

Mikrosimulation verkehrsarmer Siedlungsstrukturen

Rolf Moeckel*, Björn Schwarze*, Klaus Spiekermann**, Michael Wegener**

* Institut für Raumplanung, Universität Dortmund, 44221 Dortmund

** Spiekermann & Wegener, Stadt- und Regionalforschung, Lindemannstraße 10, 44137 Dortmund

1. Einleitung

Die räumliche Entwicklung in den Stadtregionen ist durch einen anhaltenden Suburbanisierungs- und Zersiedlungsprozess gekennzeichnet. Die in der Vergangenheit entstandenen und nach wie vor entstehenden dispersen Siedlungsstrukturen sind ökonomisch ineffizient und verschwenderisch im Umgang mit Ressourcen und Energie. Zunehmende Überlastungen im Straßennetz sowie Lärm und Luftverschmutzung senken die Lebensqualität für die Bevölkerung und bedrohen die Funktionsfähigkeit der Städte. Verkehrsarme Siedlungsstrukturen mit einer verträglichen Dichte und ausgewogenen Nutzungsmischung können zur Minderung dieser Probleme beitragen. Die Nutzung des privaten Automobils sollte zugleich eingeschränkt und attraktive Angebote im öffentlichen Nahverkehr geschaffen werden. Für eine nachhaltige Entwicklung wird daher seit langem eine integrierte Flächennutzungs- und Verkehrsplanung gefordert, die die Interdependenzen zwischen Siedlungs- und Verkehrsentwicklung berücksichtigt und wirksam ausnutzt.

In der Planungspraxis gehen Stadt- und Verkehrsplanung weitgehend noch getrennte Wege. Bei planerischen Entscheidungen finden die komplexen Wechselwirkungen zwischen Flächennutzung, Verkehr und Umwelt nur selten Berücksichtigung. Im Zuge der aufkommenden Debatte um eine zukunftsfähige und nachhaltige Raumentwicklung gewinnen integrierte Simulationsmodelle der Stadtentwicklung daher zusehends an Bedeutung. Durch ihren rückgekoppelten, integrativen Ansatz bilden sie die komplexen Wechselwirkungen zwischen Siedlungsentwicklung, Verkehrsstruktur und Umweltauswirkungen ab und geben so wertvolle Informationen für ihr Verständnis. Dynamische, integrierte Stadtsimulationsmodelle dienen zur Beantwortung der Frage, wie sich Maßnahmen der Flächennutzungs- und Verkehrsplanung langfristig auf Standortwahl- und Mobilitätsentscheidungen von Unternehmen und Haushalten auswirken und welche Folgen dies für die Umwelt hat. Mit Hilfe verschiedener Szenarien lassen sich die Wirkungen von Planungsalternativen vergleichen und in Relation zu den Kosten setzen, bevor die Maßnahmen in die Realität umgesetzt werden. Obwohl integrierte Stadtsimulationsmodelle noch einen gewissen Weiterentwicklungsbedarf haben, stellen sie bereits heute ein wichtiges vorausschauendes Planungs-, Simulations- und Bewertungsinstrument für die Stadtentwicklungsplanung dar.

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über das Verbundprojekt ILUMASS (Integrated Land Use-Modelling and Transportation System Simulation). Nach der Einführung in das als Mikrosimulation realisierte Modellsystem erfolgt eine Diskussion der erforderlichen Mikrodaten. Um einen Einblick in die Simulation zu geben, werden anschließend exemplarisch die Mikrosimulationsmodule für die Alterung von Personen und Wanderung von Haushalten erläutert. Der Darstellung der Analysemöglichkeiten mit unterschiedlichen Szenarien folgt ein abschließender Ausblick auf die Zukunft integrierter Simulationsmodelle der Stadtentwicklung.

2. Das Modellsystem ILUMASS

Das Projekt ILUMASS hat zum Ziel, ein mikroskopisches dynamisches Simulationsmodell des Stadtverkehrs in ein umfassendes Modellsystem einzubetten, das sowohl Veränderungen der Flächennutzung als auch die daraus resultierenden Veränderungen in der Verkehrsnachfrage abbildet. Außerdem werden die Umweltauswirkungen von Verkehr und Flächennutzung simuliert. Damit können auch die Auswirkungen der Umweltqualität auf die Flächennutzung abgebildet werden. ILUMASS wird als Mikrosimulation entwickelt, das heißt jeder einzelne Akteur wird mit seinem Verhalten abgebildet.

Mikrosimulation

Aufgrund der zunehmenden Bedeutung von Umweltbelangen bei der Planung gibt es weltweit ein wachsendes Interesse an integrierten Modellen zur Simulation von Siedlungsentwicklung, Verkehr und Umweltauswirkungen. Gleichzeitig stellt die Nachhaltigkeitsdebatte zusätzliche Ansprüche an die Entwicklung der Simulationsmodelle. Neue Verkehrsalternativen wie Park-and-Ride oder Kiss-and-Ride, neue Verkehrsmittel wie Car-Sharing oder Anrufsammeltaxi sowie neue Lebensstile und Arbeitsorganisationen wie Teilzeitarbeit, Telearbeit oder Teleshopping können nicht durch traditionelle vierstufige Verkehrsmodelle abgebildet werden. Neue aktivitätsorientierte Verkehrsmodelle, die diese Anforderungen erfüllen, benötigen detaillierte Informationen über Haushalte, Personen und Arbeitsplätze. Planungskonzepte auf Nachbarschaftsebene, die den öffentlichen Nahverkehr, das Radfahren oder zu Fuß gehen fördern sollen, benötigen genaue Informationen über den Mikrostandort von Aktivitäten. Neue Konzepte der Güterlogistik in der Stadt brauchen kleinräumige Informationen über den Standort der lokalen Versorger und der Empfänger der Güter und Dienstleistungen. Außerdem müssen die Modelle nicht nur in der Lage sein, sozioökonomische Folgen abzubilden, sondern auch die umweltrelevanten Auswirkungen von Flächennutzungs- und Verkehrsmaßnahmen zu simulieren. Dazu müssen sowohl Emissionen als auch Immissionen, das heißt die Auswirkungen auf die Bevölkerung vorhergesagt werden.

Traditionelle Modelle sind zu aggregiert, um diesen Anforderungen gerecht zu werden. Üblicherweise werden nur wenige Branchen, wenige Haushalts- und Wohnungstypen unterschieden. Außerdem beschränkt sich die räumliche Ebene aggregierter Modelle üblicherweise auf statistische Bezirke oder Unterbezirke (Zonen), von denen angenommen wird, dass sich sämtliche Eigenschaften einer Zone gleichmäßig über ihre Fläche verteilen. Räumliche Interaktionen zwischen den Zonen werden gewöhnlich über Netze realisiert, die die Mittelpunkte der Zonen miteinander verknüpfen. Zonenbasierte Modelle vernachlässigen topologische Beziehungen und beachten nicht, dass sozioökonomische Aktivitäten und Umweltauswirkungen kleinräumig stark differenzieren können.

Mikroskopische Stadtsimulationsmodelle, die einzelne Akteure mit Hilfe der Monte-Carlo-Mikrosimulation abbilden, überwinden diese Mängel herkömmlicher aggregierter Modelle. In einer Mikrosimulation wird ein Makroprozess durch die Simulation vieler Mikroereignisse abgebildet. Mikrosimulationsmodelle bilden menschliches Verhalten auf individueller Ebene ab. Simuliert wird beispielsweise, wie Akteure aufgrund ihrer Präferenzen, Gewohnheiten oder individuellen Wahrnehmungen Entscheidungen treffen. Dabei werden Unsicherheiten, unvollkommene Information sowie begrenzt verfügbare Ressourcen in Zeit und Geld berücksichtigt.

Die Mikrosimulation wurde zunächst in den Sozialwissenschaften entwickelt (Orcutt u.a., 1961). Lange Zeit waren raumrelevante Anwendungen eher kleinere Experimente, die Phänomene wie die räumliche Ausbreitung, Verkehrsverhalten oder Wohnstandortwahl abbildeten. Erst in neuerer Zeit hat die Mikrosimulation Einzug in integrierte Stadtsimulationsmodelle gefunden. In Nordamerika werden zur Zeit mehrere integrierte Stadtsimulationsmodelle entwickelt, so zum Beispiel das California Urban Futures Model (CUF) an der University of California in Berkeley (Landis, Zhang, 1998a, 1998b), das Integrated Land Use, Transport and Environment Model (ILUTE) an mehreren kanadischen Universitäten (Miller, 2001), das Urban Simulation Model (UrbanSim) an der University of Washington in Seattle (Waddell, 2000) sowie das Transport and Land Use Model Integration Program (TLUMIP) des amerikanischen Bundesstaates Oregon. In Europa gibt es bisher nur wenige vergleichbare Entwicklungen, so etwa das Learning-Based Transportation Oriented Simulation System (ALBATROSS) an niederländischen Universitäten (Arentze, Timmermans, 2000) sowie das hier beschriebene ILUMASS-Projekt.

Modellüberblick

Abbildung 1 zeigt den Aufbau des Simulationsmodells. Nachdem die Daten für das Basisjahr generiert wurden, wird das Simulationsmodell gestartet. Zunächst wird die Flächennutzung simuliert. Dieser Baustein umfasst die Standortwahl von Haushalten und Unternehmen, die demografische Fortschreibung der Personen, die Fortschreibung der Unternehmen und das Verhalten von Investoren, die neue Gebäude errichten, den Bestand renovieren oder auch Gebäude abreißen. Über die Verkehrsnetze wird die Erreichbarkeit von Arbeitsplätzen, von Gelegenheiten zum Einkaufen oder für Freizeitaktivitäten sowie von der Bevölkerung berechnet.

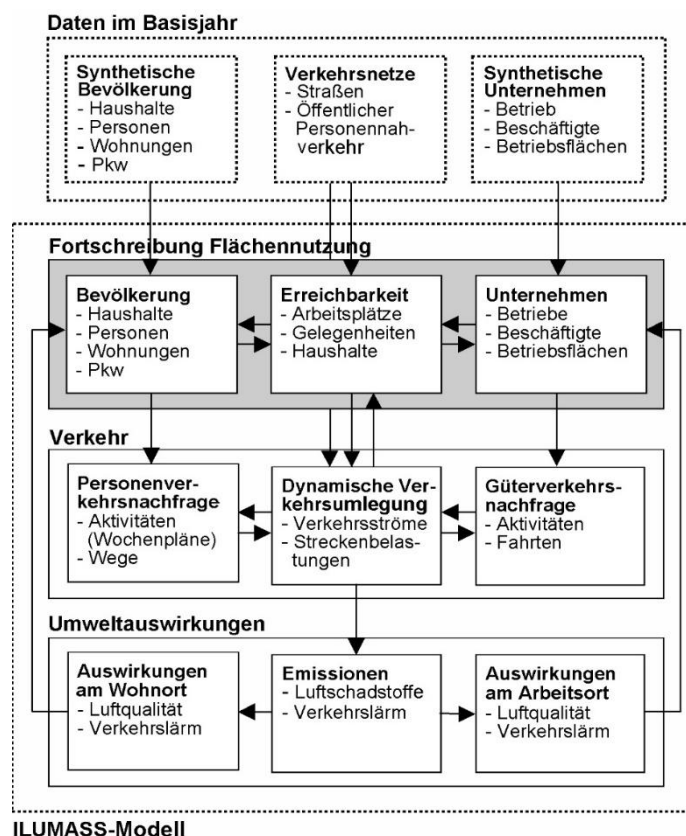


Abb. 1: ILUMASS-Gesamtmodell

In einem nächsten Schritt wird die Verkehrsnachfrage von Personen und Unternehmen ermittelt. Für die Personen werden Wochenpläne aufgestellt, die sie in Koordination mit weiteren Haushaltsmitgliedern zu realisieren versuchen. Die resultierende Verkehrsnachfrage wird dynamisch auf das Verkehrsnetz umgelegt, das heißt bei einer Veränderung der Reisezeiten aufgrund hohen Verkehrsaufkommens ändert sich auch die Verkehrsnachfrage. Nachdem die Fahrten auf das Straßennetz und das Netz des öffentlichen Personennahverkehrs umgelegt wurden, werden die Umweltauswirkungen berechnet. Sowohl die Qualität der Umwelt als auch die Belastung der Verkehrsnetze haben Auswirkungen auf die Flächennutzung, weil die Standortentscheidungen von Haushalten, Unternehmen und Investoren durch sie beeinflusst werden.

Der in der Abbildung 1 grau unterlegte Bereich der Flächennutzung ist der Baustein, der vom Institut für Raumplanung an der Universität Dortmund in Zusammenarbeit mit Spiekermann & Wegener, Stadt- und Regionalforschung, Dortmund bearbeitet wird. Der Flächennutzungsteil baut auf einem am Institut für Raumplanung entwickelten Stadtsimulationsmodell auf, ist jedoch mikroskopisch wie die Verkehrsteile von ILUMASS. Die Mikrosimulationsmodule umfassen Modelle der demographischen Entwicklung, Haushaltsbildung, Unternehmenslebenszyklen, Wohnungs- und Gewerbebau, Arbeitsplatzwechsel auf dem regionalen Arbeitsmarkt und Wohnstandortwahl auf dem regionalen Wohnungsmarkt. Diese sind eng verknüpft mit den von anderen Projektpartnern entwickelten Modulen zur Abbildung täglicher Aktivitätsmuster und Personen- und Güterbewegungen sowie ihrer Umweltauswirkungen.

An ILUMASS beteiligen sich unter der Koordination des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt in Berlin (Institut für Verkehrsforschung) Institute der Universitäten Aachen (Institut für Stadtbauwesen), Bamberg (Institut für Theoretische Psychologie), Dortmund (Institut für Raumplanung), Köln (Zentrum für angewandte Informatik) und Wuppertal (Lehr- und Forschungsgebiet Umweltverträgliche Infrastrukturplanung, Stadtbauwesen) sowie Spiekermann & Wegener, Stadt- und Regionalforschung, Dortmund.



Abb. 2: Das östliche Ruhrgebiet als Untersuchungsregion

Das Simulationsmodell wird am Beispiel der Stadtregion Dortmund implementiert und getestet (siehe Abbildung 2). Die Region im östlichen Ruhrgebiet umfasst 26 Gemeinden mit einer Bevölkerung von 2,6 Millionen Einwohnern und 85.000 Unternehmen. Die meisten Daten sind für die 246 statistischen Bezirke verfügbar. Um Mikrostandorte der Wohnungen und Nichtwohnflächen festzulegen, wird die Untersuchungsregion außerdem in Rasterquadrate von 100 x 100 Metern eingeteilt. Der Untersuchungsraum wird durch etwa 207.000 Rasterquadrate abgedeckt.

3. Mikrodaten als Ausgangsdaten

Das ILUMASS-Modell wird durchgehend als Mikrosimulation entwickelt. Ein solches Modell benötigt Mikrodaten, also Informationen über sämtliche einzelnen Akteure, deren Verhalten abgebildet werden soll, das heißt Informationen über einzelne Haushalte und deren Personen, über Wohnungen sowie über Unternehmen und die von ihnen genutzten Nichtwohnflächen.

Derartige Mikrodaten sind in der Regel nicht vorhanden, oder sie werden aus Datenschutzgründen von den Statistikämtern nicht veröffentlicht. Gewöhnlich sind die benötigten Daten nur in grober Klassifizierung für ganze Stadtteile oder auf Gemeindeebene verfügbar. Folglich müssen die Mikrodaten synthetisch generiert werden. Dazu werden die Informationen der amtlichen Statistik sachlich und räumlich disaggregiert. So wird eine synthetische Bevölkerung erzeugt, die mit den verfügbaren Makrodaten der Bevölkerung in der Untersuchungsregion statistisch äquivalent ist.

Die Informationen über die synthetische Bevölkerung werden in fünf Dateien abgelegt, die die Bereiche Haushalte, Personen, Wohnungen, Unternehmen und Nichtwohnflächen beschreiben. Diese Dateien sind sogenannte Listendateien, in denen ein Datensatz jeweils ein Datenobjekt, das heißt einen Haushalt, eine Person, eine Wohnung, ein Unternehmen oder eine Nichtwohnfläche beschreibt.

Sachliche Disaggregation

Die sachliche Disaggregation der Makrodaten erfolgt durch iterative proportionale Anpassung (Iterative Proportional Fitting) und Monte Carlo Sampling:

- *Iterative Proportional Fitting*. Gewöhnlich werden die Informationen von den Statistikämtern in eindimensionalen Verteilungen für statistische Bezirke oder Unterbezirke (Zonen) ausgegeben. Diese Verteilungen können zum Beispiel die Häufigkeit von Haushaltsgrößen oder von Einkommensklassen beschreiben. Zur Generierung einer synthetischen Bevölkerung werden jedoch mehrdimensionale Informationen benötigt, beispielsweise die Einkommensverteilung verschiedener Haushaltsgrößen. Eindimensionale Verteilungen werden durch iterative proportionale Anpassung (Deming, Stephan, 1940) in mehrdimensionale Verteilungen transferiert. Dieser Ansatz, der auch RAS-Methode genannt wird, verändert eine bestehende Matrix in der Weise, dass die Summen der Spalten und Reihen mit den bekannten eindimensionalen Summen der amtlichen Statistik übereinstimmen, und dass die Abweichungen von den ursprünglichen Einzelwerten in der Matrix minimiert werden. Diese Methode kann zur Anpassung von zwei- oder mehrdimensionalen Matrizen verwendet werden. Für die Generierung der Wohnungen wurde zum Beispiel eine vierdimensionale Matrix mit den Randsummen Gebäudeart, Eigentumsform, Wohnungsgröße und Wohnungsqualität geschätzt. Als

Ausgangsdaten wurde eine entsprechende Matrix der Volkszählung von 1970 verwendet. Als Randsummen wurden die verfügbaren eindimensionalen Verteilungen des Wohnungsbestands im Jahr 2000 genutzt. Das Ergebnis der iterativen Anpassung war ein Mikrodatensatz der Wohnungen im Jahr 2000.

- *Monte Carlo Sampling*. Bei der Generierung der synthetischen Bevölkerung mussten Mikrodaten mit sehr vielfältigen Eigenschaften erzeugt werden. Hier ließ sich eine Ausgangsmatrix für ein iteratives proportionales Anpassen nicht aufstellen, weil entsprechende Mikrodaten nicht vorlagen und nur mit erheblichen Unsicherheiten hätten geschätzt werden können. In solchen Fällen wird Monte Carlo Sampling verwendet. Monte Carlo Sampling erlaubt die Generierung von Mikrodaten mit einer nahezu unbegrenzten Anzahl von Eigenschaften (Wilson, Pownall, 1976). Monte Carlo Sampling ähnelt dem Ziehen eines Loses in einer Lotterie: Mit Hilfe einer Zufallszahl und vorgegebener Wahrscheinlichkeitsverteilungen werden Datenobjekten Eigenschaften zugeordnet. Abbildung 3 veranschaulicht das Verfahren. In dem Beispiel wird zunächst das Alter des Haushaltsvorstandes "gezogen". Da sehr junge sowie sehr alte Haushaltsvorstände eher zu kleinen Haushalten gehören, wird die Haushaltsgröße in Abhängigkeit vom Alter des Haushaltsvorstandes gewählt. Nachdem das Alter der weiteren Haushaltsangehörigen gewählt wird, wird aufgrund der vorhandenen Informationen das Haushaltseinkommen bestimmt. Abhängig von Haushaltsgröße und Einkommen wird danach die Anzahl der Fahrzeuge bestimmt und so weiter. Die Eigenschaften werden also in der Reihenfolge festgelegt, in der sie sich üblicherweise beeinflussen. Viele der Wahrscheinlichkeiten werden, sofern sie nicht unmittelbar aus den amtlichen Statistiken entnommen werden können, mit Hilfe der iterativen proportionalen Anpassung hergeleitet.

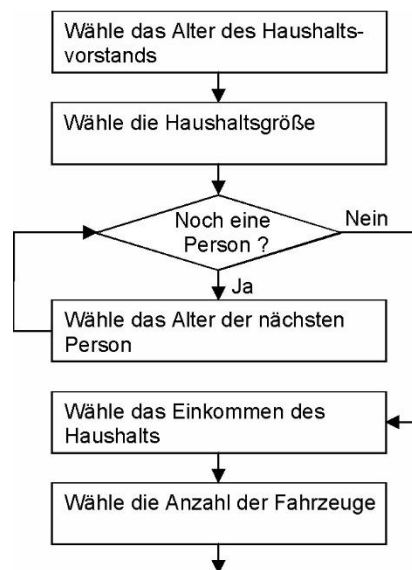


Abb. 3: Monte Carlo Sampling

Räumliche Disaggregation

Zur räumlichen Disaggregation wurde eine GIS-gestützte Methode entwickelt, mit der räumlich aggregierte sozioökonomische Daten wie Haushalte, Arbeitsplätze oder Wohnungen auf Rasterzellen disaggregiert werden (Spiekermann, Wegener, 2000).

Die Methode nutzt die im GIS vorgehaltenen Daten zur Flächennutzung und zu den Grenzen der Gebietseinheiten, für die die aggregierten Daten vorliegen ('Zonen'). Beide Datengruppen werden so aufgerastert, dass jeder Rasterzelle der Untersuchungsregion genau eine Flächennutzungskategorie und eine Zonennummer zugewiesen werden. Dann wird jeder Flächennutzungskategorie ein für die zu verteilende Datengruppe spezifisches Gewicht zugewiesen. Mit diesen Gewichten werden alle Rasterzellen entsprechend ihrer Flächennutzung belegt. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Rasterzelle der Standort eines Datenelements einer Zone ist, ergibt sich aus ihrem Gewicht dividiert durch die Summe aller Gewichte der Zone.

Durch Kumulierung der Wahrscheinlichkeiten der Rasterzellen einer Zone erhält man für jede Rasterzelle einen Zahlenbereich. Mittels eines Zufallszahlengenerators wird für jedes zu verteilende Datenelement einer Zone eine Zufallszahl gezogen, und das Datenelement wird der Rasterzelle zugewiesen, in deren Zahlenbereich diese fällt. Das Ergebnis ist für jedes Datenelement ein zugewiesener Mikrostandort, das heißt eine X- und eine Y-Koordinate in Rastereinheiten. Abbildung 4 zeigt als Ergebnis einer derartigen räumlichen Disaggregation die Bevölkerungsdichte von Rasterzellen für einen kleinen Ausschnitt der Stadtregion Dortmund.

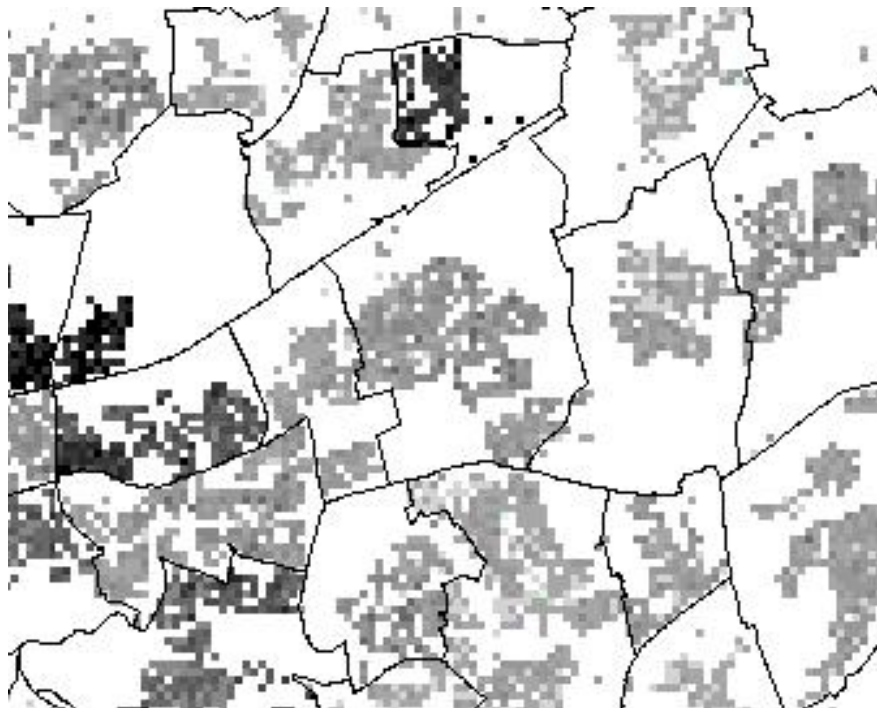


Abb. 4: Bevölkerung als Rasterzellendichtekarte

4. Mikrosimulationsmodule der Flächennutzung

Nachdem die synthetischen Mikrodaten erzeugt wurden, kann das eigentliche Simulationsmodell ausgeführt werden. Anhand der zwei Beispiele Alterung von Personen und Wanderungen von Haushalten wird hier der Ablauf der Simulation der Flächennutzung verdeutlicht. Weitere Module umfassen beispielweise die Bauentscheidungen der Investoren, das Wanderungsverhalten von Unternehmen oder die Alterung des Gebäudebestandes.

Alterung von Personen

Im Laufe der Jahre verändern sich die Haushalts- und Altersstruktur der Bevölkerung. Die durchschnittliche Haushaltsgröße nimmt ab, die Lebenserwartung nimmt zu und die Geburtenrate sinkt. Daher muss die synthetische Bevölkerung durch Hochzeit, Geburt von Kindern, Alterung usw. aktualisiert werden. Die demografische Fortschreibung wird durch wahrscheinlichkeitstheoretische Übergangsmodelle (Markoff-Modelle) abgebildet. Obwohl hinter vielen Ereignissen wie zum Beispiel einer Hochzeit Entscheidungen von Personen stehen, wird auf die Verwendung eines Modells, in dem diese Entscheidungen explizit abgebildet werden, verzichtet, weil die Gründe, die zu diesen Entscheidungen führen, für den Untersuchungszweck nicht relevant sind.

Zunächst wird jede Person in jedem Jahr ein Jahr älter. Anhand des Alters kann, unterschieden nach Frauen und Männern, die Überlebenswahrscheinlichkeit aus der amtlichen Statistik gewonnen werden. Die höhere Lebenserwartung von Frauen wird somit abgebildet. Die Bildung von Paaren, die einen neuen Haushalt gründen, wird simuliert. Dazu werden Personen anhand von Alter und Geschlecht ausgewählt, die in eine imaginäre Partnerbörse kommen. Dort werden (nach Alter, Geschlecht und räumlicher Nähe) wahrscheinliche Paare gebildet, die einen neuen Haushalt gründen. Geburten werden in Abhängigkeit vom Alter der Frau abgebildet. Dabei wird berücksichtigt, dass Frauen, die mit einem Partner zusammenleben, eine erheblich höhere Wahrscheinlichkeit haben, ein Kind zur Welt zu bringen, als Frauen, die allein leben. Die Wahrscheinlichkeit der Trennung von Paaren sowie der Loslösung von Kindern aus dem elterlichen Haushalt wird aus Alter und Geschlecht hergeleitet.

Abbildung 5 zeigt die Alterspyramide im Laufe der Simulationen. Gezeigt werden das Basisjahr 2000 und das letzte Jahr des Simulationszeitraums in ILMASS 2030. Zur Verdeutlichung der langfristigen Konsequenzen der gegenwärtig wirkenden demographischen Prozesse wird zusätzlich das Jahr 2100 gezeigt. Deutlich zu erkennen ist die abnehmende Zahl an Kindern, die auf die rückläufigen Geburtenraten zurück zu führen ist. Von 2000 bis 2100 steigt das Durchschnittsalter von 41,3 auf 44,8 Jahre. Im Jahr 2100 wird die Gruppe der 60- bis 65-Jährigen die stärkste Bevölkerungsgruppe ausmachen. Das Verhältnis von Personen im erwerbsfähigen Alter zu Rentnern sinkt innerhalb von 100 Jahren von 4,0 auf 2,6.

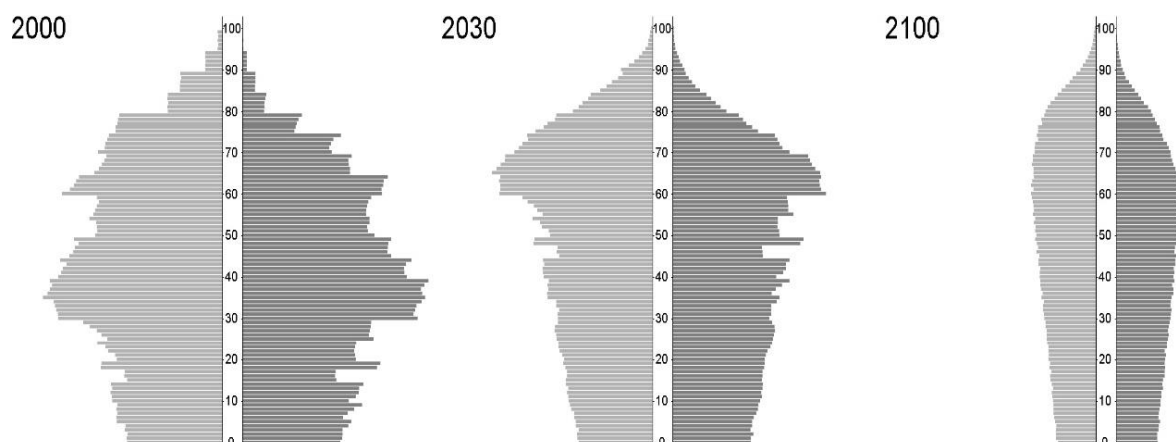


Abb. 5: Simulierte Alterspyramiden für die Jahre 2000, 2010 und 2100

Wanderungen von Haushalten

Das Modell des Wohnungsmarkts bildet das Suchverhalten und die Wahlentscheidungen von Haushalten auf dem regionalen Wohnungsmarkt ab: von Haushalten, die aus der Region wegziehen (Fortzug), in die Region zuziehen (Zuzug), zum ersten Mal in eine Wohnung einziehen (Einzug) oder von einer Wohnung in eine andere umziehen (Umzug).

Haushalte und Wohnungen sind für die Mikrosimulation in vier miteinander verknüpften Listen organisiert:

- Die erste Liste ist die Liste der Haushalte mit der mit ihr verketteten Liste der Haushaltsangehörigen aus dem Teilmodell der Haushaltsentwicklung.
- Die zweite Liste enthält Wohnungen mit ihren Merkmalen (Gebäudeart, Größe, Eigentumsform, Qualität) und ihrem Mikrostandort aus dem Teilmodell der Fortschreibung des Wohnungsbestands.
- Die dritte Liste enthält Zeiger zu Haushalten in der Haushaltsliste, die derzeit ohne Wohnung sind – am Ende einer Simulationsperiode sind Haushalte in dieser Liste obdachlos.
- Die vierte Liste enthält Zeiger zu derzeit leeren Wohnungen in der Wohnungsliste.

Das Modell der Wanderungen von Haushalten ist eine Monte-Carlo-Simulation der Transaktionen auf dem Wohnungsmarkt. Eine Markttransaktion ist jede erfolgreich abgeschlossene Operation, infolge derer ein Haushalt in eine Wohnung einzieht, aus einer Wohnung auszieht oder von einer Wohnung in eine andere umzieht. Es gibt zwei Typen von Akteuren auf dem Wohnungsmarkt: Haushalte auf der Suche nach einer Wohnung (Wohnungsnachfrage) und Hausbesitzer auf der Suche nach Wohnungsmietern oder Wohnungskäufern (Wohnungsangebot). Eine Wohnungsmarkttransaktion hat vier Phasen (siehe Abbildung 6):

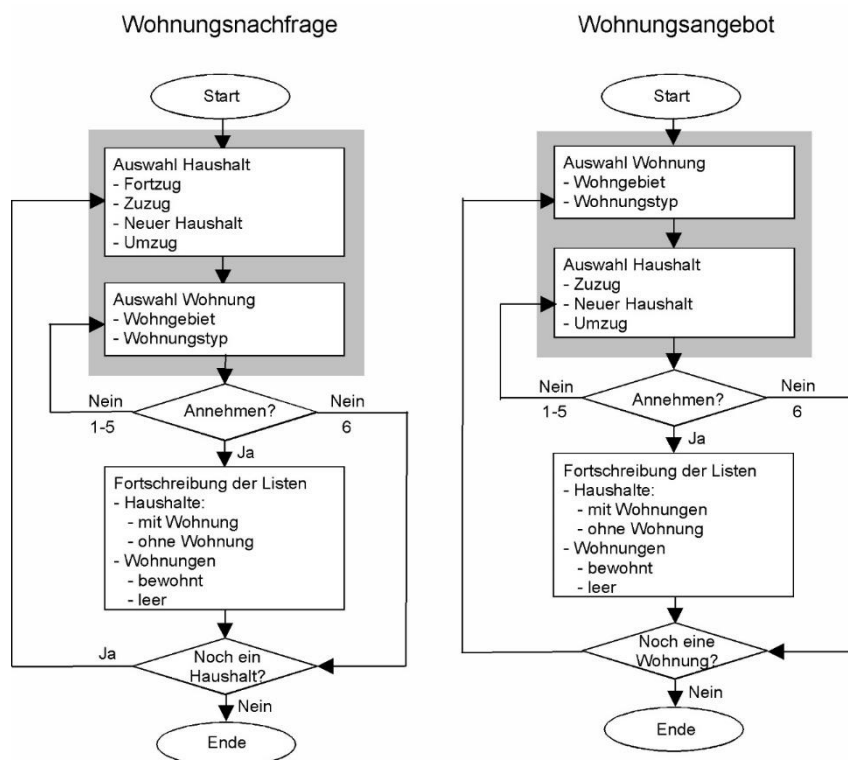


Abb. 6: Mikrosimulation der Wanderungen von Haushalten

- In der *Auswahlphase* wird ein wohnungssuchender Haushalt oder ein wohnungsanbietender Hausbesitzer für die Simulation ausgewählt. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Haushalt ausgewählt wird, ist eine Funktion seiner Zufriedenheit mit seiner gegenwärtigen Wohnung.
- In der *Suchphase* sucht der Haushalt eine Wohnung oder der Hausbesitzer einen Mieter oder Käufer. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Haushalt in einem bestimmten Wohngebiet sucht, ist eine Funktion der Attraktivität dieser Gegend aus der Sicht des Haushalts. Die Wahrscheinlichkeit, dass der Haushalt eine bestimmte Wohnung in Betracht zieht, ist eine Funktion ihrer Attraktivität aus der Sicht des Haushalts.
- In der *Entscheidungsphase* entscheidet der Haushalt ob er die angebotene Wohnung akzeptiert oder nicht. Er akzeptiert sie, wenn sich hierdurch seine Wohnzufriedenheit wesentlich verbessert. Andernfalls tritt er in eine neue Suchphase ein. Nach mehreren erfolglosen Versuchen gibt er die Suche auf und bleibt in seiner alten Wohnung. Die erforderliche Verbesserung der Wohnzufriedenheit nimmt mit jedem erfolgreichen Versuch zu und mit jedem erfolglosen Versuch ab, das heißt, der Haushalt passt seine Ansprüche den Verhältnissen auf dem Wohnungsmarkt an.
- In der *Ausführungsphase* werden alle aus der Transaktion resultierenden Änderungen der Zuordnung von Haushalten und Wohnungen ausgeführt. Bezogene Wohnungen werden aus der Liste der Zeiger zu leeren Wohnungen entfernt, frei gewordene Wohnungen in ihr eingetragen. Neu einziehende Haushalte werden aus der Liste der Zeiger zu Haushalten ohne Wohnung gestrichen und mit einer Wohnung verknüpft, umziehende Haushalte von ihrer alten Wohnung getrennt und mit ihrer neuen Wohnung verknüpft.

Die Attraktivität einer Wohnung für einen Haushalt ist eine gewichtete mehrdimensionale Funktion der Attraktivität ihrer Lage, ihrer Qualität und ihres Kaufpreises bzw. ihrer Miete in Relation zum Haushaltseinkommen. Die Attraktivitäten der Lage und Qualität einer Wohnung sind mehrdimensionale Funktionen der Merkmale des Wohngebiets und der Wohnung.

Abbildung 7 ist ein Beispiel für die räumliche Verteilung der Wanderungen von Haushalten in der Stadtregion. Gezeigt sind Quelle und Ziel der – zufällig ausgewählten – ersten einhundert Umzüge zwischen der Stadt Dortmund und seinem Umland von insgesamt rund 90.000 Umzügen und rund 200.000 Wanderungen überhaupt.



Abb. 7: Nahwanderungen im östlichen Ruhrgebiet (Beispiele)

5. Analyse von Szenarien

Der Zweck eines Stadtsimulationsmodells liegt in der Prognose der zukünftigen räumlichen und verkehrlichen Entwicklung in der betrachteten Untersuchungsregion. Kurz-, mittel- und langfristige Wirkungen planerischer und politischer Maßnahmen lassen sich im Vorfeld ihrer Realisierung vergleichend analysieren und bewerten. Es gilt hierbei jene Maßnahmenprogramme zu identifizieren, welche den Zielen einer nachhaltigen Raumentwicklung am ehesten entsprechen bzw. ein weiteres Abweichen von diesen Zielen verhindern.

Die Maßnahmenprogramme werden als Szenarien in das Simulationsmodell eingegeben. Dabei wird zwischen lokalen und globalen Szenarien unterschieden. Lokale Szenarien enthalten planungsrechtliche Vorgaben der Bauleitplanung oder spezifische zumeist verkehrliche Investitionsprojekte und -programme. Globale Szenarien hingegen bilden veränderte überregionale institutionell-organisatorische, rechtliche und ökonomische Rahmenbedingungen ab, die auf die Entwicklung in der Gesamtregion einwirken.

Bei der Dortmunder Anwendung reicht der Prognosezeitraum bis zum Jahr 2030. Als Referenzszenario für die Analyse und Bewertung der Szenarien dient das Basisszenario. Das Basisszenario gibt die dem jetzigen Trend folgende zukünftige räumliche und verkehrliche Entwicklung in der Stadtregion unter der Annahme der aller Wahrscheinlichkeit nach durchgeführten Maßnahmen der Flächennutzungs- und Verkehrsplanung wieder. Für die Flächennutzung bestimmen die Festsetzungen der aktuellen Gebietsentwicklungspläne die Flächen, auf denen gebaut werden darf. Als verkehrliche Maßnahmen sind im Basisszenario jene Projekte enthalten, die aller Voraussicht nach realisiert werden.

In einem ersten Schritt werden Szenarien berechnet, die sektoral der Flächennutzungsplanung, der regionalen Verkehrsplanung oder überregionalen Politikfeldern zugeordnet werden können. In den Szenarien *Dezentrale Konzentration* und *Kompakte Stadtregion* werden die Wirkungen einer im Vergleich zum Basisszenario beschränkenden Flächenneuausweisung auf ausgewählte Versorgungsschwerpunkte bzw. auf die Kernstädte der Untersuchungsregion analysiert. Das verkehrsplanerische Szenario *Qualitätsoffensive ÖPNV* sieht eine Verbesserung des Angebots im öffentlichen Nahverkehr vor, während zum Beispiel in einem Szenario *Einführung einer Shopping-Maut* restriktive Maßnahmen gegenüber dem motorisierten Individualverkehr geplant sind. Die Szenarien *Liberalisierung der Ladenöffnungszeiten* und *Erhöhung der Mineralölsteuer* enthalten als überregional diskutierbare Politiken ebenfalls untersuchenswerte Maßnahmen.

Ausschließlich sektorale Strategien werden eine nachhaltige Raumentwicklung jedoch nicht herbeiführen. Im Sinne einer integrierten Planung bedarf es abgestimmter Maßnahmenbündel aus allen Politikfeldern. In einem zweiten Schritt werden daher *Kombinationsszenarien* entwickelt, welche Synergieeffekte erwarten lassen. Hier versprechen siedlungsstrukturelle Maßnahmen wie die dezentrale Konzentration bei gleichzeitiger Umsetzung der Qualitätsoffensive im öffentlichen Nahverkehr gute Ergebnisse. Weitere Maßnahmen wie die Erhöhung der Mineralölsteuer oder die Einführung einer Shopping-Maut lassen sich hinzufügen.

Die vergleichende Analyse und Bewertung der Szenarien erfolgt anhand unterschiedlicher Messindikatoren der Wirkungsebenen Flächennutzung, Bevölkerung, Wirtschaft, Verkehr und Umwelt. Bisherige Auswertungen zeigen, dass eine Verbesserung des Angebots im öffentlichen Nahverkehr allein in einer infrastrukturell gut ausgestatteten Region wie der Stadtregion Dortmund insgesamt nur zu marginalen Veränderungen im Modal Split führt. Eine

Flächennutzungsplanung, die nachhaltige Raumentwicklungskonzepte zur Förderung einer dezentralen Konzentration oder kompakten Stadtregion verfolgt, bewirkt allein ebenfalls kaum nennenswerte verkehrliche Effekte. Verkehrsarme Siedlungsstrukturen entstehen nur durch ein integriertes Vorgehen von Flächennutzungs- und Verkehrsplanung. Bisherige Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass lokale Strategien durch globale Maßnahmen wie die Erhöhung der Mineralölsteuer sowie die Herabsetzung oder Abschaffung der Pendlerpauschale bzw. Eigenheimzulage unterstützt werden müssen, um eine nachhaltige Mobilität in den Städten herbeizuführen.

6. Fazit

Das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung des Verkehrs in Städten kann also nicht allein durch isolierte Flächennutzungs- oder Verkehrsmaßnahmen erreicht werden. Solange weiterhin immer Haushalte aus den Kernstädten in niedrig verdichtete Umlandgemeinden abwandern, solange weiterhin Gewerbegebiete an Autobahnauffahrten am Stadtrand ausgewiesen werden, solange weiterhin großflächige, nicht in die Stadtstruktur integrierte Einzelhandelseinrichtungen zugelassen werden, muss mit weiteren Zunahmen der mit dem Pkw unternommenen Fahrten und zurückgelegten Entfernungen gerechnet werden. Deshalb ist die Forderung nach einer besseren Integration von Flächennutzungs- und Verkehrsplanung so dringlich wie nie.

Allerdings herrschen selbst unter Fachleuten nur unklare Vorstellungen über die Wechselwirkungen zwischen städtischen Siedlungsstrukturen und Mobilität. Nur zu oft werden die Standortentscheidungen von Haushalten und Unternehmen als gegeben und unveränderlich angesehen und die Aufgabe des Verkehrsplaners darin, so gut wie möglich mit deren verkehrlichen Folgen zurecht zu kommen. Nicht selten werden allerdings auch zu hohe Erwartungen mit der verkehrsmindernden Wirkung verdichteter, durchmischter Stadtstrukturen verbunden. Es kann inzwischen als erwiesen gelten, dass nur eine *Kombination* siedlungsstruktureller und verkehrlicher Maßnahmen zu wesentlichen Fortschritten in Richtung auf nachhaltige Mobilität in Städten führt (siehe Lautso u.a., 2004).

Mathematische Simulationsmodelle, in denen die Wechselwirkungen zwischen Siedlungsstruktur und Mobilität in Stadtregionen abgebildet werden, können einen Beitrag zur Identifizierung verkehrsarmer Siedlungsstrukturen und der zur Sicherung ihrer verkehrsmindernden Wirkungen notwendigen verkehrlichen Maßnahmen leisten.

In diesem Beitrag wurde ein Mikrosimulationsmodell der Flächennutzung in Stadtregionen als Teil eines integrierten Modells zur Simulation von Flächennutzung, Verkehr und Umwelt in Stadtregionen vorgestellt. Das Modell erlaubt die Anwendung mikroskopischer Modellierungstechniken zur Abbildung der Auswirkungen von Siedlungsstruktur- und Verkehrsplanungsmaßnahmen auf Standortwahlentscheidungen und Mobilität von Haushalten und Unternehmen. Die höhere räumliche und zeitliche Auflösung mikroskopischer Modelle macht sie geeigneter, auch Verhaltensänderungen im Nahbereich sowie im Tagesverlauf sowie kleinräumige Umweltauswirkungen wie Luftbelastung und Verkehrslärm aus der Sicht der betroffenen Bewohner vorherzusagen.

Neben Aussagen über die Auswirkungen der untersuchten Szenarien wird das Projekt auch Informationen über die wahrscheinliche Zukunft von Stadtsimulationsmodellen liefern. Mit seinem durchgehend mikroskopischen Ansatz ist es Teil einer kleinen Gruppe von innovativen Projekten, die sich mit der Exploration von Mikrosimulationstechniken für die Stadtplanung

befassen. Noch ist keines der in diesen Projekten entwickelten Mikrosimulationsmodelle der räumlichen Stadtentwicklung voll einsatzfähig. Vereinzelt wird berichtet, dass die bei der Verwirklichung der Mikrosimulationsmodelle aufgetretenen Schwierigkeiten in Bezug auf Datenbeschaffung, Modelleichung und Rechenzeiten erheblich sind. Es könnte sein, dass die Zukunft von Stadtsimulationsmodellen nicht in einer in jeder Hinsicht extremen Disaggregation aller modellierten Objekte und Prozesse besteht, sondern in einer differenzierten Kombination je nach Notwendigkeit aggregierter oder disaggregierter Modellkomponenten.

7. Literatur

Arentze, T., Timmermans, H. (2000): *ALBATROSS – A Learning Based Transportation Oriented Simulation System*. Eindhoven: European Institute of Retailing and Services Studies.

Deming, W.E., Stephan, F.F. (1940): On a least squares adjustment of a sampled frequency table when the expected marginal totals are known. *The Annals of Mathematical Statistics*, 11, 427-444.

Landis, J., Zhang, M. (1998a) The second generation of the California urban futures model. Part 1: Model logic and theory. *Environment and Planning B: Planning and Design* 25, 657-666.

Landis, J., Zhang, M. (1998b) The second generation of the California urban futures model. Part 2: Specification and calibration results of the land use change module. *Environment and Planning B: Planning and Design* 25, 795-824.

Lautso, K., Spiekermann, K., Wegener, M., Sheppard, I., Steadman, P., Martino, M., Domingo, R., Gayda, S. (2004): *PROPOLIS – Planning and Research of Policies for Land Use and Transport for Increasing Urban Sustainability*. Final Report. Helsinki: LT Consultants.

Miller, E.J. (2001): *Integrated Land Use, Transportation, Environment (ILUTE) Modelling System*. <<http://www.ilute.com/>> [Accessed 28 May 2002]

Orcutt, G.H., Greenberger, M., Rivlin, A., Korbel, J. (1961): *Microanalysis of Socioeconomic Systems: A Simulation Study*. New York: Harper and Row.

Spiekermann, K., Wegener, M. (2000): Freedom from the tyranny of zones: towards new GIS-based spatial models. In: Fotheringham, S., Wegener, M. (Hg.): *Spatial Models and GIS. New Potential and New Models*. London: Taylor & Francis, 45-61.

Waddell, P. (2000): A behavioral simulation model for metropolitan policy analysis and planning: residential location and housing market components of UrbanSim. *Environment and Planning B: Planning and Design* 27, 247-263.

Wilson, A.G., Pownall, C.E. (1976): A new representation of the urban system for modelling and for the study of micro-level interdependence. *Area*, Vol. 8, 246-254.

Lebensläufe:

Rolf Moeckel, Dipl.-Ing., arbeitet seit 2002 als wissenschaftlicher Angestellter am Institut für Raumplanung der Fakultät Raumplanung der Universität Dortmund (IRPUD). Seine Arbeitsfelder umfassen Wechselwirkungen zwischen Siedlungsentwicklung, Umwelt und Verkehr, fiskalische Auswirkungen von Raumentwicklung, demographische Entwicklung, Wohnstandortwahl von Haushalten sowie räumliche Simulationsmodelle, Mikrosimulation von Flächennutzung und Geoinformationssysteme (GIS).

Björn Schwarze, Dipl.-Ing., ist seit 2002 als wissenschaftlicher Angestellter am Institut für Raumplanung der Fakultät Raumplanung der Universität Dortmund (IRPUD) beschäftigt. Seine Arbeitsschwerpunkte sind nachhaltige Raum- und Stadtentwicklung, Wechselwirkung zwischen Verkehr, Siedlungsentwicklung und Umwelt, integrierte Verkehrsplanung sowie Geoinformationssysteme (GIS), GIS-gestützte Raumanalytik, Integration von GIS in Planungsprozesse, Simulationsmodelle und Visualisierungsmethoden

Klaus Spiekermann, Dipl.-Ing., arbeitete von 1990 bis 2001 als wissenschaftlicher Angestellter am Institut für Raumplanung der Fakultät Raumplanung der Universität Dortmund (IRPUD). Seit 2001 ist er Partner in Spiekermann & Wegener, Stadt- und Regionalforschung (S&W), Dortmund. Seine Arbeitsfelder umfassen Veränderungen von Raumstrukturen, Wechselwirkungen zwischen Verkehr, Siedlungsentwicklung und Umwelt, nachhaltige Raumentwicklung und europäische Raumentwicklung sowie räumliche Analyseverfahren, Simulationsmodelle, Geoinformationssysteme (GIS) und Visualisierungsmethoden.

Michael Wegener, Prof. Dr.-Ing., war von 1999 bis 2003 Geschäftsführender Leiter des Instituts für Raumplanung der Fakultät Raumplanung der Universität Dortmund (IRPUD). Seit 2003 ist er Partner in Spiekermann & Wegener Stadt- und Regionalforschung (S&W), Dortmund. Seine Forschungsinteressen sind Raumentwicklungs- und Planungstheorie, insbesondere Siedlungsentwicklung und Verkehr, europäische Raumentwicklung, Theorien des Planungsprozesses sowie mathematische Modelle und Informationssysteme in der Raumplanung.