

ZUR MODELLIERUNG VON RÄUMLICHEN KAUFKRAFTSTRÖMEN IN UNVOLLKOMMENEN MÄRKTEN

Mit 10 Abbildungen und 3 Tabellen

JÖRG GÜBEFELDT¹⁾

Summary: Modelling flows of spending power in incomplete markets

One of the main theorems of the “New Economic Geography” is concerned with incomplete markets caused by increasing returns. The commonly used model to predict spatial interaction probabilities, i.e. the Huff-model, is based on equilibrium assumptions. Thus there is a gap between new theory and old model which may be closed by introducing e.g. a new interaction model, if it were possible to show an empirical relevance of increasing returns. This latter is worked out for 171 locations in Hesse (Germany). But instead of developing a new interaction mode a very simple modelling trick is used to optimise a priori the measures of attractiveness used with the Huff-model. The solution presented here as algorithm I gives a very close approximation of commercial turnover in incomplete markets.

The second influence on the probabilities of interaction in the Huff-model is the distance between source and destination. The frequently used euclidian distance is based on the unrealistic assumption of an isotropic surface. Therefore it is proposed to use a digital network of roads channelling the traffic flows on their shortest paths. If such a network is not available, it may be derived from a TIN which must be slightly modified in respect to show more realistic features of the traffic routes. Solutions are given by algorithms II and III.

It is concluded that economic geographers should just concentrate in one part of their work on the classical theories of LÖSCH and CHRISTALLER, particularly on the latter’s “Dynamics of the Central Place System”. Then they may give “new economic geographers” a lead, because they have not yet comprehended these parts of the classical theories.

Zusammenfassung: Eines der Theoreme der “New Economic Geography” postuliert unvollkommene Märkte infolge von Skalenerträgen, wohingegen das viel benutzte Huff-Modell zur Modellierung von erdräumlichen Interaktionen ein Gleichgewichtsmodell ist. Neue Theorie und altes Modell passen also nicht mehr zusammen, weshalb eine diesbezügliche Lösung erarbeitet werden muss, wenn sich Skalenerträge empirisch belegen lassen. Da dies der Fall ist, gälte es, ein neues Interaktionsmodell zu entwickeln. Durch einen außerordentlich simplen Modellierungstrick gelingt es jedoch, die Attraktivitäten, eine der Einflussgrößen auf die Nachfrageinteraktionen a priori so zu optimieren, dass das Huff-Modell bei gegebenen Unvollkommenheiten der Einzelhandelsmärkte die Geschäftserfolge als Umsatz „richtig“ abbildet. Ein zugehöriger schrittweiser Lösungsweg (Algorithmus I) ist angegeben.

Als zweite Einflussgröße auf die Nachfrageinteraktionen enthält das Huff-Modell die Entfernung zwischen Quell- und Zielorten. Die häufig benutzte euklidische Distanz unterstellt eine unrealistische isotrope Oberfläche. Deshalb wird gezeigt, wie ein vorhandenes Verkehrsnetz bei der Anwendung des Huff-Modells durch die graphentheoretische Ermittlung kürzester Wege zu integrieren ist. Verfügt man über kein digitales Verkehrsnetz und ist der geographische Verlauf der Nachfrageströme nicht von vordringlicher Bedeutung, kann ersatzweise ein TIN benutzt werden, welches so zu modifizieren ist, dass es die Distanzüberwindungskosten möglichst gut abbildet. Die zugehörigen Lösungswege sind als Algorithmen II und III aufgeführt.

Die Theoreme der “New Economic Geography” sollten von Wirtschaftsgeographen weniger zum Anlass von Abwehrgefechten als vielmehr als Aufhänger dazu aufgefasst werden, sich wieder intensiver mit den inhaltlichen Ideen der Klassiker zu beschäftigen, die schließlich den quantitativen Modellen der “New Economic Geography” zugrunde liegen. Ihre Vertreter haben gerade CHRISTALLERS statische Theorie rezipiert, aber weder seine Ideen zur Dynamik noch diejenigen von LÖSCH entdeckt und aufgearbeitet. Auf diesen Feldern könnten also Wirtschaftsgeographen noch eine Vorreiterrolle spielen, wenn sie denn wollten.

1 Einführung

Der Einzelhandel gilt als einer der stärksten Gestaltungskräfte unserer Städte, und gleichzeitig kommt ihm gesamtgesellschaftlich eine wichtige Versorgungsaufgabe der Bevölkerung zu. Gleichzeitig ist er einer der sehr reagiblen Wirtschaftssektoren, in welchem einerseits Innovationen sehr schnell infolge der Konkurrenzsituation adoptiert werden müssen, andererseits aber Standorte auch leicht aufgegeben werden, wenn die

äußeren Bedingungen sich verschlechtern. Neueintritte in den Markt erfolgen an solchen Standorten, die wahrscheinlich einen Geschäftserfolg versprechen.

Betrachtet man nur die letzten 30 Jahre, so lassen sich schlagwortartig folgende Veränderungen der Raumstruktur erkennen:

¹⁾ Der DFG sei für die finanzielle Förderung des Projekts gedankt!

- Einrichtung von Fußgängerzonen in den Innenstädten,
- Rückbau von Straßen kombiniert mit der flächenhaften Ausdehnung von verkehrsberuhigten Zonen bei weiter steigender Motorisierung,
- Erschließung neuer Angebotsstandorte auf der „grünen Wiese“ mit kostenlosen Parkmöglichkeiten,
- Verstärkung der Reglementierung durch die Bau-nutzungsverordnung und vieles andere mehr.

Unter diesen Aspekten verwundert es nicht, dass immer wieder die Frage auftaucht, wie die veränderte Raumstruktur auf die Standortentscheidungen des Einzelhandels wirkt. In vielen Fällen werden zur Abschätzung wahrscheinlicher Auswirkungen Gleichgewichtsmodelle wie z. B. dasjenige von HUFF (1963) benutzt. Es gehört der Klasse von Gravitationsmodellen an, macht jedoch anders als die reinen Gravitationsmodelle eine Wahrscheinlichkeitsaussage. Diese Modellklasse erfreut sich nicht zuletzt deshalb so großer Beliebtheit, weil die zu verwendenden Variablen leicht verfügbar und die Parameter einfach zu schätzen sind, etwa verglichen mit den entropiemaximierenden Modellen von WILSON (1970), die auch zu den Gleichgewichtsmodellen gehören. Nach den Überlegungen der „New Economic Geography“ um KRUGMAN (1991) gibt es mit ihnen allen das Problem der Inkompatibilität zwischen Theorie und Modell. Die neueren theoretischen Ansätze gehen nicht mehr von Gleichgewichten, sondern im Gegenteil von Ungleichgewichten aus, die durch Skalenerträge entstehen und zu Clustern/Agglomerationen von spezialisierten Angebotsstandorten führen, die dann diese Unvollkommenheit des Marktes weiter verstärken.

Mit diesem Beitrag sollen folgende Ziele erreicht werden:

1. Da Skalenerträge in den Argumenten der „New Economic Geography“ eine herausragende Rolle spielen, muss zunächst einmal ihre empirische Relevanz für wirtschaftsgeographische Untersuchungen belegt werden.
2. Es wird eine methodische Ergänzung von Gleichgewichtsmodellen vorgestellt, die es ermöglicht, allgemeine Unvollkommenheiten zu berücksichtigen und trotzdem weiter ein einfach zu handhabendes Modell anzuwenden.
3. Die Kaufkraftströme sollen über ein existierendes Verkehrsnetz fließen, so dass regional verschiedene Verkehrsmöglichkeiten entsprechend berücksichtigt werden können.
4. Anhand eines Fallbeispiels wird abschließend die Anwendung der Methodik demonstriert, in welcher auch gezeigt wird, wie eine Änderung der Raumstruktur auf den Geschäftserfolg des Einzelhandels wirkt.

Zu den Punkten zwei und drei werden operationale Handlungsanleitungen als sprachlich formulierte Algorithmen angegeben.

2 Theoretische Grundlagen

Es ist zwar augenblicklich nicht en vogue, sich mit der Theorie Zentraler Orte von CHRISTALLER (1933) zu beschäftigen, nur hat bislang niemand den konsequenten Versuch durchgehalten, ihre Dynamisierung zu Ende zu führen, wie sie in Ansätzen schon einmal von dem Verfasser vorgestellt worden ist (GÜBEFELDT 1980). Das geschieht auch im vorliegenden Beitrag nicht, wie zu betonen ist, denn schließlich wird hier nur der Sektor des Einzelhandels betrachtet und nicht die Gesamtheit der Versorgung. Es ist jedoch a priori nicht auszuschließen, dass die hier vorgetragenen Überlegungen auch auf andere Sparten der Versorgung übertragbar sein könnten.

Die heutige Kritik an der zentralörtlichen Theorie ist ein alter Hut, der genauso betagt ist wie die Theorie selbst, denn schließlich war es CHRISTALLER selbst, der sie erschöpfend vorgetragen hat. In seinen Ausführungen zu „Vorgänge der Dynamik“ (1933, 86–133) findet man alle Argumente heutiger Kritiker und selbst Überlegungen zu den heute in den Mittelpunkt des Interesses gerückten *Economies of Scale* fehlen nicht, nur dass sie CHRISTALLER (1933, 102) als „Massenherstellung“ bezeichnete. Allerdings lässt seine „Verbilligung der Produktion infolge zunehmender Spezialisierung der Güterarten und Massenherstellung“ nicht deutlich erkennen, ob er damit auch „Sondergewinne“ (*Increasing Returns*) im Sinne von LÖSCH (1940, 77) meint. Gerade dieser letzte Aspekt soll hier zusammen mit der Verkehrserschließung, „Veränderung der Wegsamkeit“ im Original (1933, 104) genannt, in den Mittelpunkt der Betrachtung gerückt werden, weil damit eine direkte Anknüpfung an einige der Hauptthesen der „New Economic Geography“ möglich wird. Sie lauten nach KRUGMAN (1991), nicht nach CHRISTALLER (1933), was zwar ebenso möglich gewesen wäre, heute aber modisch nicht opportun erscheint, weil einige ehemalige Zentralitätsexperten die Finalisierung der zentralörtlichen Theorie proklamiert haben und ich nicht bereit bin, die Opportunitätskosten ihrer erneuten Diskussion zu tragen:

1. Durch Skalenerträge entstehen unvollkommene Märkte, so dass Agglomerationseffekte bei der Standortwahl von Unternehmen wirksam werden.
2. Sie bewirken in Abhängigkeit von den Transportkosten eine weitere Konzentration spezialisierter Anbieter, d. h. die größeren Zentren, die diese *Increasing Returns* bieten, wachsen auf Kosten der kleineren.

3. Dieses Wachstum der großen Cluster von Angebotsstandorten hat eine Vergrößerung der Ergänzungsgebiete zur Folge, in denen entsprechende Angebote infolge fehlender Rentabilität nicht mehr gemacht werden können.

2.1 Zur empirischen Relevanz von Skalenerträgen

Die Existenz von Skalenerträgen scheint für ökonomische Theoretiker eher eine Selbstverständlichkeit zu sein und weniger ein Forschungsgegenstand. Für empirisch arbeitende Wirtschaftsgeographen sieht das jedoch ganz anders aus. Sollen Skalenerträge nicht nur als Argumentationsdummy herhalten, muss ein Beleg für ihr Vorhandensein erbracht werden. Ausgehend von KRUGMANS These, dass die Größe eines Marktes die Höhe der Erträge bestimmt, kann man Größe durch die lokale Anzahl der Arbeitsplätze im Einzelhandel und Erträge als Umsatz pro Anbieter operationalisieren. Ein bedeutsamer positiver Zusammenhang zwischen beiden Variablen weist dann auf Skalenerträge hin. Dem folgenden empirischen Beispiel liegen Angaben der 171 hessischen Gemeinden mit 10.000 und mehr Einwohnern zugrunde.

Außer Skalenerträgen spiegelt das Streudiagramm in Abbildung 1 ganz offensichtlich auch andere Unvollkommenheiten wider, denn sonst müssten alle Punkte näher an der Geraden bzw. sogar auf ihr liegen. Wie so häufig bei einfachen Regressionen, kann die dargestellte Beziehung von anderen Einflüssen überlagert sein und dadurch gestört werden. Als derartige globale Störeffekte kommen beispielsweise in Frage:

- Ein variierendes Konsumentenverhalten, welches von der Sozialstruktur und dem Einkommen abhängig ist.
- Die Mobilitätsmöglichkeit und -bereitschaft zu Einkaufszwecken etc.

Darüber hinaus gibt es singuläre lokale Störfaktoren, die sich nur durch zusätzliche Informationen eliminieren ließen. So können an einzelnen Standorten z. B. (regionale) Konzernverwaltungen lokalisiert sein, deren Angestellte in den Statistiken als Einzelhandelsbeschäftigte angegeben sind, die aber nichts direkt mit dem örtlichen Einzelhandel – also dessen Verkauf – zu tun haben. Demgegenüber können spezialisierte Produktionen des Einzelhandels zur Funktionserfüllung von Standorten für Bildung (z. B. kleine Universitätsstädte mit großen Universitäten), Erholung etc. ebenfalls lokale Abweichungen verursachen. Diese Störeffekte sind an dieser Stelle wegen des damit verbundenen Aufwands nicht zu entfernen, jedoch müssen sie später in einem Optimierungsalgorithmus ausgeschlossen werden.

Jetzt geht es zunächst nur um den empirischen Beleg, dass wahrscheinlich Skalenerträge existieren und ob sie in der Tat nur durchschnittlich 28,24% des Geschäftserfolgs bedingen, wie der Korrelationskoeffizient in Abbildung 1 nahe legt. Diese Frage lässt sich mit Hilfe der Partiiellen Pfadanalyse zumindest teilweise beantworten. Als ein möglicher Indikator für unterschiedliches Konsumentenverhalten kann der Prozentsatz von Haushaltsvorständen mit akademischem Titel (% Akademiker genannt) gelten. Der Grad der Motorisierung gemessen in Pkw pro 100 Einwohner (Pkw je EW) sagt etwas über die Mobilitätsmöglichkeiten aus. Die einzelhandelsrelevante Kaufkraft (ErKk), von der Gesellschaft für Konsumforschung ermittelt, ist hingegen einerseits ein Indikator für Einkommensvariationen der Wohnbevölkerung, andererseits aber auch ein wichtiger Standortfaktor für Einzelhandelsunternehmen. Die Größen- bzw. Agglomerationseffekte können durch die beiden Indikatoren Anzahl der Einzelhandelsfirmen (Einzelh.-Firmen) und die Zahl der im Einzelhandel sozialversicherungspflichtig Beschäftigten (Sozialvers. Beschäftigte) beschrieben werden. Den durchschnittlichen Geschäftserfolg soll auch jetzt wieder der Umsatz pro Einzelhandelsfirma (Umsatz je Firma) angeben.

Ordnet man diese Variablen in der eben genannten Reihenfolge an und hält jeweils die Einflüsse vorangestellter auf alle nachfolgenden bis auf die endogene Abhängige (Umsatz je Firma) konstant, kann jede einzelne von ihnen nur noch mit ihrer restlichen unbeeinflussten Stärke auf letztere wirken. In Abbildung 2 ist dieser Vorgang veranschaulicht, in deren oberem Teil die konstant gehaltenen Wirkungen als auspartialisierte Effekte durch die grauen Pfeile wiedergegeben sind. Unterhalb der Variablenkästchen sind die bereinigten Wirkungen auf die endogene Abhängige als schwarze Pfeile zusammen mit ihren standardisierten Koeffizienten als direkte Effekte angegeben, die man als Gewichte auffassen kann. Insgesamt reproduziert dieses Modell 66,3% der Varianz des durchschnittlichen Geschäftserfolgs, so dass ein Rest von 33,7% übrig bleibt.

Bei näherem Hinsehen bieten die Modellergebnisse eine Überraschung. Agglomerationseffekte sollten durch die beiden Indikatoren Anzahl der Einzelhandelsfirmen und die Zahl ihrer sozialversicherungspflichtig Beschäftigten operationalisiert werden. Demgemäß würde man eine positive Wirkung beider Einflussgrößen auf den Umsatz je Firma erwarten, jedoch wird in Abbildung 2 ein negativer Koeffizient angezeigt, der soviel besagt wie: Je höher die Anzahl der Einzelhandelsfirmen ist, desto geringer ist wahrscheinlich ihr Umsatz. Doch diesbezüglich ist Vorsicht geboten, denn die Anzahl der Firmen ist selbst zu mehr als 86% von den

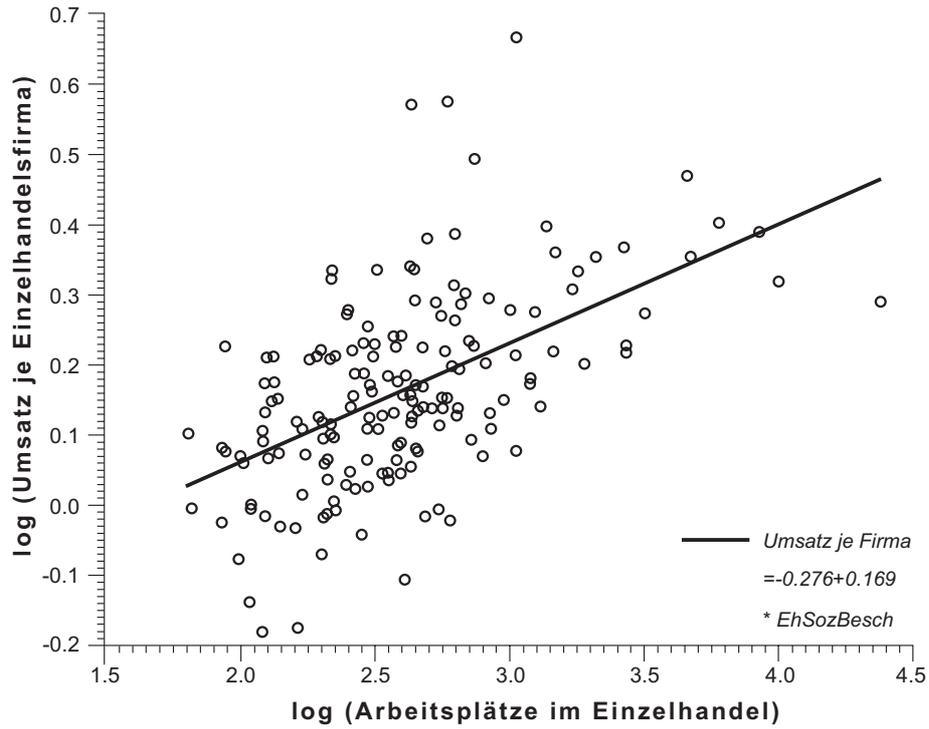


Abb. 1: Die Größe eines Standorts beeinflusst den Geschäftserfolg
The influence of the size of a location on business turnover

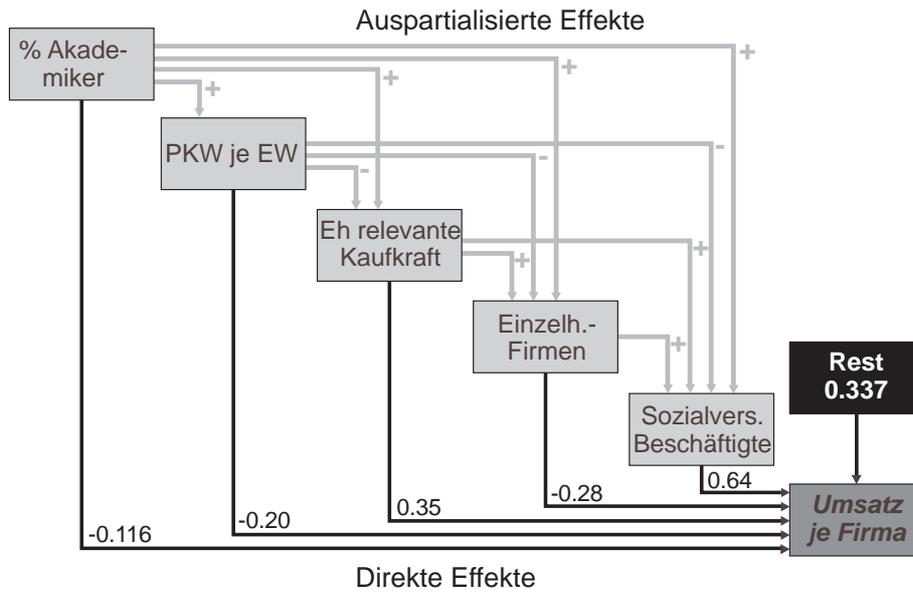


Abb. 2: Ein Ursachengeflecht des Geschäftserfolgs
Business turnover in a causation network

vorangegangenen Einflussgrößen abhängig, von denen mit 76,23% die einzelhandelsrelevante Kaufkraft das größte Gewicht besitzt. Dadurch tritt ihre Bedeutung als herausragender Standortfaktor des Einzelhandels hervor. Die zusätzlich am Ort ansässigen Firmen, die in dem Gesamtmodell den negativen direkten Effekt bewirken, sind dann wahrscheinlich auf Konkurrenzbeziehungen zurückzuführen.

An dieser Stelle bestand lediglich das Ziel, Skalenerträge empirisch zu belegen. Die vorgestellten Ergebnisse machen nun darauf aufmerksam, dass eine einfache Festlegung von Agglomerationseffekten, wie sie im anfänglichen Beispiel benutzt wurde, wahrscheinlich nicht ausreicht, um Skalenerträge hinreichend zu quantifizieren. Erst wenn es gelingt, auch die Konkurrenz entsprechend zu berücksichtigen, die in der Marktwirtschaft einen wichtigen Regulator darstellt, tritt die Wirkung von Größeneffekten und die durch sie bedingten Skalenerträge deutlicher hervor. Im vorliegenden Beispiel lassen sich 48,77% des Einzelhandelsumsatzes auf Skaleneffekte zurückführen, deren Anteil nochmals steigt, wenn man die 12,23-prozentige Wirkung der einzelhandelsrelevanten Kaufkraft wenigstens teilweise den Agglomerationseffekten zurechnet und sie nicht nur als Einkommensindikator ansieht.

3 Methodische Überlegungen

Nachdem zumindest ansatzweise die Bedeutung von Skalenerträgen belegt ist und die Restvarianz von 33,7% auch noch auf andere mögliche Unvollkommenheiten der Einzelhandelsmärkte oder andere Störungen der Beziehungen hinweist, stellt sich die Frage, wie dieser Sachverhalt in einer Modellierung von Kaufkraftströmen zu berücksichtigen ist.

3.1 Das Huff-Modell

Dazu soll, wie eingangs schon erwähnt, das Huff-Modell verwendet werden, weil es in der Praxis sehr häufig angewandt wird und es nach der detaillierten vergleichenden Untersuchung von R. KLEIN (1992) von allen verfügbaren Modellen am besten geeignet erscheint. Trotz seiner hohen Bekanntheit sei seine formale Beschreibung der Bequemlichkeit halber hier wiederholt:

$$(1) P_{ij} = \frac{A_i \times d_{i,j}^{-\lambda}}{\sum_{k=1}^n A_k \times d_{i,k}^{-\lambda}} \quad j = \{n\} \text{ Quellorte}$$

Die Interaktionswahrscheinlichkeit P_{ij} zwischen zwei beliebigen Orten i und j ergibt sich als Quotient der

mit der inversen Distanz zwischen i und j gewichteten Attraktivität A_i des Zielortes i und der Summe der distanziiell gewichteten Attraktivitäten A_j aller Orte. Für den Fall $i = j$ gibt das Modellergebnis dann die Wahrscheinlichkeit der Nachfrage im eigenen Ort an. Ganz unmathematisch sei diese Situation auch formal notiert, weil in dieser Form einige Eigenschaften des Modells leichter erkannt werden können:

$$(2) P_{i,j} = \frac{A_i \times d_{i,i}^{-\lambda}}{A_i \times d_{i,i}^{-\lambda} + \sum_{k \neq i}^n A_k \times d_{i,k}^{-\lambda}}, \text{ für } i=1,2,\dots,n \text{ Zielorte}$$

Zunächst erkennt man im Zähler, dass die Distanz eines Ortes zu sich selbst zu bestimmen ist. Dies Problem wird üblicherweise durch eine Setzung von beispielsweise $d_{ii} = 1$ oder eine beliebige andere Konstante für die innerörtliche Wegentfernung gelöst oder nach dem Vorschlag von KLEIN/LÖFFLER (1989) durch eine Verschiebung der Distanzfunktion: $d_{ij}^* = 1 + d_{ij}$. Das bedeutet nichts anderes, als zu jeder Distanz eine beliebige konstante Innerortsentfernung zu addieren, die nicht unbedingt 1 lauten muss. Weitaus mehr Schwierigkeiten macht die Schätzung des Distanzparameters λ . Während HUFF ihn in Abhängigkeit der Fristigkeit der nachgefragten Güter sieht, je kurzfristiger die Nachfrage ist, desto größer wird der Raumwiderstand, und damit an die Reichweitenhypothese CHRISTALLERS anknüpft, kann an dieser Stelle bei einem undifferenzierten Angebot nur eine Definition aus der Klemme helfen. Im Weiteren erhält dieser Parameter den Wert 2, wodurch im Nenner von (1) dann das klassische Angebotspotenzial steht. In (2) ist aus ihm das Angebotspotenzial im eigenen Ort vor das Summenzeichen gezogen worden. Dadurch lässt sich jetzt direkt ablesen, dass die verbleibende Summenterme die Angebote aller Konkurrenten des Ortes i beschreibt. Liegen sie sehr weit entfernt, nähert sich die Summe in (2) dem Wert 0, so dass die Wahrscheinlichkeit, im eigenen Ort einzukaufen, gegen 1 geht. Da $\sum P_i = 1$ ergibt, also Angebotsdefizite durch Angebotsüberhänge ausgeglichen sind, beschreibt das Modell einen Gleichgewichtszustand.

Damit sind wir nach diesen langatmigen Erläuterungen, die hoffentlich auch Nicht-Mathematikern das Verstehen erleichtern, endlich in der Nähe des Kerns der methodischen Fragestellung gelandet. Da nach Auffassung der "New Economic Geography" nicht Gleichgewichte, sondern Ungleichgewichte auf den Märkten vorherrschen, stellt sich die Frage, wie sie in einem solchen Modell berücksichtigt werden können. Auch KLEIN (1992) hat konstatiert, dass das Modell selbst bei Verwendung der Verkaufsfläche als Attraktivitätsindikator, die auch von HUFF (1963) verwendet

Verhalten der Unternehmen am Standort abhängig ist, sondern auch von demjenigen der Unternehmen in konkurrierenden Angebotsorten. Hinzu kommen die o. a. Konsumenteneigenschaften, die jedoch ausgeschlossen bleiben sollen. Um mit dem Huff-Modell zu einer Aussage über den Umsatz an einem Ort zu gelangen, ist eine weitere Variable erforderlich, die für jeden Ort die Kaufkraft beschreibt. Hierfür wurde die bereits in Abschnitt 2.1 vorgestellte Größe der einzelhandelsrelevanten Kaufkraft (ErKk) benutzt, welche die potenzielle Stromgröße darstellt. Der Umsatz jeden Ortes ergibt sich dann als Schätzwert aus:

$$(3) U_i^* = \sum_{j=1}^n P_{i,j} \times \text{ErKk}_j, \text{ für } i=1,2,\dots,n \text{ Angebotsorte}$$

Wie Abb. 3 zeigt, führt die Anwendung von (1) und (3) zu einem geschätzten Umsatz, der beträchtlich höher als der gemessene ist, wie Punkt \ominus in Abbildung 3 ausweist. Jetzt gilt es, die Attraktivität des Ortes i derart zu verändern, dass der geschätzte Umsatz dem gemessenen entspricht: $|{}_zU_i - U_i^*| \rightarrow \text{Minimum}$. Da die Umsatzfunktion unbekannt ist, lässt sich die Aufgabe nur schrittweise erledigen, wobei die ersten m Schritte ohne Optimalitätsbedingungen durchgeführt werden. Ist der geschätzte Umsatz größer als der gemessene, wird die Attraktivität halbiert, im umgekehrten Fall wird sie verdoppelt.

$$(4) A_{i,m}^* = \begin{cases} 0.5A_i, & \text{wenn } {}_zU_i - U_i^* < 0 \\ 2A_i, & \text{wenn } {}_zU_i - U_i^* > 0 \end{cases}$$

Für die weiteren $m + 1$ Schritte ist der Lösungsweg in Abb. 3 graphisch skizziert. Die beiden jeweils letzten Punkte oberhalb und unterhalb der Zielgröße ${}_zU_i$ – in der Abbildung mit den eingekreisten Nummern \ominus und \otimes gekennzeichnet – werden durch eine Gerade $A = b_{01} + b_{11}U$ miteinander verbunden. Ihre Steigung b_{11} wird bestimmt nach:

$$(5) b_{11} = \frac{A_{i,k}^* - A_{i,k-1}^*}{U_{i,k}^* - U_{i,k-1}^*},$$

worin k für den aktuellen Iterationsschritt steht. Die Berechnung des zugehörigen Achsenabschnitts b_{01} lautet:

$$(6) b_{01} = A_{i,k}^* - b_{11} \times U_{i,k}^*$$

Hiernach kann der nächste Schätzwert für die Attraktivität als Schnittpunktkoordinate der Geraden mit der Zielgröße ermittelt werden:

$$(7) A_{i,k+1}^* = - \frac{{}_zU_i - b_{01}}{-b_{11}}$$

Diesen Schätzwert der geänderten Attraktivität setzt man jetzt in (1) ein und erhält nach (3) einen neuen

geschätzten Umsatz. Liegt dieser innerhalb einer zugelassenen Toleranzgrenze, wird der Algorithmus beendet. Praktisch wäre eine perfekte Übereinstimmung erreichbar, es ist jedoch zu bezweifeln, dass sie inhaltlich einen Sinn macht, worauf gleich zurückgekommen wird.

Das bisher Gesagte lässt sich zusammenfassen als:

Algorithmus (I):

1. Schätze die Interaktionswahrscheinlichkeiten zwischen einem Quellort j und allen Angebotsstandorten i durch Anwendung von (1).

2. Berechne den Umsatz U_i^* im Zielort anhand von (3).

3. Ist der Betrag der Differenz zwischen Schätzwert und Messwert des Umsatzes in i kleiner/gleich eines vorher definierten Toleranzwertes der Abweichung, dann notiere die zugehörige Attraktivität von i und beende, sonst:

4. Schätze eine neue Attraktivität von i anhand von (4) oder (5) bis (7) und fahre mit Schritt 1 fort.

Je nach Umsatzfunktion und Breite des Toleranzbereichs um die Zielgröße konvergiert der Algorithmus in wenigen Schritten, der einfach zu programmieren ist. Er bietet jedoch nur eine sog. lokale Optimierung, d. h. für jeweils nur einen betrachteten Angebotsstandort. Sollen die Attraktivitäten mehrerer Standorte optimiert werden, empfiehlt sich ein hierarchisches Vorgehen vom größten zum kleinsten Standort, was aber noch keine globale Optimierung garantiert. Erst wenn man den Algorithmus u. U. mehrfach auf ein ganzes Standortsystem mit den jeweils veränderten Attraktivitäten anwendet, kann man sich einem globalen Optimum nähern. Diese Aufgabe, auch hierfür Optimalitätsbedingungen zu erarbeiten, muss aber späteren Arbeiten vorbehalten bleiben.

3.3 Die Berücksichtigung eines Verkehrsnetzes

Einer der Nachteile des klassischen Huff-Modells besteht darin, dass zwischen allen Orten eines räumlich definierten Untersuchungsprogramms Interaktionen stattfinden, sofern die Attraktivitäten der Orte nur größer Null sind. Das führt zu einem unstrukturierteren Kreuz-und-quer-Muster von Interaktionsströmen (KLEIN 1992, 81 ff.), die in der Realität z. T. infolge vorhandener räumlicher Barrieren gar nicht auftreten können. Dem steht jedoch der Vorteil gegenüber, dass für jeden Ort nur ein Rechts- und ein Hochwert eines geographischen Koordinationssystems gespeichert werden muss, aus denen die benötigten Distanzen direkt berechnet werden können. Umfangreiche Distanzmatrizen können deshalb entfallen. Weiter zeigt KLEIN

(1992), wie dieses unstrukturierte Interaktionsmuster durch die Anwendung der oben schon erwähnten Filter in ein räumlich vorstrukturiertes Muster überführt wird. Allerdings ist das unstrukturierte Nachfragemuster nicht so völlig unrealistisch, wie der Autor meint, sondern man wird immer in ausreichend großen Stichproben von Konsumentenbefragungen solche Nachfrager finden, die selbst aus den entlegensten Winkeln ange-reist sind, wofür häufig nicht einmal irrationale Verhaltensweisen verantwortlich sind. Daran sei erinnert, weil hieraus erkenntlich wird, dass sich die an einem Ort gemessenen Umsätze aus Teilen zusammensetzen, deren Herkunft in drei sehr unterschiedlichen Raumkategorien lokalisiert sind. Der größte Anteil der realisierten Umsätze entfällt in der Regel auf die Nachfrage aus dem eigenen Angebotsstandort, der zweite Hauptteil auf den Einzugsbereich, und schließlich fließt der dritte Teil aus dem Rest der Welt zu. Ziel der Modellierung können nur die beiden erstgenannten Anteile sein, da man in der Regel keine Informationen über den Rest der Welt besitzt, die in dem Modell berücksichtigt werden könnten. Für die praktische Durchführung einer Modellierung sei deshalb angenommen, dass diese Zuflüsse durch Abflüsse in gleicher Höhe ausgeglichen werden. Infolge der Unsicherheit dieser Annahme sollte der oben erwähnte Toleranzbereich um die Ziel-funktion nicht zu eng gewählt werden.

Strukturieren lässt sich das kritisierte Kreuz-und-quer-Muster aber nicht nur durch die Anwendung von Filtern, sondern auch durch die Vorgabe eines konkreten Verkehrsnetzes, welches die Interaktionsströme kanalisiert. Dazu wird man unter heutigen Bedingungen noch das Straßennetz verwenden. Dadurch wird an dem eigentlichen Huff-Modell nichts verändert, sondern nur die Bedingung eingeführt, dass die Distanzen d_{ij} keine euklidischen sind, sondern Weglängen oder Fahrzeiten im gewählten Verkehrsnetz entsprechen. Diese Bedingung ist sehr einfach einzuhalten, indem jetzt doch eine zugehörige Entfernungsmatrix erzeugt und gespeichert wird, aus der die benötigten Distanzen zu entnehmen sind. Allerdings darf diese Entfernungstabelle nicht den üblichen Aufbau mit den Zeileneingängen als Quellorten und den Spalteneingängen als Zielorten haben, weil ihre graphische Darstellung dann wieder nur ein unstrukturiertes Interaktionsmuster ergeben würde.

Die Lösung ist weniger mathematischer, sondern mehr informatischer Art, denn es kommt darauf an, eine Organisationsstruktur der Distanzmatrix zu entwickeln, die bei einer Versorgungsfahrt von i nach j einen konkreten Weg vorschreibt. Das erfordert im ersten Lösungsschritt eine lineare Anordnung der ursprünglich dreiecksförmigen Entfernungstabelle.

Dazu muss zuerst die Entscheidung getroffen werden, ob auch die Diagonale der Dreiecksmatrix zu berücksichtigen ist oder nicht. Unter üblichen Bedingungen stehen in ihr nur Nullen, da kein Ort eine Entfernung zu sich selbst hat. Wie oben aber erläutert, sind derartige Innerortsdistanzen im Huff-Modell relevant, die für jeden Ort in der Diagonalen stehen könnten. Will man also keine globalen Definitionen für sie verwenden, muss man eine Transformationsfunktion auf die Dreiecksmatrix anwenden, die eine entsprechend größere Rechtecktablelle zur Folge hat. Im Weiteren wird eine Transformation ohne Diagonale angewandt, die $z = n(n-1)/2$ Zeilen ergibt. Zur Adressierung einer solchen Tabelle mit Hilfe der Zeilen- und Spaltenindizes i und j ist folgende Zeigerfunktion geeignet: $k = (i-1)(i-2)/2 + j$, für $i > j$ und $k = (j-1)(j-2)/2 + i$, für $i < j$. Mit ihrer Hilfe kann die rechteckige Distanztabelle aufgebaut werden, in deren erster Spalte die benötigte Entfernung d_{ij} in der Zeile k steht.

Der zweite Lösungsschritt muss darin bestehen, konkrete geographische Wege für die Einkaufsfahrten zu definieren. Dazu sind zunächst einige sprachliche Vereinbarungen zu treffen. Jeder geographische Weg besteht aus m Knotenpunkten und den $m-1$ zwischen ihnen verlaufenden Strecken s . Gäbe es zwischen jedem Quellort i und jedem Zielort j einen direkten Weg, bedürfte es keines weiteren Lösungsschrittes, weil i und j gegeben sind. Liegen Quell- und Zielorte weiter voneinander entfernt, so wird ein Weg zwischen ihnen über intervenierende Knoten verlaufen. Diese Informationen müssen nun in einer zweiten Rechtecktablelle, der Wegtablelle, abgelegt werden, die ebenfalls z Zeilen hat. Die Zahl ihrer Spalten hängt von der Genauigkeit bzw. dem Maßstab ab, in welchem die Wege aufgenommen sind, so dass sie a priori nur als Maximalzahl zu bestimmen ist. Kommen zu den n Standorten noch g Durchgangsknoten, die keine Quell- oder Zielorte sind, dann beträgt die Spaltenanzahl der Tabelle $n-2+g$. Man muss daraus die Konsequenz ziehen, das zu verwendende Verkehrsnetz so stark wie möglich zu generalisieren, weil die Tabelle sonst Größenordnungen annimmt, die nur noch von Hochleistungscomputern zu verarbeiten ist.

Aber nicht nur die Generalisierung der Verkehrswege bietet eine Möglichkeit der Minimierung des Tabellenumfanges, sondern auch die Überlegung, ob tatsächlich alle übrigen Standorte überhaupt als intervenierende Knoten in Betracht kommen. Das wäre mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ebenso unrealistisch wie die Direktverbindungen zwischen allen Quell- und Zielorten. Damit stellt sich zwingend die Frage, welche Wege befahren werden dürfen und welche nicht. Hier werden im Weiteren nur die jeweils

kürzesten Wege zwischen Start und Ziel einer Einkaufsfahrt berücksichtigt. Sie lassen sich halbautomatisch mit Hilfe eines Routenplaners ermitteln, was jedoch einen beträchtlichen Arbeitsaufwand bedeutet. Mit etwas weniger Aufwand kann ein digitales Verkehrsnetz durch einen graphentheoretischen Algorithmus zur Bestimmung der kürzesten Wege benutzt werden.

Die Anwendung eines solchen Algorithmus setzt voraus, dass die einzelnen Strecken s mit einer Distanz attribuiert sind. Hierfür kommen euklidische Distanzen, gemessene Weglängen oder Fahrzeiten in Frage. Am interessantesten sind hiervon zweifelsohne letztere, weil durch sie auch „schwierige“ oder „leichte“ Fahrstrecken abzubilden sind, wobei man sich aber darüber bewusst sein muss, dass Fahrzeiten nur im Durchschnitt angegeben werden können, wenn das Verkehrsnetz als Straßennetz definiert ist. Eine größere Genauigkeit ermöglichen im letzteren Fall die tatsächlichen Entfernungen, die aber auch keine fehlerfreien Messwerte sind. Die Benutzung eines wenig generalisierten Straßennetzes, dessen Strecken mit durchschnittlichen Fahrzeiten attribuiert sind, führt also lediglich zu einer Pseudogenauigkeit. Eine Entscheidungshilfe kann die nachstehende Übersicht in Tabelle 1 bieten.

In der Regel wird man nicht über ein digitales Straßennetz verfügen, sondern muss es selber digitalisieren. Auch in dem Fall bietet Tabelle 1 eine Entscheidungshilfe. Will man sich der Mühsal des Digitalisierens entziehen, gibt es einen leichten mathematischen Lösungsweg, der lediglich geringfügiger Nachbearbeitung bedarf. Er besteht aus fünf Schritten, die nur voraussetzen, dass alle Quell- und Zielorte in einem orthogonalen geodätischen Koordinatensystem abgebildet sind.

Algorithmus (II):

1. *Berechne die Delaunay-Kanten zwischen den Knoten.*
2. *Entferne alle Kanten, die nicht als direkte Verbindungswege auf einer analogen Karte existieren.*
3. *Füge die Kanten der direkten Verbindungswege zwischen allen i und j ein, die eine analoge Karte anzeigt.*
4. *Berechne die geodätischen Koordinaten der Schnittpunkte der eingefügten Kanten untereinander und mit den Delaunay-Kanten und füge sie als g Knoten der Knotendatei hinzu.*
5. *Berechne die euklidischen Distanzen zwischen den Schnittpunkten und ihren benachbarten Knoten.*

Verfügt man statt einer analogen Karte über eine digitale, ist (II) zu programmieren. Wie nützlich das sein kann, ist in Abbildung 4 für wenige Schritte angedeutet. So erkennt man beispielsweise noch leicht, dass zwischen Lichtenfels und Willingen im Westen keine

Straße existiert, weshalb die entsprechende Kante des Delaunay-Netzes zu entfernen wäre. Dasselbe gilt in diesem Beispiel auch für alle übrigen Kanten der konvexen Hülle, aber nicht nur für sie, sondern auch eine Reihe anderer Kanten, die nicht alle gekennzeichnet sind. So etwa führt der Weg von Diemelsee nach Diemelstadt in dem gekauften digitalen Straßennetz über Arolsen, so dass auch diese Kante im 2. Schritt des Algorithmus zu löschen wäre. Hingegen müsste im 3. Schritt u. a. der Weg von Wolfhagen nach Habichtswald eingefügt werden, wonach dann die Schritte vier und fünf relevant sind. Auf der anderen Seite verdeutlicht Abb. 4 gerade im Raum Kassel, dass das Straßennetz ohne Bearbeitung keine Alternative bietet. Insgesamt besteht es aus 989 Wegen mit 9531 Knoten, d. h. die aufzubauende Wegtabelle müsste 9549 Spalten haben.

Jeder GIS-Experte wird sich nun vorstellen, mit welcher Abstandsdistanz der Douglas-Peucker-Algorithmus dieses Netz generalisieren muss, damit eine überschaubare Anzahl von Knoten übrigbleibt und es sich für die weitere Analyse eignet. Leider ist dieses zweifellos effizienteste Vorgehen nur partiell erfolgreich. Die Gesamtzahl der Knoten lässt sich so zwar um rund 7.000 verringern, die verbleibenden aber sind immer noch zu zahlreich. Die Ursache hierfür ist eine zu großmaßstäbige Digitalisierung des Netzes, die im Nachhinein nicht mehr ohne weiteres automatisch rückgängig zu machen ist. In Abbildung 4 lassen sich nicht nur südlich von Kassel mehrere „Verdickungen“ in Kreuzungsbereichen des Straßennetzes erkennen. Zwei von ihnen wurden ausgeschnitten und sind in Abbildung 5 großmaßstäbig wiedergegeben. Die Abbildung offenbart die Folgen des falschen Maßstabs der Digitalisierung, der etwa demjenigen der deutschen Grundkarte entsprochen haben muss. Diese Genauigkeit erzeugt im Rahmen der hier verfolgten Fragestellung ohne zusätzliche Informationen über Einbahnstraßen Ungenauigkeiten, bzw. es wird eine Pseudoexaktheit vorgetäuscht, die inhaltlich nicht gerechtfertigt ist. Eine Generalisierung kann also keine Lösung bieten, sondern nur ein aufwändigeres Downscaling.

Betreibt man den Aufwand, ein solches Netz herunter zu skalieren, wozu ohne programmierte Unterstützung in Abhängigkeit der Netzgröße wahrscheinlich Wochen oder gar Monate anzusetzen sind, führt das im vorliegenden Fall zu einem in Abbildung 6 dargestellten Straßennetz. Sie offenbart deutlich das Dilemma von Gemeindehauptorten, die weder an das unbearbeitete Netz angeschlossen waren (z. B. Ahnatal) noch in das maßstäblich verkleinerte Netz integriert sind (beispielsweise Arolsen, Twistetal). Analysiert man dieses Problem exakt, muss man feststellen, dass alle Orts-

Tabelle 1: Entscheidungshilfen bei Verwendung eines Straßennetzes

Decision support in using road networks

Generalisierung	Knotenzahl	Rechenzeit PC	empfohlenes Distanzattribut
gering	$g \gg n$	extrem lange (Tage)	euklidisch, Fahrzeiten
mittel	$g \geq n$	lange (Stunden)	Entfernungskilometer, Fahrzeiten
stark	$g < n$	abhängig von n (Minuten)	Fahrzeiten, Entfernungskilometer

Tabelle 2: Umsatzmodellierungen in Mio. DM nach Veränderung der Raumstruktur

Results of modelling turnover in Mio. DM following changes in the spatial structure

Orte	Mit Autobahnbenutzung			Ohne Autobahnbenutzung			Differenzen		
	Zuströme	Eigenumsatz	Summe	Zuströme	Eigenumsatz	Summe	D_Zuströme	D_Eigenumsatz	D_Summe
Ahnatal	2.514	40.708	43.222	2.223	40.851	43.074	-0.291	0.143	-0.148
Arolsen	3.807	128.985	132.792	4.190	133.626	137.816	0.383	4.641	5.025
Bad Emstal	0.997	34.910	35.906	1.092	35.051	36.143	0.095	0.141	0.237
Breuna	1.158	14.952	16.110	1.128	25.085	26.214	-0.030	10.133	10.103
Diemelsee	0.284	25.217	25.502	0.299	26.003	26.302	0.015	0.785	0.800
Diemelstadt	0.523	26.424	26.947	0.517	37.464	37.981	-0.006	11.040	11.033
Edertal	0.309	33.344	33.654	0.393	34.384	34.777	0.084	1.040	1.124
Habichtswald	3.838	25.761	29.598	3.448	26.024	29.472	-0.390	0.263	-0.127
Kassel	426.672	2099.532	2526.203	372.753	2099.563	2472.316	-53.918	0.031	-53.887
Korbach	91.172	248.542	339.715	96.972	248.701	345.673	5.800	0.158	5.958
Lichtenfels	0.118	21.923	22.042	0.124	22.285	22.409	0.006	0.362	0.367
Naumburg	0.723	26.379	27.103	0.816	28.194	29.010	0.093	1.814	1.907
Schauenburg	1.829	42.714	44.543	1.963	42.988	44.952	0.134	0.274	0.409
Twistetal	0.645	12.855	13.500	0.647	13.016	13.663	0.002	0.160	0.163
Vöhl	0.156	21.705	21.860	0.155	22.274	22.430	-0.001	0.570	0.569
Volkmarsen	6.799	54.054	60.853	8.317	60.822	69.139	1.518	6.768	8.286
Waldeck	1.434	46.095	47.529	1.404	48.498	49.902	-0.030	2.403	2.373
Willingen	0.712	58.813	59.525	0.839	59.469	60.308	0.127	0.656	0.783
Wolfhagen	11.630	116.150	127.780	12.337	120.393	132.730	0.707	4.243	4.950
Zierenberg	2.261	45.281	47.542	2.020	45.596	47.616	-0.241	0.315	0.075

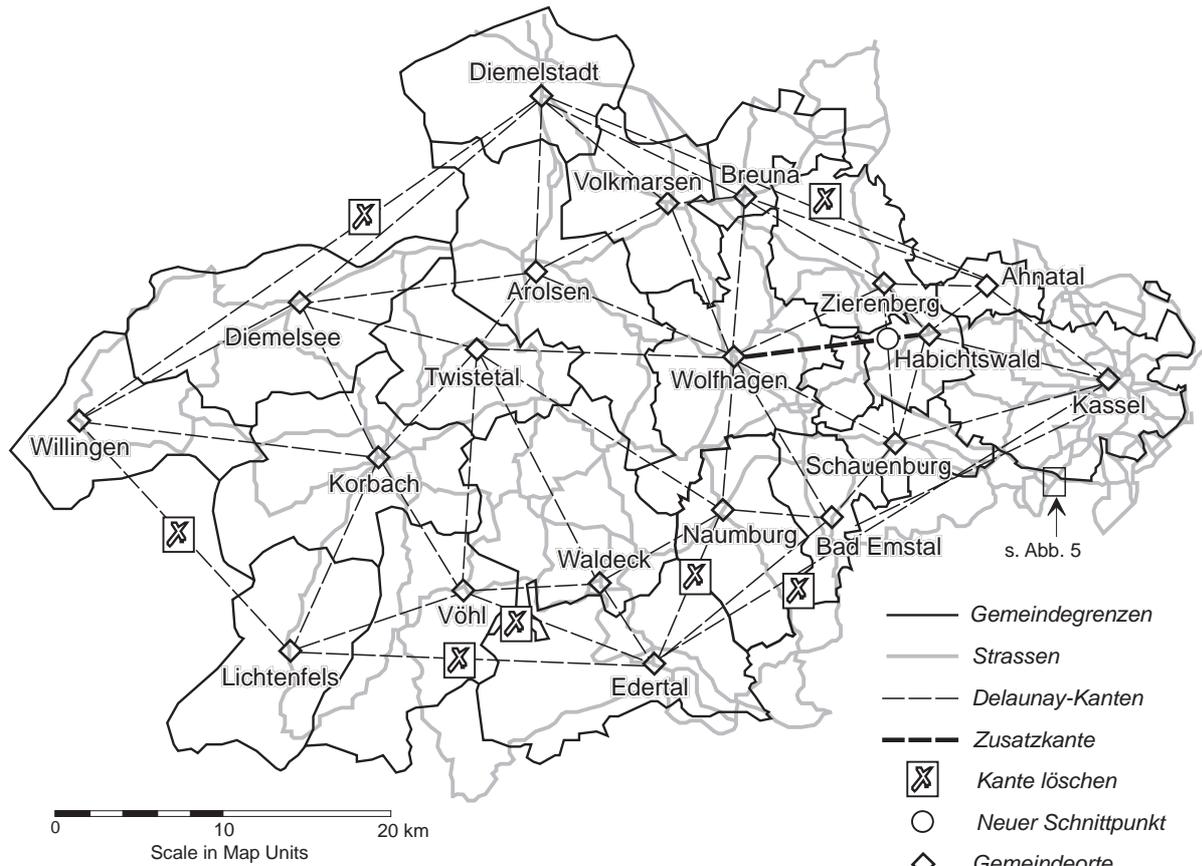


Abb. 4: Visualisierung einiger Schritte des Algorithmus (II)
 Visualisation of some steps of algorithm (II)

koordinaten nicht mit Knotenpunkten des Verkehrsnetzes identisch sind, sie also graphentheoretisch isolierte Komponenten im Gesamtnetz darstellen. Etwa die Hälfte der hier untersuchten Orte liegt aber nur in einer Entfernung von weniger als 100 m Luftlinie vom nächsten Knoten des Netzes entfernt. Ihre Anbindung kann maschinell durch Verschiebung des Netzknotens vorgenommen werden. Für alle anderen Orte müssen neue Strecken zum jeweils nächsten Endknoten eines Weges eingefügt werden. Damit sind aber noch lange nicht alle Ungenauigkeiten des digitalen Straßennetzes beseitigt. Alle benachbarten Strecken in Wegen müssen jeweils einen Anfangs- und Endpunkt mit identischen Koordinaten aufweisen, um einen geschlossenen Weg zu bilden. Außerdem gilt dasselbe für alle benachbarten Wege. Leider gibt es aber in dem gekauften Netz sowohl isolierte Strecken als auch Wege, so dass noch

mehr als 500 solcher Verknüpfungen vorgenommen werden mussten.

3.4 Vom TIN zum Verkehrsnetz

Nach Anwendung von Algorithmus (II) verfügt man zwar über ein topologisch exaktes Verkehrsnetz, dessen Strecken aber mit euklidischen Distanzen attribuiert sind. Unter Zugrundelegung der Entscheidungskriterien in Tabelle 1 könnten in diesem Fall Fahrzeiten ein besseres Abbild der Realität bieten. Somit stellt sich die Frage, wie sie effizient zu ermitteln sind. Eine erste, wahrscheinlich ineffiziente Lösung besteht darin, Quell- und Zielorte paarweise einem Routenplaner mitzuteilen, der dann die Fahrtstrecke in km und Minuten ausgibt. Das erfordert höchste Konzentration bei der Bearbeitung, denn es ist nicht sichergestellt, dass der

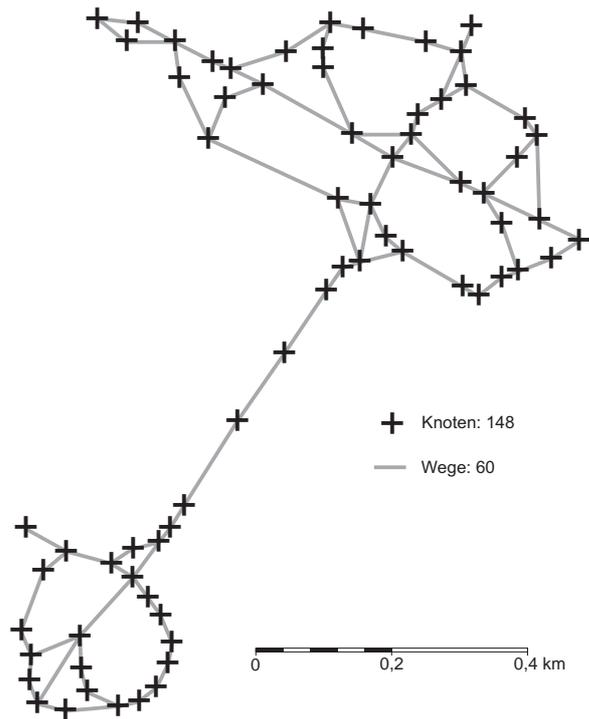


Abb. 5: Hinweise auf ein erforderliches Downsampling
Evidence of down-scaling

Router dasselbe Straßennetz benutzt, wie es in der eigenen Karte angegeben ist.

Ganz ohne Karte oder Routenplaner ist die gestellte Aufgabe jedoch nicht zu lösen, aber man kann den Aufwand beträchtlich minimieren. Es ist nämlich nicht erforderlich, alle Wege von i nach j zu betrachten, sondern man zieht eine repräsentative Stichprobe aus allen Kanten. Für diese Auswahl muss dann die Länge der tatsächlichen Wege gemessen werden, was entweder auf einer analogen oder mit Hilfe einer digitalen Karte oder durch einen Router geschehen kann. Nunmehr lässt sich eine Regressionsgleichung zur Schätzung der tatsächlichen Weglängen aus den euklidischen Distanzen parametrisieren, die man anschließend auf die restlichen, nicht in der Stichprobe befindlichen Fälle anwendet. Führt man hiernach eine Klassifikation der Strecken durch, in welcher Attribute für die Art der Straße vergeben werden, lassen sich hieraus und der Weglänge durchschnittliche Fahrzeiten für jeden Weg schätzen. Zusammenfassend lässt sich das Gesagte präzisieren als:

Algorithmus (III):

1. Ziehe eine repräsentative Stichprobe im Umfang s_p aus der Gesamtzahl s aller Strecken oder Kanten und übernehme als Attribute ihre euklidischen Distanzen d_{ij} .
2. Füge zu dem übernommenen Attribut jeder Strecke ihre gemessene Länge w_{ij} hinzu.
3. Schätze die Parameter der Regressionsgleichung $w_{ij}^* = b_0 + b_1 d_{ij}$.
4. Wende die parametrisierte Gleichung auf die $m' = m - s_p$ Kanten an, die nicht in der Stichprobe sind.
5. Füge allen Kanten ein Attribut g_{ij} der Straßenklasse hinzu, z. B. Landesstraße = 50, Bundesstraße = 60, Autobahn = 90, welches der durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeit in km/h entspricht.
6. Schätze die Fahrzeiten $f_{ij}^* = w_{ij}^* \times 60 / g_{ij}$.

Unter der Bedingung, dass man über ein korrektes digitales Verkehrsnetz verfügt, welches im Schritt 2 benötigt wird, ist der Algorithmus (III) programmierbar. Sonst muss eine analoge Karte oder ein Router benutzt werden, aber alle anderen Schritte sind programmierbar. Damit ist eine Methode beschrieben, die mit minimalem Aufwand die Abbildung eines TIN als Verkehrsnetz ermöglicht. Selbst unterschiedliche innerörtliche Distanzen lassen sich dann berücksichtigen, wenn die Delaunay-Kanten durch Knoten modifiziert werden, die den Ortsbeginn oder das Ortsende markieren. Zwischen ihnen können dann im Schritt 5 andere Kantenattribute für die innerörtlichen Strecken als die o. a. vergeben werden.

4 Der empirische Test

In diesem Abschnitt kommt es darauf an, die vorgestellten Methoden anzuwenden, um damit ihre empirische Relevanz zu belegen. Dabei sind zwei Aspekte zu berücksichtigen. Einerseits sind verschiedene Datenmodelle zur Attributierung unterschiedlicher Verkehrsnetze erläutert worden,

- das herunter skalierte Straßennetz, dessen Strecken mit euklidischen Distanzen attribuiert sind, im Weiteren kurz DNetz genannt,
- dasselbe Straßennetz mit Fahrzeit attribuierten Kanten, des Weiteren als ZNetz bezeichnet,
- das modifizierte Delaunay-Netz ebenfalls mit Fahrzeiten als Kantenattributen, nachfolgend als MTIN benannt.

Andererseits ist ein Optimierungsalgorithmus entwickelt worden, der die Abbildung von Unvollkommenheiten der Einzelhandelsmärkte ermöglicht. Wenngleich es sich dabei auch nur um eine Kombination der Gauß'schen *Regula Falsi* mit der Newton'schen Nullstel-

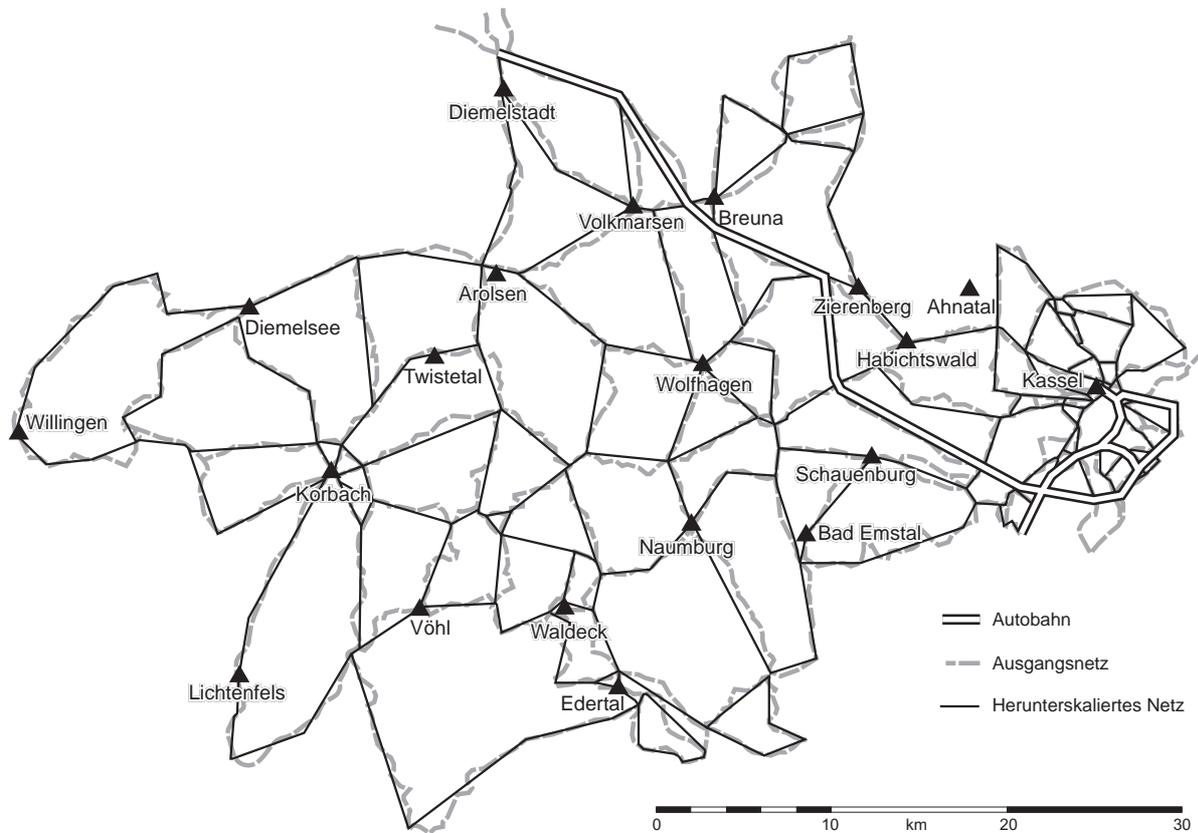


Abb. 6: Das skalierte Netz besteht aus 222 Kanten mit 937 Knoten
 The down-scaled network consisting of 222 edges and 937 nodes

lenbestimmung unter Nebenbedingungen handelt, verlangen gerade letztere den empirischen Nachweis ihrer Relevanz im betrachteten Kontext.

4.1 Der Netztest

Soll der immer noch zu bewältigende Aufwand auch weiterhin minimiert werden, empfiehlt es sich, das zu verwendende Netz vorab genauer zu analysieren. Eine zielführende Methode im Hinblick auf die Nutzung eines Verkehrsnetzes bei der Anwendung des Huff-Modells besteht darin, alle kürzesten Wege zwischen allen Quell- und Zielorten zu bestimmen, denn nur auf ihnen soll später der *Homo oeconomicus* seine Einkaufsfahrten erledigen. Ein Lösungsansatz ist an anderer

Stelle vorgestellt (GÜßEFELDT ²1999, 443ff.) und ein zugehöriges Programm zur Verfügung gestellt worden. Da dieses jedoch wieder eine eigene Organisation des digitalen Netzes verlangt, kann man bei Verfügbarkeit eines GIS leichter dessen diesbezüglichen Optionen nutzen bzw. selbst einen Algorithmus in dem heute in richtigen GIS integrierten *Visual Basic* schreiben, worauf hier aber verzichtet werden konnte.

Bestimmt man nun in den beiden identischen, aber unterschiedlich attributierten digitalen Straßennetzen alle kürzesten Wege zwischen den 20 Quell- und Zielorten, zeigen sich einige bemerkenswerte Unterschiede (Abb. 7 und 8). Erwartungsgemäß führt im DNetz kein Weg über die Autobahn, da sie abseits der Orte verläuft und nur über Zubringer erreichbar ist, was immer mit einer zusätzlichen kilometrischen Distanzüberwindung

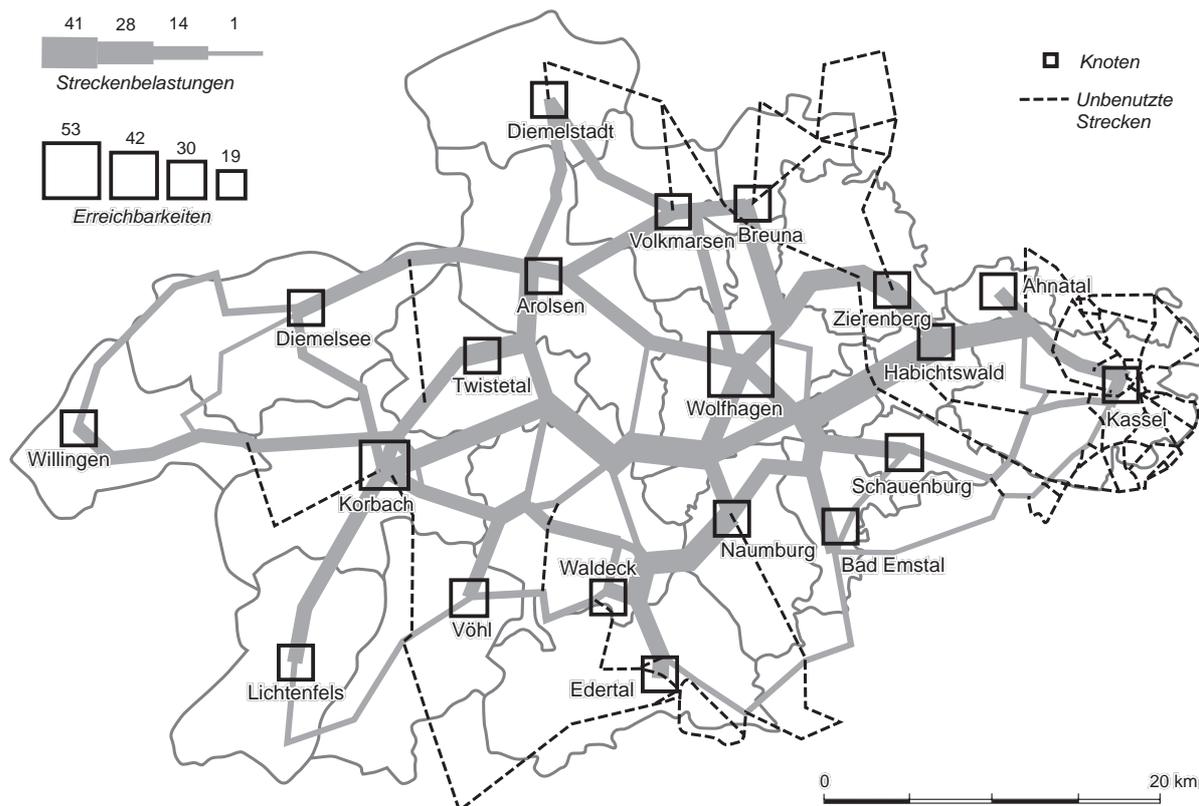


Abb. 7: Unbenutzte Strecken des mit euklidischen Distanzen attribuierten Straßennetzes
Unused routes in a network of roads attributed with euclidian distances

verbunden ist. Würden Menschen tatsächlich nur die mit ihrem Pkw zurückgelegte Entfernung bewerten, wäre Abbildung 7 wahrscheinlich sehr realitätsnah. Demgegenüber ziehen aber die meisten Menschen auch die Zeitaufwendungen des zurückzulegenden Weges in Betracht, was jedenfalls dem *Homo oeconomicus* unterstellt wird. Das kann dann zu dem Ergebnis in Abbildung 8 führen. Unter diesen Bedingungen wird jetzt auch die Autobahn benutzt, weshalb im Weiteren das DNetz ausgeschlossen bleibt. Beide Resultate lassen sich übrigens mit Hilfe von Routenplanern mit deren entsprechenden Weg- und Zeitoptimierungen reproduzieren.

Die beiden Abbildungen 7 und 8 machen aber noch auf ein ganz anderes Problem aufmerksam, weisen doch beide Wege aus, die in keinem Fall genutzt werden, also zur Beantwortung der hier gestellten Fragen überflüssig sind. Bedenkt man, wie viel Arbeit u. U. das

Downscaling des gesamten digitalen Straßennetzes gekostet hat, sollte gerade dieses Resultat zum Anlass von Überlegungen genommen werden, wie ein derartig unnützer Zusatzaufwand a priori zu vermeiden ist. Hierzu bieten sich verschiedene Lösungswege an, die aber hier nicht mehr erläutert werden sollen, weil es nur darauf ankommt, auf dieses Problem aufmerksam zu machen.

Man sollte diesen Aspekt auch deshalb nicht einfach ignorieren, weil sich dieser einmal begangene unnötige Zusatzaufwand in die nächsten Arbeitsschritte fortplant. Um das zu demonstrieren, wurden aus dem ZNetz in Abbildung 8 alle nicht benutzten Strecken und dann nicht mehr benötigten Knoten entfernt. Nunmehr stehen für den Untersuchungsraum drei verschiedene Netzmodelle zur Verfügung: Das ZNetz (unbereinigt), das ZNetz (bereinigt) und das MTIN. Verwendet man sie in dem Huff-Modell und verlangt

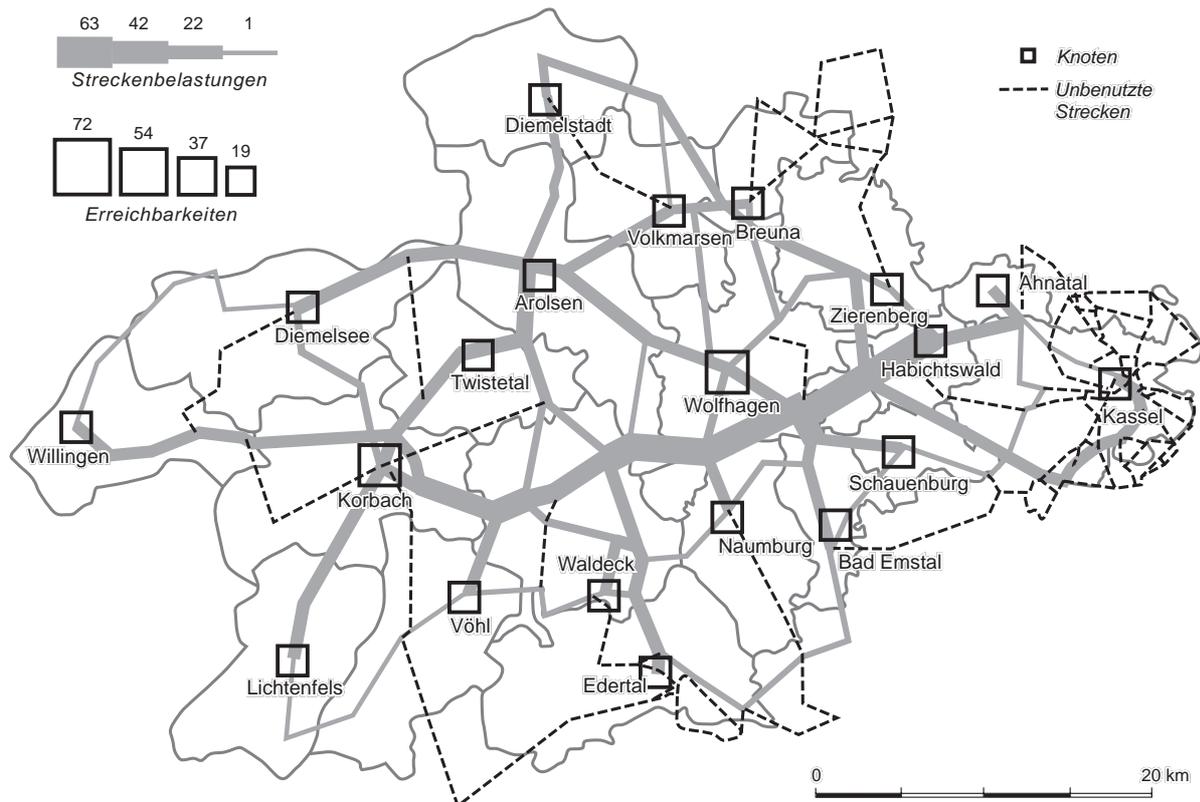


Abb. 8: Unbenutzte Strecken des mit Fahrzeiten attribuierten Straßennetzes
Unused routes in a network of roads attributed with mean travel durations

die Optimierung der Attraktivitäten von 19 Orten – Kassel bleibt dabei aus inhaltlichen Gründen ausgeschlossen –, werden die Folgen sehr deutlich. Die Differenzen zwischen modellierten und gemessenen Umsätzen liegen bei allen drei Netzen in nicht akzeptablen positiven und negativen Größenordnungen, so dass man nicht etwa aus diesem Grund ein bestimmtes Netz präferieren müsste. Die Ausführungszeiten auf einem PC sind hingegen z. B. im unbereinigten ZNetz um den Faktor 17 länger als im MTIN, so dass die Entscheidung nahe liegt, ersteres nicht zu benutzen.

4.2 Test der Attraktivitätsoptimierung

Zur Erledigung dieser Aufgabe wird zunächst wegen der sehr viel kürzeren Rechenzeiten nur das MTIN verwendet. Da in jedem Rechenlauf nur eine lokale Optimierung der Attraktivitäten der angegebenen 19 Ziel-

orte durchgeführt wird, muss dieser Schritt mehrfach wiederholt werden, indem jeweils die veränderten Attraktivitäten aus dem vorangegangenen Rechenlauf auf Neue optimiert werden. Nach sechs solchen Durchgängen ist man im betrachteten Beispiel soweit, dass alle modellierten Umsätze in den 19 Gemeinden nicht mehr als ± 100 TDM von den Messwerten abweichen. Damit ist eine konstante Situation erreicht, in welcher das Huff-Modell die existierenden Unvollkommenheiten der Einzelhandelsmärkte in dem definierten Toleranzbereich abbildet.

Man könnte jetzt beispielsweise die äußeren Bedingungen verändern, um die Wirkung auf die Kaufkraftströme zu studieren, und des Weiteren daraus auf das Standortverhalten der Anbieter schließen. In Tabelle 2 ist das Resultat eines solchen Szenarios angegeben. Für die Autobahnstrecken wurden die durchschnittlichen Fahrzeiten infolge einer weiteren angenommenen Stei-

gerung der Motorisierung und Zunahme des Lkw-Verkehrs soweit vermindert, dass die Autobahn tatsächlich nicht mehr benutzt wird. Die Ergebnisse in Tabelle 2 spiegeln deutlich Gewinner und Verlierer einer solchen möglichen Entwicklung wider. Selbstverständlich könnten auch alle anderen Veränderungen der äußeren Bedingungen wie innerörtliche Distanzen, lokale Zugänglich- und Parkmöglichkeiten etc. durchgespielt werden. Darüber hinaus ließen sich aber auch einige innere Bedingungen ändern, indem man z. B. ungleichgewichtiges Wachstum gemäß dem KRUGMANSchen Theorem unterstellt.

All diesen interessanten Fragen kann hier jedoch nicht nachgegangen werden, sondern sie sind anderswo zu diskutieren. An dieser Stelle soll vielmehr ein weiterer Aspekt der Methodik betrachtet werden. Auch wenn der Eindruck vermittelt worden sein könnte, der geographische Raum interessiere nur noch randlich und sei nahezu vollkommen durch den virtuellen Raum des TIN mit entsprechenden Modifikationen zu ersetzen, so täuscht dies. Es gibt sicher mehrere Gründe, weshalb der virtuelle Raum zur Modellierung von Kaufkraftströmen nicht ausreichen kann. Zwei von ihnen lauten:

- Das MTIN ist zu abstrakt, um die wahrscheinlichen Ströme hinreichend genau zu visualisieren, um dadurch auf mögliche Verkehrsprobleme aufmerksam zu machen.

- Relevante lokale Raumstrukturen können wegen des damit verbundenen Aufwands nur unter beträchtlich höheren Kosten abgebildet werden.

Sollten diese oder andere Gründe von Bedeutung sein, ist daraus keineswegs der Schluss zu ziehen, das MTIN von vornherein auszuschließen. Spielen nämlich in größeren Untersuchungsräumen bei vorgegebenen zeitlichen Befristungen von Projekten auch die Rechenzeiten von Computern eine Rolle, dann könnte eine Kombination beider Netzmodelle eine Lösung bieten. Ein diesbezüglicher Weg wird im Weiteren vorgestellt.

In Anbetracht der Tatsache, dass der deutsche Staat seit mehr als einem Jahrzehnt wohl mehr auf das Modell Hoffnung als auf Zählungen baut, dessen Ende nicht abzusehen ist, gibt es keinen guten einzelhandelsnahen Indikator für dessen Attraktivität. Die Größe der Verkaufsfläche, die HUFF (1964) selbst als solchen benutzte, kann nur der Handels- und Gaststättenzählung von 1993 entnommen werden. Zur Charakterisierung eines dynamischen Wirtschaftssektors dürfte sie wohl etwas zu betagt sein. Auch wenn KLEIN (1992, 83) darauf hinweist, möglichst inhaltlich nahe Indikatoren zu verwenden, bleibt kein anderer Ausweg, als die Zahl der Arbeitsplätze im Einzelhandel dafür heranzuziehen (Tab. 3, Sp. 3). Optimiert man dieses Attraktivi-

tätsmaß im MTIN mit Hilfe von Algorithmus (I.), erhält man nach sechs Durchgängen Attraktivitäten (Tab. 3, Sp. 4), mit denen die Umsätze in allen 19 Zielorten ausreichend genau durch das Huff-Modell wiedergegeben werden (Tab. 3, Sp. 5). Abbildung 9 veranschaulicht den räumlichen Verlauf der zugehörigen Kaufkraftströme. Zweifelsohne ist eine Zuordnung der Kanten zu den Strecken des Straßennetzes schwierig, was zumindest durch eine Wiedergabe des Netzes ein wenig erleichtert worden wäre.

Sollen die Ströme jetzt realitätsnäher abgebildet werden, kann man die im MTIN veränderten Attraktivitäten (Tab. 3, Sp. 4) zusammen mit dem ZNetz bei der Anwendung des Huff-Modells benutzen und erhält als Ergebnis die in Tabelle 3, Spalte 6 angegebenen Umsätze. Man erkennt leicht, dass auf diese Weise zwar die Größenordnungen der Umsätze einigermaßen getroffen werden, aber im Einzelfall die absoluten Abweichungen zwischen „gemessenen“ und modellierten Umsätzen erheblich sind. Trotzdem war der Arbeitsaufwand zur Erstellung des MTIN nicht umsonst, denn verwendet man nun die bereits geänderten Attraktivitäten (Tab. 3, Sp. 4) und das bereinigte ZNetz, sind nur noch drei zusätzliche Optimierungsläufe notwendig, um das in Tabelle 3, Spalte 7 wiedergegebene Resultat zu erhalten. Da in allen drei Läufen weit weniger einzelne Iterationsschritte erforderlich sind, liegt der Aufwand in erträglichen Grenzen. Vor allem für größere Netze dürfte somit die vorgestellte Kombination von MTIN und ZNetz von Interesse sein, da sich dadurch die Rechenzeiten verkürzen lassen. Die Ströme im ZNetz spiegelt Abbildung 10 wider, die jetzt in einer Fleißaufgabe in jedes beliebig feinere Straßennetz übertragen werden könnten.

In weiteren Schritten ließen sich die von KLEIN/LÖFFLER (1989) vorgeschlagenen Filter berücksichtigen. Allerdings stellt sich bei dem Hierarchiefilter die Frage, ob die rigiden CHRISTALLER-Annahmen, dass Nachfrageströme nur von kleineren zu größeren Zentren verlaufen, theoretisch angemessen sind. Schließlich gibt es auf der Basis von LÖSCHs (1940, 77ff.) Argumenten auch theoretische Gründe für umgekehrte Beziehungen. Reichen nämlich die Anbieter ihre „Sondergewinne“ – *Increasing Returns* würde man die heute auf Neuhochdeutsch nennen – an die Nachfrager weiter, so müssen daraus zwangsläufig Nachfrageströme von oben nach unten in der Hierarchie entstehen. Diese Skalenerträge werden bei LÖSCH aufgrund einer Variation der Größe von Marktgebieten einer Güterklasse erwirtschaftet. Unter Gleichgewichtsbedingungen vollständiger Konkurrenz, die CHRISTALLER annimmt, ist diese Stromrichtung ausgeschlossen, während LÖSCH (1940, 77) dazu ausführt: „Solche Ge-

Tabelle 3: Umsatzmodellierungen bei Verwendung verschiedener Verkehrsnetze

Results of modelling turnover using different traffic networks

Orte	Mio. DM Umsatz „gemessen“	Einzel- handels- arbeitsplätze	Attraktivität im MTIN optimiert	Mio. DM Umsatz im MTIN modelliert	Mio. DM Umsatz im ZNetz modelliert	Mio. DM Um- satz im ZNetz modelliert nach zusätzlicher Optimierung
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Ahnatal	43.1774	104	59.7040	43.2217	43.6242	43.1599
Arolsen	132.6800	421	30.6326	132.7917	129.8646	132.7548
Bad Emstal	35.8793	92	18.8153	35.9063	30.7939	35.8374
Breuna	16.0462	39	13.7818	16.1104	15.3052	16.0612
Diemelsee	25.4464	61	5.9678	25.5015	23.6488	25.3509
Diemelstadt	26.9034	63	8.5372	26.9474	26.2309	26.9026
Edertal	33.5807	80	3.0194	33.6536	21.4262	33.5774
Habichtswald	29.5265	81	49.2246	29.5985	30.9174	29.5531
Kassel	2938.0000	9689	(9689.0000)	(2526.2034)	(2555.2712)	(2527.8296)
Korbach	339.6300	1258	808.6326	339.7146	359.5047	339.5351
Lichtenfels	21.9900	55	3.9852	22.0418	16.9816	21.9026
Naumburg	27.0564	65	8.3000	27.1025	20.0725	27.1021
Schauenburg	44.4600	111	34.6321	44.5430	54.3689	44.4528
Twistetal	13.4873	32	4.6467	13.5004	12.3739	13.3998
Vöhl	21.8190	46	2.3088	21.8604	12.3966	21.7386
Volkmarsen	60.8215	183	49.8078	60.8530	60.6442	60.8833
Waldeck	47.4830	121	7.3062	47.5291	36.9048	47.3905
Willingen	59.4341	184	26.9809	59.5250	58.0788	59.3560
Wolfhagen	127.7000	490	112.7328	127.7799	126.9280	127.6413
Zierenberg	47.5008	153	50.2054	47.5417	46.5896	47.4973

winne sind geradezu die Regel, denn es ist ein Zufall, wenn die Nachfragekurve auf ihren Sprüngen die Kostenkurve „eben noch berührt“.

5 Schlussfolgerungen

Die für das Theorem der “New Economic Geography” als Faktor so bedeutsamen Skalenerträge für

die Unvollkommenheiten von Märkten lassen sich auch für den Einzelhandel empirisch nachweisen. Damit hat aber diese neue Richtung ökonomischer Theoriebildung im Grunde nur die bereits von CHRISTALLER (1933), LÖSCH (1940) und vielen anderen geäußerten Vermutungen in quantifizierter Form in die allgemeine neoklassische Theorie integriert. Zweifellos ist das ein Fortschritt, der dazu führen könnte, die „Dynamik“ des zentralörtlichen Systems neu zu überdenken. Solange

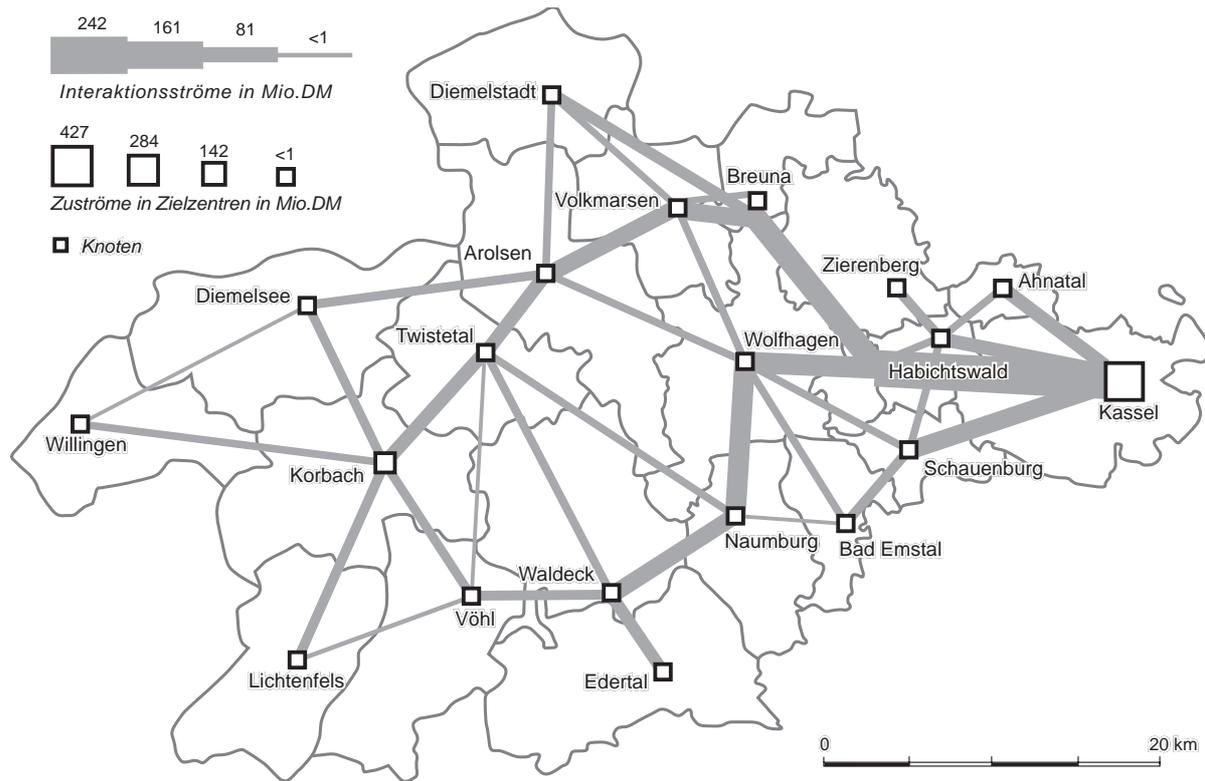


Abb. 9: Flüsse im virtuellen Raum
Flows of spending power in virtual space

aber auch theoretisch orientierte Wirtschaftsgeographen nur ihr Heil darin sehen, eine „post-quantitative Wirtschaftsgeographie“ zu proklamieren, wird der Einzug des Fortschritts in dieses Fach vermutlich noch einige Jahrzehnte dauern. Braucht die Wirtschaftsgeographie überhaupt die „New Economic Geography“? Dem Vernehmen nach nicht, schließlich hat sie die Klassiker ohne deren vollständige Kenntnisnahme überlebt und die „Regional Science“ überdauert, deren Ideen einige Vertreter der Wirtschaftsgeographie heute als die „alten Hüte“ der „New Economic Geography“ apostrophieren. Diese Abwehrgeschechte können allenfalls zu einem Pyrrhussieg führen. Wirtschaftsgeographen stehen heute vor der vermeintlichen Entscheidung, den in den letzten zwei Jahrzehnten verfolgten Fragestellungen in stärker sozialwissenschaftlichem Kontext weiter nachzugehen oder an den quantitativen Theoremen der „New Economic Geography“ mitzu-

arbeiten. Niemand außer einigen Meinungsbildnern aus den eigenen Reihen zwingt sie jedoch in eine solche binäre Entscheidungssituation, die letztlich zur Spaltung des kleinen Faches und damit zu seinem wahrscheinlichen Verschwinden von der wissenschaftlichen Landkarte führen dürfte. M. E. ist deshalb eine vermittelnde Position für das Fach Wirtschaftsgeographie ersprißlicher. Dadurch könnte es als Schnittstelle des Wissenstransfers zwischen zwei größeren Fachgebieten dienen und somit helfen, die manchmal skurrilen Annahmen ökonomischer Modellierer abzubauen. Das dürfte allerdings nur dann gelingen, wenn beide Seiten miteinander reden und nicht nur aufeinander einschlagen.

Theorie und Modelle müssen miteinander kompatibel sein, was man nicht von einer Theorie unvollkommener Märkte und einem Gleichgewichtsmodell räumlicher Nachfrageinteraktionen behaupten kann. Als

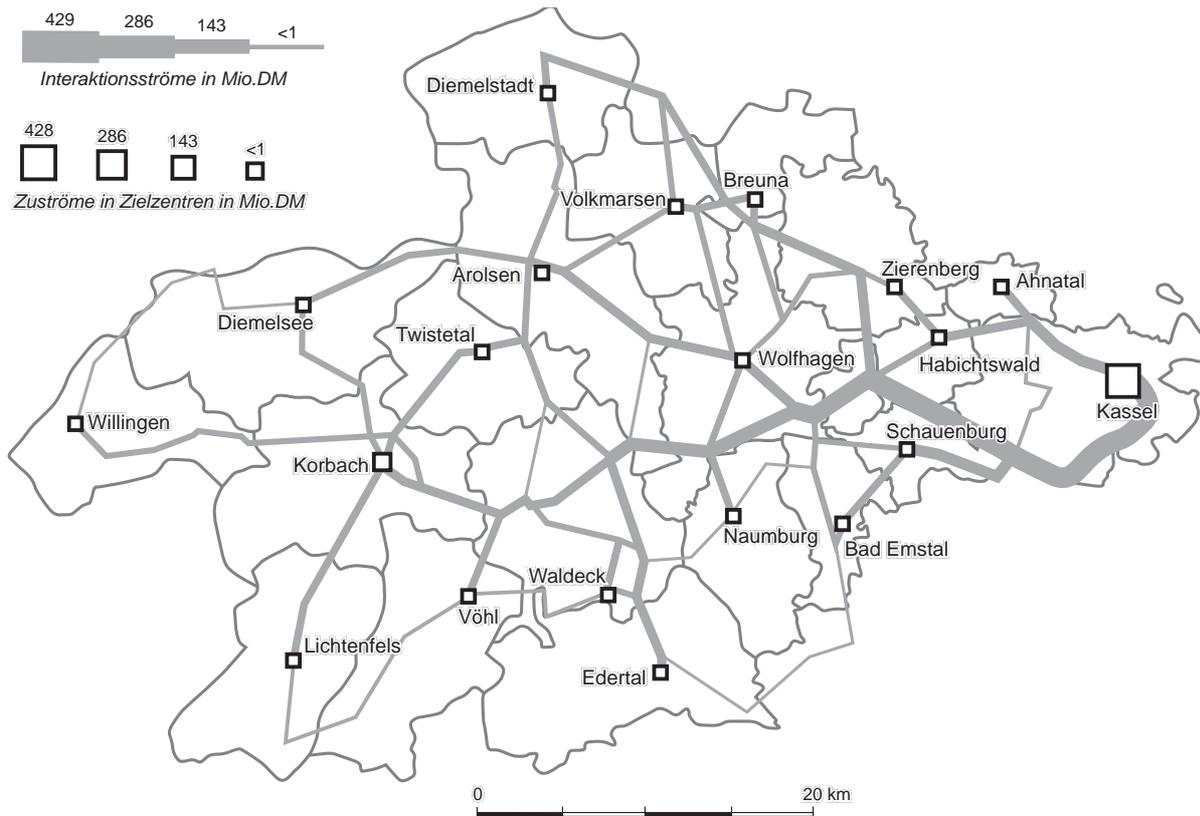


Abb. 10: Ströme im herunterskalierten und bereinigten Straßennetz
 Flows of spending power on shortest paths in a digital network of roads

Lösung ist hier eine lokale iterative Optimierung einer Einflussgröße auf die Nachfrage vorgelegt worden. Sie bietet zwar den großen Vorteil, nicht nur Marktunvollkommenheiten in dem Attraktivitätsindikator zu berücksichtigen, sondern auch andere Schwächen des verwendeten Indikators. Aber sie ist mathematisch nicht elegant, sondern sie funktioniert eben nur, wobei jedoch der Beweis zu erbringen wäre, dass der vorgeschlagene Weg auch zu einer Annäherung an das globale Optimum führt und nicht nur auf Erfahrungswerten beruht. Das könnte sicherlich eine Schwäche sein, „aber ist der Weg der Wissenschaften nicht überhaupt voll schwankender Notbrücken, über die wir doch alle gegangen sind, wenn sie uns nur vorwärts brachten?“ (LÖSCH 1940, 63).

Soll nicht nur eine räumliche Oberfläche der Wahrscheinlichkeiten von Nachfrageinteraktionen beschrie-

ben werden, sondern besteht das Ziel in der Darstellung wahrscheinlicher Nachfrageströme, kommen zusätzlich Fragestellungen der Geoinformatik ins Spiel. Sie dürften wahrscheinlich durch die Anwendung heutiger GIS zu lösen sein, nichtsdestoweniger können auch dann die vorgestellten Algorithmen als Orientierungshilfen dienen. Das gilt aber erst recht, wenn man kein GIS anwenden kann oder das verfügbare GIS keine entsprechenden Lösungsoptionen bereitstellt. Da digitale Karten in der Regel Fehler enthalten, unvollständig sind oder andere Ungereimtheiten wie beispielsweise einen falschen Maßstab aufweisen, dürften die hier angegebenen schrittweisen Lösungswege sicher eine Hilfe bieten. Sie könnte dann besonders effizient sein, wenn die Algorithmen schon vor der Erstellung oder dem Kauf eines digitalen Verkehrsnetzes zur Kenntnis genommen würden.

Literatur

- CHRISTALLER, W. (1933): Die zentralen Orte in Süddeutschland. Darmstadt.
- GÜBEFELDT, J. (1980): Konsumentenverhalten und die Verteilung zentraler Orte. In: Geographische Zeitschrift 68, 33–53.
- (1999): Regionalanalyse. Methodenhandbuch und Programmsystem GraphGeo (WIN). München, Wien.
- HUFF, D. L. (1963): A Probabilistic Analysis of Shopping Center Trade Areas. In: Land Economics 39, 81–90.
- (1964): Defining and Estimating a Trading Area. In: Journal of Marketing 28, 34–38.
- KLEIN, R. (1992): Dezentrale Grundversorgung im ländlichen Raum. Interaktionsmodelle zur Abschätzung von Nachfragepotentialen im Einzelhandel. Osnabrücker Studien zur Geographie 12. Osnabrück.
- KLEIN, R. u. G. LÖFFLER (1989): Raumfunktionale Modellansätze zur Bestimmung von Standorten und Kaufkraftströmen im Lebensmitteleinzelhandel. In: Kurzberichte aus der Bauforschung 92, 405–410.
- KRUGMAN, P. (1991): Geography and Trade. London.
- LÖFFLER, G. (1998): Market Areas. A Methodological Reflection on their Boundaries. In: GeoJournal 45, 265–272.
- (1999): Marktgebiet und Einzugsbereich – mathematisch-statistische Modellansätze zu ihrer Abgrenzung. In: HEINRITZ, G. (Hg.): Die Analyse von Standorten und Einzugsbereichen. Methodische Grundfragen der geographischen Handelsforschung. Passau.
- LÖSCH, A. (1940): Die räumliche Ordnung der Wirtschaft. Jena.
- WILSON, A. G. (1970): Entropy in Urban and Regional Modelling. London.