

# VON DER EINZELHANDELSGRAVITATION ZUM MULTI-AGENTEN-SYSTEM – MODELLTHEORETISCHE ÜBERLEGUNGEN UND ERSTE ERGEBNISSE EINER SIMULATION VON KAUFKRAFTSTRÖMEN IM LEBENSMITTELEINZELHANDEL

Günter Löffler, Jürgen Rauh & Tilman Schenk

## Kurzfassung

Im Rahmen eines laufenden Forschungsprojekts wird ein agentenbasiertes Mikromodell zur Simulation von Konsumentenverhalten entwickelt. Die Grundlage bilden Daten der Lebensmittelgeschäfte und auf Individuen bezogene Einwohnerdaten der Region Umeå, Nordschweden, die aus früheren Untersuchungen und dank einer Kooperation mit dem Spatial Modelling Centre (SMC, Kiruna) zur Verfügung stehen bzw. vor Ort genutzt werden können. Während mittels eines Multi-Agenten-Systems die individuelle Einkaufsentscheidung, d.h. die Wahl des Geschäftes, auf der Ebene der gesamten Region (über 70.000 Haushalte und 132 Geschäfte auf 13.500 km) simuliert wird, wurden zusätzlich auf der Nachfrageseite räumliche Aggregate gebildet, um alternativ die Kaufkraftströme mittels eines Potenzialansatzes zu schätzen. Damit ist die Möglichkeit gegeben, die jeweiligen Verfahren hinsichtlich der zu erzielenden Qualität der Umsatzschätzung, gemessen an den realen Umsätzen der Geschäfte, miteinander zu vergleichen. Gleichzeitig kann die Eignung unterschiedlicher Variablen wie Verkaufsfläche, Sortiment, Preis, Qualität usw. zur Operationalisierung des Nutzens bzw. der Attraktivität der Geschäfte im Potenzialansatz und deren Verknüpfungen ebenso getestet werden wie der Einfluss der Distanz als den Nutzen mindernde Größe. Während in der Mikrosimulation die Einkaufsentscheidung der Agenten u. a. ebenfalls auf diesen Geschäftsattributen basiert, die zusätzlich mit aus sozioökonomischen Merkmalen abgeleiteten Präferenzen gewichtet werden, lassen sich für die Aggregate dafür nur kollektive Präferenzen verwenden. Auf der Basis nutzentheoretischer Überlegungen und der Einbindung der aus den sozioökonomischen Merkmalen abgeleiteten Präferenzen für die Geschäftsattribute können einige formale Analogien zwischen den Modellansätzen auf der Makro- und Mikroebene aufgezeigt werden. Diese formalen Analogien bieten die Möglichkeit einer fachtheoretischen Interpretation der Modellgrößen beider Ansätze und können dazu beitragen, eine Brücke zwischen den Modellebenen zu schlagen.

## Gliederung

1. Einleitung
2. Ausgewählte formal- und fachtheoretische Aspekte der Methoden
3. Untersuchungsgebiet und Daten
4. Erste ausgewählte Experimente auf der Makro- und Mikroebene
5. Diskussion
6. Schlussfolgerungen

### 1 Einleitung

In den letzten Dekaden haben sich die Einzelhandelslandschaften in den ursprünglich westlich geprägten Industrieländern grundlegend verändert. Dieser Prozess ist innerhalb der Bedarfsstufen bzw. Branchen in einzelnen Ländern unterschiedlich verlaufen. Allgemeine Kennzeichen dieser Veränderung sind im Lebensmitteleinzelhandel u. a.:

- Relative Abnahme der Zahl der Geschäfte bezogen auf die Nachfragemenge, Ausdünnung der räumlichen Angebots-/Standortstruktur bzw. des Angebotsnetzes,
- Zunahme der Verkaufsflächen pro Geschäft und pro Einwohner, verbunden mit veränderten Betriebstypen,
- Veränderung der Standortpräferenzen neuer Geschäfte und damit Veränderung der räumlichen Standortstruktur insgesamt.

Motor dieser Veränderungen ist vor allem der Markteintritt bzw. das Ausscheiden von Geschäften aus dem Markt. Auswirkungen dieser Veränderungen sind u. a. ein Rückzug aus der Fläche im ländlichen Raum und aus einzelnen Stadtteilen, z.T. auch aus den Innenstädten, was dort zur Entstehung von „Angebotswüstungen“ führt. Hieraus resultieren:

- Längere Einkaufswege der Konsumenten verbunden mit einer Zunahme des Individualverkehrs und damit höhere Verkehrsbelastung sowie höherer Energieverbrauch, was im Widerspruch zu einer an dem Ziel der Nachhaltigkeit orientierten Stadt- und Regionalentwicklung steht.
- Ein höherer Anteil unzureichend versorgter Konsumenten führt zu selektiver, gruppenspezifischer Betroffenheit, etwa der besonderen Benachteiligung weniger mobiler Bevölkerungsgruppen.

Aus der Perspektive der Stadt- und Regionalplanung kommt daher einer Folgenabschätzung dieser fortschreitenden Entwicklung zumindest hinsichtlich der Versorgungssituation und der Verkehrsentwicklung besondere Bedeutung zu. Aus der Sicht der Unternehmen des Einzelhandels besteht das Interesse dagegen

an verlässlichen Umsatzprognosen für bestehende und geplante Angebotsstandorte (Größe, Typ, Lage) innerhalb der sich verändernden Konkurrenzsituation. Für die Prognose künftiger Entwicklungen und damit ihrer möglichen Auswirkungen existieren bereits seit Jahrzehnten verschiedene Schätzverfahren mit denen Kaufkraftströme und damit indirekt Verkehrsbelastungen sowie Marktgebiete und Umsätze der Geschäfte zu schätzen sind (vgl. hierzu u. a. die Arbeiten von Reilly (1931), Huff (1964), Wilson & Bennett (1985), Löffler & Klein (1989), Güßefeldt (2002) oder Rauh & Hesse (2002).

Die vorgeschlagenen Verfahren und Modellansätze lassen sich bezüglich verschiedener Aspekte typisieren:

1. Hinsichtlich des Grads der räumlichen Auflösung der Inputdaten, dann auch bezeichnet als Modelle oder Verfahren auf der
  - räumlichen Mikroebene  $\neq$  Mikromodelle
  - räumliche Makroebene  $\neq$  Makromodelle
2. Hinsichtlich der formaltheoretischen Grundlagen der Schätzung:
  - Analogiemodelle (Einzelhandelsgravitation, Potenzialmodelle)
  - Entropiemaximierungsmodelle (Maximierung der Entropie in einer Strom- oder Interaktionsmatrix)
  - Nutzentheoretische Ansätze (Diskrete Entscheidungsmodelle)
3. Hinsichtlich der Integration eines unterschiedlichen Entscheidungsverhaltens auf der Nachfrageseite (unterschiedliche Konsumpräferenzen von Individuen ( $P_i$ )):
  - ohne Berücksichtigung (Makromodelle)
  - mit Berücksichtigung (Mikromodelle)
4. Hinsichtlich der Art der Kaufkraftallokation:
  - probabilistisch (Einzelhandelsgravitation, Potenzialmodelle, Entropiemaximierungsmodelle)
  - diskret (Nutzentheoretische Ansätze, Entscheidungsmodelle)

Das Ziel einer laufenden Studie besteht nun in der Entwicklung und Eignungsprüfung eines Multiagentensystems (MAS) für die oben formulierten Aufgabenstellungen, mittels dessen eine Schätzung von Kaufkraftströmen auf der mittleren Maßstabebene (regionale Ebene) durchgeführt werden kann. Beispielraum ist die Arbeitsmarktregion Umeå in Nordschweden, in der 1997 über 70.000 Familien bzw. Haushalte auf 13.500 km wohnten und in diesem Jahr in 132 Geschäfte des Lebensmitteleinzelhandels einkaufen konnten.

Aus der lebensmittelrelevanten jährlichen Nachfrage der Haushalte ergibt sich aus den geschätzten Kaufkraftströmen, die auf ein Geschäft gerichtet sind, die Jahressumme des geschätzten Geschäftsumsatzes. Da diese geschätzten Jahresumsätze in der Studie mit den tatsächlich erzielten Umsätzen abgeglichen werden können, lässt sich ein Gütemaß für die Schätzung berechnen. Unter

Verwendung dieses Gütemaßes können zur Kalibrierung alle Parameter des Schätzmodells optimiert werden.

Aus der Verwendung der Randsummen der Matrix der Kaufkraftströme (= Geschäftsumsätze) als Kalibrierungsgröße erwachsen jedoch auch spezielle Herausforderungen an die Parameteroptimierung. So kann eine unbekannte Zahl von Interaktions- und damit Kaufkraftstrommustern zu identischen Randverteilungen des Umsatzes führen. Ein kalibriertes Modell wird also in der Lage sein, Geschäftsumsätze optimal zu schätzen, die Abbildungsgüte der Interaktionsmuster bleibt dem Modellierer dabei verborgen. Ohne Kenntnis über die realen Interaktionsmuster (auf Basis von Individuen!) ist hier ein Abgleich mit der Realität aber ohnehin nicht möglich. Hier ließen sich lediglich zusätzliche Zielfunktionen, die sich auf die relationalen Teilnutzen beziehen, formulieren, wie etwa die Minimierung des gesamten oder mittleren Distanzaufwandes eines Individuums bei seinen Versorgungsfahrten (vgl. Allokationsverfahren). Auch diese würden aber die individuenbezogenen Distanzrandsummen der Interaktionsmatrix zur Kalibrierung verwenden.

Wird der Ist-Zustand durch das kalibrierte Modell hinreichend genau abgebildet, können unter der Annahme eines gleich bleibenden Konsumentenverhaltens Szenarien für verschiedene Entwicklungszustände auf der Anbieter- und Nachfragerseite berechnet werden. Im Fall veränderter Angebotsstrukturen, gekennzeichnet durch Anzahl, Format und Lage der Geschäfte, und/oder veränderter Nachfragestrukturen, z. B. ausgelöst durch eine Zu- oder Abnahme der individuellen Kaufkraft bzw. der Bevölkerung und damit der kollektiven Kaufkraft, lassen sich dann die resultierenden Kaufkraftströme nach ihrer Intensität, Reichweite und Orientierung prognostizieren. Damit sind auf der inhaltlichen Seite einerseits Fragen zur entstehenden Verkehrsbelastung oder zur Versorgungssituationen im Untersuchungsraum zu beantworten, andererseits lassen sich auch die aus diesem Szenario resultierenden Geschäftsumsätze ermitteln.

## 2 Ausgewählte formal- und fachtheoretische Aspekte der Methoden

Räumliche Austauschbeziehungen in Form von Strömen oder Interaktionen können ursächlich auf die strukturellen Gegebenheiten an den Quell- und Zielorten sowie auf die Distanzwiderstände zwischen beiden zurückgeführt werden. Unter Vernachlässigung individueller Entscheidungen ergibt sich die allgemeine Beschreibung (1) eines Stroms von Personen, Gütern oder Informationen (Löffler 1987: 196ff).

$$U_{i,j} = A_i \circ A_j \circ d_{i,j} \quad (1)$$

Die im Folgenden verwendeten Zeichen und Abkürzungen dienen einer weitgehenden Vereinheitlichung der verschiedenen Ansätze und bedeuten im Einzelnen:

$U_{i,j}$  := Nutzen (utility) der Alternative  $j$  für Individuum  $i$

$I_{i,j}$  := Interaktion (Strom) von Quelle  $i$  nach Ziel  $j$

$A_i$  := Struktureigenschaft in  $i$  (theoretisches Konstrukt), mit  $a_{k,i} \in \{A_i\}$

$A_j$  := Struktureigenschaft (Attraktivität) in  $j$  (theoretisches Konstrukt), mit  $a_{k,j} \in \{A_j\}$

$d_{i,j}$  := Distanzwiderstand zwischen  $i$  und  $j$  bzw. Erreichbarkeit von  $j$  aus  $i$

$\circ$  := undefinierte mathematische Verknüpfung

$i$  := Quelle, mit  $i \in \{\text{Quellen}\}$

$j$  := Ziel, Senke, mit  $j \in \{\text{Ziele}\}$

$k$  := Subkonstrukt, mit  $k \in \{\text{Subkonstrukte}\}$

$\epsilon$  := stochastisches Element

$a_{k,j}$  := Messwert des Subkonstrukts  $k$  in  $j$

$p_{k,i}$  := Präferenz  $p$  (an) der Quelle  $i$  für Subkonstrukt  $k$

$\beta_{k,j}$  := Parameter zur Transformation des Messwert des Subkonstrukts  $k$  in  $j$  in eine gewählte bzw. eine wahrgenommene Metrik

$G_k$  := Gewichtungparameter  $G$  für die Subkonstrukte  $k$

Die in (1) noch nicht definierte Verknüpfungsvorschrift  $\circ$  wird in verschiedenen Ansätzen durch einen Analogieschluss festgelegt (vgl. hierzu Löffler 1987: 196), z. B. bei allen auf den Arbeiten von Reilly basierenden Ansätzen in Analogie zum Gravitationsgesetz, oder basiert auf der mathematischen Ableitung, wie im Fall der Entropiemaximierung. Dagegen existieren keine empirischen Erkenntnisse, in welcher mathematischen Beziehung zum Beispiel der Distanzwiderstand und eine Struktureigenschaft oder ein struktureller Nutzen stehen, um dann nach einer mathematischen Verknüpfung den relationalen Gesamtnutzen zu beschreiben. Hier wird unter einem strukturellen Nutzen ein einwertiges Prädikat und unter einem relationalen Nutzen ein zweiwertiges Prädikat oder eine zweistellige Relation verstanden. Ein relationaler Nutzen muss dabei nicht unbedingt raumrelational sein. Im Fall diskreter Entscheidungsmodelle auf der Basis von Individuen wird diese Sonderstellung des Distanzwiderstandes oder Erreichbarkeit aktuell diskutiert (Hunt et al., 2004), und die Frage

der Notwendigkeit von speziellen räumlichen diskreten Entscheidungsmodellen thematisiert. Je nach Verfahrensgruppe und Variante entfällt zudem die Notwendigkeit, Struktureigenschaften der Quelle bereits in die Schätzung der Ströme oder Interaktionen zu integrieren, so dass der Term  $A_i$  in Gleichung (2) entfällt.

Während bisher im Kontext mit der Beschreibung der Attraktivität oder des Nutzens in Einzelhandelsmodellen eine monovariante Operationalisierung eines theoretischen Konstrukts  $A$  vorherrscht, stellt sich im Fall eines aus mehreren Subkonstrukten beschriebenen strukturellen Gesamtnutzens die Frage nach der glqrichtigengrqq Verknüpfung. Besteht also ein relationaler Gesamtnutzen aus dem Distanzwiderstand sowie einzelnen Komponenten eines strukturellen Gesamtnutzens ergibt sich vorläufig die Gleichung (2).

$$I_{i,j} = a_{1,j} \circ a_{2,j} \circ \dots \circ a_{i,j} \quad (2)$$

In Anlehnung an die Argumentation innerhalb nutzentheoretischer Überlegungen enthält ein Gesamtnutzen einen stochastischen Term  $\epsilon$  gemäß Gleichung (3), so dass Gleichung (2) im Sinne diskreter Entscheidungsmodelle einen latenten relationalen Gesamtnutzen  $U^*$  beschreibt.

$$U_{i,j}^* = U_{i,j} + \epsilon_{i,j} \quad (3)$$

mit:

$U_{i,j}^*$  := latenter Gesamtnutzen (utility) der Alternative  $j$  für Individuum  $i$

$U_{i,j}$  := systematischer Anteil

$\epsilon_{i,j}$  := stochastischer Anteil

Während in (3) eine additive Verknüpfung des Zufallsterms im Sinne einer linearen Regression direkt nachvollziehbar ist, stellt sich die Frage, ob die gebräuchliche Form der additiven Verknüpfung der strukturellen Teilnutzen, wie in diesen Modellen üblich, zwingend erforderlich ist (4) oder ob in Abhängigkeit von der Operationalisierung eines Teilnutzens hinsichtlich der gewählten Messvorschrift und Metrik auch andere Verknüpfungsvorschriften möglich und fachtheoretisch begründbar sind.

$$U_{i,j}^* = \sum_{k=1}^l G_k p_{k,i} \beta_{k,j} a_{k,j} + \epsilon_{i,j} \quad (4)$$

Im Fall der entwickelten diskreten Entscheidungsmodelle zur Bestimmung eines relationalen Gesamtnutzens (spatial choice models) wird der Distanzwiderstand letztlich multiplikativ verknüpft, wenn seine Einbindung in logarithmierter Form erfolgt (5).

$$U_{i,j}^* = \sum_{k=1}^l G_k p_{k,i} \beta_{k,j} a_{k,j} + \ln d_{i,j} + \epsilon_{i,j} \quad (5)$$

Die Frage der Verknüpfungsvorschrift für den einzelnen Teilnutzen ist aus mathematischer Sicht bedingt abhängig von der gewählten Messvorschrift (Skalenniveau und Maßeinheit) und Metrik, verstanden als Abbildungsvorschrift zur Transformation in die so genannte Nutzenmetrik (utility metric).

Soll der strukturelle Gesamtnutzen eines Einzelhandelsgeschäftes mittels Teilkomponenten  $a_k$  bestimmt werden, beispielsweise durch Umfang des Warenangebotes, der Verkaufsfläche oder des Sortiments, des Preises, z. B. gemessen als Preis in Euro für einen Standardwarenkorb und die Qualität der Produkte, z. B. bestimmt auf einer mehrstufigen Rangskala, so stellt die Transformation dieser Messgrößen in eine adäquate Nutzenmetrik bereits unter inhaltlichen Aspekten eine Herausforderung dar. Soll darüber hinaus eine Gewichtung  $G_k$  der Teilkomponenten erfolgen, wie z. B. die Preiskomponente ist bedeutender als die Qualitätskomponente, oder unterliegen sie einer individuellen Einschätzungen  $p_{k,i}$  an verschiedenen Nachfrageorten oder durch einzelne Konsumenten, so ist die Form ihrer Wirkung abhängig von der Verknüpfung. Im Fall einer additiven Verknüpfung wird die beabsichtigte differenzierende Wirkung durch die Multiplikation von  $G$  und  $p$  mit den Summanden  $k$  (Subkonstrukte) erzielt, wie bereits Gleichung (4) zeigt. Bei einer multiplikativen Verknüpfung von Teilkomponenten wird durch eine Multiplikation von  $G$  und  $p$  keine Differenzierung mehr erzielt, wie aus (6) ersichtlich.

$$U_{i,j} = \prod_{k=1}^l G_k p_{k,i} \beta_{k,j} a_{k,j} = \prod_{k=1}^l G_k \prod_{k=1}^l p_{k,i} \prod_{k=1}^l \beta_{k,j} a_{k,j} \quad (6)$$

$$\text{mit: } \prod_{k=1}^l G_k = \text{konst. } \forall U_{i,j} \quad \text{und} \quad \prod_{k=1}^l p_{k,i} = \text{konst. } \forall U_{i,j} \quad (7)$$

Zum Erzielen dieser differenzierenden Wirkungen muss daher mindestens die nächst höhere Form einer mathematischen Verknüpfung gewählt werden, im

Fall der Multiplikation also das Potenzieren (8). Dabei ist nicht ausgeschlossen, dass innerhalb verschiedener Teilmengen der Struktureigenschaften unterschiedliche Verknüpfungen verwendet werden und diese anschließend über eine andere Verknüpfungsvorschrift zusammengeführt werden (9).

$$U_{i,j} = \prod_{k=1}^l (\beta_{k,j} a_{k,j})^{G_k p_{k,i}} \quad (8)$$

$$U_{i,j} = \prod_{k=1}^m (\beta_{k,j} a_{k,j})^{G_k p_{k,i}} \circ \sum_{k=m+1}^l G_k p_{k,i} \beta_{k,j} a_{k,j} \quad (9)$$

Allgemein ist somit immer eine höhere Form der Verknüpfung zur Integration einer differenzierenden Wirkung zu wählen. In Bezug auf einen relationalen Teilnutzen, wie der Erreichbarkeit bzw. des Distanzwiderstands  $d_{i,j}$ , ist eine Differenzierung über  $i$  und  $j$  bereits gegeben. Damit dient die Verwendung einer Potenzfunktion im Falle der Erreichbarkeit (10) im Potenzialansatz von Huff der Erzeugung einer Nutzenmetrik, indem die gemessene Distanz (in Kilometern, Kosten oder Zeitaufwand) in eine bewertete oder wahrgenommene Erreichbarkeit überführt wird.

$$d'_{i,j} = d_{i,j}^\beta \quad (10)$$

Entsprechend sind weitere Teilkomponenten vor der eigentlichen Verknüpfung mit anderen zu transformieren, um zu Abständen auf ihren Skalen zu gelangen, die der Wahrnehmung der Konsumenten entsprechen bzw. nahe kommen. Beim Vorliegen einer oder mehrerer Struktureigenschaften auf ordinalem Skalenniveau kann in einem ersten Schritt eine Prozentrangtransformation ggf. zusätzlich eine marginale Normalisierung vorgenommen werden (vgl. u. a. Hartung & Elpelt 1984: 276ff), um zu einer formal einheitlichen pseudometrischen Skala zu gelangen.

Die Behandlung dieser formaltheoretischen Aspekte ermöglicht nun zum einen den direkten Vergleich der verschiedenen Modellansätze hinsichtlich ihrer Parametrisierung und Verknüpfungsvorschriften sowie der Integration hinsichtlich der  $U_j$  differenzierenden Parameter. Dies erfolgt am Beispiel der Grundformen des Potenzial- (11) und des Entropie-maximierungsansatzes (12), der im vorliegenden Fall in der Variante des glqqproduction-constrained modelgrqq verwendet wird. Dabei stellen  $KK_i$  die einzelhandelsrelevante Kaufkraft in  $i$  und  $f_{i,j}$  die absoluten Kaufkraftströme zwischen der Nachfrage  $i$  und dem Angebot  $j$  dar.

$$f_{i,j} = KK_i \frac{a_j^{\beta_1} d_{i,j}^{-\beta_2}}{\sum_{j=1}^J a_j^{\beta_1} d_{i,j}^{-\beta_2}} \quad (11)$$

$$f_{i,j} = KK_i \frac{a_j^{\beta_1} e^{-\beta_2 d_{i,j}}}{\sum_{j=1}^J a_j^{\beta_1} e^{-\beta_2 d_{i,j}}} \quad (12)$$

Gleichung (11) und (12) unterscheiden sich somit lediglich durch die Einbindung der Distanz. Während sich bei der Gruppe der Potenzialmodelle die formaltheoretische Begründung aus der Analogie zu physikalischen Gesetzmäßigkeiten (sozial-physikalische Ansätze) ergibt, sind die Entropiemaximierungsverfahren eben durch das Namen gebende Ziel der Entropiemaximierung begründet. Damit waren auch die Verknüpfungsvorschriften zwischen strukturellen und relationalen Teilkomponenten in beiden Fällen festgelegt. Jedoch wiesen bereits Wilson & Bennett auf die Tatsache hin, dass die Form der Verknüpfung u. a. auch von der Art der jeweiligen Attributskalierung abhängt (1985: 271).

Fragt man nun nach der fachtheoretischen Fundierung der Modellansätze und damit nach inhaltlichen Gründen für eine Verknüpfungsvorschrift, so fehlt diese sowohl bei Potenzial- als auch bei Entropiemaximierungsansätzen nahezu vollständig. Die Tatsache, dass für beide Verfahrensgruppen sachrelevante Struktureigenschaften für die Operationalisierung verwendet werden, reicht für eine umfassendere fachtheoretisch geleitete Fundierung nicht aus, wenngleich die Bedeutung der Geschäftsgröße (Verkaufsfläche) und der mit ihr zusammenhängenden Sortimentsausstattung und Preisgestaltung aus Theorien zum Konsumentenverhalten und zur Absatzwirtschaft abzuleiten sind.

Auch die Einführung von Nebenbedingungen (Klein & Löffler 1989: 406f) in diese Ansätze, die, abgeleitet aus einem ökonomisch rationalbedingtem räumlichen Einkaufsverhalten, einzelne Angebotsstandorte für bestimmte Orte der Nachfrage ausschließen und so die Schätzgüte des Potenzialansatzes verbessern, stellt keine theoretische Fundierung dar (zur Kritik vgl. Güßefeldt 2002: 356).

Dagegen bietet die bisher ausschließlich zur Skalentransformation verwendete Potenzfunktion mit dem Exponenten  $\beta$  die Möglichkeit zu einer inhaltlichen Erweiterung durch aus theoretischen Erkenntnissen oder empirischen Befunden abgeleitete unterschiedliche Konsumpräferenzen der Nachfrage  $i$  (hier als kollektive Präferenz  $p_i$ ), abhängig von deren Struktureigenschaften in  $i$ . Solche Attribute könnten u. a. die Zusammensetzung nach Alter, nach Geschlecht und/oder Einkommen sein. Die Gleichung (13) zeigt dies für das Potenzialmodell, analog lässt sich auch der Entropiemaximierungsansatz erweitern.

$$f_{i,j} = KK_i \frac{a_j^{\beta_1 p_{1,i}} d_{i,j}^{-\beta_2 p_{2,i}}}{\sum_{j=1}^J a_j^{\beta_1 p_{1,i}} d_{i,j}^{-\beta_2 p_{2,i}}} \quad (13)$$

Bilden die  $p_i$  nun nicht die kollektive Präferenz ab, sondern die eines Individuums, oder im vorliegenden Fall die einer Konsumentin, so leitet dies zum diskreten Entscheidungsmodell über. Ausgehend von empirischen Befunden z. B. aus einer Konsumentenbefragung wird hier die getroffene Entscheidung für ein bestimmtes Geschäft (Betriebsformat, Standorttyp) durch eine Reihe von erfragten Präferenzen und Attributen regressionsanalytisch glqerklärt. Hinsichtlich der Zahl der Entscheidungsalternativen als auch der Zahl der Attribute und Präferenzen existieren hier zumindest interpretatorische Grenzen, so dass sich diese Modellfamilie nicht unbedingt zur Abschätzung von Einkaufsströmen auf der mittleren Maßstabebene eignet, wenn die Angebotsseite sehr differenziert modelliert werden soll.

In diskreten Entscheidungsmodellen erfolgt die Verknüpfung der strukturellen Teilkomponenten im Sinne regressionsanalytischer Ansätze dann überwiegend additiv. Damit lassen sich einerseits unterschiedliche Gewichtungen der Teilnutzen und individuelle Konsumpräferenzen multiplikativ integrieren, andererseits ist diese Art der Verknüpfung fachtheoretisch wie bei den anderen Verfahren nur auf dem Hintergrund der Transformationsvorschriften zur Abbildung in eine Nutzenmetrik zu begründen.

Hierzu liegen kaum empirische Befunde vor, so dass eine Definition der Transformation und damit der Verknüpfung bei allen Verfahren spekulativ bleiben muss. Die Frage, wie Konsumenten objektiv gemessene Preisdifferenzen wahrnehmen oder wie Entfernungen zum Einkaufsort bewertet werden, bleibt daher unbeantwortet. In beiden Fällen liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit kein linear funktionaler Zusammenhang vor. Güßefeldt schlägt in diesem Zusammenhang vor, die gemessene Attraktivität im Potenzialansatz anhand der Schätzgüte stückweise zu optimieren (Güßefeldt, 2002: 336f). Eine derart optimierte Attraktivität kann bis zu ihrer empirischen Falsifizierung als die vom Nachfrager wahrgenommene Attraktivität angesehen werden. Grundsätzlich sollte dabei jedoch beachtet werden, dass eine Funktion für die auf der metrischen Skala gemessene oder beschriebene Attraktivität zumindest theoretisch soweit optimierbar ist, dass die Umsätze exakt geschätzt werden können, wenn lediglich ein struktureller Parameter verwendet wird. Trotzdem bleibt auch beim Vorliegen einer in sich stimmigen Nutzenmetrik die Frage nach der richtigen Verknüpfung unbeantwortet, da es keine Hinweise darauf gibt, ob Konsumenten eine Preis- und eine Qualitätsstufe gedanklich additiv oder multiplikativ verknüpfen, um eine Bewertung des Gesamtnutzens vorzunehmen.

Da die anschließende Allokation der Kaufkraft zu den Geschäften im nicht diskreten Fall immer über metrische Werte erfolgt, muss auch die Beschreibung des Gesamtnutzens auf einer metrischen Skala erfolgen. Während im Fall diskreter Entscheidungsmodelle bereits der Name auf eine eindeutige Zuordnung der Kaufkraft zum Geschäft mit maximalem Gesamtnutzen hinweist, erfolgt in nicht diskreten Modellansätzen die Zuordnung der Kaufkraft eines Individuums oder ihr Aggregat für eine Raumeinheit proportional zum relativen Anteil am Gesamtnutzen. In diesem Zusammenhang ist der Betrachtungszeitraum zu thematisieren, d.h. welche Einkaufshäufigkeit der jeweiligen Bestimmung der Kaufkraftströme zu Grunde liegt. Im Fall der Potenzial- und Entropiemodelle werden die ermittelten absoluten Kaufkraftströme in als jährliche Ausgabe der Nachfrage auf der Basis der geschätzten relativen Kaufkraftströme berechnet. Eine weitere zeitliche Differenzierung ist aus Gründen der Datenverfügbarkeit kaum möglich. Inhaltlich bedeutet dies bei mehreren Einkaufsfahrten pro Jahr, dass in dem Jahresaggregat der Kaufkraftallokation sowohl immer die gleiche Einkaufsstättenwahl eines Konsumenten verborgen sein kann als auch seine Mehrfachorientierung.

Zusammenfassend lässt sich an dieser Stelle festhalten, dass eine Disaggregation der Modellansätze von der Makroebene zur Mikroebene mit gewissen verfahrensbedingten Einschränkungen möglich ist. So kann die Nachfrageseite von hoch aggregierten Nachfragekollektiven (Raumeinheiten) bis zur Konsumeinheit ebenso aufgelöst werden wie auf der Anbieterseite eine Ausdifferenzierung ausgehend von Betriebsformaten oder standortbezogenen Geschäftsagglomerationen hin zum einzelnen Handelsbetrieb vorgenommen werden kann. Dabei sind sowohl verschiedenen Attribute der Anbieterseite als auch Konsumpräferenzen und sozio-ökonomische und demographische Variablen der Nachfrageseite zu berücksichtigen. Auf dem Weg vom Makro- zum Mikroansatz nimmt die Komplexität der Modellformulierungen jedoch überproportional zu. Würden im vorgestellten Fall lediglich die strukturellen Nutzenkomponenten in die Berechnung einbezogen, wären 132 Geschäftsumsätze zu schätzen. Die Hinzunahme relationaler Nutzenkomponenten (Distanzen zu Konsumenten in 12.500 Raumzellen) verlangt vom Modell die Schätzung von  $132 \cdot 12.500 = 1,65$  Millionen Kaufkraftströmen. Fließen darüber hinaus noch Präferenzen und damit individuen- bzw. haushaltsbezogene Merkmale in den Prozess der Kaufkraftverteilung ein, beläuft sich die Zahl der zu schätzenden Ströme bereits auf  $132 \cdot 70.000 = 9,24$  Millionen.

Multiagentensysteme bieten hier eine ideale Lösungsgrundlage, denn sie basieren auf der Idee, komplexe Probleme durch die Selbstorganisation eigenständig handelnder Akteure (= Agenten) möglichst ohne zentrale Kontrolle lösen zu lassen (Klügl, 2001). Dieses Bild einer „Agentengesellschaft“ ist als Modellierungsparadigma für Simulationsmodelle - insbesondere in den Geo- und Sozi-

alwissenschaften - hervorragend geeignet, hat es doch mit der Geographie die Vorstellung gemein, dass aus massenhaften individuellen Entscheidungen und Verhaltensweisen übergeordnete Systeme (Raumstrukturen) entstehen können. Aufgrund dessen sind Multiagentensysteme als Modellierungsinstrumente in den Raumwissenschaften auch schon mehrfach zum Einsatz gekommen (u. a. Bura, 1996; Benenson, 1998; Torrens, 2001; Rauh & Hesse, 2002; Batty, 2003; Koch & Mandl (Hrsg.), 2003; Parker, 2003; Miller et al., 2004). In einem MAS werden Konsumenten und Anbieter als Agenten modelliert, die einem System von definierten Regeln folgen. Sowohl Konsumenten als auch Anbieter weisen bestimmte Eigenschaften auf und haben gewisse Präferenzen innerhalb des Regelsystems. In unserer vorläufig noch statischen Formulierung eines MAS, agiert ein Käufer (= Agent), der eine Konsumeinheit (Haushalt) repräsentiert, aufgrund eigener Eigenschaften bzw. denen seiner Konsumeinheit (HH: Wohnstandort, Einkommen, Kaufkraft, Größe, Individuum: Alter, Geschlecht, Arbeitsplatz, etc.); agieren bedeutet hier die Bewertung der Anbieter anhand ihrer Eigenschaften und Lage.

An Regeln können u. a. vorgegeben sein, dass

- bei Lebensmitteleinkäufen jede Konsumeinheit bestimmte Anteile der relevanten Kaufkraft im Sinne eines Vergesslichkeitsbedarfs, andere eher geplant als Wochenbedarf verausgaben,
- die Auswahl des Geschäftes lediglich aus einer Teilmenge aller in der Region vorhandener Geschäfte erfolgt, also nur bestimmte Geschäfte wahrgenommen werden,
- ein Einkauf je nach individuellen Rahmenbedingungen sowohl vom Wohnort als auch vom Arbeitsplatz aus erfolgen kann.

Nach einer Bewertung der wahrgenommenen Geschäfte erfolgt die abschließende Entscheidung in Form einer durch die Bewertung gewichteten Zufallsauswahl und die Kaufkraft des Agenten wird dem Geschäft zugewiesen. Damit ist diese diskrete Entscheidung nicht durch Attribute, Präferenzen und Regeln allein determiniert, sondern ist innerhalb dieser Rahmenbedingungen stochastisch bedingt. Durch Wiederholungen des Einkaufsvorganges wird die Kaufkraft eines Agenten auf mehrere der von ihm wahrgenommenen Geschäfte verteilt. Bei einer gegen Unendlich gehenden Zahl von Wiederholungen würde der Agent dann seine Kaufkraft proportional zur Bewertung der von ihm wahrgenommenen Geschäfte verteilen. Bevor am Beispiel der laufenden Studie die Bedeutung der einzelnen Aspekte anhand von Experimenten verdeutlicht wird, soll ein kurzer Überblick zu den in der Untersuchung verwendeten Daten gegeben werden.

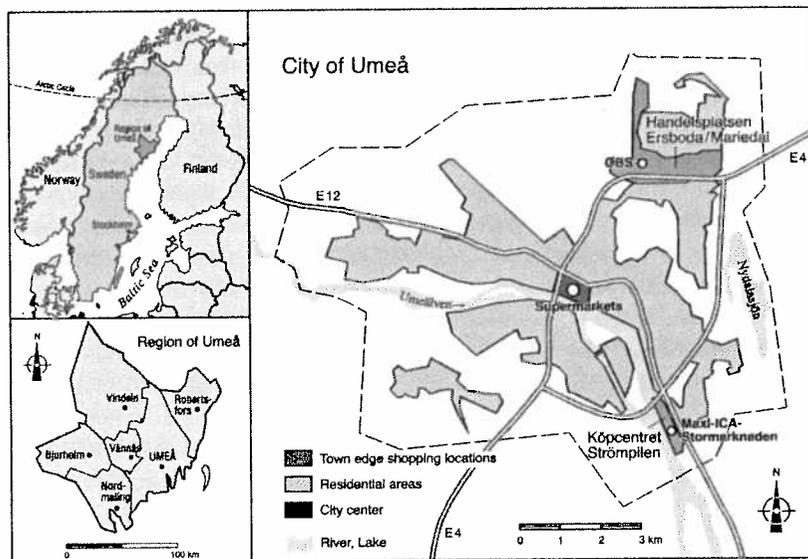


Abbildung 1: Die Region Umeå in Schweden, das Stadtgebiet und die City von Umeå sowie die Lage der zwei Hypermärkte (Kartographie: W. Weber).

### 3 Untersuchungsgebiet und Daten

Umeå ist die Hauptstadt der nordschwedischen Provinz Västerbotten. Um das Oberzentrum Umeå hat sich eine funktionale Region herausgebildet, die fünf weitere Kommunen umfasst. Sie kann in drei Raumkategorien eingeteilt werden, in das eigentliche verdichtete Stadtgebiet, die nach außen anschließenden suburbanisierten Bereiche und das bereits relativ dünn besiedelte ländliche Hinterland. Ende 2003 weist die Region Umeå ca. 140.000 Einwohner auf, von denen 108.000 in der Kommune Umeå leben und von diesen etwa zwei Drittel im verdichteten Stadtgebiet. Mit der Gründung von zwei Universitäten in den 1960er Jahren gehört Umeå zu den am schnellsten wachsenden Städten in Schweden.

Vergleichbar mit der gesamtschwedischen Entwicklung im Lebensmitteleinzelhandel (Löffler, 2004) hat sich auch in Umeå die Angebotsstruktur in den letzten beiden Jahrzehnten hinsichtlich der Betriebsformate und der Standortlagen stark verändert und damit zu einer Ausdünnung des Angebotsnetzes in der Region geführt. Während in den Hinterlandkommunen zwischen 1990 und 2001 die Abnahme der Geschäfte mit knapp 30% recht deutlich wird (Tab.

1), tritt sie im Stadtgebiet erst unter Berücksichtigung der rasch wachsenden Bevölkerung besonders stark hervor, denn die mittlere Zahl der Einwohner pro Ladengeschäft steigt zwischen 1990 und 2001 von 931, um 65,84% auf 1544 Einwohner an.

Entsprechend der Bevölkerungsentwicklung in der Region nimmt der Umsatz im Lebensmitteleinzelhandel ebenso zu. Bezogen auf die Zahl der Geschäfte steigt der durchschnittliche Umsatz pro Verkaufsstelle von 1990 auf 2001 in der städtischen Kommune Umeå um 65,22% und in den Hinterlandkommunen um 45,82% und belegt die generelle Zunahme der Betriebsgrößen in der Region während des Ausdünnungsprozesses. Damit verschlechtert sich die Erreichbarkeit von Lebensmittelgeschäften für den Konsumenten. Während es im Hinterland überwiegend zur ersatzlosen Aufgabe von Geschäften kommt, setzt in Umeå zusätzlich eine Standortverlagerung ein. Im Jahr 1997 wurde ein erster Hypermarkt im Norden der Stadt in einer Fachmarkttagglomeration eröffnet; zum Jahresende 1998 ein weiterer Hypermarkt als Ankerbetrieb eines Shopping Centers 5 km süd-östlich der City (vgl. 1). Diese räumliche Restrukturierung der Lebensmittelanbieter in der Region Umeå lässt sich ebenfalls in veränderten Kaufkraftbindungsquoten erkennen, die sich bedingt durch die Datenverfügbarkeit nur zwischen den Kommunen abschätzen lassen. Die monozentrische Struktur der Region ermöglicht darüber hinaus die Ableitung von Kaufkraftströmen auf dieser Maßstabsebene. In der Tabelle 1 sind zwei verschiedenen Varianten einer Bindungsquote nachgewiesen. Während der  $g_{lqk} \cdot \text{index}_{gr} \cdot q$  vom HPI (= Handels Planinstitut) bzw. HUI (= Handels Utredningsinstitut) lediglich den durchschnittlichen Umsatz pro Einwohner der übergeordneten Raumeinheit berücksichtigt, basiert der regionale Kaufkraftindex auf einer Gewichtung mittels der relativen Unterschiede der verfügbaren Kaufkraft (Löffler & Schrödl, 2002, 7ff.).

Obwohl aufgrund der geringen Reichweite von Lebensmitteln bei der Berechnung von Bindungsquoten und Kaufkraftströmen auf der vorliegenden kommunalen Maßstabsebenen keine deutlichen Ungleichverteilungen sichtbar werden sollten, fällt der nach der Eröffnung der Hypermärkte jeweils in ihrem ersten vollen Geschäftsjahr (1998 bzw. 1999) einsetzende Rückgang der Bindungsquoten im Hinterland auf. Damit reflektieren die Quoten die Veränderungen der Angebotsstruktur bereits auf dieser Maßstabsebene und begründen so weitergehende, detaillierte Abschätzungen von Kaufkraftströmen und deren Prognosen.

Die Grundlage dafür bilden Daten der Lebensmittelgeschäfte und auf Individuen bezogene Einwohnerdaten der Region Umeå, Nordschweden, die aus früheren Untersuchungen und Dank einer Kooperation mit dem Spatial Modelling Centre (SMC, Kiruna) zur Verfügung stehen bzw. vor Ort genutzt werden können.

Auf der Nachfrageseite:

Jahr	Bevölkerung 1)		Anzahl der Geschäfte 2)		Einwohner pro Geschäft		Umsatz 1) pro Geschäft in Preisen von 2000 in Mio. SEK		Regionaler Kaufkraftindex Bezogen auf Västerbotten		Köp-Index des HPI/HUI Bezogen auf Västerbotten	
	Umeå	Uml.	Umeå	Uml.	Supermärkte 4)	Lebensmittel-EH 3)	Umeå	Uml.	Umeå	Uml.	Umeå	Uml.
1990	91258	34093	140	68	931	652	501	7,277	0,970	0,971	101,56	91,83
1991	92653	34278	123	67	1065	753	512	11,891	0,970	0,926	100,67	87,53
1992	94912	34310	129	67	999	736	512	11,358	0,942	0,983	97,70	92,97
1993	97190	34203	109	63	1331	892	543	14,400	0,985	1,040	102,13	98,38
1994	99215	34239	115	66	1240	863	519	14,054	0,978	1,042	101,48	98,56
1995	101345	33895	113	56	1333	897	605	14,521	0,979	1,032	101,54	97,54
1996	102487	33583	109	55	1404	940	611	15,612	0,954	0,982	98,99	92,90
1997	103151	33262	112	57	1413	921	584	15,743	0,958	1,011	99,41	95,64
1998	103517	32917	118	60	1344	877	549	15,489	0,966	0,961	100,23	90,83
1999	103970	32594	119	54	1405	874	604	16,479	1,005	0,886	104,26	83,78
2000	104512	32271	120	52	1432	871	621	16,542	0,974	0,861	101,07	81,46
2001	105006	32061	116	48	1544	905	668	17,287	0,982	0,896	101,84	84,72
2002	106525	31788							0,984	0,896	102,03	84,75
Veränderung 1990 auf 2001 in %			-17,14	-29,41	65,84	45,17	38,80	65,22				

Quellen: 1) HPI (1991 bis 1997) / HUI (1998 bis 2002) Umsatzangabe jeweils für Waren des täglichen Bedarfs (schwed.: dagligvaror); 2) SCB; 3) NACE: 5211+5220, EUROSTAT (1996) 4) NACE: 5211, EUROSTAT (1996)

Markiert ist das Bezugsjahr 1997 der Simulation. Die Abweichung in der Zahl der Geschäfte, in der Simulation sind es nur 132, ergibt sich aus der Vernachlässigung des Lebensmittelhandels (Süßwarengeschäfte, Delikatessengeschäfte, etc.)

Tabelle 1: Bevölkerung und Struktur der Versorgung mit Lebensmitteleinzelhandel in der Kommune Umeå und den Kommunen des Umlandes (Uml.) 1990 bis 2001/02.

- Verteilung der Haushalte auf mehr als 12.500 Maschen in einem Raster mit 100m Kantenlänge und damit Kenntnis der Lagekoordinaten der Haushalte.
- Kenntnis sozio-ökonomischer und demographischer Daten zu den Haushalten (Zahl der Haushaltsmitglieder, verfügbares Haushaltseinkommen, ...) und ihren Haushaltsmitgliedern über 16 Jahre (Alter, Geschlecht, ..., Masche des Arbeitsplatzes, wenn berufstätig).
- Ergebnisse empirischer Untersuchungen zu Konsumentenpräferenzen in Abhängigkeit von individuellen und Haushaltsbezogenen Merkmalen.

Auf der Angebotsseite:

- Lagekoordinaten der 132 Geschäfte des Lebensmitteleinzelhandels und Standorteigenschaften
- Merkmale der Geschäfte zu Größe, Sortimentbreite/-tiefe, Preisniveau, Qualität, Service/Beratung, Atmosphäre,
- Jahresumsatz der Geschäfte als Kontrollgröße

Lagerrelationen zwischen Nachfragern und Anbietern

- Distanzwiderstand berechnet als euklidische Distanz zwischen Nachfragemaschen und Geschäftsstandort

#### 4 Erste ausgewählte Experimente auf der Makro- und Mikroebene

Grundlage der im Folgenden vorgestellten Ergebnisse bilden auf der Mikroebene erste Simulationen der Kaufkraftströme für das gesamte Kollektiv, die in Kiruna durchgeführt wurden, und solche mittels einer hinreichend anonymisierten 1%-Stichprobe, die uns in Würzburg zur Vorbereitung der Experimente zur Verfügung steht. Zusätzlich wurde ein aggregierter Datensatz erzeugt, der die Konsumeinheiten im 100m-Raster zusammenfasst, der Experimente auf der Makroebene unter Verwendung des Potenzialansatzes ermöglicht. Für alle Berechnungen wird das MAS glqqSeSAMgrqq verwendet, das im Institut für Informatik am Lehrstuhl für Künstliche Intelligenz an der Universität Würzburg entwickelt wurde.

Da die Ergebnisse aller Experimente verglichen werden, ist in einem ersten Schritt sicherzustellen, dass die Randbedingungen und Voraussetzungen kompatibel sind. Deshalb wird in allen Berechnungen unterstellt, dass

- eine identische Vorauswahl der Geschäfte erfolgt,
- ein identischer Kaufkraftanteil für den Vergesslichkeitsbedarf berücksichtigt wird

- vorläufig nur Einkaufsfahrten vom Wohnort zugelassen sind.

Hinsichtlich des Gütemaßes (14) wird die Vergleichbarkeit zwischen den Stichprobenresultaten und den Analysen auf der Basis der Gesamtdaten sichergestellt, indem die empirischen Umsätze der Geschäfte an die in der Stichprobe berücksichtigte Kaufkraft angepasst werden.

$$R = 1 - \frac{\sum_g (T_{\text{geschätzt},g} - T_{\text{real},g})^2}{\sum_g T_{\text{real},g}^2} \quad (14)$$

mit:  $R \in [-\infty; 1]$

$T_{\text{geschätzt},g}$  := geschätzter Umsatz des Geschäfts  $g$

$T_{\text{real},g}$  := realer, an die Kaufkraft angepasster Umsatz des Geschäfts  $g$

Das Gütemaß (14) misst also die quadratischen Abweichungen der geschätzten von den realen Geschäftsumsätzen und lehnt sich stark an die Formulierung der Varianz an. Hier sind zielorientiert weitere Formulierungen denkbar. Sollen alle Abweichungen unabhängig von der Größe der Schätzwerte gleichbehandelt werden, empfiehlt sich die Verwendung eines Maximum-Likelihood-Gütemaßes. Alternativ können auch die unquadratischen Abweichungen gemessen werden, aus denen sich direkt der prozentuale Anteil der korrekt zugeordneten Kaufkraft ablesen lässt.

Die verwendeten individuellen Präferenzen der Agenten entstammen einer im Untersuchungsgebiet im Frühjahr 2002 durchgeführten Point of Sale - Befragung von mehr als 1100 Konsumenten. Unter Verwendung verschiedener Probandenattribute wurden binomiale Logitgleichungen bestimmt, die im MAS eingesetzt werden, um aus den bekannten Eigenschaften der Agenten die jeweils individuelle Präferenz für die einzelnen Geschäftsattribute zu bestimmen. So ergibt sich zum Beispiel die Präferenz für das Preisattribut anhand folgender Gleichung (15). Die im Makroansatz verwendeten kollektiven Präferenzen für eine Raumzelle entsprechen dann dem arithmetischen Mittel aus allen individuellen Präferenzen der in der Raumzelle wohnenden Agenten.

$$y_{\text{Preis}} = 0,170 * \text{Pers.p.Hh} - 0,037 * \text{verfüg.HhEinkommen} - 0,451$$

$$p_{\text{Preis},i} = \frac{e^y}{1 + e^y} \quad (15)$$

In den durchgeführten Experimenten werden vorläufig nur drei strukturelle Geschäftsattribute verwendet, dies sind das Preisniveau, der Sortimentumfang

und die Qualität der Produkte. Für alle drei Kriterien wird jeweils eine Ordinalskala verwendet, auf die die Geschäfte anhand von Sekundärdaten (Preis, Sortiment) und eigenen Erhebungen (Qualität) eingestuft sind. Anschließend erfolgt eine Pseudometrisierung der Skalen mittels der Prozentrangtransformation, bei der die aus der Sicht der Konsumenten jeweils beste Merkmalsausprägung den Wert 1 erhält. Die über die euklidische Distanz operationalisierte Erreichbarkeit der Geschäfte geht als Kehrwert der Distanz ein. Auch hier wird die beste Erreichbarkeit nach der Transformation durch den Wert 1 beschrieben. Für weitergehende Modellkalibrierungen werden diese durch zusätzliche Attribute zum Service, zur Geschäftsatmosphäre, zu Koppelungsmöglichkeiten in unmittelbarer Nachbarschaft des Geschäftes, zur Konkurrenzsituation, etc. ergänzt. Der Ablauf der Kaufkraftallokation im MAS gestaltet sich wie folgt.

Der für den Wochenbedarf verfügbare Kaufkraftanteil wird den für den Agenten (Individuum oder Raumzelle) in der Vorauswahl selektierten Geschäften zugeordnet, in dem für alle diese Geschäfte eine Berechnung des relationalen Nutzens erfolgt (16). Während im Makromodell anschließend die Kaufkraft den Geschäften proportional zu ihrer Nutzenbewertung zugeordnet wird, erhält im Mikroansatz das mittels der gewichteten Zufallsauswahl bestimmte Geschäft die gesamte Kaufkraft. Hier wird bereits durch eine 25-fache Wiederholung des Vorganges ebenfalls eine annähernd bewertungsproportionale Zuordnung erreicht.

$$U_{i,j} = f(p_{\text{Preis},i}, a_{\text{Preis},j}) \circ f(p_{\text{Sortim.},i}, a_{\text{Sortim.},j}) \circ f(p_{\text{Qualität},i}, a_{\text{Qualität},j}) \circ f(d_{i,j}) \quad (16)$$

In ersten Experimenten (Mikroansatz) wurde der Einfluss der Vorauswahl auf die Schätzgüte betrachtet. Dabei zeigte sich, dass bei der Verwendung einer ausschließlich zufallsbedingten Allokation der Kaufkraft auf jeweils alle 132 Geschäfte unter Verwendung der Stichprobe lediglich für das gewählte Gütemaß ein Wert von 0,224 erreicht wurde. Werden hier nur die absoluten Abweichungsbeträge betrachtet, differiert deren Summe nur um 2 % von der realen Umsatzsumme. Bei einer echten Zufallsauswahl wären beide Summen identisch, so dass unter Berücksichtigung der Zahl der Zyklen und eines Stichprobenfehlers hier von einer Zufallsverteilung ausgegangen werden kann. Ein vergleichbares Ergebnis ergibt sich auch bei der Verwendung der Grundgesamtheit.

Unter Einbeziehung des Kaufkraftsplittings nach Vergesslichkeits- und Wochenbedarf und einer zufälligen Verteilung auf die jeweils wahrgenommenen Geschäfte steigt das Gütemaß bereits auf 0,349 an. Mit Einführung einer Gewichtung der Zufallsauswahl mittels der strukturellen bzw. relationalen Nut-

Attribute und Verknüpfungen (mit Vorauswahl, ohne Präf.)	Makroansatz (> 12.500 Raumzellen)	Mikroansatz (1%-Stichprobe)
nur Vorauswahl	nicht möglich	0,349
P	0,245	0,431
S	0,212	0,517
Q	0,358	0,591
I / d	0,726	0,707
P / d	0,777	0,756
S / d	0,776	0,753
Q / d	0,747	0,723
P * S * Q / d	0,806	0,794
(P + S + Q) / d	0,767	0,737
<b>Stand der Experimente: Februar 2005</b>		

Tabelle 2: Gütemaße gemäß (14) aus verschiedenen Experimenten auf der Makro- und Mikroebene

zenkomponenten nimmt das Gütermaß weiter zu. Da mit der Einführung der Nutzenkomponenten auch das Makromodell anwendbar wird, lassen sich jeweils die Ergebnisse aus beiden Experimenten direkt vergleichen. Nach der Erweiterung der Ansätze um die Bewertung der Geschäfte mittels der Nutzenkomponenten ergeben sich nun für unterschiedliche Verknüpfungsvorschriften und Attributkombinationen die folgenden Gütemaße.

Die Gütemaßwerte deutlich unter Eins zeigen, dass die im Modell gewählte Skalierung der Attribute den strukturellen Teilnutzen nicht in der von den Konsumenten wahrgenommenen Weise mit Ausnahme der Distanz hinreichend genau abbildet. Die Verwendung der Distanz allein führt jedoch auch ohne eine solche Wahrnehmungsfunktion bereits zu höheren Gütemaßen, da sie den Effekt der Vorauswahl nochmals verstärkt. In Kombination mit weiteren strukturellen Attributen bleibt dann der positive Effekt bei der glqqklassischengrqq Verknüpfung von Attraktivität und Distanz im Sinne der Analogiemodelle erhalten. Im Fall gleicher Rahmenbedingungen in Makro- und Mikroansatz (1/d, P/d, S/d, und Q/d) unterscheiden sich die Ergebnisse lediglich um die zufallsbedingte Abweichung von ca. 2%. Durch die additive und/oder multiplikative Verknüpfung mehrerer struktureller Attribute mit dem Distanzwiderstand werden ebenfalls keine bedeutenden Steigerungsraten des Gütemaßes mehr erzielt.

Anhand der ersten Experimente zeichnet sich ab, dass die Schätzgüte sowohl auf der Makro- als auch auf der Mikroebene in erheblichem Maße von der Veränderung der gewählten Skalierung durch eine entsprechende Wahrnehmungsfunktion abhängt. Hierzu sind entsprechende Optimierungsverfahren

Attribute und Verknüpfungen (mit Präferenzen)	Makroansatz (> 12.500 Raumzellen)	Mikroansatz (1%-Stichprobe)
Nur Vorauswahl	nicht möglich	nicht möglich
P	0,521	0,558
S	0,515	0,543
Q	0,518	0,440
I / d	0,726	0,707
P / d	0,776	0,285
S / d	0,776	0,249
Q / d	0,747	0,073
P * S * Q / d	0,678	0,149
(P + S + Q) / d	0,771	0,758

Tabelle 3: Gütemaße (14) aus verschiedenen Experimenten auf der Makro- und Mikroebene (mit Präferenzen)

einzusetzen und problembezogen zu modifizieren. Erste Versuche zeigen, dass insbesondere die Optimierung der Funktionsparameter für die relationalen Nutzenkomponenten (Distanzen) rechentechnisch problematisch ist, da sie im Gegensatz zu den strukturellen Attributen ( $[n * n/2]n$ ) Realisierungen aufweisen.

Werden im nächsten Schritt die individuellen bzw. kollektiven Präferenzen in Abhängigkeit von der Verknüpfung gemäß Gleichung (4) bzw. (8) eingeführt, ergeben sich die Gütemaße wie in Tab. 3. Hier zeigt sich einerseits sehr deutlich, dass ohne die Verwendung von Wahrnehmungsfunktionen keine adäquate Schätzgüte zu erreichen ist, da ohne diese keine Nutzen bringende Integration der Präferenzen erfolgen kann. Andererseits ist zu erkennen, dass eine multiplikative Verknüpfung von Teilnutzen über den Distanzwiderstand hinaus in dieser schlichten Verwendung keinesfalls zu einer Verbesserung der Gütemaße führt.

## 5 Diskussion

Wie sind die erreichten Werte der Gütemaße nun zu bewerten? Offensichtlich sind die gewählten Einflussparameter Preis, Qualität, Sortiment und Distanz allein oder auch in ihrer jeweiligen Kombination nur bis zu einem gewissen Grad in der Lage, die Einkaufsaktivitäten der Individuen im Untersuchungsgebiet zu beschreiben. Als Begründung hierfür könnte z. B. angeführt werden, dass

- die Eigenschaften der Geschäfte von den Konsumenten nicht in ihren empirisch ermittelten Werten wahrgenommen werden, sondern durch Wahrnehmungsfunktionen zu verändern sind; und/oder

- zusätzliche Einflussfaktoren existieren, über die (noch) keine Erkenntnisse vorliegen.

Die Wahrnehmungsfunktionen betreffend wäre zunächst eine Funktionsfamilie zu suchen. Hier kämen etwa lineare, exponentielle, logarithmische oder logistische Funktionen in Frage, deren Parameter anschließend unter Verwendung des Gütemaßes zu optimieren wären. Hinsichtlich der logistischen Funktionsfamilie ist auf die Ergebnisse von Kanhäuser (2004) zu verweisen. Im Kontext mit Fragen der Abgrenzung von Marktgebieten des Möbeleinzelhandels unter Verwendung von Potenzialansätzen thematisiert Kanhäuser die Frage der Distanzwahrnehmung durch den Konsumenten und kann empirisch eine Wahrnehmung in Form logistische Zusammenhang bestätigten bzw. entsprechende Hinweise aufzeigen. In wie weit diese Ergebnisse auf die vorliegende Bedarfsstufe zu übertragen ist, bleibt zu prüfen.

Logistische Funktionen sind jedoch auch aus formaler Sicht attraktiv, da sie sich durch ihrer Parametrisierung an andere Funktionsfamilien annähern lassen. Bei der Wahl der Funktionsfamilie ist auch die Art der Verknüpfung der Teilnutzen nochmals zu thematisieren: Werden sie addiert, behalten Funktionen ihre Familie bei, die Multiplikation führt aber in allen Fällen zu mindestens den Exponentialfunktionen ähnlichen Verläufen.

Auch die Existenz weiterer Einflussfaktoren ist nicht auszuschließen. Das wird besonders deutlich, betrachtet man die Schätzung einzelner Geschäfte. In den Zentralen Orten des Umlandes von Umeå trifft man häufig die Konkurrenzsituation zweier Supermärkte (Einkaufsgenossenschaft ICA und Filialunternehmen Konsum-Nord) an, die in unmittelbarer Nachbarschaft zueinander stehen und auch bezüglich der Attribute Preis, Produktqualität und Sortimentsgröße identische Merkmale aufweisen. Aufgrund ihrer gleichen Merkmalsausprägungen werden ihnen im Modell auch ähnliche Umsatzwerte zugewiesen, in der Realität unterscheiden sie sich ihre Umsätze aber meist zu Gunsten des ICA-Geschäfts beträchtlich voneinander, zum Teil bis zum Faktor 2. Unterschiedliche Geschäftsimages könnten dafür ebenso der Auslöser sein wie unterschiedliche Marketingstrategien (Werbung, Kundenkarten etc.), die im Rahmen der vorliegenden Modellbildung nicht erfasst werden konnten oder erfassbar sind.

## 6 Schlussfolgerungen

Makro- und Mikroansätze lassen sich grundsätzlich beim Vorliegen entsprechender Daten in einander überführen.

Die in verschiedenen Modellansätzen verwendeten Verknüpfungsvorschriften sind u. a. abhängig von der verwendeten Skalierung des strukturellen oder rela-

tionalen Teilnutzens (Messvorschrift) und der anschließenden Transformation in den vom Konsumenten wahrgenommenen Nutzen (Wahrnehmungsfunktion).

Im Fall einer multiplen Formulierung des Gesamtnutzens als Basis der Bewertung der Geschäfte kann bisher die Frage nach der glqrichtigengrqq Verknüpfungsvorschrift und der Gewichtung der Nutzenkomponenten (noch) nicht beantwortet werden.

Mittels der Strategie einer Optimierung der Schätzgüte, d.h. Maximierung des Gütemaßes unter Verwendung verschiedener Wahrnehmungsfunktionen und Gewichte sowie Verknüpfungsvorschriften, lassen sich in Anlehnung an Güßefeldt (2002, 336f) die entsprechenden Funktionen und Parameter auffinden. Im vorliegenden Fall ist eine solche Optimierung durch die hohe Zahl von Freiheitsgraden ausgezeichnet. Das eingesetzte MAS bietet hier jedoch die ideale Möglichkeit, die notwendigen Heuristiken zu entwickeln, zu testen und einzusetzen.

## Danksagung

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Finanzierung des Projekts und dem Spatial Modelling Centre (SMC) in Kiruna, Schweden, sowie der Arbeitsgruppe am Lehrstuhl für Künstliche Intelligenz, Institut für Informatik der Universität Würzburg, für ihre konstruktive Mitarbeit.

## Literatur

- Batty, M. (2003): Agent-based Pedestrian Modelling. Centre for Advanced Spatial Analysis Working Paper 61. [www.casa.ucl.ac.uk/working-papers/paper61.pdf](http://www.casa.ucl.ac.uk/working-papers/paper61.pdf).
- Benenson, I. (1998): Multi-Agent Simulations of Residential Dynamics in the City. *Computers, Environment and Urban Systems* Jg. 22, H. 1, S. 25-42.
- Bura, S. et al. (1996): Multiagent Systems and the Dynamics of a Settlement System. *Geographical Analysis* Jg. 28, H. 2, S. 161-178.
- EUROSTAT (1996): NACE Rev. 1, Statistische Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft, 2 E, EUROSTAT, Luxembourg.
- Güßefeldt, J. (2002): Zur Modellierung von räumlichen Kaufkraftströmen in unvollkommenen Märkten. *Erdkunde* Jg. 56, S. 351-370.

- Hartung, J. & Elpelt, B. (1984): *Multivariate Statistik - Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik*. München.
- Hpi (1991-1997): *Handeln i Sverige - Siffror och kommentarer till detaljhandelns omsättning i kommuner och län*, Handels Planinstitut AB, Halmstad.
- Holm E., Holme K., Mäkilä K., Mattsson-Kauppi M., Mörtvik G. (2002): The Sverige spatial microsimulation model Content, validation, and example applications. *GERUM Kulturgeografi* 2002:4, Kulturgeografiska institutionen, Umeå universitet.
- Huff, D.L. (1964): Defining and estimating a trading area. *Journal of Marketing* Jg. 28, S. 34-38. HUI (1998-2002): *Handeln i Sverige - Siffror och kommentarer till detaljhandelns omsättning i kommuner och län*, AB Handels Utredningsinstitut, Stockholm.
- Hunt et al. (2004): Spatial choice modelling. New opportunities to incorporate space into substitution patterns. *Progress in Human Geography* Jg. 28, S. 746-766.
- Kanhäußer, C. (2004): *Die Prognose von Marktgebieten am Beispiel der Möbel-einzelhandels. Das Huff- Modell auf dem Prüfstand*. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Department für Geo- und Umweltwissenschaften, Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Klein, R. & G. Löffler (1987): *Raumfunktionale Modellansätze zur Bestimmung von Standorten und Kaufkraftströmen im Lebensmitteleinzelhandel*. *Kurzberichte aus der Bauforschung*, Bd. 92, S. 405- 410.
- Koch, A. und P. Mandl (Hrsg.) (2003): *Multi-Agenten-Systeme in der Geographie*. *Klagenfurter Geographische Schriften*, Bd. 23.
- Klügl, F. (2001): *Multiagentensimulation. Konzepte, Werkzeuge, Anwendungen*. München.
- Löffler, G. (1987): *Konzeptionelle Grundlagen der chorologischen Betrachtungsweise in deterministischen Modellansätzen*. In: *Geographie des Menschen* Dietrich Bartels zum Gedenken, hg. v. G. Bahrenberg, J. Deiters, M.M. Fischer, W. Gaebe, G. Hard und G. Löffler. *Bremer Beiträge zur Geographie und Raumplanung*, Bd. 11, S. 195-206.
- Löffler, G. (1998): Market areas a methodological reflection on their boundaries. *GeoJournal* 45, S. 265- 272.
- Löffler, G. (2004): *Lebensmitteleinzelhandel in Schweden Wandel der Betriebsformen und Auswirkungen auf die Versorgung*. *Geographische Rundschau* Jg. 56, H. 2, S. 18-24.
- Löffler G. & Schrödl D. (2002): *Retail Business in the Functional Region of Umeå 1985-2000. Analysis of Structural Changes, Impacts of Shopping Centres and Consumer Behaviour*. CERUM Working Paper 56, Umeå.
- Miller, E.J. et al. (2004): *Microsimulating urban systems*. *Computers, Environment and Urban Systems* Jg. 28, S. 9-44.

- Parker, D.C. et al. (2003): *Multi-Agent Systems for the Simulation of Land-Use and Land-Cover Change: A Review*. *Annals of the Association of American Geographers* Jg. 93, H. 2, S. 314-337.
- Rauh, J. & Hesse R. (2002): *Agentenbasiertes geographisches Informations- und Simulationssystem als Werkzeug zur Shopping-Center-Planung*. *Geo- Informations-Systeme* Jg. 12, S. 10-15.
- Reilly, W.J. (1931): *The law of retail gravitation*. New York.
- SCB (2002): *En longitudinell databas kring utbildning, inkomst och selsättning (LOUISE) 1990-1999*. Statistiska Centralbyrån, Stockholm.
- Torrens, P.M. (2001): *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](http://www.casa.ucl.ac.uk/paper32.pdf).
- Wilson, A.G. & R.J. Bennett (1985): *Mathematical Methods in Human Geography and Planning*. Chichester.