

Explorative Mobilitätsanalyse

Stefan KOLLARITS, Mirko HEUEGGER, Michael USCHNIGG

(Mag. Dr. Stefan KOLLARITS, Geograph und Raumplaner, Mohsgasse 7 / 24, 1030 Wien, e-mail: stefan@esrnt1.tuwien.ac.at
Mirko HEUEGGER, St.Johanngasse 1-5/IV/14, 1050 Wien, Michael USCHNIGG, Stolbergasse 31-33/II/10, 1050 Wien)

ZUSAMMENFASSUNG

Daten über Mobilitätsverhalten, Verkehrsströme und Verkehrsmittel stehen in zunehmender Menge zur Verfügung. Zur Analyse dieser Datenmengen bieten die klassischen Instrumente der Verkehrsplanung (Verkehrsmodelle, Regressionsansätze etc.) einen standardisierten Methodenpool. Diese Standardisierung erlaubt die Vergleichbarkeit der Ergebnisse, nützt jedoch nur einen Teil der Information. Durch die integrative Verknüpfung mit zusätzlichen räumlichen Daten und alternativen (z.B. rasteranalytischen) Methoden bieten sich Möglichkeiten, explorativ nach unbekanntem räumlichen und inhaltlichen Zusammenhängen zu suchen und diese zu vergleichen. Durch den explorativen Einsatz eines Geographischen Informationssystems können Zusammenhänge nicht nur besser veranschaulicht werden, auch Widersprüche oder Verkürzungen in den Ergebnissen der klassischen Methoden können gezeigt werden. Dies kann am Beispiel des MAUP (Modifiable Area Unit Problem) und einfachen analytischen Fragestellungen zum Mobilitätsverhalten verdeutlicht werden.

1. PROBLEMSTELLUNG

Dem Begriff Exploration haften oft negative Assoziationen an – Unsicherheit bis Unwissenheit, Ungewißheit und Schwammigkeit werden damit verbunden. Als passendes Instrumentarium wird es nur für „neue“ Fragestellungen und Problemstellungen akzeptiert. Die Analyse räumlicher Mobilität und von Verkehrsproblemen ist jedoch keineswegs eine neue Fragestellung und hat in den letzten Jahrzehnten eine Vielzahl von Methoden, Daten und empirischen Detailergebnissen produziert. So liegen in Deutschland mit den KONTIV¹-Daten große und weitgehend vergleichbare Datenmengen vor, die in einer Vielzahl von Studien nach unterschiedlichen Kriterien analysiert wurden. Im Zusammenhang mit der Analyse und Modellierung von Verkehrsvorgängen kann so von einem vollständigen und etablierten Methodenapparat gesprochen werden. Exploration und (Verkehrs-)mobilität zu verknüpfen scheint daher ein Widerspruch zu sein.

Neue Daten (Longitudinaldaten, Einstellungsbefragungen etc.), sozioökonomische Entwicklungen, Präferenz- und Lebensstilveränderungen können jedoch mit Hilfe der etablierten Methoden nicht vollständig ausgenutzt bzw. berücksichtigt werden. Sie erlauben meist den Zugriff auf standardmäßig verwendete Datenstrukturen und reproduzieren daher üblicherweise bereits bekannte Zusammenhänge oder verfeinern diese. Neue Instrumente, wie Fortschritte in der Datenbanktechnologie aber vor allem auch die Verknüpfung von räumlichen Daten und Verhaltensdaten im Rahmen Geographischer Informationssysteme (GIS) erlauben jedoch eine weitergehende Nutzung dieser Datenquellen. In diesem Zusammenhang kann eine explorative Mobilitätsanalyse folgende Hilfestellungen bieten:

1. Bekannte Zusammenhänge und Hypothesen mit „neuen“ Daten alternativ verknüpfen, abfragen und visualisieren
2. „Neue Zusammenhänge“ erkennen (Hypothesen generieren)
3. Stabilität der entdeckten Zusammenhänge in Bezug auf die Auswahl der räumlichen Bezugseinheiten prüfen.

2. EXPLORATION. HYPOTHESENFINDUNG, KOMMUNIKATION UND PROBLEMLÖSUNG

2.1. Nutzungsmöglichkeiten durch exploratives Vorgehen

Die empirischen Kenntnisse verkehrsräumlicher Zusammenhänge sind derzeit noch zu ungewiß, um von einer vollständigen und einheitlichen theoretischen Basis sprechen zu können. Diese Aussage steht im Widerspruch zur weiter oben getroffenen Feststellung, daß in der Verkehrsplanung ein etablierter Methodenpool mit gesicherten und reproduzierbaren – empirisch belegten – Zusammenhängen existiert. Die

¹ KONTIV: Kontinuierliche Verkehrsbefragung; bereits dreimal durchgeführte großangelegte deutschlandweite Verkehrsbefragung mit standardisierten und vergleichbaren Fragebögen

sich rasch verändernden Rahmenbedingungen für verkehrsräumliche Vorgänge führen jedoch zu einer Relativierung der bekannten Zusammenhänge und können zu einer Veränderung derselben führen:

- Zunahme von neuen Arbeitsformen (Zunahme der Arbeitszeitflexibilität, von Teilzeitarbeit, aber auch von Arbeitslosigkeit),
- die zunehmende Flexibilität neuer Formen der räumlichen Bindung durch Telekommunikation, Tele-shopping etc.,
- die Zunahme der Freizeitorientierung mit dem Trend zur "Erlebnisgesellschaft" und dem Trend zu flexibleren zeit-räumlichen Lebensstilen (Kurzurlaube, Wechsel zwischen verschiedenen Lebensstilen), sowie
- allgemein eine Zunahme der sozialen Disparitäten (hinsichtlich Einkommen, Arbeitsplatz, Arbeitszeit).

Aus diesem Grund sollte ein Analyseinstrumentarium in der Verkehrsplanung auch **explorative Möglichkeiten** besitzen. Wichtige Kriterien für ein derartiges Instrument sind die *Flexibilität* und die *interaktive* Handhabung des Instruments.

Dieses raumbezogene Instrumentarium soll in analytischer Hinsicht die Vergleichsbasis für verschiedene Stufen von "sozialen Bezugseinheiten" bieten (sowohl auf Individual- als auch auf Kollektivebene, also für Personenkategorien). Damit kann es ein Werkzeug der explorativen Datenanalyse darstellen, das nicht nur statistische Ergebnisse erzeugen und präsentieren soll, sondern bereits in der Phase der Hypothesenfindung einsetzbar ist.

Die Analyse von Mobilität soll, um der räumlichen Dimension gerecht zu werden, innerhalb eines **Geographischen Informationssystems** (GIS), das einen einheitlichen räumlichen Bezugsrahmen bietet, erfolgen. Das erscheint als methodisch bester Lösungsweg, um die oben angesprochenen Einflußfaktoren des Raumangebots und das Problem der Integration von räumlich-geometrischen Daten und Mobilitätsdaten in den Griff zu bekommen. Dazu ist allerdings eine konzeptuell veränderte Sicht der Einheit-Attribut-Beziehung notwendig, die in GIS üblicherweise über das Schema Raumeinheit-Attribut(e) realisiert ist. Diese Konzeption ist jedoch für die Darstellung und Analyse individueller Handlungen im Raum nur sehr bedingt geeignet. Grundlegende Einheit muß hier das Individuum (oder eine Personenkategorie) sein; Raum kann in diesem Zusammenhang nur als Attribut betrachtet werden (das wiederum selbst mit einer Reihe von Attributen verknüpft ist, deren Bedeutung allerdings, in Abhängigkeit von den Bezugseinheiten, sehr stark variieren kann). Zeitliche Abhängigkeiten und zeitliche Veränderungen im Rahmen von GIS werden erst in jüngster Zeit in der Literatur thematisiert (LANGRAN 1992, DORLING 1992, CHEYLAN u. LARDON 1993, PEUQUET 1994, WORBOYS 1992), müssen aber für diese Anwendung in starkem Umfang berücksichtigt werden.

Spezielle Probleme der Bearbeitung dieser Fragen mit Hilfe von Geographischen Informationssystemen stellen die Behandlung von Standorten und Netzwerken als objektiv faßbare Grundlagen von Mobilitätschancen und Verkehrsteilnahme dar. Netzwerke bilden die physische Grundlage von Bewegung im Raum, Standorte die räumlich verortete Gelegenheitsstruktur, also alle potentiellen Aktivitätsstandorte. Als Analysegrundlage muß einerseits eine Verbindung zwischen Netzen und Standorten geschaffen werden, um eine einheitliche Basis zu generieren, andererseits müssen aber auch in der Auswahl der Daten und in der Abbildung der physischen Gegebenheiten maßstabsabhängige Vorgaben erarbeitet werden. Als Zielsetzungen eines derartigen explorativen Instrumentariums, das auf der Technologie Geographischer Informationssysteme aufbaut, können angesehen werden:

- Erleichterung des Datenzugriffs
- Erweiterung des Anwenderkreises
- Schnellere und flexiblere Reaktion auf Anfragen / laufende planerische Probleme
- Standardisierte Auswertungen und Darstellungen
- Flexible Abfrage und Darstellung als Unterstützung bei der Generierung neuer Hypothesen

Dafür ist ein **räumlich orientiertes** Instrumentarium notwendig, das folgende Funktionen erfüllen muß:

- *Integration* heterogener Daten (räumliche Hierarchien von Standorten und u.U. auch Netzwerken; jeweils von unterschiedlicher Qualität und Genauigkeit).
- Parallele *Abfrage* von Standorten und Netzwerken (der Verkehrsinfrastruktur) mit variablen und kombinierten Bedingungen zur Datenexploration.
- *Visualisierung* individueller und kollektiver räumlicher Aktivitätsmuster.

- *Analyse* von Aktivitäten in ihren räumlichen, sozialen und zeitlichen Zusammenhängen durch die Einbindung von netzwerkanalytischen Methoden, kartographischen Applikationen und statistischen Verfahren.

| ANALYSEEBENE ⇒ DATENTYP ↓ | Mobilitätssystem | Mobilität Personenkategorien | Individualmobilität |
|-------------------------------|--|--|----------------------------------|
| Querschnittsdaten | Pendlerverflechtung, Interaktionsmodellierung Netzbelastung Zentralörtliche Zuordnung | Reichweite, Tageswegehäufigkeit, Verkehrsmittelanteile | Tagesabläufe Aktivitätsmuster |
| Querschnitts- wiederholung | Änderung d. Netzbelastung | Indikatorenänderung Deskriptive Maße | ← wie links |

Tabelle 1: Datengrundlagen und Aussagen auf unterschiedlichen Aggregationsniveaus

Die obenstehende Tabelle zeigt einige unterschiedliche Aussagen, die auf der Basis der vorliegenden Daten getroffen werden können. Die Aussagen selbst sind verschiedenen Ebenen zuzuordnen, die als Aggregationsebenen aufgefaßt werden können.

Als kleinste Bezugseinheit bietet sich jedoch nicht das Individuum an, sondern eine weitere Zergliederung auf die einzelnen Aktivitäten. Die Kategorie Aktivität bietet den Vorteil, daß damit Aggregationen zur Bildung aller anderen sozialen Bezugseinheiten möglich sind. Die Aggregation nach Personenkategorien oder Raumeinheiten kann von der Aktivität ausgehend erfolgen; sektorale Betrachtungsweisen (nach Aktivitätskategorien) können direkt darauf aufbauen. Darüberhinaus können derart aber auch einfache zeitliche Querschnitte (z.B. für einen Vergleich von Tag- und Nachtbevölkerung) sowie räumliche Querschnitte gebildet werden. Die Einzelaktivität als Bezugseinheit bietet also die flexibelsten Analysemöglichkeiten, von der andere Bezugsgrößen mittels Aggregation abgeleitet werden können.

Die folgenden Datenkategorien sollten dabei jeweils einzeln und / oder in Kombination abgefragt und ausgewählt werden können:

- Akteursdaten (Personenmerkmale)
- Raumdaten (Flächennutzung, Zählsprenkel- oder Gemeindeattribute, u.U. Straßenattribute und ÖV-Linien u.ä.)
- Ereignisdaten (Zusammenhänge zwischen Raum und / oder Akteuren, wie beispielsweise Verkehrszählungen, modal-split und alle räumlichen Verflechtungen über Wege und Aktivitätsstandorte)

Die Abfrageergebnisse können kombiniert werden und werden - je nach Art der gewünschten Darstellung - aggregiert und präsentiert.

Zum Zweck der Aggregation sollte die Definition eigener wie auch die Übernahme vorgegebener Kategorisierungen möglich sein, beispielsweise nach räumlichen Kategorien (Zentralörtlichkeit, Erreichbarkeit) oder nach sozialen Kategorien.

Die kartographische Darstellung kann als Hauptpräsentationsmedium angesehen werden. Hierzu dienen neben den Standarddarstellungen für häufig wiederkehrende Fragestellungen (z.B. auf Ebene einzelner Gemeinden oder Regionen,...) neue Formen der Definition thematischer Karten, die u.a. zur Darstellung von

- räumlichen Verflechtungen und Interaktionsbeziehungen,
- von Zielaktivitäten (Aktivitätsstandorte nach Raumkategorien und / oder sozialen Kategorien),
- oder der Entwicklung von Verkehrsmittelwahl / Wegezahlen / Distanzen etc. nach unterschiedlichen räumlichen Aggregaten (Gemeinden - Bezirke - funktionale Regionen etc.), nach Aktivitäten / Wegezwecken und nach sozialen Kategorien

dienen können.

Sie werden durch standardisierte Graphiken, sowie tabellarische Darstellungen und einfache statistische Kennzahlen ergänzt. Spezielle Klassifikationsmethoden ergänzen diese Funktionalität (kombinierte Abfragen nach mehr als einem Kriterium, z.B. mit Hilfe einer zweidimensionalen Klassifikation).

2.2. Maßstabsprobleme in der Interpretation

Eine grundlegende methodische Entscheidung bei der Auseinandersetzung mit raumbezogenen Fragestellungen ist die Frage des Analysemaßstabs. Der Maßstab gibt nicht nur die räumliche Auflösung der Daten

vor und beeinflusst damit in starkem Ausmaß die Qualität der Daten, sondern er determiniert auch die Aussagemöglichkeiten. Dabei ist jedoch nicht nur auf räumlicher Ebene eine Maßstabsentscheidung zu treffen. Fragen der Auflösung müssen in gleicher Weise im zeitlichen Maßstab und auch im "sozialen" Maßstab behandelt werden. Mit dem sozialen Maßstab wird dabei im Folgenden die Frage der Analyseeinheit bezeichnet, i.e. welche soziale Einheit als Akteur angesehen wird. Vorab muß jedoch zum Maßstabsproblem festgehalten werden, daß es keinen eindeutig identifizierbaren "idealen" Maßstab zur Untersuchung von Mobilität / Verkehr gibt. Jede Maßstabsebene besitzt in gleichem Maße Vor- wie Nachteile. Die Integration der unterschiedlichen Maßstabsebenen ist daher eine notwendige Voraussetzung, um möglichst viele der damit verbundenen Methoden und Aussagemöglichkeiten in einem kohärenten Gesamtsystem zu nutzen.

Das Maßstabsproblem stellt sich bereits bei der Kategorisierung von Aktivitäten, hier kann eine a priori Zuordnung von Aktivitäten zu unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Ebenen vorgenommen wurde. Dies stellt jedoch nur einen Ausgangspunkt für eine multidimensionale und multimaßstäbliche Betrachtung dar (HOLLY 1978, GOODCHILD et al. 1993). Diese ist beispielsweise für die Zuordnung von Aktivitäten zu einzelnen Ebenen und für die Bildung von Korrespondenzregeln zwischen den Ebenen notwendig. Gerade im Bereich der Verkehrsplanung erscheint dies von zentraler Bedeutung, da im Planungsfall üblicherweise auf unterschiedlichen Maßstabsebenen sehr unterschiedliche Zielsetzungen erkennbar sind. In vielen Studien bleibt völlig unberücksichtigt, welche Konsequenzen mit der getroffenen Maßstabswahl verbunden sind (wenn beispielsweise mit der Definition von Verkehrsbezirken bestimmte Verkehre als Binnenverkehre ausgewiesen werden und nicht weiter betrachtet / modelliert werden). Bei einer ausschließlichen Fixierung der Betrachtung auf einen Maßstabsbereich gehen die Konfliktzonen im Übergangsbereich zwischen den Maßstabsebenen nicht in die Betrachtung ein. Die folgende kurz gehaltene Diskussion zeigt die Aussagemöglichkeiten auf unterschiedlichen räumlichen, zeitlichen und sozialen Maßstabsebenen auf.

Eine wesentliche Konsequenz aus der Verwendung unterschiedlicher räumlicher Maßstabsebenen ist, daß die Ergebnisse auf den einzelnen Maßstabsebenen nicht vollständig miteinander vergleichbar sind. Eine Ursache dafür ist die räumliche Autokorrelation (vgl. beispielsweise ARBIA 1989), da die verwendeten statistischen Methoden von der stochastischen Unabhängigkeit der verglichenen Variablen ausgehen. Je feiner das Netz räumlicher Beobachtungen ist, desto stärker korrelieren meist die naheliegenden Raumeinheiten. Die Auswahl der Bezugsebene wird neben diesen theoretischen Überlegungen jedoch auch stark von den Rahmenbedingungen in der Praxis, beispielsweise von der maximal möglichen Stichprobengröße, determiniert. Für jede der Bezugseinheiten sollte eine Minimalzahl an Beobachtungen vorliegen, so daß die Grenzen der statistischen Reliabilität nicht verletzt werden. Als Richtwerte dafür können etwa 30-40 Beobachtungen je räumlicher Einheit angesehen werden; sollten diese jedoch weiter kategorisiert werden (nach sozialen Faktoren) steigen dementsprechend die Stichprobenanforderungen.

2.3. Integration der Maßstabsebenen

Die vorangegangene Diskussion der Maßstabsebenen zeigte, daß mit jeder Maßstabsebene - sowohl auf räumlicher und zeitlicher als auch sozialer Ebene - jeweils nur eine bestimmte Teilmenge der mobilitätsbezogenen Problemstellungen gelöst werden kann. Für die Analyse von Mobilitätsvorgängen muß daher die Integration der verschiedenen Maßstabsebenen eine zentrale Stellung einnehmen. Diese Integration kann einerseits einer verbesserten Aussagekraft einzelner Teilanalysen dienen, die damit zu einem Aussagesystem zusammengeführt werden, andererseits bietet sie aber auch die einzige Möglichkeit zur Kombination von Aussagen auf Raum-, Sozial-, und Individualebene. Nur auf dieser Basis können alle relevanten Ergebnisse zur Maßnahmenevaluation integriert werden und als Grundlage für planerische Aussagen dienen. Als Vorgangsweise für eine derartige Integration erscheint zunächst die Zuordnung der Aktivitätskategorien zu den Maßstabsebenen notwendig, um den Aufbau von Aussagesystemen auf den einzelnen Ebenen zu erlauben, sodaß deren Verknüpfung durch Korrespondenzregeln ermöglicht wird (HOLLY 1978). Die Zusammenhänge zwischen verschiedenen räumlichen und zeitlichen Maßstabsebenen sind jedoch noch kaum bekannt (LANGRAN 1992, S. 37).

Zwischen räumlichen und zeitlichen Maßstabsebenen bestehen beliebige Kombinationsmöglichkeiten, die unterschiedlich sinnvoll sind (PARKES u. THRIFT 1980). Als grundlegend erscheint, daß die Integration zwischen den Maßstabsebenen notwendig ist, da räumliche Mobilität Zeit und Raum miteinander verbindet.

3. DATENEXPLORATION AM BEISPIEL DES MODIFIABLE AREAL UNIT PROBLEMS

Das Maßstabsproblem kann am Beispiel des Modifiable Areal Unit Problem (MAUP) und den resultierenden Konsequenzen dargestellt werden.

3.1. MAUP: Kurzdefinition

Das Problem veränderlicher Bezugsregionen ist einschlägig meist als MAUP (Modifiable Areal Unit Problem) bekannt. Es tritt bei der Frage nach räumlichen Zusammenhängen dann auf, wenn Bezugsregionen unterschiedlicher Aggregationsstufe oder Zonierung gebildet werden (müssen). Fragestellungen in der Verkehrsplanung sind beispielsweise

- die Abhängigkeit der Mobilitätsrate (Anzahl der Wege pro Person und Tag) von sozioökonomischen Merkmalen und Erreichbarkeitswerten der Wohnumgebung, oder
- die Erklärung der Motorisierungsrate (Anzahl der PKW je 1000 EW) aus sozioökonomischen und raumstrukturellen Statistikwerten.

Diese Fragestellungen sind eigentlich a-räumlich, da im Prinzip eine Antwort auf Individualebene gesucht wäre. Der gesuchte Zusammenhang wäre also jeweils auf Einzelpersonen zu beziehen (Mobilitätsrate und Motorisierungsgrad je Person), die sozioökonomischen Daten und Erreichbarkeitswerte stehen jedoch auf dieser Ebene nicht zur Verfügung. Da Individualdaten in den seltensten Fällen vorliegen, muß entweder eine Befragung (also eine Stichprobenerhebung) durchgeführt werden, oder aber (was weniger zeit- und geldaufwendig ist) die amtliche Statistik herangezogen werden. Diese bereitet Daten der Volkszählung in räumlich aggregierter Form auf, sodaß die Frage in Ermangelung von Individualdaten mit den (Zählsprengel- oder Gemeinde-) Attributen *mittlere Mobilitätsrate* oder *Motorisierungsgrad je 1000 EW* gestellt werden könnte. Da die Antwort eigentlich auf Individualebene gesucht ist, riskiert man mit dieser Art der Fragestellung eine Verzerrung des Ergebnisses (bei Aggregation allgemein meist als "ökologischer Fehlschluß" bezeichnet). Die auftretende Verzerrung des Ergebnisses aufgrund räumlicher Aggregation wird als das Modifiable Areal Unit Problem bezeichnet.

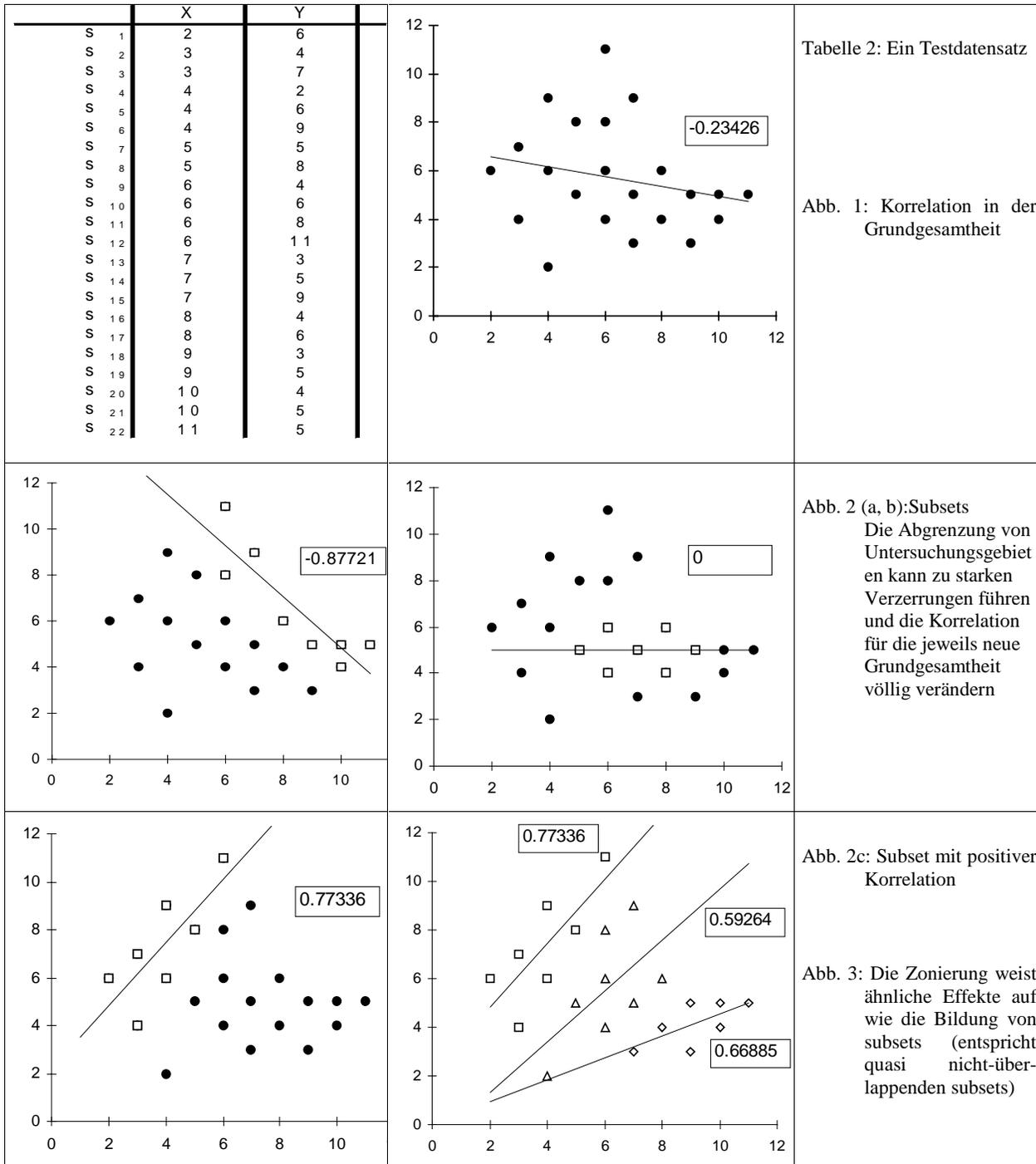
Die Stärke eines Zusammenhangs wird dabei üblicherweise mit einem Korrelationskoeffizienten, die Richtung mit einer Regressionslinie abgebildet. Diese Analyse von räumlichen Zusammenhängen ("Kovariation von mehreren Themen") kann als zentrale Aufgabe der raumbezogenen Datenanalyse angesehen werden. Das Ergebnis der Analyse ist jedoch keineswegs unabhängig von den zugrundeliegenden räumlichen Bezugseinheiten. Die Höhe des entdeckten Zusammenhangs und auch die Richtung des Zusammenhangs kann mit der Größe (der *Aggregation*), der Form (*Zonierung*) der Bezugseinheiten und mit der Abgrenzung des Untersuchungsgebiets (*Teilmenge*) variieren.

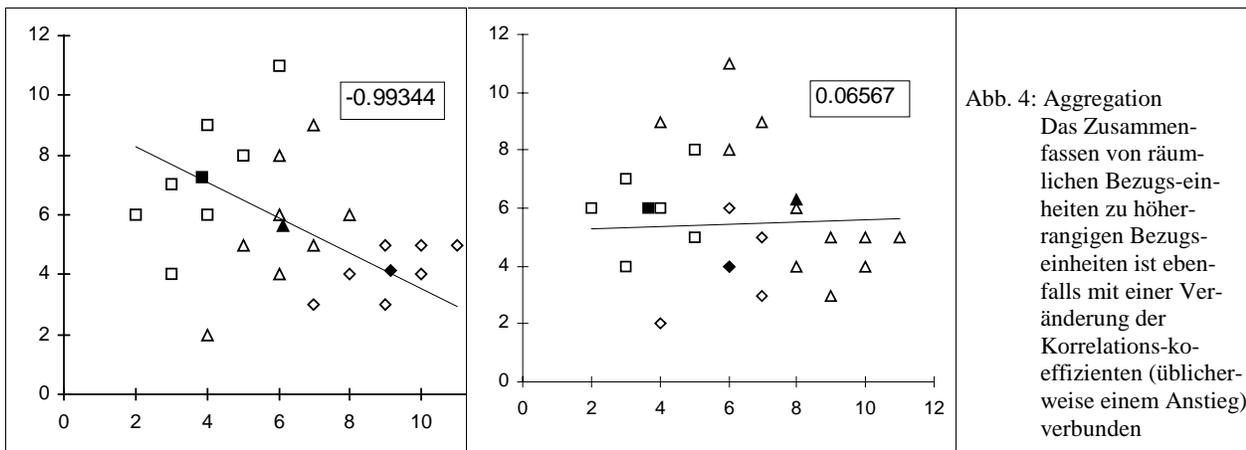
Aggregation bezeichnet dabei räumliche Bezugseinheiten unterschiedlicher Aggregationsstufen (wie sie beispielsweise durch die amtliche Österreichische Statistik mit Zählsprengel - Zählbezirk - Gemeinde - Bezirk - Bundesland gebildet werden). Empirische Tests haben gezeigt, daß mit zunehmender Aggregation die Stärke des Zusammenhangs zweier Themen steigt (da die Gesamtvariation durch Mittelwertbildung sinkt). Der Korrelationskoeffizient reagiert also auf zunehmende räumliche Aggregation - welcher Zusammenhang auf welcher Aggregationsstufe aber der gesuchte ist, ist kaum eindeutig festzustellen. Hypothesen über räumliche Zusammenhänge sind daher jeweils auf ein bestimmtes Aggregationsniveau zu beziehen und umgekehrt dürfen Analyseergebnisse auch nur für das jeweilige Aggregationsniveau herangezogen werden.

Zonierung bezieht sich auf die Definition der Grenzen von räumlichen Bezugseinheiten. Dieser Vorgang des Zusammenfassens von räumlichen Basiseinheiten zu neuen, übergeordneten Einheiten wird entweder als *Regionalisierung* bezeichnet (wenn die Ausgangseinheiten räumlich konjunkt sind) oder als Typisierung (wenn die Ausgangseinheiten räumlich disjunkt sein können). OPENSHAW u. TAYLOR (1979) haben gezeigt, daß mit der Wahl von unterschiedlichen Zonierungen für idente Daten praktisch alle Korrelationskoeffizienten zwischen 1 und -1 erzeugt werden konnten. Zwei Themen weisen damit in Abhängigkeit von der Zonierung keinen, einen stark positiven oder einen stark negativen Zusammenhang auf (s. Abbildungen unten).

Die Abgrenzung des *Untersuchungsgebiets* ist ein weiterer (vorbereitender) Schritt, der zu (extrem starken) Verzerrungen des Analyseergebnisses führen kann. In der Verkehrsplanung kommt diesem Schritt eine

besonders große Bedeutung zu – dies kann alleine schon anhand der Bedeutung (und Operationalisierung !) der Begriffe Binnenverkehr, Quell- Zielverkehr und Transitverkehr belegt werden, die jeweils von der Definition des Bezugsgebiets abhängig sind.





Die - lange Zeit überwiegend geäußerte - negative Sichtweise des MAUP-Problems besagt, daß es nicht lösbar wäre und nur mit Hilfe von empirischen Tests und eines allgemein höheren "Bewußtseins" für dieses Problem ein besserer Umgang damit zu erreichen wäre. In jüngster Zeit versuchen jedoch einige Ansätze, räumliche Variablen explizit mit in die Analyse aufzunehmen, um die räumlichen Effekte besser quantifizieren zu können (z.B. CRESSIE 1996).

Ohne explizite Berücksichtigung zusätzlicher räumlicher Variablen schlägt OPENSHAW als Strategie zur Zonierung vor, jeweils möglichst homogene Regionen zu bilden. Homogene Regionen führen aber zu besonders starken MAUP-Effekten und sind daher zur Analyse der Zusammenhänge von Individualdaten nicht geeignet (da zu stark verzerrend). Die jeweils resultierenden Verzerrungen können jedoch als über-individuelle (und damit als räumliche) Effekte angesehen werden. Vielfach gilt ja gerade diesen (zusätzlichen) räumlichen Effekten das eigentliche Interesse - diese werden bei homogener Regionsbildung besonders betont (HOLT et al. 1996 bieten eine detailliertere Diskussion dieser Zusammenhänge).

3.2. MAUP: reale und potentielle Effekte in der Empirie

Die Effekte der drei Operationen können anhand eines empirischen Beispiels illustriert werden:

Erklärungsansätze zur Mobilitätsrate – unterschiedliche Aggregationsebenen

Für den Salzburger Zentralraum liegt eine flächendeckend repräsentative Mobilitätsaufnahme aus dem Jahr 1982 vor (ARGE Verkehrsplanung TU Graz, BRÖG 1985), die über 37.000 Mobilitätstagebücher umfaßt. Die Daten dieser Studie sind räumlich auf der Basis von Verkehrsbezirken (die im wesentlichen mit der amtlichen Zählsprengelebene ident sind) referenziert worden. Für diese räumliche Referenz konnte eine Zuordnungstabelle zu den amtlich-statistischen Zählsprengelebenen relativ einfach erstellt werden, da nur in drei Fällen die eindeutige Hierarchie unterbrochen ist. Die vollständige Hierarchie der Bezugseinheiten umfaßt damit:

- Verkehrsbezirke (entspricht der Zählsprengelebene)
- Zählbezirke
- Gemeinden
- Quell- und Zielregionen
- Untersuchungsregion

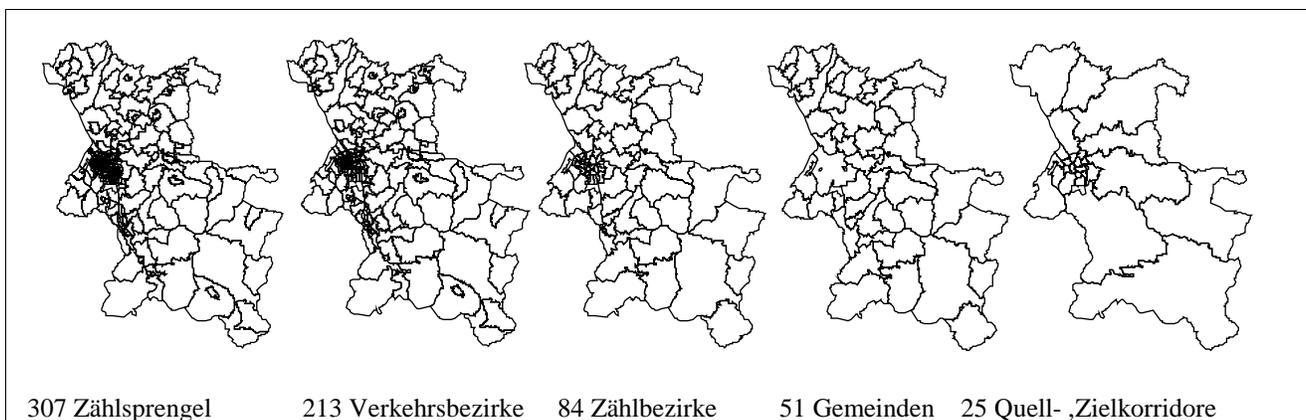


Abb. 5: Aggregationsebenen

(Vier Zählsprenkel wurden bei Aggregation und Berechnung ausgeblendet, da für diese keine Befragungsdaten vorliegen.)

Diese Hierarchie der Bezugseinheiten entspricht jener, die auch in der erwähnten Untersuchung verwendet wurde und erlaubt damit die Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Als erklärende Variablen stehen damit auf den unterschiedlichen räumlichen Bezugseinheiten folgende Informationen zur Verfügung (entspricht den og. Personen- und Raumdaten):

- **Direkte Kennzahlen** (Attribute) der Zählsprenkel (Bevölkerung 1981 und 1991, Bevölkerungsveränderung, Fläche, Bevölkerungsdichte, Bevölkerungsanteile nach Kategorien der Berufstätigkeit).
- Kennzahlen zur Charakterisierung der **Erreichbarkeit** (Zählsprenkelumgebung durch das ISOCHRONEN-Modell charakterisiert; Bevölkerung innerhalb 2000, 3500, 5000 und 7500 m Distanz, Einzelhandelsbeschäftigte in diesen Distanzklassen, Bevölkerungszahl und Einzelhandelsbeschäftigte innerhalb von 20 Minuten; Verhältniswerte der 5 km und der 20 Minuten-Isochrone).
- Kennzahlen der - **verkehrsmittelspezifischen - zentralörtlichen Erreichbarkeit** (durch das MINDIST-Modell charakterisiert; zentralörtliche Stufe, IV-, ÖV-Zeit sowie Netzwerkdistanz zu Zentralen Orten der Stufe 1, 2 und 3 und Verhältniswerte der IV- und ÖV-Erreichbarkeit).

Im folgenden Erklärungsmodell wurde eine Teilmenge dieser Variablen in das Regressionsmodell mit aufgenommen:

| | | | |
|----------|--|----------|--------------------------------------|
| Bev81 | Bevölkerung Stand 1981 | Teilzeit | Anteil der Teilzeitbeschäftigten |
| Zo1iv | Distanz zum nächsten Zentralen Ort für den MIV | ARBLOS | Anteil der Arbeitslose |
| Vollzeit | Anteil der Vollzeitbeschäftigten | PENSION | Anteil der Pensionisten |
| AZUBI | Anteil der Auszubildenden | KKIND | Anteil der Kleinkinder (bis 5 Jahre) |
| HAUSHALT | Anteil der im Haushalt tätigen | HH_size | Durchschnittliche Haushaltsgröße |
| MOB_ANT | Anteil der mobilen Personen (KFZ verfügbar und Führerschein) | Bv5km81 | Bevölkerung innerhalb 5 km |
| Bev_d | Bevölkerungsdichte EW/ha | Al4060 | Einwohner zwischen 40 u. 60 Jahre |
| Al2540 | Einwohner zwischen 25 u. 40 Jahre | Wegavg | Anzahl der Wege pro EW und Tag |

Tabelle 3: Variablenliste für das Regressionsmodell

Mit Hilfe dieser erklärenden Variablen sollen nun die Ereignisdaten, wie beispielsweise die Verkehrsmittelwahl oder die Mobilitätsrate, erklärt werden. Die übliche methodische Vorgangsweise ist die Verwendung einer Regressionsanalyse. Die besterklärende Einzelvariable für die genannten Ereignisdaten stellt BV5KM81 (die Bevölkerungszahl in einer 5km-Wohnumgebung) dar (s.u.).

Um ein hohes Maß an Vergleichbarkeit zu erreichen, wurde für die einzelnen Datensätze dieselbe Gewichtung wie in der Analyse 1982 verwendet (in der Aggregation von Personendaten auf die kleinste räumliche Bezugseinheit – die Zählsprenkel). In der anschließenden Aggregation auf die hierarchisch organisierten Bezugseinheiten diente als Gewichtung jeweils die Probandenanzahl (um unterschiedliche Bevölkerungszahlen als MAUP-Faktor auszuschalten).

Die Regressionsanalyse wurde daher hier nicht – wie sonst üblich – für genau eine Bezugsebene berechnet, sondern für alle unterschiedlichen Aggregationsstufen. Auf allen Bezugsebenen wurden die Korrelationskoeffizienten der Variablen ermittelt und deren Veränderung beobachtet - die Höhe dieser Veränderung ist der Maßstab für MAUP-Effekte (Aggregationseffekte). Nach OPENSHAW kann durch entsprechende Aggregation jeder beliebige Koeffizient zwischen -1 und $+1$ erreicht werden, d. h. jeder beliebige Zusammenhang zwischen zwei Variablen konstruiert werden.

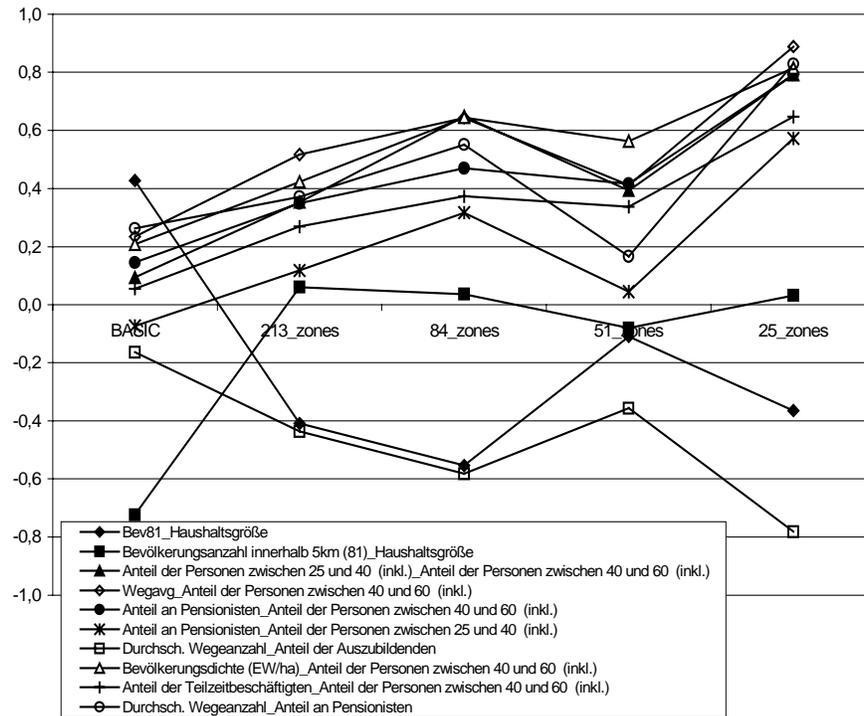


Abbildung 6: Veränderung des Korrelationskoeffizienten ausgewählter Variablenpaarungen

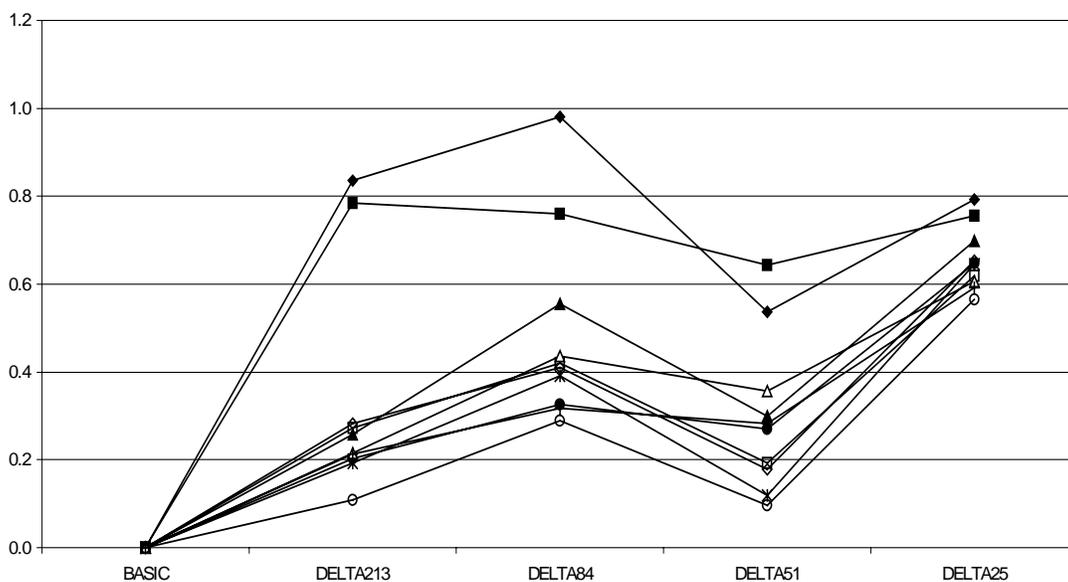


Abbildung 7: Absolute Veränderung des Korrelationskoeffizienten ausgewählter Variablenpaarungen

Wie aus diesen Abbildungen ersichtlich ist, schwanken die Korrelationskoeffizienten zwischen den unterschiedlichen Aggregationsebenen recht deutlich. So gibt es in der feinsten Raumgliederung (Zählsprenkel) zwischen der durchschnittlichen Wegeanzahl und dem Anteil der Auszubildenden keinen Zusammenhang ($-0,16$), bei einer Aggregation auf 26 Zonen weisen diese Werte einen hohen negativen Korrelationskoeffizienten ($-0,78$) auf.

Im folgenden wird versucht, die Variable „Anzahl der Wege pro Ew und Tag“ (*WEGAVG*) durch eine (lineare) Regressionsanalyse (Methode: stepwise) zu erklären. Diese Variable stellt einen zentralen Input für Verkehrsmodelle dar und dient zur Abbildung der Verkehrsnachfrage. Im klassischen 4-Stufen-Modell erfolgt diese Berechnung als erster Schritt. Die Aufnahme der Variablen in die Regressionsanalyse (vgl. Tabelle 3: Variablenliste für das Regressionsmodell) wurde durch das verwendete Statistikpaket SPSS gesteuert.

| variable: zones | HAUSHALT | | VOLLZEIT | |
|--------------------|----------|-----------|----------|-----------|
| | Mean | Std. Dev. | Mean | Std. Dev. |
| 302 | 0,103 | 0,050 | 0,444 | 0,097 |
| 213 | 0,102 | 0,037 | 0,442 | 0,059 |
| 84 | 0,104 | 0,025 | 0,436 | 0,039 |
| 51 | 0,107 | 0,025 | 0,437 | 0,032 |
| 26 | 0,105 | 0,015 | 0,439 | 0,026 |

Tabelle 4: Mittelwert und Standardabweichung ausgesuchter Variablen

Anmerkungen: HFRAU: Anteil der Personen die im Haushalt arbeiten,
VOLLZEIT: Anteil der Personen die einer ganztägigen
Beschäftigung nachgehen.

Durch die Gewichtung der Werte mit der Anzahl der Probanden bleiben die Mittelwerte bei der Aggregation relativ konstant. Bei den Abweichungen in der dritten (bzw. zweiten) Nachkommastelle handelt es sich um Rundungsfehler. Die Standardabweichung sinkt in Folge der Aggregation kontinuierlich ab. Bei der Betrachtung der Ergebnisse der Regressionsanalysen zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Aggregationsebenen:

| 302 zones | | | | 213 zones | | | | 84 zones | | | |
|--------------|----------------|--------|-------|--------------|----------------|--------|-------|--------------|----------------|-------|-------|
| Var. Entered | R ² | Beta | Sig.T | Var. Entered | R ² | Beta | Sig.T | Var. Entered | R ² | Beta | Sig.T |
| HH_SIZE | 0.343 | -0.187 | 0.009 | BV5KM81 | 0.451 | 0.198 | 0.014 | BV5KM81 | 0.618 | 0.320 | 0.002 |
| ZO1IV | 0.401 | -0.223 | 0.003 | AL2540 | 0.517 | 0.335 | 0.000 | AL2540 | 0.671 | 0.354 | 0.000 |
| VOLLZEIT | 0.431 | -0.226 | 0.000 | KKIND | 0.545 | -0.115 | 0.022 | PENSION | 0.709 | 0.235 | 0.001 |
| AL2540 | 0.460 | 0.225 | 0.000 | PENSION | 0.562 | 0.159 | 0.002 | TEILZEIT | 0.730 | 0.166 | 0.016 |
| BV5KM81 | 0.468 | 0.161 | 0.037 | TEILZEIT | 0.577 | 0.113 | 0.024 | | | | |
| | | | | ZO1IV | 0.587 | -0.166 | 0.029 | | | | |

| 51 zones | | | | 26 zones | | | |
|--------------|----------------|-------|-------|--------------|----------------|--------|-------|
| Var. Entered | R ² | Beta | Sig.T | Var. Entered | R ² | Beta | Sig.T |
| AL2540 | 0.277 | 0.527 | 0.000 | BV5KM81 | 0.835 | 0.338 | 0.009 |
| | | | | PENSION | 0.894 | 0.356 | 0.000 |
| | | | | ZO1IV | 0.937 | -0.380 | 0.001 |

Tabelle 5: Regressionsanalyseparameter auf unterschiedlichen Aggregationsebenen:

Anmerkungen Dependent Variable: WANZ_SUM; Method: Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= 100)
Die Variablen Beta und Sig.T wurden dem jeweils letzten Model (z.B.: Independent Variables: (Constant), HH_SICE, ZO1IV, VOLLZEIT, AL2540, BV5KM81) aus dem entsprechenden SPSS OUTPUT Dokument entnommen.

Die zugehörigen Regressionsgleichungen:

Y 303= 4 - 0.13 * HH_Size + 0.0 * zoliv - 1.18 * vollzeit + 3.04 * al2540 + 0.0 vv5km81
Y 213= 2.73 + 0 * vv5km81 + 4.71 * al2540 - 2.84 * kkind + 0.98 * pension + 1.8 * teilzeit + 0 * zoliv
Y 84= 2.19 - 0.0 * bv5km81 + 5.99 * al2540 - 1.70 * pension + 3.12 * Teilzeit
Y 51= 2.20 +10.73 * al2540
Y 26= 2.907 - 0.0 * bv5km81 + 2.98 * pension + 0.0 * zoliv

Gemeinsam ist allen Regressionsanalysen, daß ihre Werte hoch signifikant sind. Das Steigen des Bestimmtheitsmaßes (R²) von 0.5 im Basic Layer auf 0.9 (!) bei 26 Zonen deutet auf ein Vorhandensein von deutlichen Störfaktoren durch die räumliche Aggregation hin. Dieses extrem hohe Bestimmtheitsmaß zeigt klar, daß die Ergebnisse bei geringer Anzahl von Bezugseinheiten nur mit Vorsicht zu interpretieren sind. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Bezugseinheiten deuten jedoch auch auf die Instabilität der Zusammenhänge hin – Ergebnisse unterschiedlicher Bezugseinheiten dürfen also niemals miteinander kombiniert werden, da sie in sehr unterschiedlichem Ausmaß vom MAUP-Effekt betroffen sind. Interessant ist auch der Vergleich mit dem Ergebnis bei 51 Zonen – dieses weist ein (völlig gegensätzlich zum Trend) sehr niederes Bestimmtheitsmaß bei geringer Anzahl an Bezugseinheiten auf. Zurückzuführen ist dies auf die „extreme“ Zonierung (es wurde auf Gemeindeebene aggregiert, also die Stadt Salzburg zu einer Zone zusammengefaßt) – ein Hinweis auf die starken Effekte einer Zonierung.

4. SCHLUSSFOLGERUNGEN: ANALYTISCHE VOREXPLORATION UND EXPLORATIVE VISUALISIERUNG

In der vorhergehenden kurzen Darstellung wurden mehrere Gründe für eine explorative Herangehensweise an analytische planerische Probleme – hier am Beispiel der Verkehrsplanung dargestellt – genannt. Diese sind insbesondere

- Neue Daten und große Datenmengen, die oft ungenutzt bleiben
- Ungenutzte Methoden zur verbesserten Verknüpfung und Visualisierung von Zusammenhängen
- Effekte neuer sozioökonomischer Entwicklungen sind oft unklar und können explorativ aufgezeigt werden

- Die Stabilität von Ergebnissen – über unterschiedliche Maßstabsebenen hinweg – kann analysiert und dargestellt werden. Damit ist eine weitere Grundlage für die Interpretation und Vergleichbarkeit von Analyseergebnissen gegeben.

LITERATUR

- ARBEITSGRUPPE VERKEHRSPLANUNG TU Graz u. W. BRÖG (1985): Nahverkehrskonzept Zentralraum Salzburg. Verkehrsuntersuchung 1982. - Graz.
- ARBIA, G. (1989): Spatial data configuration in statistical analysis of regional economic and related problems. - Dordrecht.
- CHEYLAN J.-P. and S. LARDON (1993): Towards a conceptual data model for the analysis of spatio-temporal processes: the example of the search for optimal grazing strategies. In: FRANK, A.U. and I. CAMPARI (Eds.): Spatial information theory. A theoretical basis for GIS. Proceedings COSITT '93, Elba. - Berlin, Springer Verlag, 158 - 176.
- CRESSIE, N. (1996): Change of support and the Modifiable Areal Unit Problem. In: Geographical Systems, 3, 159 – 180.
- DORLING, D. (1992): Visualising people in time and space. In: Environment and planning, B: Planning and Design, 19, 613 - 638.
- GOODCHILD, M., B. KLINGENBERG and D. JANELLE (1993): A factorial model of aggregate spatio-temporal behavior: application to the diurnal cycle. In: Geographical Analysis, 25, 277 - 295.
- HOLLY, B.P. (1978): The problem of scale in time-space research. - London. In: CARLSTEIN, T., PARKES, D. u. N. THRIFT (Hrsg.): Timing space and spacing time, Vol. 1, 5 - 18.
- HOLT, D., D.G. STEEL u. M. TRANMER (1996): Area homogeneity and the Modifiable Areal Unit Problem. In: Geographical Systems, 3, 181 - 200.
- LANGRAN, G. (1992): Time in geographical information systems. - London.
- OPENSHAW, S. u. P.J. TAYLOR (1979): A million or so correlation coefficients: three experiments on the Modifiable Areal Unit Problem. In: WRIGLEY, N. (Hrsg.): Statistical applications in the spatial science. – London: Pion Limited, 127 – 144.
- PARKES, D. u. N. THRIFT (1980): Times, spaces and places. A chronogeographic perspective. - Chichester, New York.
- PEUQUET, D. (1994): It's about time: a conceptual framework for the representation of temporal dynamics in Geographical Information Systems. In: Annals of the association of american geographers, 84, 441 - 461.
- WORBOYS, M.F. (1992): Object-oriented models of spatiotemporal information. In: GIS/LIS 92', 825 - 834.