
Institut für Raumplanung

Universität Dortmund · Fakultät Raumplanung

Arbeitspapier

136

Michael Wegener

**Die Stadt der kurzen Wege -
müssen wir unsere Städte umbauen?**

April 1994

2. Fassung: November 1994

Institut für Raumplanung

Fakultät Raumplanung

Universität Dortmund

D-44221 Dortmund

Telefon 0231-755 2291

Telefax 0231-755 4788

IRPUD

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Mobilität	3
3	Mobilität und Gerechtigkeit	6
4	Stadtstruktur und Mobilität	8
5	Müssen wir Dortmund umbauen?	12
	Die Untersuchungsregion	12
	Das Modell	13
	Die Szenarien	17
6	Weitere Arbeiten	25
7	Fazit	27
8	Literatur	28

1 Einleitung

In allen Industrieländern hat die dem Markt überlassene Siedlungsentwicklung zu dispersen Flächennutzungsstrukturen geführt, die mit hoher motorisierter Mobilität, Überlastung des Straßennetzes, Luftverschmutzung und hohem Energieverbrauch verbunden sind. Die Furcht vor einem Ende der Energievorräte und die Bedrohung durch langfristige Klimaveränderungen haben das Bewußtsein dafür geschärft, daß der Verbrauch fossiler Energie und damit der Ausstoß des Treibhausgases Kohlendioxid (CO₂) in den reichen Ländern wesentlich reduziert werden muß. Es gibt zahlreiche Vorschläge, wie dieses Ziel durch Beeinflussung der Nachfrage nach Ortsveränderungen erreicht werden kann. Allerdings leiden die meisten von ihnen darunter, daß der Nachweis ihrer Wirksamkeit bisher nicht erbracht worden ist.

In dieser Situation können mathematische Simulationsmodelle, in denen die Wechselwirkungen zwischen Flächennutzung und Verkehr abgebildet werden, dazu benutzt werden, nicht, wie bisher, die Richtung der räumlichen Stadtentwicklung vorherzusagen, sondern Informationen für ihre Steuerung in Richtung auf eine sozial- und umweltverträgliche Stadt- und Verkehrsstruktur bereitzustellen.

In diesem Arbeitspapier wird über ein Projekt berichtet, in dem ein integriertes Flächennutzungs- und Verkehrsmodell dazu verwendet wurde, die Auswirkungen von Strategien zur Reduzierung von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen des Verkehrs durch Maßnahmen zur Beeinflussung der Verkehrsnachfrage zu erkunden. Die Simulationen zeigen, daß mit einer Kombination von Maßnahmen zur Verteuerung des motorisierten Individualverkehrs und zur Attraktivitätssteigerung des öffentlichen Personennahverkehrs eine signifikante Reduzierung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen des Stadtverkehrs ohne wesentliche Änderungen der Siedlungsstruktur und ohne unannehmbare Einbußen an Mobilität oder Verschärfungen der sozialen Disparitäten und ohne zusätzliche Kosten für die öffentliche Hand erreicht werden kann. Die erweiterte Fassung des Arbeitspapiers enthält zusätzlich Überlegungen zur Mobilität und der mit ihr verbundenen Gerechtigkeitsprobleme (Wegener, 1994b).

2 Mobilität

Der Begriff Mobilität bezeichnet sowohl die Bereitschaft und Fähigkeit zur Bewegung als auch die Bewegung selbst. Mobilität kann viele Dimensionen haben, man spricht von geistiger, sozialer, beruflicher und räumlicher Mobilität. "Unter räumlicher Mobilität werden im weitesten Sinne alle Bewegungen zwischen verschiedenen menschlichen Aktivitätsstandorten wie Wohnung, Arbeitsplatz, Bildungs-, Dienstleistungs-, Freizeiteinrichtungen etc. verstanden." (Zeller, 1992, 24). Räumliche Mobilität umfaßt dauernde Ortsveränderungen (Arbeitsplatzwechsel, Wanderungen) und vorübergehende Ortsveränderungen (Wege). Zunehmend werden physische Ortsveränderungen durch Kommunikationsbeziehungen ersetzt. Dauernde Ortsveränderungen implizieren einen Wechsel von Aktivitätsstandorten.

Damit ist räumliche Mobilität eine grundsätzliche Alternative räumlichen Verhaltens. Während räumliche Mobilität *Raumüberwindung* anstrebt, zielt *Raumaneignung* auf die Nutzung des Raums ab. Raumaneignung bedeutet die Herstellung einer Beziehung zwischen Mensch und Raum: durch physische Veränderung (Bautätigkeit), durch Raumnutzung (Wohnen, Arbeiten, Einkaufen, Ausbildung, Freizeit usw.) oder durch Ortsbezogenheit (Vertrautheit, Gewohnheit, soziale Integration usw.). Abbildung 1 deutet die komplexen Wechselbeziehungen zwischen Raumaneignung und Raumüberwindung an.

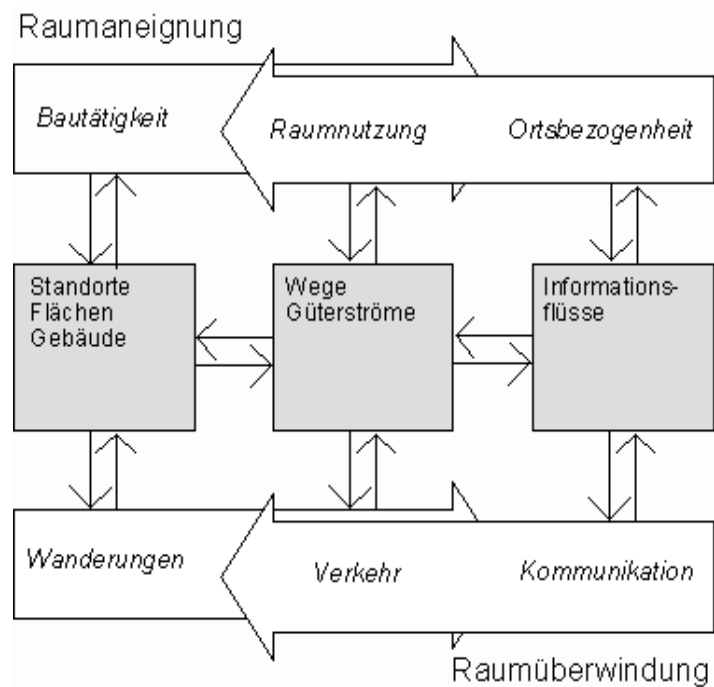


Abbildung 1. Raumaneignung und Raumüberwindung

Ursprünglich bedeutete räumliche Mobilität Befreiung, Emanzipation und Steigerung der Lebensmöglichkeiten. Die Wanderung vom Land in die Stadt brachte Befreiung von Hunger und Leibeigenschaft ("Stadtluft macht frei"), die Auswanderung nach Amerika Freiheit von religiöser Bevormundung. Reisepioniere wie Erasmus von Rotterdam oder Mozart legten den Grundstein für die Einheit der europäischen Kultur (Foucher, 1993). Noch vor zweihundert Jahren war räumliche Mobilität ein Privileg des Adels und des wohlhabenden Bürgertums. Goethe beschreibt die fundamentale Erfahrung des Reisens, die noch heute als Schatten im Massentourismus überlebt:

"Mir ist's wie einem Kinde, das erst wieder leben lernen muß. ... Ich kann dir nicht sagen, was ich schon die kurze Zeit an Menschlichkeit gewonnen habe. ... Schon habe ich viele Ideen, auf denen ich fest hielt, die mich und andere unglücklich machten, hingegeben und bin hier um vieles freier. Täglich werfe ich eine neue Schale ab und hoffe, als Mensch wiederzukehren."

Goethe, Italienische Reise, 1787

Die Eisenbahn und später das Auto und das Flugzeug ermöglichten Mobilität für alle und setzten jenen Prozeß in Gang, der zum heutigen nie vorher gekannten Niveau der räumlichen Mobilität geführt hat. Geschwindigkeit und Bewegung gehören zu den konstituierenden Merkmalen der Modernität: "Die Geschichte moderner Gesellschaften läßt sich auch als die Geschichte ihrer Beschleunigung lesen" (Steiner, 1991, 3). Und noch ist kein Ende abzusehen. Angesichts erkennbarer psychischer, sozialer und ökologischer Kapazitätsgrenzen rücken darum heute die Kehrseiten der entfesselten räumlichen Mobilität in das Bewußtsein:

Die Aufhebung der Isolation der ländlichen Regionen findet ihre Kehrseite in der Zersiedelung der Ränder der ausufernden Agglomerationen. Auswanderung führt nicht mehr zur Befreiung von Rückständigkeit und politischer Verfolgung, sondern stößt auf die Abwehr der reichen Nationen. Automobilität für alle erweist sich als Fiktion, da große Teile der Bevölkerung von ihr ausgeschlossen sind. Die Erweiterung des Aktionsraums von Frauen durch das Auto erleichtert Erwerbstätigkeit und Emanzipation, bedeutet aber auch Doppelbelastung und Unterwerfung unter die Leistungszwänge der Männergesellschaft. Räumliche Mobilität ermöglicht weitgespannte Netzwerke von Freundschaften und sozialen Beziehungen, jedoch zu Lasten der Kontakte zur unmittelbaren Umgebung. Räumliche Mobilität ermöglicht berufliche und soziale Mobilität, führt jedoch nicht selten zu getrennten Partnerschaften und fragmentierten Familien. Die Teilnahme der Peripherie an der Kultur in den Metropolen verringert die Ungleichheit der Lebensbedingungen, impliziert aber auch die Aufwertung der Ferne zu Lasten der Nähe und damit ein Stück Verlust der regionalen oder lokalen Identität. Internationaler Austausch von Jugendlichen, Künstlern, Wissenschaftlern und Sportlern fördert Völkerverständigung, Toleranz und Interesse für fremde Kulturen, geht aber auch Hand in Hand mit Massentourismus und rücksichtsloser Kommerzialisierung.

Die Dialektik der räumlichen Mobilität hat sie zu einem beliebten Tagungsthema für Kulturkritiker gemacht. Daß ein technisches Potential zum Guten wie zum Bösen angewendet werden kann, teilt die Mobilität mit anderen technischen Entwicklungen. Dies allein ist kein Grund für *Raumplaner*, sich mit ihr zu befassen - wären da nicht ihre ökologischen Folgen. Diese werden jedoch immer offenkundiger. Immer längere Reiseentfernungen mit immer schnelleren Verkehrsmitteln führen zu immer stärkeren Belastungen der Umwelt durch Lärm und Luftverschmutzung. Verkehrsstrassen und Flughäfen beanspruchen immer mehr Flächen in den Städten und in für den Naturhaushalt wichtigen großräumigen Freiräumen. Insbesondere der hohe Verbrauch an fossiler Energie und der damit verbundene Ausstoß des Treibhausgases Kohlendioxid (CO₂) durch den Verkehr sind Gegenstand wachsender Besorgnis geworden.

Die Furcht vor einem Ende der Energievorräte und die Bedrohung langfristiger Klimaveränderungen durch Treibhausgase haben das Bewußtsein dafür geschärft, daß die gegenwärtigen Energiepreise auch nicht annähernd die ökologischen und sozialen Kosten des Energieverbrauchs decken, und daß die Höhe des Energieverbrauchs in den reichen Ländern eine große Unfairness gegenüber den Entwicklungsländern bedeutet, welchen niemals gestattet werden kann, ihren Energieverbrauch auf das gleiche Niveau zu erhöhen. Auf der Konferenz der Vereinten Nationen in Rio de Janeiro im Jahre 1992 haben sich zahlreiche Regierungen verpflichtet, ihren Ausstoß von CO₂ deutlich zu senken. Die deutsche Re-

gierung versprach, die CO₂-Emissionen aus allen Quellen bis zum Jahr 2005 um dreißig Prozent gegenüber 1987 zu reduzieren. Da der Verkehr für einen erheblichen Anteil des Primärenergieverbrauchs verantwortlich ist, sind ernsthafte Anstrengungen zur Reduzierung des Energieverbrauchs und damit der CO₂-Emissionen des Stadtverkehrs erforderlich, wenn dieses Ziel erreicht werden soll.

3 Mobilität und Gerechtigkeit

Von vielen Fachleuten wird vorgeschlagen, durch eine Erhöhung der Mineralölsteuer die Kosten des Autofahrens so weit zu erhöhen, daß sie seinen wahren sozialen und ökologischen Kosten entsprechen und so die Autofahrer zu einer bewußteren Benutzung des Pkw zu bewegen. Ökonomisch ausgedrückt ist es das Ziel, jenen Grad an Umweltbelastung zu erreichen, "bei dem die Grenzkosten der Beseitigung oder Vermeidung der Umweltbelastung gleich den Grenzkosten der aus der Umweltbelastung resultierenden Schäden sind" (Nagel, 1993, 47). Während die meisten Experten darin übereinstimmen, daß eine solche Maßnahme der einfachste und wirkungsvollste Weg zur Reduzierung der CO₂-Emissionen des Verkehrs wäre, werden zahlreiche Einwände gegen ihre Durchsetzbarkeit erhoben. Der wichtigste und ernst zu nehmende Einwand ist daß eine Verteuerung des Benzins vor allem Haushalte mit geringem Einkommen treffen würde, und daß so das Autofahren wie das Reisen vor zweihundert Jahren zu einem Privileg für die Reichen werden würde.

Dieser Einwand lenkt die Aufmerksamkeit darauf, daß bereits heute die Möglichkeit, ein Auto zu benutzen, ungleich verteilt ist. Große Teile der Bevölkerung sind durch ihre Jugend, ihr Alter oder durch Behinderung von der Verfügung über einen Pkw ausgeschlossen. Frauen verfügen viel seltener über einen Pkw und gehen deshalb öfter zu Fuß und benutzen den ÖPNV öfter als Männer (Krause, 1993; Stete, 1993). Auch zwischen den Einkommensgruppen bestehen große Unterschiede in Pkw-Besitz und -Benutzung. Ebenso große Unterschiede bestehen zwischen Innenstadt und Stadtrand, großen und kleinen Gemeinden, Stadt und Land, wohlhabenden und ärmeren, zentralen und peripheren Regionen (EMNID, 1992). Müßten nicht erst einmal die Mobilitätschancen gerecht verteilt sein? Wie sähe eine 'gerechte' Verteilung der Mobilitätschancen aus? Die Fragen werden noch komplizierter, wenn man die Forderung nach Gerechtigkeit auf verschiedene Stadtteile, Teilregionen eines Landes, Nationen oder gar Weltregionen ausdehnt, oder wenn man im Sinne einer nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung fordert, daß eine Generation nicht auf Kosten der nachfolgenden Generationen Ressourcen verbrauchen darf.

Die Auseinandersetzung mit dem Einwand der sozialen Unausgewogenheit von Maßnahmen zur Verteuerung des Autofahrens erfordert daher zunächst die Klärung der Frage, wie bei bestehender Ungleichheit in Automobilität eine sozial gerechte Verteilung der Belastungen aussehen sollte. Theoretisch gibt es vier Definitionen von Gerechtigkeit bei der Zuteilung von Gütern oder Belastungen bei gegebenen Ausstattungsunterschieden:

- *Kompensatorisch*. Eine konsequent auf Gerechtigkeit ausgerichtete Verteilungspolitik müßte darauf abzielen, bestehende Benachteiligungen auszugleichen. In

der Tat gibt es Vorschläge in diese Richtung, etwa den des 'Ökobonus' (Verkehrsclub der Schweiz, 1989), nach dem die Mehreinnahmen aus einer Erhöhung der Mineralölsteuer mit einem gleichen Prokopfbetrag an alle Einwohner zurückverteilt werden, so daß Einwohner, die wenig Benzin verbrauchen, einen finanziellen Ausgleich erhalten.

- *Egalitär*. Eine egalitäre Verteilungspolitik würde dafür plädieren, daß alle Individuen den gleichen Beitrag zur Energieeinsparung leisten, unabhängig von ihrem bisherigen Verbrauch. Eine solche Politik würde vor allem die ärmeren Haushalte treffen, die bisher den geringsten Verbrauch hatten.
- *Utilitaristisch*. Eine utilitaristische Verteilungspolitik würde darauf abzielen, die Einsparungen insgesamt zu maximieren, was bedeuten würde, daß alle Individuen denselben Prozentsatz ihres bisherigen Verbrauchs einsparen müßten. Eine solche Verteilung würde absolut gesehen, die Reichen am meisten belasten; allerdings wäre die ihnen verbleibende Automobilität immer noch größer als die der ärmeren Haushalte, obwohl deren Einsparungen geringer sind.
- *Rawlsisch*. Eine vierte Verteilungsmaxime wurde von dem amerikanischen Philosophen John Rawls vorgeschlagen. Nach Rawls "Theorie der Gerechtigkeit" (1971) sollten Nutzen und Belastungen so verteilt sein, daß die am wenigsten Begünstigten den größten Vorteil haben. Diese Maxime ist nicht mit der oben dargestellten kompensatorischen Strategie zu verwechseln, deren Belohnungssystem ökonomische Aktivität (hier: Mobilität) bestraft, sondern bewahrt das zum Funktionieren der Marktwirtschaft notwendige System von Anreizen, vermeidet aber die mit dem utilitaristischen Prinzip verbundenen sozialen Härten. Eine solche Verteilungsstrategie belastet typischerweise die mittleren Einkommensgruppen am stärksten, während es die unteren und oberen Einkommensgruppen entlastet.

Eine derartige Betrachtungsweise kann kritisiert werden, weil sie die Benutzung des Automobils als positives Gut sieht, während in Wirklichkeit doch die Befreiung von der Autoabhängigkeit positiv zu bewerten wäre. Im Sinne dieser Kritik wäre es zum Beispiel falsch, von einer Benachteiligung von Frauen zu sprechen, weil sie seltener ein Auto zur Verfügung haben und deshalb öfter zu Fuß gehen und den ÖPNV benutzen, sich also vorbildlich verhalten (Stete, 1993). Dieser Kritik muß jedoch widersprochen werden. Automobilität hat objektiv unbestreitbare Vorteile. Nur ist sie eine knappe Ressource, die aus ökologischen Gründen rationiert werden muß. Ihre Reduzierung ist kein Ziel an sich, sondern ein Preis, der gezahlt werden muß.

Die Aufgabe einer umwelt- und sozialverträglichen Stadt- und Verkehrsplanung muß es deshalb sein, Möglichkeiten aufzuzeigen, wie die notwendige Reduzierung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen des Verkehrs ohne Verschärfung der sozialen Disparitäten in der Stadt und ohne über das unbedingt notwendige Maß hinausgehende Einschränkungen der Wahlmöglichkeiten der Individuen erreicht werden kann.

4 Stadtstruktur und Mobilität

Es wird im allgemeinen angenommen, daß das private Automobil die primäre Ursache für die immer weitere Ausdehnung der Städte in ihr Umland ist. Aber die Suburbanisierung wurde nicht durch das Auto verursacht, sondern war die Konsequenz derselben Veränderungen im sozioökonomischen Kontext des städtischen Lebens, die auch für die Zunahme des Pkw-Besitzes verantwortlich waren: Einkommenssteigerungen, zunehmende Frauenerwerbstätigkeit, kleinere Haushalte, kürzere Arbeitszeiten und als Folge davon Veränderungen in Lebensstilen und Wohnpräferenzen in Richtung auf Lebensqualität, Freizeit und Erholung.

Unter diesen Bedingungen brachten das Auto und niedrige Kraftstoffpreise suburbanes Wohnen in die Reichweite auch der Haushalte mit mittleren und niedrigen Einkommen, mit dem Ergebnis, daß in den zurückliegenden dreißig Jahren das Wachstum der Städte überwiegend in den Vororten stattfand. Büros, Gewerbebetriebe, Dienstleistungen und Einzelhandel dezentralisierten erst später; sie folgten entweder ihren Beschäftigten oder ihren Kunden oder beiden zugleich und siedelten sich auf attraktiven suburbanen Standorten mit guter automobilier Erreichbarkeit, großzügigem Parkplatzangebot und niedrigen Bodenpreisen an.

Dieser Dezentralisierungsprozeß spiegelte die Präferenzen der Mehrheit der Bevölkerung wider. Dennoch werden seine negativen Seiten immer deutlicher: immer längere Berufs- und Einkaufsfahrten, immer häufigere Verkehrsstaus in den Spitzenstunden und immer weniger akzeptablere Belastungen durch Verkehrslärm, Luftverschmutzung und Verkehrsunfälle, immer größerer Flächenverbrauch für den fließenden und ruhenden Verkehr und immer höherer Energieverbrauch und Ausstoß von CO₂.

Viele Fachleute sind deshalb der Meinung, daß die Zunahme des Verkehrs in den Städten und damit seines Energieverbrauchs und seiner CO₂-Emissionen eine direkte Funktion der Siedlungsdichte ist, und empfehlen eine Rückkehr zu kompakten Flächennutzungsstrukturen mit hoher Dichte (ein Überblick über die Diskussion in Bergmann u.a., 1993). Der am häufigsten zitierte Beleg für die Gültigkeit dieser Hypothese ist die Studie von Newman und Kenworthy (1989), die 32 Städte in vier Kontinenten untersuchten und eine signifikante statistische Korrelation zwischen der Siedlungsdichte und dem Energieverbrauch für Verkehrszwecke je Einwohner feststellten (siehe Abbildung 2 oben). In vielen europäischen Ländern hat das Vertrauen in diese Hypothese zu Empfehlungen wie der folgenden geführt:

"[Die Kommunen sind aufgefordert,] durch eine Politik der kurzen Wege in der Stadtplanung die Entfernung zwischen Wohnen, Arbeiten und Versorgung zu verringern, um so Kfz-Verkehr zu vermeiden und zugleich eine Attraktivitätssteigerung der öffentlichen Verkehrsmittel, der Fahrrad- und Fußwegnutzung zu erreichen"

Deutscher Städtetag: Zehn Punkte zur Verbesserung des Verkehrs in Städten (1989)

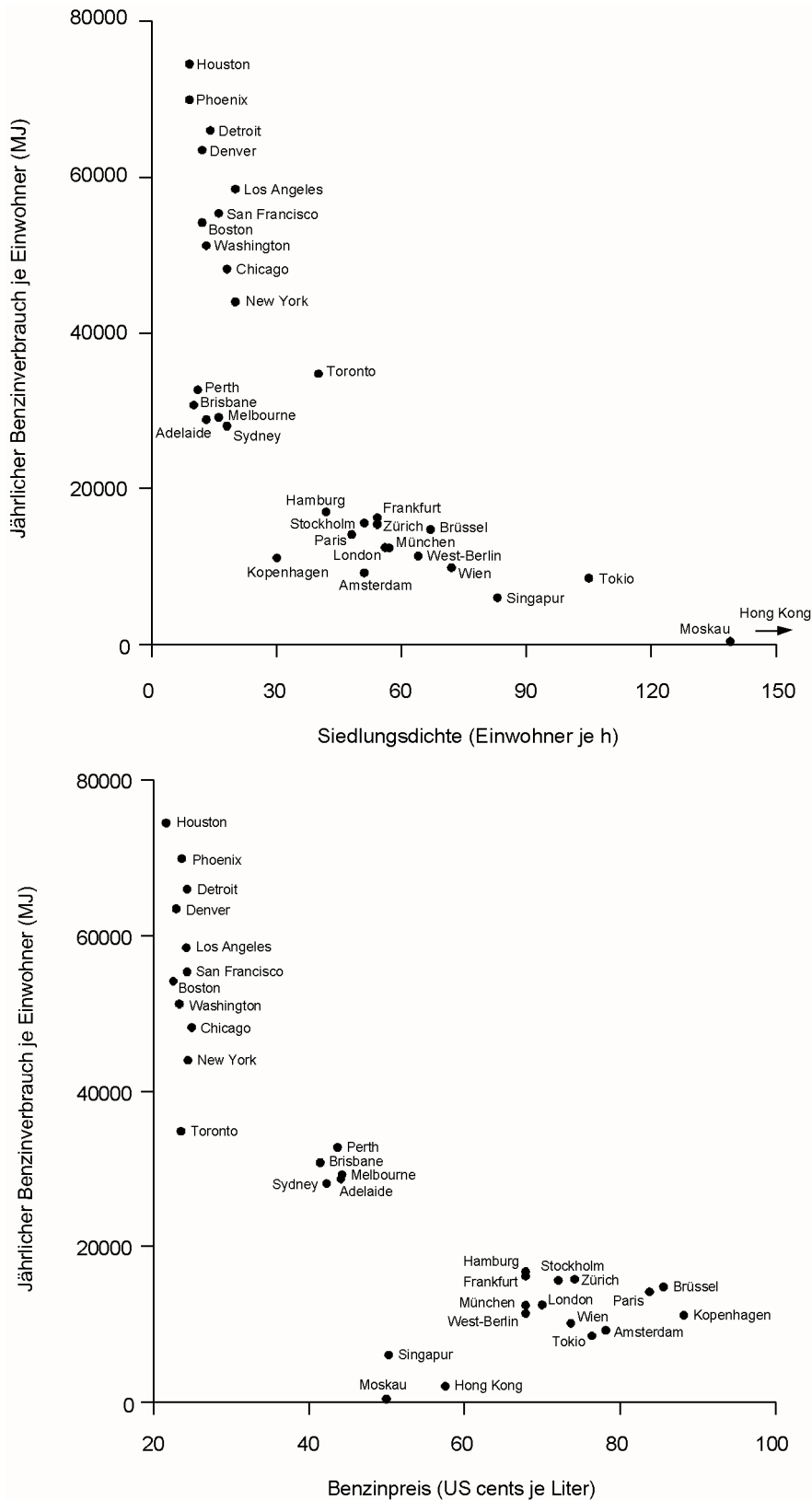


Abbildung 2. Jährlicher Benzinverbrauch je Einwohner als Funktion von Siedlungsdichte (oben) und Benzinpreis im Jahre 1980 (unten). Quelle: Newman und Kenworthy (1989)

"Der erste Pfeiler der privaten Mobilität ist das Betreiben einer konzentrierten Standortpolitik für Wohn- und Gewerbegebiete und für öffentliche Einrichtungen. In einer konzentrierten räumlichen Struktur sind die zurückzulegenden Entfernungen am kürzesten; das schnellste Beförderungsmittel ist das Fahrrad, und gute öffentliche Verkehrsverbindungen sind gewährleistet."

Vierte Note (Extra) zur Raumordnung in den Niederlanden (1990)

"Die strengen Raumordnungspolitiken der letzten Jahrzehnte haben zur Trennung der Bodennutzung geführt. Die daraus resultierende Entwicklung ausgedehnter Stadtrandsiedlungen hat ihrerseits den Pendelverkehr stimuliert, der im Mittelpunkt vieler Umweltprobleme steht, mit denen die Städte zur Zeit konfrontiert werden. Die Prinzipien, auf die sich die Stadtplanung der Vergangenheit stützte, müssen daher von Grund auf revidiert werden. Strategien, die eine Mischnutzung und Verdichtung propagieren, dürften eher dazu führen, daß die Bevölkerung in der Nähe ihres Arbeitsplatzes leben kann und dort findet, was sie zum täglichen Leben braucht. Das Kraftfahrzeug kann dann zu einer Option und nicht zur Notwendigkeit werden."

Grünbuch über die Städtische Umwelt der EG (1990)

Das Problem dieser Maßnahmenempfehlungen ist, daß der Nachweis, daß unter heutigen Bedingungen, das heißt unter den Bedingungen eines unregulierten Verkehrsmarkts und bei heutigen Verkehrskosten, eine Rückkehr zu höheren Siedlungsdichten zu einer Senkung des Energieverbrauchs des Stadtverkehrs führen würde, bisher nicht erbracht werden konnte. Im Gegenteil, es gibt mehrere Untersuchungen, die dieser Hypothese widersprechen:

- Rickaby (1987) fand durch Modellsimulationen, daß 'dezentrale Konzentration' (Stadtregionen mit Nebenzentren mittlerer Größe) die energetisch günstigste Siedlungsform ist.
- Banister (1992) wies nach, daß der Kraftstoffverbrauch je Einwohner in England zwar mit der Stadtgröße sinkt, in London aber höher ist als in anderen großen Städten.
- Breheny (1993) demonstrierte, daß, wenn die Bevölkerung von England und Wales zwischen 1961 und 1991 *nicht* suburbanisiert hätte, die gesamten Energieeinsparungen weniger als drei Prozent betragen hätten.

Sogar die Daten in Newman und Kenworthy können auf eine Weise interpretiert werden, die die einfache Abhängigkeit zwischen Dichte und Energieverbrauch in Frage stellt. Wenn man zum Beispiel den jährlichen Energieverbrauch per Einwohner nicht als Funktion der Siedlungsdichte, sondern als Funktion des Kraftstoffpreises darstellt (siehe Abbildung 2 unten), ergibt sich der gleiche inverse Funktionsverlauf. Jetzt wird sogar plausibel, warum der Kraftstoffverbrauch in australischen Städten viel niedriger als in amerikanischen Städten ist: weil Kraftstoff in Australien doppelt so teuer ist wie in den Vereinigten Staaten. Wenn man die drei Sonderfälle Singapur, Hongkong und Moskau, in denen Pkw-Besitz

und Pkw-Nutzung künstlich beschränkt sind, außer acht läßt, läßt sich die Hypothese aufstellen, daß die Siedlungsdichte nur eine Zwischengröße ist und daß der wirkliche Grund für einen hohen Energieverbrauch im Verkehr die Verfügbarkeit billiger Verkehrsenergie ist.

Weitere Gründe für Zweifel an der Bedeutung der Siedlungsdichte als einer Bestimmungsgröße für den Energieverbrauch des Verkehrs enthält Breheny (1992). Allerdings gibt es über diesen Zweifel hinaus wenig Übereinstimmung darüber, wie die energetisch optimale Stadt des 21. Jahrhunderts aussehen sollte. Die Situation wird durch Schmitz (1991) charakterisiert:

"Aus der Tatsache, daß die Wirksamkeit von Einzelmaßnahmen im Bereich der Steuerung der Siedlungs- und Raumentwicklung nur schwer quantifizierbar ist - wobei in bestimmten Fällen nicht einmal die Wirkungsrichtung benannt werden kann - muß letztendlich der Schluß gezogen werden, daß eine unter Verkehrsgesichtspunkten 'ideale' Siedlungs- und Raumstruktur nicht bekannt ist. Konzepte wie kleinräumige Nutzungsmischung, Stadtinnenentwicklung durch urbane Verdichtung, dezentrale Konzentration und Bildung von Entwicklungsachsen in der Regionalentwicklung sowie die Schaffung ausgeglichener Funktionsräume besitzen noch weitgehend den Charakter von Schlagwörtern. Sie bedürfen erstens einer stärkeren inhaltlichen Konzentrierung und zweitens eines Wirksamkeitsnachweises."

In dieser Situation könnten Computer-Simulationsmodelle der städtischen Flächennutzungs- und Verkehrsentwicklung eine neue Rolle spielen. Seit dem Aufkommen der ersten Computer in den fünfziger Jahren hat es zahlreiche Versuche gegeben, Computersimulationstechniken in der Planung einzusetzen. Mit wenigen Ausnahmen hat keines dieser Modelle irgendeinen Einfluß auf die Planungspraxis gehabt; und nur wenige von ihnen haben als Forschungsmethode an Universitäten überlebt (vgl. Wegener, 1994a). Heute jedoch werden durch die Umweltdebatte Fragen aufgeworfen, die durch inkrementalistische, kurzfristige Lösungen nicht mehr beantwortet werden können. Da die ökologischen Folgen verschwenderischen Umgangs mit Ressourcen erst in Jahrzehnten spürbar werden, würde eine Politik nach dem bisherigen Prinzip von Versuch und Irrtum in der Zukunft mit unkalkulierbarem Risiko behaftet. Vielmehr müssen die langfristigen Folgen von Entscheidungen zur räumlichen Stadtentwicklung nach dem besten Stand des heutigen Wissens vorausgeschätzt und den Politikern und der Öffentlichkeit deutlich gemacht werden.

Dies erfordert eine grundlegende Überprüfung der Art und Weise, wie unsere Städte funktionieren und sich weiter entwickeln und damit aufs neue eine ganzheitliche Sicht von Städten als komplexe soziale, ökonomische und technische Systeme. Hierzu können mathematische Modelle einen Beitrag leisten. Dieses Mal werden Modelle jedoch nicht, wie in der ersten Phase der Modellbegeisterung, dazu benutzt, die Richtung des städtischen Wachstums vorherzusagen, sondern dazu, die Reorganisation der Stadtstruktur in Richtung auf eine sozial- und umweltverträgliche Stadtentwicklung anzuleiten.

5 Müssen wir Dortmund umbauen?

In diesem Abschnitt wird über ein Projekt berichtet, in dem ein Computermodell der städtischen Flächennutzungs- und Verkehrsentwicklung dazu benutzt wurde, die Auswirkungen von Maßnahmen zur Reduzierung von verkehrsinduzierten CO₂-Emissionen in der Stadtregion Dortmund durch Beeinflussung der Verkehrsnachfrage abzuschätzen.

Die Untersuchungsregion

Die Untersuchungsregion des Projekts war die Stadtregion Dortmund. Dortmund (615.000 Einwohner) ist die östlichste der großen Städte des Ruhrgebiets. Die Stadt war früher ein bedeutendes Zentrum des Bergbaus und der Stahlerzeugung. Seit dem Niedergang von Kohle und Stahl ist es heute das Verwaltungs-, Dienstleistungs- und Einkaufszentrum für eine große Einzugsregion mit teilweise suburbanem und ländlichem Charakter. Die Untersuchungsregion ist die Pendlereinzugsregion Dortmunds mit Dortmund selbst und achtzehn Umlandgemeinden (siehe Abbildung 3). Die Stadtregion ist ziemlich kompakt; die meisten ihrer Siedlungsbereiche liegen weniger als dreißig Minuten mit dem Auto von der Innenstadt Dortmunds entfernt. Die schraffierte Fläche in der Abbildung ist die Stadtregion Dortmund im engeren Sinne; diese Gemeinden sind ausschließlich auf Dortmund ausgerichtet. Die gepunkteten Gebiete sind größere eigenständige Städte oder Gemeinden, die auf mehrere Zentren ausgerichtet sind. Die Gesamtregion hat ungefähr 2,3 Millionen Einwohner.

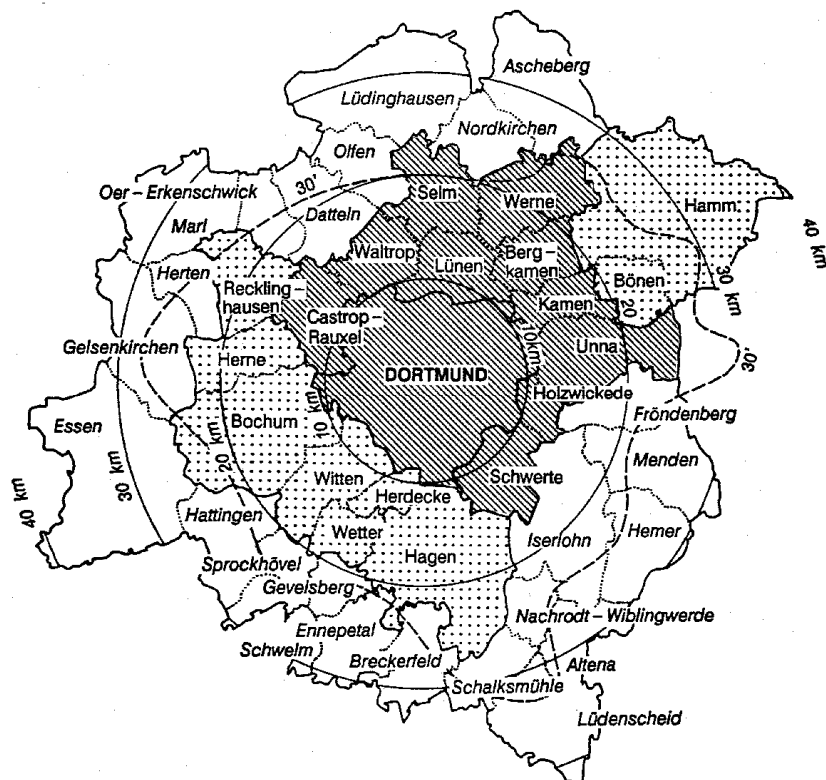


Abbildung 3. Die Stadtregion Dortmund

Das Modell

Das Modell der Stadtregion Dortmund bildet intraregionale Standort- und Mobilitätsentscheidungen in einer Stadtregion ab (Wegener, 1983; 1985; 1994d). Es erhält seine *räumliche* Dimension durch die Einteilung der Untersuchungsregion in dreißig *Zonen*, die untereinander durch Verkehrsnetze verbunden sind. Die Verkehrsnetze enthalten die wichtigsten Verbindungen des öffentlichen Nahverkehrs und des Straßennetzes in Form eines integrierten multimodalen Netzes einschließlich von Fußweg- und Radfahrverbindungen und aller Netzänderungen der Vergangenheit und Zukunft. Das Modell erhält seine *zeitliche* Dimension dadurch, daß die Zeit in fünfzehn Perioden von drei Jahren Dauer eingeteilt wird. Insgesamt kann das Modell damit einen Zeitraum von fünfundvierzig Jahren abbilden.

Abbildung 4 ist ein Schema der wesentlichen im Modell behandelten Subsysteme und der Wechselwirkungen zwischen ihnen und der wichtigsten Planungsmaßnahmen, deren Wirkung mit dem Modell untersucht werden kann.

Die vier Quadrate in den Ecken des Diagramms zeigen die hauptsächlichen Bestandsgrößen des Modells: *Bevölkerung*, *Arbeitsplätze*, *Wohnungen* und *Nichtwohngebäude* (Industrie- und Gewerbegebäude und öffentliche Einrichtungen). Die Akteure, die diesen Bestandsgrößen entsprechen, sind *Individuen* oder *Haushalte*, *Beschäftigte*, *Wohnungsbauinvestoren* und *Unternehmen*. Diese Akteure interagieren auf fünf *Teilmärkten* der Stadtentwicklung. Die fünf Teilmärkte und die auf ihnen ablaufenden Transaktionen sind:

- der *Arbeitsmarkt*: Einstellungen und Entlassungen,
- der *Markt für Nichtwohngebäude*: Betriebsansiedlungen und -verlagerungen,
- der *Wohnungsmarkt*: Zuwanderung, Abwanderung, Einzüge und Umzüge,
- der *Bau- und Bodenmarkt*: Neubau, Modernisierung und Abriß,
- der *Verkehrsmarkt*: Ortsveränderungen und ihre Folgen: Veränderungen der Erreichbarkeit, Staus, Unfälle, Lärm und Energieverbrauch.

Für jeden Teilmarkt zeigt das Diagramm Angebot und Nachfrage und die sich daraus ergebenden Markttransaktionen. Das Angebot in den Teilmärkten ist eine Funktion der Nachfrage. Die Nachfrage ist eine Funktion exogener Vorgaben, wird jedoch durch das Angebot (an Arbeitsplätzen, Gebäuden, Flächen und Verkehr) eingeschränkt und durch dessen Attraktivität mitbestimmt. Die Attraktivität des Angebots ist allgemein eine benutzergruppenspezifische Funktion von Qualität und Preis. Die großen Pfeile in der Abbildung bezeichnen exogene Vorgaben: entweder *Prognosen* der Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung der Gesamtregion auf der Grundlage langfristiger ökonomischer und demographischer Trends oder *Politikmaßnahmen* in den Bereichen Wirtschaftsförderung, Wohnungsbau, öffentliche Einrichtungen oder Verkehr.

Mit dieser Modellstruktur ist das Modell der Stadtregion Dortmund eines der wenigen praktisch anwendbaren Stadtentwicklungsmodelle, in denen die Wechselwirkungen zwischen Siedlungsentwicklung und Verkehr in Stadtregionen explizit dargestellt werden (Webster u.a., 1988; Wegener, 1994a).

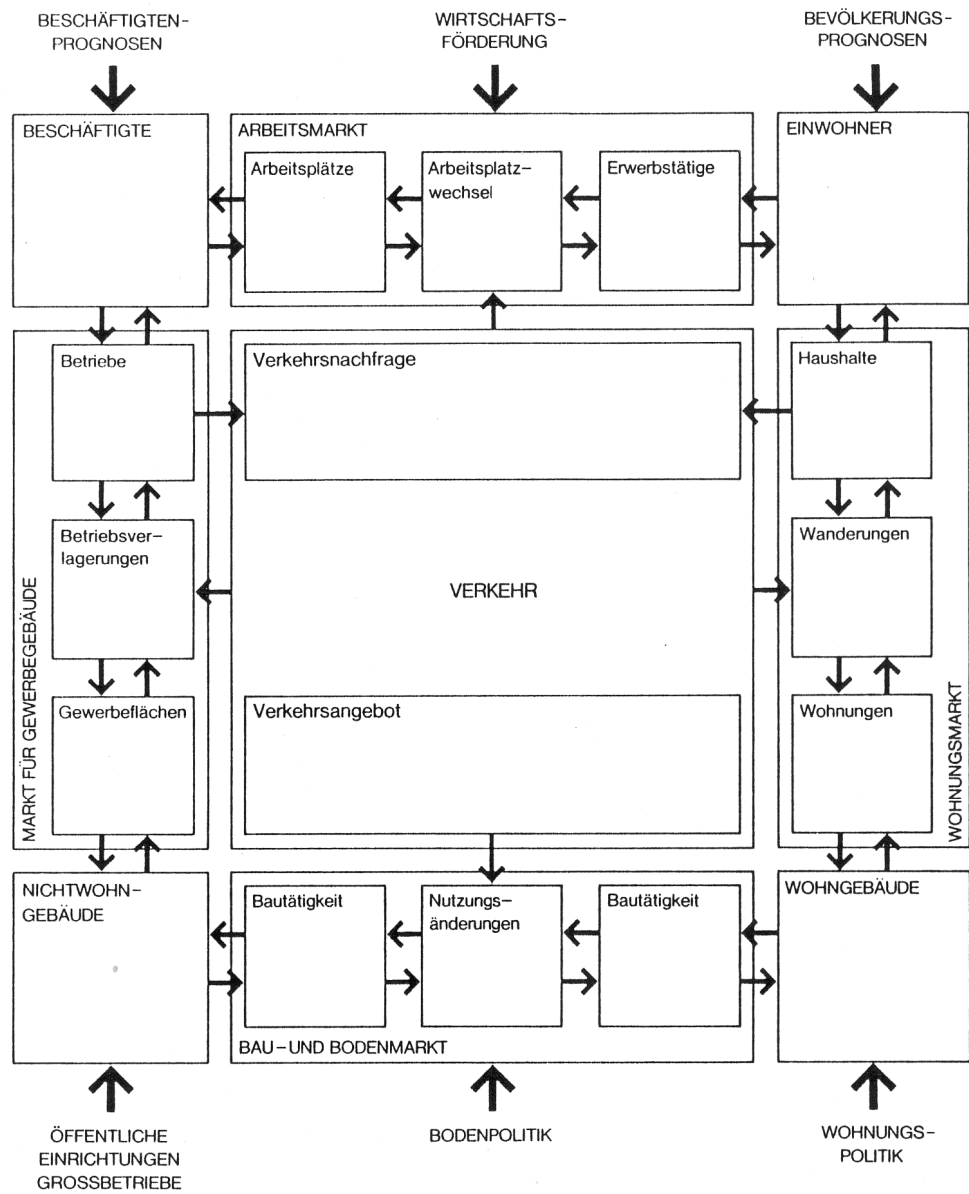


Abbildung 4. Das Modell der Stadtregion Dortmund

Abbildung 5 faßt diese Interaktionen im Regelkreis 'Siedlungsentwicklung und Verkehr' (land-use transport feedback cycle) zusammen:

- Die Verteilung der *Flächennutzungen* wie Wohngebiete oder Industrie- und Gewerbegebiet bestimmt die Standorte der Haushalte und Betriebe und damit die Standorte der menschlichen *Aktivitäten* wie Wohnen, Arbeiten, Einkaufen, Ausbildung und Erholung.
- Die Verteilung der *Aktivitäten* erfordert Ortsveränderungen, um die räumliche Entfernung zwischen diesen Standorten zu überwinden.
- Diese Ortsveränderungen erfolgen über das *Verkehrssystem* aufgrund von Entscheidungen der Verkehrsteilnehmer über die Verfügbarkeit eines Verkehrsmittels, die Häufigkeit von Wegen und über Ziele, das benutzte Verkehrsmittel und die eingeschlagene Route. Die Folge dieser Entscheidungen sind die Verkehrsströme und, im Falle von Verkehrsstaus, Erhöhungen der Reisezeiten, Wegelängen und Wegekosten.
- Reisezeiten, Wegelängen und Wegekosten schaffen Gelegenheiten für Ortsveränderungen, das heißt *Erreichbarkeit*. Die räumliche Verteilung von Erreichbarkeit beeinflusst, mit anderen Attraktivitätsmerkmalen, die Standortentscheidungen von Bauinvestoren und resultiert in Neubau, Modernisierung oder Abriß, das heißt in Veränderungen der Siedlungsstruktur. Diese schließlich bestimmen die Umzugsentscheidungen von Haushalten und Betrieben und somit die Verteilung der Aktivitäten im Raum.

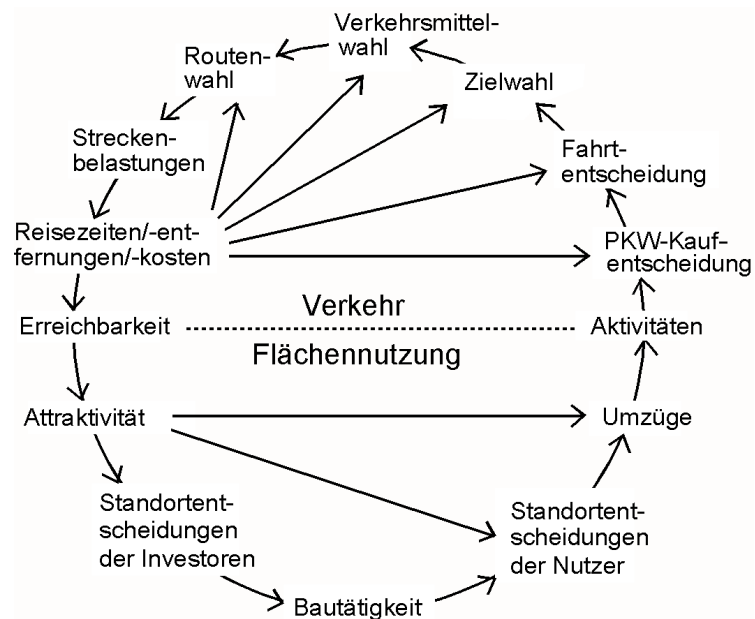


Abbildung 5. Der Regelkreis 'Siedlungsentwicklung und Verkehr'.

Abbildung 6 stellt dieselben Zusammenhänge in einem von Brotchie (1984) vorgeschlagenen Diagramm dar. Das 'Brotchie-Dreieck' umfaßt das Universum möglicher Konstellationen von Raumstruktur und Raumüberwindung in einer Stadtregion. Die Raumstruktur ist auf der X-Achse als räumliche Dispersion (zum Beispiel mittlere Entfernung der Arbeitsplätze vom Stadtzentrum), die

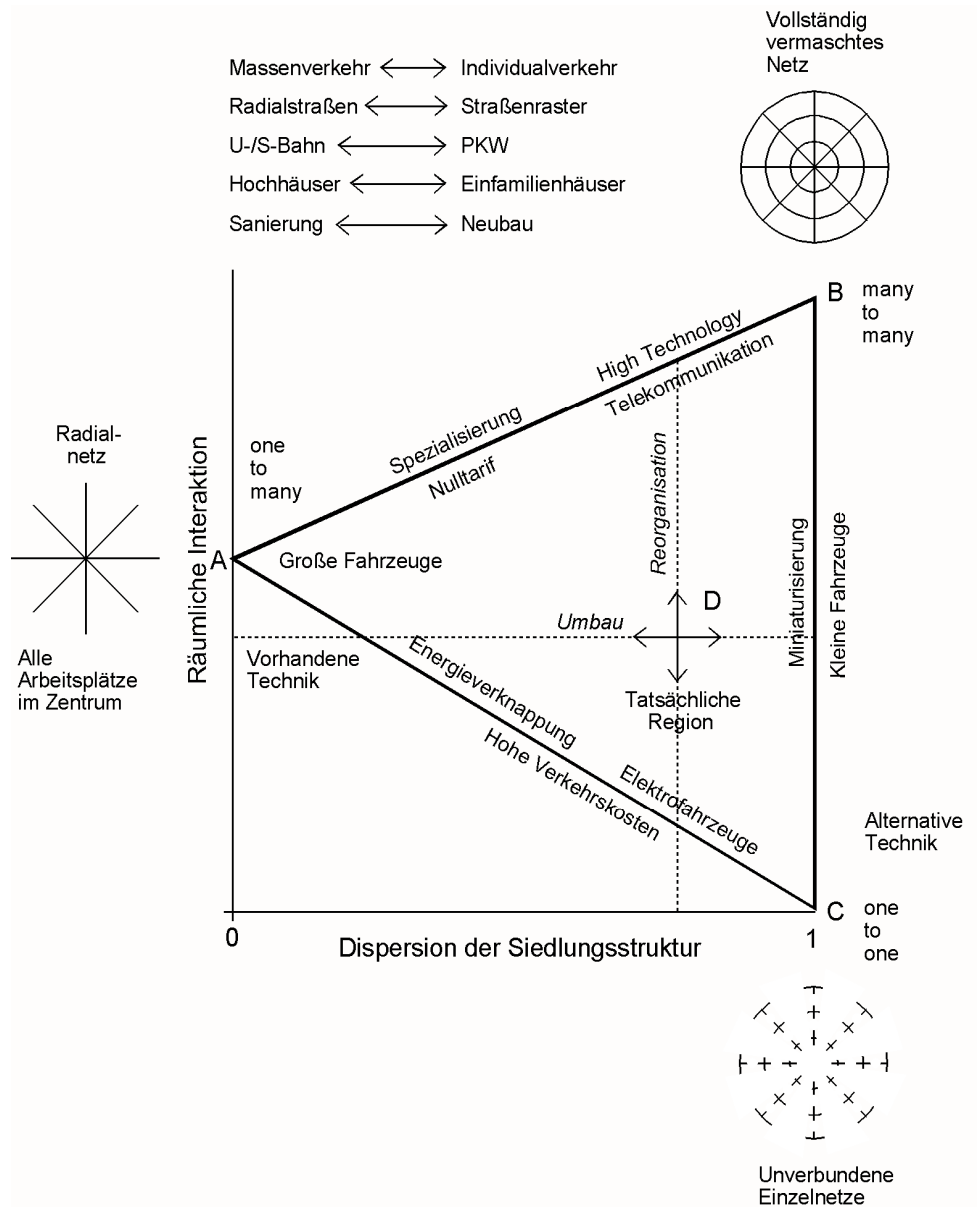


Abbildung 6. Das 'Brotchie-Dreieck'

Raumüberwindung auf der Y-Achse als Maß der räumlichen Interaktion (zum Beispiel mittlere Länge der Berufsfahrten) repräsentiert. Jede Stadt liegt in dem Dreieck zwischen drei hypothetischen Punkten: Punkt A repräsentiert eine Stadt, in der alle Arbeitsplätze im Zentrum sind. Die Punkte B und C repräsentieren Stadtregionen, in denen die Arbeitsplätze ebenso dezentralisiert sind wie die Bevölkerung. Punkt B entspricht einer Situation, in der die Wahl von Wohn- und Arbeitsstandorten ohne Berücksichtigung der Entfernung zwischen ihnen erfolgt, Punkt C einer Situation, in der alle Berufstätige zu Fuß zur Arbeit gehen. Punkt D repräsentiert die reale Stadt; er bewegt sich im Zeitablauf infolge von Verhaltensänderungen oder Planungseingriffen. Eine Bewegung nach rechts oder links bedeutet eine Veränderung der Siedlungsstruktur durch *Bautätigkeit*; eine Bewegung nach oben oder unten bedeutet Reorganisation von Aktivitäten in der vorhandenen Siedlungsstruktur durch *Umzüge*.

Die Szenarien

Es wurden drei Arten von Szenarien durchgespielt: Szenarien, in denen die Kosten des Verkehrs verändert wurden, Szenarien, in denen die Reisegeschwindigkeiten geändert wurden, und Kombinationsszenarien, in denen sowohl Kosten als auch Geschwindigkeiten geändert wurden. Tabelle 1 listet die Szenarien und die in ihnen untersuchten Maßnahmen auf.

Tabelle 1. Szenarien

<i>Szenario</i>	<i>Maßnahmen</i>
<i>Trendszenario:</i>	
00	Trendszenario (keine Maßnahmen).
<i>Verkehrskostenszenarien:</i>	
30	Erhöhung des Kraftstoffpreises bis 2015 auf 12 DM/l und Reduzierung des mittleren PKW-Kraftstoffverbrauchs bis 2015 auf 5 l/km.
32	Erhöhung der Innenstadt-Parkgebühren, ab 2000 verfünffacht.
33	Senkung der Fahrpreise im ÖPNV, ab 2000 Nulltarif.
35	Erhöhung der Fahrpreise im ÖPNV, ab 2000 verdoppelt.
37	Erhöhung aller Fahrtkosten, ab 2000 verdoppelt.
<i>Geschwindigkeitszenarien:</i>	
40	Beschleunigung (25 %) und Verdoppelung der Zugfolge im ÖPNV und Verlangsamung (40 %) des MIV.
46	Beschleunigung (25 %) des ÖPNV und des MIV.
47	Verlangsamung (40 %) des ÖPNV und des MIV.
<i>Kombinationsszenarien:</i>	
53	'Alles für den ÖPNV': Szenarien 30+32+40.
54	'Mobilitätsreduzierung': Szenarien 30+32+35+47.

Die beiden ersten Gruppen von Szenarien gleichen den von der International Study Group on Land-Use/Transport Interaction (ISGLUTI) untersuchten 'policy tests' (Webster u.a., 1988); die Kombinationsszenarien gehen darüber hinaus. Die Nummern der Szenarien der beiden ersten Gruppen sind dieselben wie die der entsprechenden policy tests von ISGLUTI. Szenarien 30 und 40 wurden jedoch etwas anders definiert. Im Szenario 30 wurde ein viel stärkerer Anstieg der Benzinpreise unterstellt, dafür wurde realistischerweise angenommen, daß die Automobilindustrie auf signifikante Benzinpreiserhöhungen durch Autos mit geringerem Treibstoffverbrauch reagieren würde. Im Szenario 40 wurde der öffentliche Nahverkehr nicht nur beschleunigt, sondern es wurde auch angenommen, daß die öffentlichen Verkehrsbetriebe zusätzliche Bahnen und Busse einsetzen würden, um der steigenden Fahrgastzahl gerecht zu werden.

Die Ergebnisse der Simulationen sind in den Diagrammen der Abbildungen 7 bis 9 zusammengefaßt. In jedem von ihnen wird die Entwicklung eines Indikators für die gesamte Stadtregion zwischen 1970 und 2015 durch eine Kurvenschar dargestellt. Jede Kurve entspricht der Entwicklung des Indikators in einem Szenario. Die Kurve jedes Szenarios ist mit seiner Nummer wie in Tabelle 1 gekennzeichnet; Szenario 00 ist das Trendszenario ohne die in den anderen Szenarien untersuchten Maßnahmen. Bis Mitte der neunziger Jahre fallen alle Linien mit der des Trendszenarios (00) zusammen, da die Maßnahmen aus Tabelle 1 erst ab 1994 realisiert werden; dieser Teil des Diagramms dient dazu, die Entwicklung des Indikators in der Vergangenheit anschaulich zu machen.

Abbildung 7 (oben) zeigt die Auswirkungen der verschiedenen Maßnahmen auf die mittlere Wegelänge. Man sieht, daß sie nach den Annahmen des Modells im Trendszenario zwischen 1970 und 2015 von 8 auf 13 Kilometer ansteigt, und daß eine Senkung der Verkehrskosten (Szenario 33) oder eine Erhöhung der Geschwindigkeit (Szenario 46) zu längeren Wegen führt. Eine Erhöhung der Verkehrskosten (Szenarien 30 und 37) und Geschwindigkeitsbeschränkungen (Szenarien 40 und 47) führen dagegen zu kürzeren Wegen, dieser Effekt wird allerdings nach 2000 durch steigende Einkommen und sinkenden Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge wieder ausgeglichen. Die Verkürzung der Wegelänge ist am stärksten im Kombinationsszenario 54, das sowohl den öffentlichen Nahverkehr als auch den Pkw langsamer und teurer macht. Im Kombinationsszenario 53 dagegen, das den öffentlichen Nahverkehr fördert und die Benutzung des Pkw erschwert, ist der Verlust an Mobilität geringer.

Abbildung 7 (unten) macht deutlich, daß die Wirkung der kombinierten Maßnahmen noch stärker ist, wenn man nur den Pkw-Verkehr betrachtet. Hier kommt es im Szenario 53 zu einer viel stärkeren Verringerung der Pkw-Fahrleistung als im Szenario 54, in dem keine attraktive Fahrtalternativen im öffentlichen Nahverkehr bestehen. Die Gesamtlänge aller Pkw-Fahrten in der Stadtregion geht im Szenario 53 auf ein Drittel zurück.

Abbildung 8 (oben) zeigt, daß dies auf die erhebliche Verkehrsverlagerung vom Pkw auf den öffentlichen Nahverkehr im Szenario 53 zurückzuführen ist. Der Anteil des öffentlichen Nahverkehrs an allen Ortsveränderungen hat im Modell wie in der Realität seit 1970 von dreißig Prozent auf weniger als zwanzig abgenommen. Weder massive Angebotsverbesserungen im öffentlichen Nahverkehr

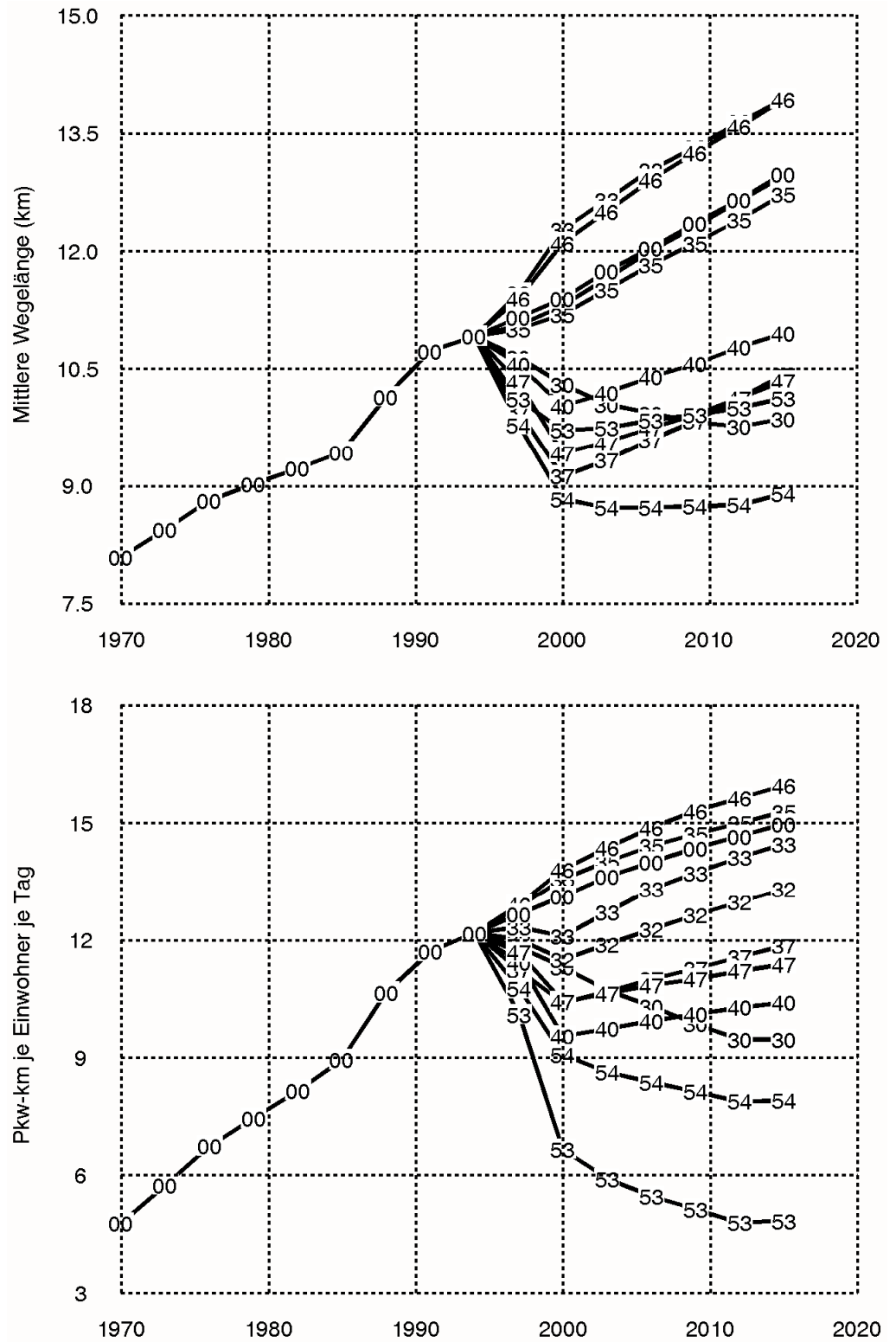


Abbildung 7. Mittlere Wegelänge (oben) und Pkw-km je Einwohner (unten).

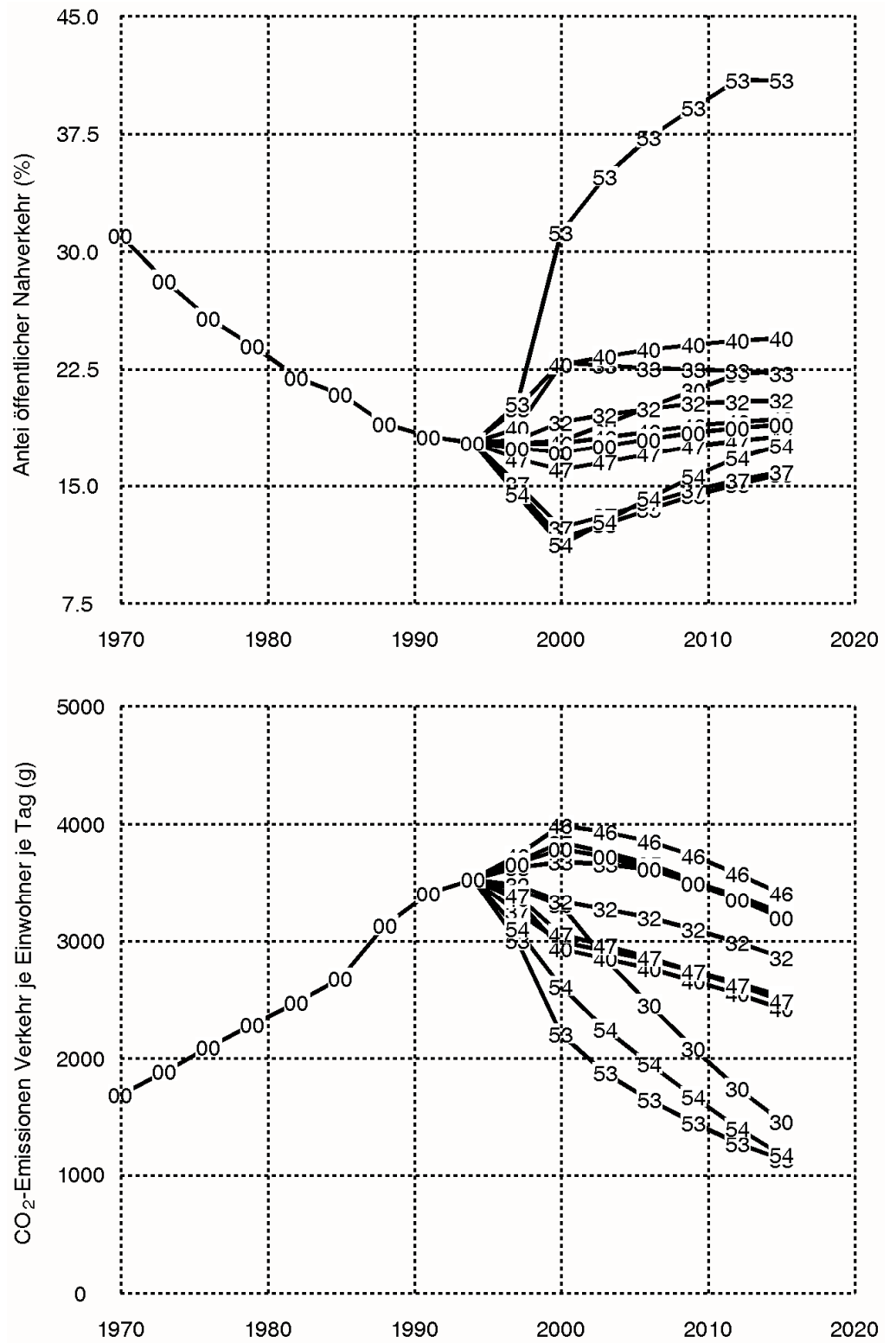


Abbildung 8. Anteil ÖPNV (oben) and CO₂-Emissionen des Verkehrs (unten).

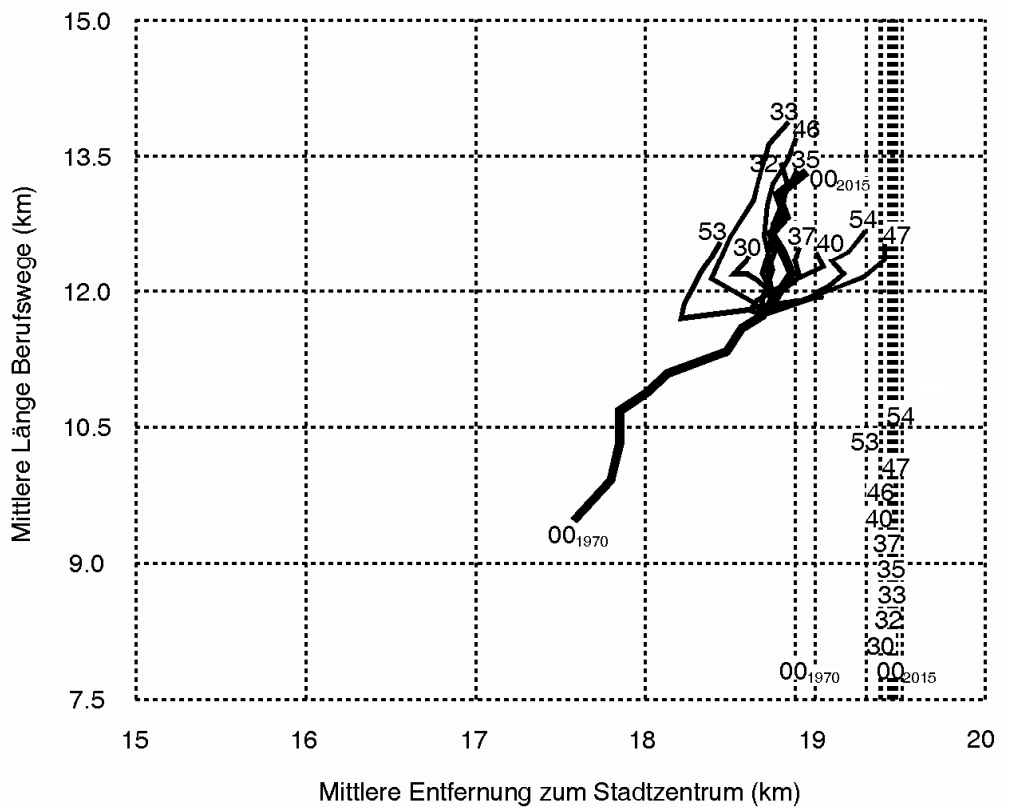
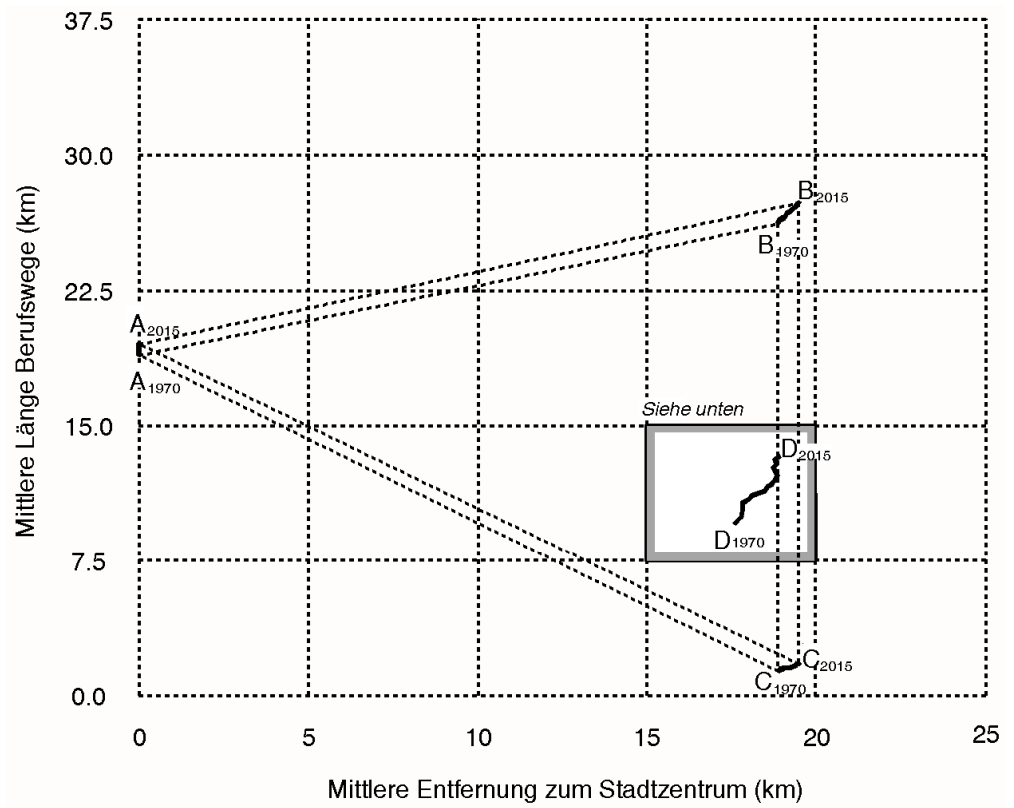


Abbildung 9. Das 'Brotchie-Dreieck': Trendszenario (oben) und alle Szenarien (unten).

nommen. Weder massive Angebotsverbesserungen im öffentlichen Nahverkehr zu Lasten des Autos (Szenario 40) noch der Nulltarif (Szenario 33) ergeben eine nachhaltige Zunahme des ÖPNV-Anteils. Nicht einmal drastische Kostensteigerungen beim Autofahren (Szenario 30) können den öffentlichen Nahverkehr zu neuem Leben erwecken; wenn gleichzeitig auch die Fahrpreise im ÖPNV angehoben werden (Szenario 54), nimmt die Benutzung des öffentlichen Nahverkehrs sogar weiter ab. Wenn jedoch die Verteuerung der Pkw-Benutzung Hand in Hand geht mit einer Aufwertung des öffentlichen Nahverkehrs (Szenario 53), ergibt sich laut Modell ein Anstieg des Anteils der öffentlichen Nahverkehrs an allen Wegen auf über vierzig Prozent.

Das bedeutet signifikante Einsparungen beim Energieverbrauch und bei den CO₂-Emissionen, wie Abbildung 8 (unten) zeigt. Das Diagramm zeigt die Einsparungen für alle Verkehrsmittel einschließlich der zusätzlichen Busse und Züge für den Zuwachs an Fahrgästen. Obwohl Pkw-Besitz und Wegelängen weiter ansteigen, nehmen die CO₂-Emissionen je Einwohner nach dem Jahr 2000 infolge des geringeren Kraftstoffverbrauchs der Fahrzeuge ab. Ohne diese Eingriffe kann das Ziel, die CO₂-Emissionen gegenüber 1987 um dreißig Prozent zu senken, nicht erreicht werden. In der Tat erreicht keine der untersuchten Maßnahmen dieses Ziel, mit Ausnahme derjenigen Maßnahmenkombinationen, in denen die Pkw-Benutzung wesentlich teurer gemacht wird. Unter diesen impliziert Szenario 53 jedoch die geringsten Opfer an Mobilität.

Abbildung 9 zeigt, welcher Teil dieser Wirkung ist auf Änderungen der Siedlungsstruktur zurückzuführen ist. Das obere Diagramm zeigt das 'Brotchie-Dreieck' der Stadtregion zwischen 1970 und 2015. Es illustriert, wie im Trendszenario sowohl die Arbeitsplätze als auch die Einwohner auseinanderdriften. In der Ausschnittsvergrößerung im unteren Diagramm sind auch die Kurven für die anderen zehn Szenarien eingezeichnet. Die senkrechten Linien kennzeichnen die weitere Dezentralisierung der Bevölkerung. In allen Szenarien entwickelt sich die Raumstruktur der Region in Richtung auf mehr Dezentralisierung und mehr Verkehr. Veränderungen der Verkehrskosten (Szenarien 30 bis 37) haben nur geringen Einfluß auf die Standortwahl der Haushalte, aber erheblichen Einfluß auf die Wegelängen. Werden die Geschwindigkeiten verändert (Szenarien 40 bis 47), ist die Auswirkung auf die Standortwahl stärker. Die Richtung der Veränderung steht im Zusammenhang mit dem Anteil des öffentlichen Nahverkehrs (vgl. Abbildung 8 oben). In Szenarien mit höherem ÖPNV-Anteil (30, 35 und 53) ist die Bevölkerung weniger, in Szenarien mit hohem Pkw-Anteil (37, 40, 47 und 54) stärker dezentralisiert. Höhere Geschwindigkeiten (Szenario 46) führen zu längeren Fahrten, langsamere Geschwindigkeiten (Szenarien 40, 47, 53 und 54) zu kürzeren Fahrten und damit Energieeinsparungen. Da Berufswege weniger flexibel sind als andere Wege, sind die Einsparungen hier jedoch geringer als bei den Wegen insgesamt (vgl. Abbildung 7 oben); dies deutet darauf hin, daß das größte Einsparpotential bei den 'freiwilligen' Einkaufs- und Freizeitwegen liegt.

mensgruppen. Wie zu erwarten, fahren Haushalte mit geringem Einkommen (1)

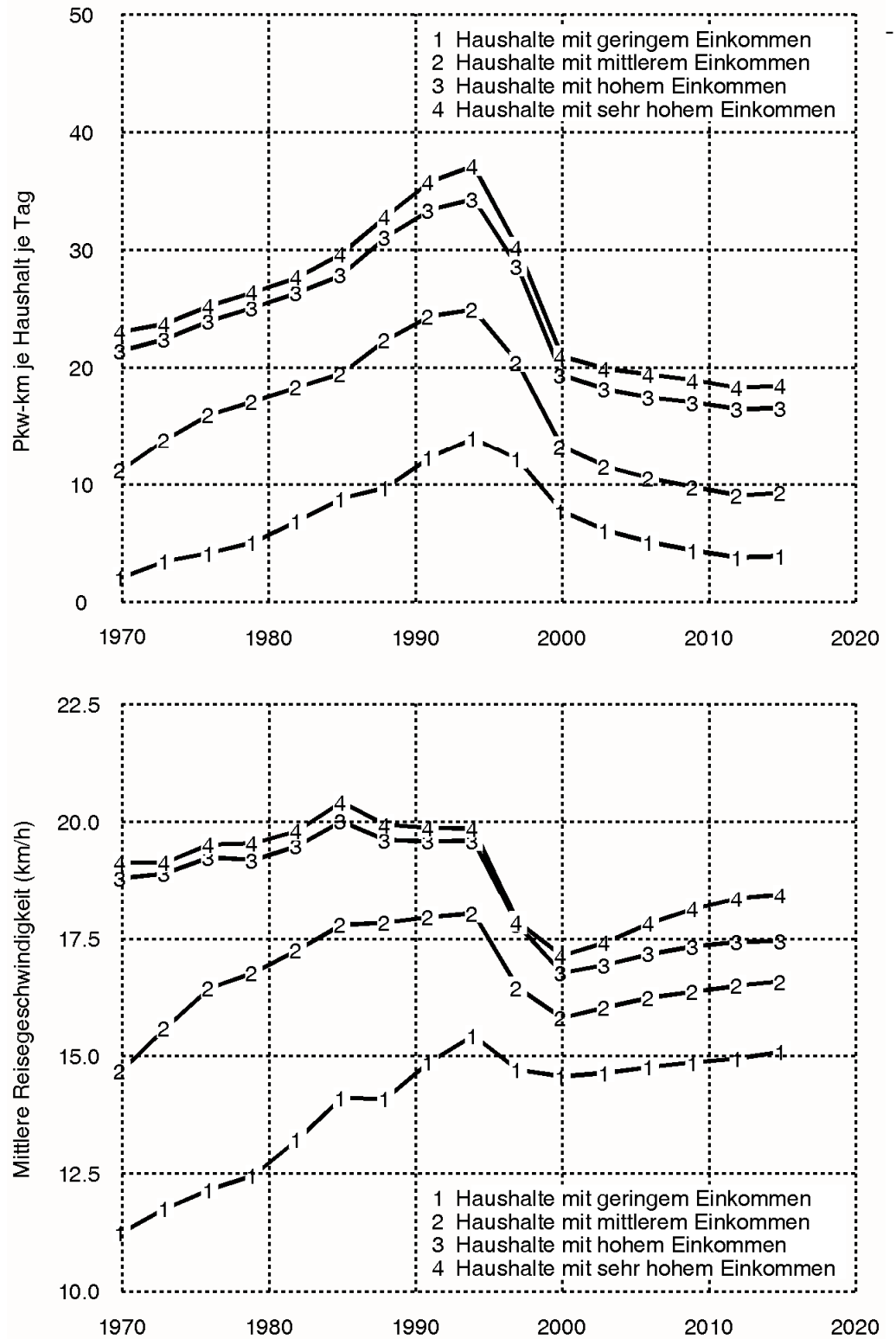


Abbildung 10. Pkw-km je Haushalt (oben) und mittlere Reisegeschwindigkeit (unten) nach Haushaltseinkommensgruppen in Szenario 53.

gruppen. Wie zu erwarten, fahren Haushalte mit geringem Einkommen (1) weniger mit dem Auto als Haushalte mit mittlerem (2) oder höheren (3-4) Einkommen. Aber während der siebziger und achtziger Jahre steigern alle Haushaltsgruppen ihre mit dem Pkw zurückgelegten Entfernungen erheblich. Der Knick in allen vier Kurven demonstriert, daß alle Einkommensgruppen von den Maßnahmen des Szenarios 53 betroffen werden. Aber die wohlhabenderen Haushalte verzichten absolut auf mehr Fahrten, so daß nach dem Jahr 2000 das Verhältnis der mit dem Auto zurückgelegten Entfernungen zwischen den vier Haushaltseinkommensgruppen eher ausgewogener ist als vorher, das heißt, der Verteilungseffekt der Maßnahmen ist kompensatorisch.

Abbildung 10 (unten) zeigt die Entwicklung der mittleren Reisegeschwindigkeiten aller Ortsveränderungen der vier Haushaltseinkommensgruppen im Szenario 53. Hier sieht man, daß die beiden oberen Einkommensgruppen bereits in den siebziger Jahren aufgrund ihres hohen Motorisierungsgrads hohe mittlere Reisegeschwindigkeiten erzielten. Ab Mitte der achtziger Jahre lassen sich jedoch wegen der zunehmenden Stauzeiten im überlasteten Straßennetz keine Geschwindigkeitsgewinne mehr erzielen. Die Haushalte mit mittleren und niedrigen Einkommen dagegen steigern ihre Motorisierung und damit ihre mittlere Fortbewegungsgeschwindigkeit weiter. Nach Einführung der Maßnahmen des Szenarios 53 wird wieder mehr mit dem ÖPNV gefahren, dadurch sinken die Reisegeschwindigkeiten zunächst, um wieder leicht zu steigen, wenn nach der Jahrtausendwende vermehrt Autos mit geringerem Benzinverbrauch angeboten werden. Auch hier ist das Verhältnis der Reisegeschwindigkeiten der Haushaltseinkommensgruppen am Ende ausgeglichener als vor der Durchführung der Maßnahmen.

Ein drittes Argument gegen Szenario 53 könnte sein, daß die Kosten einer so umfassenden Verbesserung des Angebots im öffentlichen Nahverkehr für die öffentlichen Haushalte unerschwinglich sein würde. Eine einfache Überschlagsrechnung wie die in Tabelle 2 demonstriert, daß trotz der Abnahme der mit dem Pkw zurückgelegten Entfernungen die Mehreinnahmen aus der erhöhten Mineralölsteuer ausreichen würden, die Ausgaben des Verkehrsbetriebe der Region mehr als zu verdoppeln. Zusammen mit den erhöhten Tarifeinnahmen würde dies es ihnen erlauben, nicht nur mehr Busse und Bahnen für die zusätzlichen Fahrgäste bereitzustellen, sondern auch die Bedienungsqualität deutlich zu verbessern.

Die Schlußfolgerung aus diesen Ergebnissen ist, daß eine Kombination von Maßnahmen zur Erhöhung der Kosten der Pkw-Benutzung und zur Verbesserung der Qualität des öffentlichen Personennahverkehrs zu einer erheblichen Verringerung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen des Stadtverkehrs führen würde, und zwar *ohne* inakzeptable Opfer an Mobilität, *ohne* Verstärkung der sozialen Disparitäten und *ohne* zusätzliche Kosten für die öffentlichen Hände. Andere in dieser Untersuchung nicht berücksichtigte Faktoren wie Fahrgemeinschaften (Erhöhung der Fahrzeugbelegung), Fahrtenketten (Verringerung der Anzahl Fahrten), Aufklärung und Marketing sowie ein potentieller Wertewandel im Sinne von zunehmendem Umweltbewußtsein wirken alle in dieselbe Richtung und würden zusätzlich zur Energieeinsparung beitragen.

Tabelle 2. *Finanzielle Auswirkungen des Szenarios 53.*

	<i>Trendszenario</i> 2015	<i>Szenario 53</i> 2015
Millionen Pkw-km/Jahr	7,748	2,578
Benzinpreis (DM/l)	2.7	12
Mineralölsteuereinnahmen (Mio. DM)	496	1,289
... Differenz (Mio. DM)		793
... in DM von 1990 (Mio. DM)		380
Zum Vergleich VRR ^a		
Gesamteinnahmen (Mio. DM)		148
Gesamtausgaben (Mio. DM)		367
Defizit (Mio. DM)		219

^a Der Verkehrsverbund Rhein-Ruhr (VRR) ist ungefähr fünfmal so groß wie die Untersuchungsregion. Die Angaben zum VRR wurden daher durch fünf geteilt.

Ein Vergleich der Szenarien 53 und 54 macht deutlich, daß das ökologisch 'radikalere' Szenario 54 weniger für die Umwelt erreicht als das 'gemäßigte' Szenario 53, dies jedoch mit weit einschneidenderen Restriktionen für die Lebensgestaltung der Individuen. Wenn die in das Modell eingebauten ökonomischen Rahmenbedingungen und Verhaltensannahmen in etwa korrekt sind, heißt das, daß eine Stadt- und Verkehrsplanung scheitern muß, die aus welchen gut gemeinten Gründen auch immer die Handlungsspielräume der Individuen mehr als unbedingt nötig beschneidet. Planung kann nur erfolgreich sein, wenn sie dort, wo sie sozial oder ökologisch unverträgliches Verhalten erschweren muß, attraktive und sinnvolle Handlungsalternativen anbietet und so die Wahlmöglichkeiten der Individuen erweitert anstatt sie einzuschränken.

Das Fazit ist, daß die gegenwärtige Siedlungsstruktur europäischer Städte ohne einen grundlegenden Umbau ihrer räumlichen Struktur ein riesiges ungenutztes Potential zur Verringerung der Automobilität enthält. Damit soll nicht gesagt werden, daß ein Umbau unser Städte nicht sinnvoll wäre, aber aus anderen, zum Beispiel ökologischen, sozialen oder ästhetischen Gründen, nicht jedoch, um Energie zu sparen.

6 Weitere Arbeiten

Zur Überprüfung der in diesem Arbeitspapier präsentierten Hypothesen werden in einem laufenden, von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Forschungsprojekt hypothetische *Stadtstrukturen* unter Berücksichtigung neuerer demographischer Entwicklungen, neuer Lebensstile und neuer Verkehrs- und Kommunikationstechniken nach Kriterien wie Verkehrsaufwand, Energieverbrauch, Flächenverbrauch und weiteren Umweltindikatoren im Hinblick auf drei Ziele verglichen:

- *Sozialverträglichkeit.* Die Stadtstruktur sollte sozialverträglich im Sinne von sozialer und räumlicher Gerechtigkeit sein. Bestehende soziale Disparitäten sollten durch die räumliche Organisation nicht verstärkt, sondern ausgeglichen werden. Soziale oder räumliche Benachteiligungen in der Verteilung von Erreichbarkeit, Standortqualitäten und Umweltbelastungen sollten nach Möglichkeit abgebaut werden.
- *Umweltverträglichkeit.* Die Stadtstruktur sollte umweltverträglich im Sinne von ökologischer Nachhaltigkeit (sustainability) sein. Der Verbrauch nicht regenerierbarer Ressourcen wie Energie oder Freiraum und die Belastung der Umwelt durch Lärm, Luftverschmutzung und Wasser- und Bodenkontaminierung sollte so gering wie möglich sein.
- *Effizienz.* Die Stadtstruktur sollte effizient in dem Sinne sein, daß die Standort- und Mobilitätsbedürfnisse von Unternehmen und Haushalte mit so geringem Aufwand und so niedrigen Kosten wie möglich erfüllt werden.

Eine Stadtstruktur wird in dem Projekt als die Kombination eines *Flächennutzungssystems* und eines *Verkehrssystems* definiert:

- Ein *Flächennutzungssystem* ist eine räumliche Konfiguration von Wohnungen, Arbeitsplätzen und öffentlichen Einrichtungen in einer Stadtregion, das heißt eine Konfiguration von Flächennutzungstypen wie hochverdichteten Stadtkernen, dichtbebauten innerstädtischen Wohngebieten, Großwohnanlagen mit Hochhäusern, niedrig verdichteten Einfamilienhausgebieten, Mischgebieten mit mittlerer Bebauungsdichte, Industrie- und Gewerbegebieten oder Einkaufszentren auf der grünen Wiese. Flächennutzungsszenarien, die untersucht werden, sind:
 - die 'kompakte' Stadt: urbane Verdichtung im Stadtzentrum,
 - die 'polyzentrische' Stadt: dezentrale Konzentration in Nebenzentren,
 - die 'Gartenstadt': Konzentration um periphere Siedlungskerne,
 - die 'autogerechte' Stadt: Auflösung urbaner Strukturen.

Innerhalb eines Flächennutzungssystems sind unterschiedliche Verteilungen von Aktivitäten und räumlichen Interaktionen möglich. Bei einer gegebenen Verteilung von Wohnungen und Arbeitsplätzen ist die Zahl von Verknüpfungsmustern durch Pendlerbeziehungen zwischen Wohnungen und Arbeitsplätzen praktisch unendlich. Ebenso sind bei einer gegebenen Verteilung von Einkaufs- und Dienstleistungsstandorten praktisch unendlich viele Konstellationen von Einkaufs- und Besorgungsfahrten möglich. Welche Aktivitäts- und Interaktionsmuster sich entwickeln, hängt von den Eigenschaften des die Standorte verbindenden Verkehrssystems ab.

- Ein *Verkehrssystem* wird durch die Verkehrsinfrastruktur, das heißt durch das Netz der Straßen, öffentlichen Nahverkehrslinien und Fuß- und Radwege, und durch die Bedienungsqualität im öffentlichen Nahverkehr definiert. Das Verkehrssystem wird außerdem durch staatliche Regelungen bestimmt, die die Mobilität in den Verkehrsnetzen durch technische Normen, rechtliche oder organisatorische Festsetzungen oder Steuern und Benutzungsgebühren beeinflussen. Verkehrssysteme, die untersucht werden, sind:

- das 'Sternnetz': ÖPNV und Straßennetz überwiegend radial,
- das 'Gitternetz': ÖPNV und Straßennetz überwiegend rasterförmig,
- das 'gemischte' Netz: ÖPNV radial, Straßennetz rasterförmig,
- das 'aufgelöste' Netz: locker verknüpfte lokale Netze.

Jede dieser Netzkonfigurationen kann mit unterschiedlichen Bedienungsqualitäten und Fahrpreisniveaus im öffentlichen Nahverkehr und unterschiedlichen Annahmen über Pkw-Besitz, Benzinkosten, Straßenbenutzungsgebühren und Geschwindigkeitsbeschränkungen im Straßennetz kombiniert werden.

Es hat bisher nur wenige Untersuchungen gegeben, in denen die sozialen und ökologischen Auswirkungen verschiedener Stadtstrukturen systematisch verglichen worden sind. Die ISGLUTI-Studie (Webster u.a., 1988) untersuchten nur relativ kleine Modifikationen der existierenden Flächennutzungs- und Verkehrssysteme und berücksichtigten nur ein Minimum an ökologischen Indikatoren. Rickaby (1987; 1991; Rickaby u.a., 1992) verwendeten das Stadtentwicklungsmodell TRANUS (de la Barra u.a., 1984; de la Barra, 1989) zum Vergleich räumlicher Stadtstrukturen in Bezug auf Erreichbarkeit und Energieverbrauch, die Ergebnisse waren jedoch widersprüchlich wegen einer zu beschränkten Palette untersuchter Alternativen. Roy (1992) bestätigte am Beispiel einer hypothetischen kreisförmigen Stadt die in diesem Arbeitspapier untersuchte Hypothese, daß räumliche Reorganisation (Umzüge) mehr zur Verkehrsvermeidung beitragen kann als Erhöhung der Dichte (Bautätigkeit).

Das in dem laufenden Forschungsprojekt verwendete Modell ist ein auf dem Prinzip der Mikrosimulation beruhendes Nachfolgermodell des im Abschnitt 5 dieses Arbeitspapiers beschriebenen Stadtentwicklungsmodells (Spiekermann und Wegener, 1992). In dem Modell sind Entscheidungen über Bauinvestitionen exogen, Entscheidungen über die Standorte von Aktivitäten und über Ortsveränderungen jedoch endogen in Abhängigkeit von Arbeitsplatzangebot, Wohnungsangebot und Verkehrsangebot in Form von Verkehrskosten und Kapazität der Verkehrsnetze. Ein wichtiges Element des neuen Modells ist seine Kombination mit einem Geoinformationssystem (Spiekermann und Wegener, 1993). Das Geoinformationssystem wird dazu benutzt, aus einer räumlichen Datenbasis hypothetische Stadtstrukturen für Dortmund zu generieren. Jedes so erzeugte Flächennutzungssystem weist die gleiche sozioökonomische Zusammensetzung der Bevölkerung, die gleiche Struktur der Arbeitsplätze und das gleiche Angebot an öffentlichen und privaten Einrichtungen auf wie die tatsächliche Stadtregion.

7 Fazit

Diese Arbeitspapier berichtete über ein Forschungsprojekt, in dem ein integriertes Flächennutzungs- und Verkehrsmodell dazu verwendet wurde, die Auswirkungen von Strategien zur Reduzierung von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen des Verkehrs durch Maßnahmen zur Beeinflussung der Verkehrsnachfrage zu erkunden. Die Simulationen haben gezeigt, daß mit einer Kombination von Maßnahmen zur Verteuerung des motorisierten Individualverkehrs und zur Attraktivitätssteigerung des öffentlichen Personennahverkehrs eine signifikante Reduzierung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen des Stadtverkehrs

ohne wesentliche Änderungen der Siedlungsstruktur und *ohne* unannehmbare Einbußen an Mobilität oder Verschärfungen der sozialen Disparitäten und *ohne* zusätzliche Kosten für die öffentliche Hand erreicht werden kann. Diese Ergebnisse erfordern eine Überprüfung der unter Fachleuten weitverbreiteten Überzeugung, daß der einzige Weg zur Reduzierung des Autoverkehrs in Stadregionen die Rückkehr zu durchmischten, verdichteten Flächennutzungsformen ist.

Die Dringlichkeit der Forderung, Energieverbrauch und CO₂-Emissionen in Stadregionen zu verringern könnte umfassenden räumlichen Stadtentwicklungsmodellen eine neue Chance geben. Heute würden diese Modelle jedoch nicht, wie früher dazu benutzt, die Richtung der weiteren Ausdehnung der Stadt vorherzusagen, sondern dazu, Informationsgrundlagen für die räumliche *Reorganisation* von Stadregionen in Richtung auf eine größere Sozial- und Umweltverträglichkeit zu liefern.

Allerdings müssen diese Modelle, um nützlich zu sein, auf die neuen Fragen, die heute für die Städte wichtig sind, Antworten geben können. Sie müssen die langfristigen Auswirkungen von Maßnahmen im Bereich der Flächennutzungs- und Verkehrsplanung vorausschätzen, nicht nur in Form von Verkehrsindikatoren wie Reisezeit oder Wegelänge oder Erreichbarkeit, sondern auch in Form von ökologischen Indikatoren wie Energieverbrauch, Luftverschmutzung, Flächenverbrauch, Lärmbelastung und Verkehrsunfällen. Zweitens müssen sie in der Lage sein, die Auswirkungen der untersuchten Maßnahmen auf verschiedene soziale oder ethnische Gruppen in der Stadt abzuschätzen. Schließlich müssen sie die potentielle Substitution zwischen Standortwahl- und Wegeentscheidungen in Bezug auf tägliche Aktivitäten wie Wohnen, Arbeiten, Einkaufen oder Ausbildung und Freizeit abbilden können. Heute gibt es nur wenige Modelle, die diesen Kriterien genügen (Wegener, 1994a; 1994c). Allerdings lassen jüngere Entwicklungen in den Bereichen Datenverfügbarkeit, Modellierungstechniken und Computertechnik erwarten, daß eine neue Generation von Stadtmodellen entstehen wird, diese Anforderungen erfüllen.

8 Literatur

- Bergmann, E., Kanzlerski, D., Otto, I., Peters, A., Schmitz, S., Wagner, G., Wiegandt, C.-C. (1993): Raumstruktur und CO₂-Vermeidung. *Informationen zur Raumentwicklung* 8.1993, 489-567.
- Banister, D. (1992): Energy use, transport and settlement patterns. In: Breheny, M.J., Hg.: *Sustainable Development and Urban Form*. European Research in Regional Science 2. London: Pion, 160-181.
- Breheny, M.J., Hg. (1992): *Sustainable Development and Urban Form*. European Research in Regional Science 2. London: Pion.
- Breheny, M. (1993): Counterurbanisation and sustainable urban form. Referat auf dem Fourth International Workshop on Technological Change and Urban Form: Productive and Sustainable Cities. Department of Urban and Regional Planning, University of California at Berkeley, 14.-16.04.1993.
- Brotchie, J.F. (1984): Technological change and urban form. *Environment and Planning A* 16, 583-596.

- de la Barra, T. (1989): *Integrated Land Use and Transport Modelling*. Cambridge: Cambridge University Press.
- de la Barra, T., B. Pérez and N. Vera (1984): TRANUS-J: Putting large models into small computers. *Environment and Planning B: Planning and Design* 11, 87-101.
- EMNID (1992): KONTIV 1989. Tabellenteil. Bielefeld: EMNID.
- Foucher, M. (1993): *Fragments d'Europe: Atlas de l'Europe médiane et orientale*. Paris: Fayard.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (1990): *Grünbuch über die städtische Umwelt*. Luxemburg: Büro für offizielle Veröffentlichungen der EG.
- Krause, J. (1993): *Berücksichtigung der sozialen Sicherheit bei der Entwicklung von städtischen (Verkehrs-)Konzepten*. Braunschweig: Plan+Rat.
- VROM: Ministerium für Wohnungswesen, Raumordnung und Umwelt (1990): *Vierte Note (EXTRA) zur Raumordnung in den Niederlanden*. Gekürzte deutsche Ausgabe. Den Haag: VROM.
- Nagel, T. (1993): *Umweltgerechte Gestaltung des deutschen Steuersystems. Theoretische und empirische Analyse der Aufkommens- und Verteilungseffekte*. Frankfurt/New York: Campus Verlag.
- Newman, P., Kenworthy, J. (1989): *Cities and Automobile Dependence. An International Sourcebook*. Aldershot: Gower Technical.
- Rawls, J. (1971): *A Theory of Justice*. Cambridge, MA: Harvard University Press. Deutsch: (1975): *Eine Theorie der Gerechtigkeit*. Frankfurt/New York: Campus Verlag.
- Rickaby, P.A. (1987): Six settlement patterns compared. *Environment and Planning B: Planning and Design* 14, 193-223.
- Rickaby, P.A. (1991): Energy and urban development in an archetypal English town. *Environment and Planning B: Planning and Design* 18, 153-175.
- Rickaby, P.A., Steadman, J.P., Barret, M. (1992): Patterns of land use in English towns: Implications for Energy Use and Carbon Dioxide Emissions. In: Breheny, M.J., Hg.: *Sustainable Development and Urban Form*. European Research in Regional Science 2. London: Pion, 182-196.
- Roy, J.R. (1992): Transport efficiency in cities with subcentres. *Land Use, Development and Globalisation*. Selected Proceedings of the Sixth World Conference on Transport Research, Lyon. St.-Just-la-Pendue: Presse de l'Imprimerie Chirat, 291-302.
- Schmitz, S. (1991): Minderung von Schadstoff- und CO₂-Emissionen im Straßenverkehr - eine Herausforderung für Raumordnung und Städtebau. *Informationen zur Raumentwicklung* 1/2, 1-18.
- Spiekermann, K., Wegener, M. (1992): The ideal urban structure - efficient, equitable, ecological. Referat auf dem Advanced Studies Institute Transport and Environment, Free University of Amsterdam, 7.-11.12. 1992.
- Spiekermann, K., Wegener, M. (1993): Microsimulation and GIS: prospects and first experience. Referat auf der Third International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, Atlanta, 23.-25.07.1993.
- Steiner, J. (1991): Raumgewinn und Raumverlust: Der Januskopf der Geschwindigkeit. *Raum* 3, 24-27.
- Stete, G. (1993): Frauenwege - Männerwege. In: Amt für Frauenfragen, Stadt Heidelberg, Hg. (1993): *Frauen wollen vorankommen - Verkehrspolitik aus Frauensicht*. Heidelberg: Stadt Heidelberg.

- Verkehrsclub der Schweiz (1989): *Der Ökobonus: Vorschläge zur Realisierung des Modells*. Herzogenbuchsee.
- Webster, F.V., Bly, P.H., Paulley, N.J., Hg. (1988): *Urban Land-Use and Transport Interaction. Policies and Models*. Report of the International Study Group on Land-Use/Transport Interaction (ISGLUTI). Aldershot: Avebury.
- Wegener, M. (1983): *Description of the Dortmund Region Model*. Arbeitspapier 8. Dortmund: Institut für Raumplanung, Fachbereich Raumplanung der Universität Dortmund.
- Wegener, M. (1985): The Dortmund housing market model: a Monte Carlo simulation of a regional housing market. In: K. Stahl, Hg. (1985): *Microeconomic Models of Housing Markets*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 239. Berlin/Heidelberg/New York: Springer Verlag, 144-191.
- Wegener, M. (1994a): Operational urban models: state of the art. *Journal of the American Planning Association* **60**, 17-29.
- Wegener, M. (1994b): Räumliche Mobilität als Gerechtigkeitsproblem. Referat auf der Tagung "'Um die Wette leben" - Geschwindigkeit, Raum und Zeit' der Fachgruppe Mensch und Verkehr der SRL, Akademie der Diözese Rottenburg-Stuttgart, Weingarten, 26.-28.01.1994.
- Wegener, M. (1994c): Applied Models of Urban Land Use, Transport and Environment. Referat auf der Tagung *Network Infrastructure and the Urban Environment: Recent Advances in Land-Use/Transport Modeling*. Smådalarö Gård, Schweden, 18.-20.08.1994.
- Wegener, M. (1994d): *The End of the Industrial City*. Berichte aus dem Institut für Raumplanung. Dortmund: Institut für Raumplanung (in Vorbereitung).
- Zeller, C. (1992): *Mobilität für alle!*. Umriss einer Verkehrswende in einem autofreien Basel. Basel/Boston/Berlin: Birkhäuser Verlag.