Kommunen ohne Hauptorte (c), sowie Bevölkerungsanteile der Hauptorte (d) (SCB 2006a).	67
Fig. 4-7: Erwerbsquoten und Haushaltsgrößen nach Församlingar 1997.	68
Fig. 4-8: Index des verfügbaren Haushaltseinkommens nach Församlingar 1997, Mittelwert=100.	69
Fig. 4-9: Pendlerverflechtungen in der Region Umeå nach Kommunen 1997.	70
Fig. 4-10: Kaufkraftbindungsquoten nach Församlingar 1997.	71
Fig. 4-11: Einwohner pro Lebensmittelgeschäft in den einzelnen Kommunen (kn) des Untersuchungsgebiets, Stadt Umeå (1997 und 2004; SCB 2006, LÖFFLER et al. 2005: 174 und eigene Erhebung) und Schweden gesamt (2002; LÖFFLER 2004a: 82).	72
Fig. 4-12a, b: Entfernung zum nächsten Angebotsort 1997 und 2004.	73
Fig. 4-13a, b: Betriebsformenwandel im Lebensmitteleinzelhandel in der Region Umeå, Anzahl der Geschäfte und Verkaufsfläche nach Geschäftstypen. Darstellung: Werner Weigelt.	75
Fig. 4-14a, b: Geschäftsstandorte mit Geschäftstypen und Verkaufsfläche der Geschäfte 1997 und 2004, Region. Entwurf: Tilman Schenk, Zeichnung: Tanja Credner.	76
Fig. 4-15a, b: Geschäftsstandorte mit Geschäftstypen und Verkaufsfläche der Geschäfte 1997 und 2004, Stadt. Entwurf: Tilman Schenk, Zeichnung: Tanja Credner.	75
Fig. 5-1: Bestandteile eines Simulationsmodells für Konsumentenentscheidungen. Eigener Entwurf.	79
Fig. 5-2: Werte des Pseudo-R-Quadrates nach Nagelkerkes (Trennwert: 0,5) und des Gütemaßes nach NIPPER ($\in [-\infty; 1]$) für die Regressionsmodelle (5.1a-h).	81

Fig. 5-3: Statistische Maßzahlen der Präferenzen. Quelle: Eigene Berechnungen nach (5.1a-h) und (5.2) aus Befragungsergebnissen von LÖFFLER & SCHRÖDL (2002).	81
Fig. 5-4: Die Verrauschung der Vorauswahl	84
Fig. 5-5: Anzahl der Äquivalenzklassen der Geschäfte bei der Verknüpfung von Kriterien. Die maximal mögliche Zahl bezieht sich auf die möglichen Kombinationen der Attributwerte, diese sind jedoch durch die Zahl der Geschäfte (132) nach oben beschränkt.	93
Fig. 5-6: Maximal erreichbare Gütemaßwerte bei Verwendung von Einzelkriterien als Geschäftsattraktivität (ohne Vorauswahl, außer falls anders angegeben). Bei den Kriterien Qualität, Beratung und Atmosphäre sind die umsatzorientierte und empirische Rangfolge der Geschäfte identisch.	95
Fig. 5-7: Maximal erreichbare Gütemaßwerte bei Verknüpfung von Einzelkriterien zu kombinierter Geschäftsattraktivität (umsatzorientierte Rangfolge, ohne Vorauswahl).	96
Fig. 5-8: Maximal erreichbare Gütemaßwerte bei Verknüpfung von Einzelkriterien mit der Distanz.	97
Fig. 5-9: Vergleich von Gütemaßwerten bei Experimenten mit und ohne Präferenzen. Mit * gekennzeichnete Simulationsläufe beinhalteten eine Geschäftsvorauswahl (nach Kap. 5.3.1).	98
Fig. 5-10: Verlauf einer logistischen Funktion mit den Aufgaben der Parameter a , b und c .	100
Fig. 5-11: Gefundene Parameterwerte für die drei Wahrnehmungsfunktionen.	101
Fig. 5-12: Standorte der Brücken über die Flüsse Umeälv und Vindelälv.	103
Fig. 5-13: Ausgewählte Agenten für die Biographien-Analyse mit zugehörigen Eigenschaften. LR = Ländlicher Raum, ZO = Zentraler Ort, U = Umeå. Präferenzen nach Gleichungen (5.1d-f).	106
Fig. 5-14a, b: Einkaufsbiographien zweier Agenten im Ländlichen Raum: Västeråker (a) und Västerbäck (b).	107
Fig. 5-14c: Einkaufsbiographien eines Agenten im Ländlichen Raum: Vännäsby. Eigene Berechnungen.	108
Fig. 5-15a: Einkaufsbiographie eines Pendler-Agenten: Vännäsby. Eigene Berechnung.	109
Fig. 5-15b, c: Einkaufsbiographien zweier Pendler-Agenten: Täfteå (b) und Röbäck (c). Eigene Berechnungen.	110
Fig. 5-16a: Einkaufsbiographien eines Agenten eines Stadtbewohners in Umeå / Mariehem. Eigene Berechnungen.	111

Fig. 5-16b: Einkaufsbiographien eines Agenten eines Stadtbewohners in Umeå / Mariehem. Eigene Berechnungen.	112
Fig. 5-17a: Umsatzfehlschätzungen einzelner Geschäftsstandorte in der Region Umeå. Eigene Berechnungen.	113
Fig. 5-17b: Umsatzfehlschätzungen einzelner Geschäftsstandorte in der Stadt Umeå. Eigene Berechnungen.	114
Fig. 5-18: Prozentuale Abweichung der Umsatzschätzungen der Simulation von den tatsächlichen Geschäftsumsätzen in den Församlingar und der Stadt Umeå. Eigene Berechnungen.	115
Fig. 5-19: Simulierte Kaufkraftbindungsquoten der Församlingar und Stadt Umeå. Eigene Berechnungen.	116
Fig. 5-20: Gütemaßwerte $R^{(2)}$ nach (5.5a) (außer anders angegeben) für alle und für Gruppen von Geschäften. Simulationsjahr 1997, eigene Berechnungen.	117
Fig. 6-1: Gütemaßwerte nach (5.5a) aus Experimenten unter Verwendung des Mikro- und Makroansatzes (LÖFFLER et al. 2005: 178f). Eigene Berechnungen.	122
Fig. 6-2: Besetzungszahlen der gewählten Klassen aus der Konsumentenbefragung (nach WEIGELT 2006: 105, verändert).	126
Fig. 6-3: Konsumpräferenzen der gewählten Klassen aus der Konsumentenbefragung (nach WEIGELT 2006: 105, verändert).	126
Fig. 6-4: Hierarchische Rasterung des Untersuchungsgebiets mit einem Schwellenwert von 200 Personen je Rastermasche (WEIGELT 2006: 55). Grün eingefärbte Bereiche sind bevölkerungsleer.	127
Fig. 6-5: Ergebnis des Nachbarschaftsalgorithmus für das Stadtgebiet von Umeå. Identisch eingefärbte Koordinatenpunkte bilden Aggregate. Rot eingekreist ist ein Beispiel für Zusammenfassungsanomalien (WEIGELT 2006: 59).	129
Fig. 6-6: Ergebnisse der Aggregation nach dem KMeans-Verfahren (WEIGELT 2006: 69).	130
Fig. 7-1: Gütemaßwerte $R^{(2)}$ nach (5.5a) (außer anders angegeben) für alle und für Gruppen von Geschäften, Simulationsjahre 1997 und 2004.	132
Fig. 7-2a, b: Umsatzgewinne und –verluste einzelner Geschäfte im Simulationsjahr 2004 gegenüber 1997 in der Stadt (a) und Region Umeå (b). Eigene Berechnungen. Schließungen und Neueröffnungen ergeben sich aus der Geschäftskartierung 2004.	133
Fig. 7-3a, b: Einkaufsbiographie einzelner Agenten mit Wohnort in Västeråker (a) und Umeå / Mariehem (b) für das Simulationsjahr 2004. Eigene Berechnungen.	135
Fig. 7-3c: Einkaufsbiographien eines einzelnen Agenten mit Wohnort in Obbola für das Simulationsjahr 2004. Eigene Berechnungen.	136

Fig. 7-4: Vom SVERIGE-Modell prognostizierte Veränderungen der lebensmittelrelevanten Kaufkraft nach Kommunen 2015.	137
Fig. 7-5a, b: Umsatzgewinne und –verluste einzelner Geschäfte im Simulationsjahr 2015 gegenüber 2004 in der Stadt (a) und Region Umeå (b). Eigene Berechnungen.	138
Fig. 7-6a, b: Einkaufsbiographien einzelner Agenten mit Wohnort in Tavelstö (a) und Innertavle (b) für das Simulationsjahr 2015. Eigene Berechnungen.	140
Fig. 7-6c: Einkaufsbiographie eines einzelnen Agenten mit Wohnort in Umeå / Gimnäs für das Simulationsjahr 2015. Eigene Berechnungen.	141
Fig. 7-7: Distanzen je Einkauf in Kilometer. Gegenüberstellung der Modellergebnisse und der nationalen Untersuchungen (SCB 1999a, SCB 1999b) für einzelne Haushaltstypen. Quelle: RAUH et al. (eingereicht).	142
Fig. 7-8: Veränderungen der durch das Modell errechneten Distanzaufwände einzelner Familien zwischen den Angebotsstrukturen 1997 und 2004. Eigene Berechnungen. Abkürzungen: DE: Distanz pro Einkauf; D: Gesamtdistanzaufwand pro Jahr; H: Anzahl der Einkäufe pro Jahr.	143
Fig. 7-9a, b: Verteilung der Kaufkraft (SEK, gerundet) einer Familie in Nordmaling auf verschiedene Geschäftsstandorte 1997 (a) und 2004 (b). Berechnung und Darstellung: Philip Ulrich.	143
Fig. 7-10: Gütemaßwerte der Simulation mit <i>Beliefs</i> in Abhängigkeit von der Simulationszeit (Anzahl Iterationen). Eigene Berechnungen.	145
Fig. 7-11: Gütemaßwerte der Simulation mit <i>Beliefs</i> unter Einfluss von Bekanntschaftsnetzwerken in Abhängigkeit von der Simulationszeit (Anzahl Iterationen). Eigene Berechnungen.	148
Fig. 7-12a, b: Einkaufsbiographien eines Agenten in verschiedenen Einkaufssituationen, in denen er jeweils nur auf den Preis (a) oder das Sortiment (b) achtet. Simulationsjahr 1997, eigene Berechnungen.	150
Fig. 7-12c, d: Einkaufsbiographien eines Agenten in verschiedenen Einkaufssituationen, in denen er nur auf die Qualität des Angebots (c) bzw. auf alle Kriterien (d) achtet. Simulationsjahr 1997, eigene Berechnungen.	151

10.5 Publikationsverzeichnis

Bereits erschienen:

- SCHENK T.A., KLÜGL F., LÖFFLER G., PUPPE F. & J. RAUH: Multiagentensysteme zur Simulation von Konsumentenverhalten. Hallesches Jahrbuch Geowissenschaften A 26 (2004) 117-130.
- SCHENK T.A., LÖFFLER G., RAUH J., KLÜGL F. & F. PUPPE: An Agent Based Simulation Model on Consumer Choice Behaviour in Food Retailing – Methodological Framework and First Results. Proceedings of the 12th Recent Advances in Retailing and Services Science Conference, Orlando. Eindhoven 2005.
- LÖFFLER G., RAUH, J. & T. SCHENK: Von der Einzelhandelsgravitation zum Multi-Agenten-System. Modelltheoretische Überlegungen und erste Ergebnisse einer Simulation von Kaufkraftströmen im Lebensmitteleinzelhandel. Seminarberichte der Gesellschaft für Regionalforschung 48 (2005) 160-183.
- SCHENK T.A., LÖFFLER G. & J. RAUH: Agent based simulation of consumer behaviour in grocery shopping on a regional level. Workshop Proceedings Agent Based Models of Market Dynamics and Consumer Behaviour. Guildford, Surrey 2006.
- RAUH, J.; SCHENK, T.A.; KLÜGL, F.; FEHLER, M. & F. PUPPE: Der simulierte Konsument. In: KLEIN, R. & J. RAUH: Analysemethodik und Modellierung in der geographischen Handelsforschung Schriftenreihe Geographische Handelsforschung 13 (2007) 127-152, Passau.
- SCHENK, T.A.; LÖFFLER, G.; RAUH, J.: Agent based simulation of consumer behaviour in grocery shopping on a regional level. Journal of Business Research 60 (2007) 894-903.

Angenommen / im Druck:

- SCHENK, T.A.: Simulierte Konsumenten. Agentenbasierte Simulation von Einkaufsentscheidungen im Lebensmitteleinzelhandel. ACHEN, M, P. PEZ & M. GATHER (Hg.): Handel, Verkehr, Konsum. Schriften zur Mobilitäts- und Verkehrsforschung (2007).
- RAUH, J.; SCHENK, T.A.; ULRICH, P.: Einzelhandel und Verkehr – Ergebnisse einer Multiagentensimulation von Konsumentenentscheidungen. Zeitschrift für Verkehrswissenschaft (2007).

Vorträge / Tagungsbeiträge:

24.08.2004	Umeå (Schweden)	Institutskolloquium Kulturgeografiska Institutionen, Universitet Umeå
09.10.2004	Halle (Saale)	Jahrestagung AK Quant. Methoden und GIS der Dt. Gesellschaft für Geographie
29.05.2005	Kiruna (Schweden)	Internat. Workshop Agent Based Simulation
22.07.2005	Orlando, FL (USA)	12th Int. Conference on Recent Advances in Retail and Services Science (EIRASS)
15.09.2005	Kiruna	Kolloquium
17.01.2006	Guildford (UK)	Tagung: Agent-based models of market dynamics and consumer behaviour, Univ. of Surrey
23.06.2006	Erfurt	Jahrestagung AK Verkehr / Geogr. Handelsforschung der Dt. Gesellschaft für Geographie
19.11.2007	Lancaster (UK)	Kolloquium Lancaster University, Management School