

Berichte aus dem Institut für Raumplanung

43

Michael Wegener

Die Stadt der kurzen Wege:

Müssen wir unsere Städte umbauen?

*Teilbericht des von der
Deutschen Forschungsgemeinschaft
geförderten Forschungsprojekts
"Vergleich räumlicher Stadtstrukturen
auf Sozial- und Umweltverträglichkeit"*

Dortmund, Januar 1999

Institut für Raumplanung
Fakultät Raumplanung, Universität Dortmund
D-44221 Dortmund
Tel. 0231-7552291, Fax 0231-7554788

IRPUD

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert Ergebnisse des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Forschungsprojekts "Vergleich räumlicher Stadtstrukturen auf Sozial- und Umweltverträglichkeit". Weitere Ergebnisse des Projekts sind in folgenden Berichten enthalten:

- Franz Fürst, Ursus Himmelsbach und Petra Potz: *Leitbilder der räumlichen Stadtentwicklung im 20. Jahrhundert - Wege zur Nachhaltigkeit?* Berichte aus dem Institut für Raumplanung 41. Dortmund: Institut für Raumplanung, Universität Dortmund, 1999.
- Klaus Spiekermann: *Leitbilder der räumlichen Stadtentwicklung in der kommunalen Planungspraxis.* Berichte aus dem Institut für Raumplanung 42. Dortmund: Institut für Raumplanung, Universität Dortmund, 1999.

Ein Vorläufer dieses Berichts ist ein im Jahre 1994 erschienenes gleichnamiges Arbeitspapier (Wegener, 1994c). Für die in diesem Bericht beschriebenen Simulationsexperimente wurden das verwendete Simulationsmodell in Einzelheiten überarbeitet, die simulierten Verkehrsszenarien um Szenarien zur Flächennutzungsentwicklung ergänzt und die Darstellung des Forschungsstands zum Wechselverhältnis zwischen Siedlungsentwicklung und Verkehr auf den neuesten Stand gebracht.

Der Verfasser dankt seinen Kollegen Franz Fürst, Carsten Schürmann und Klaus Spiekermann für wichtige Hinweise und Verbesserungsvorschläge.

Dortmund, im Januar 1999

Michael Wegener

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Mobilität	6
3	Mobilität und Gerechtigkeit	9
4	Stadtstruktur und Mobilität	11
5	Das IRPUD-Modell	18
	5.1 Theoretische Grundlagen	18
	5.2 Modellstruktur	25
	5.3 Teilmodelle	27
	5.4 Modelldaten	29
	5.5 Planungsmaßnahmen	30
	5.6 Modellergebnisse	31
6	Müssen wir Dortmund umbauen?	32
	6.1 Die Untersuchungsregion	32
	6.2 Raum und Zeit	33
	6.3 Die Szenarien	34
7	Fazit	47
8	Zukünftige Arbeiten	49
9	Literatur	50

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 der Welt wesentlich reduziert werden muß (Enquête-Kommission, 1990). Für die Raumentwicklung bedeutet dies, daß vor allem die mit dem Automobil zurückgelegten Entfernungen verringert werden müssen.

Viele Fachleute sind der Meinung, daß die Zunahme des Stadtverkehrs und damit seines Energieverbrauchs und seiner CO₂-Emissionen eine Funktion der Siedlungsdichte ist, und empfehlen eine Rückkehr zu kompakten Flächennutzungsstrukturen mit hoher Dichte und kleinräumige Durchmischung der Nutzungen. Das Problem dieser Empfehlungen ist, daß der Nachweis ihrer Wirksamkeit bisher nicht erbracht werden konnte. Im Gegenteil, es gibt inzwischen genügend Hinweise, daß sie unter den heutigen Bedingungen eines weitgehend unregulierten Verkehrsmarkts und niedriger Verkehrskosten nicht zu einer signifikanten Senkung des Energieverbrauchs im Stadtverkehr führen würden. Damit stellt sich die für die Stadtplanung wichtige Frage, ob eine Rückkehr zu höheren Siedlungsdichten in Stadtregionen tatsächlich notwendig ist: Müssen wir unsere Städte umbauen?

Die Beantwortung dieser Frage erfordert die Abschätzung der Wirkungen von Maßnahmen zur Reduzierung des Verkehrsaufwands. Hierfür gibt es grundsätzlich drei methodische Ansätze. Erstens kann man Menschen befragen, wie sich ihr Mobilitätsverhalten bei Änderung der Rahmenbedingungen der Mobilität verändern würde ("stated preference"). Zweitens kann man aus Beobachtungen des Mobilitätsverhaltens von Menschen unter verschiedenen Rahmenbedingungen Schlüsse darauf ziehen, wie sie sich bei Änderungen dieser Rahmenbedingungen verhalten würden ("revealed preference"). Drittens kann man Mobilitätsverhalten in mathematischen Modellen simulieren.

Alle drei methodischen Ansätze haben Vor- und Nachteile. In Befragungen können auch subjektive Faktoren von Mobilitätsentscheidungen aufgedeckt werden. Befragungen leiden jedoch darunter, daß die Befragten nur Vermutungen darüber anstellen können, wie sie sich in noch unbekanntem Situationen verhalten würden; über die Validität dieser Vermutungen ist nichts bekannt. Empirische, auf Beobachtungen basierende Untersuchungen erzeugen differenzierte und verlässliche Ergebnisse; diese gelten jedoch nur für bereits existierende Situationen und sind deshalb zur Abschätzung der Wirkungen neuartiger Maßnahmen nicht geeignet. Auch ist es zumeist nicht möglich, beobachtete Verhaltensänderungen eindeutig einzelnen Ursachen zuzuordnen, da sich in der Realität zumeist mehrere Einflußgrößen zugleich verändern.

Mathematische Modelle des menschlichen Verhaltens beruhen ebenfalls auf empirischen Befragungen oder Beobachtungen, nur daß in ihnen die Schlußfolgerungen quantifiziert werden. Für mathematische Modelle gilt deshalb streng genommen wie für empirische Verfahren, daß ihre Ergebnisse nicht universell gültig sind, sondern nur in Situationen, die denen ähnlich sind, in denen ihre Parameter geschätzt wurden. Dennoch kann in mathematischen Modellen abgebildetes menschlichen Verhalten bei Einhaltung bestimmter Regeln der Modellbildung in gewissen Grenzen auch auf unbekannte Situationen übertragen werden. Zudem sind mathematische Modelle die einzige Methode, in der die Wirkung einzelner Einflußfaktoren abgeschätzt werden kann, indem alle übrigen Einflußfaktoren konstant gehalten werden.

Dies ist der Schlüssel zur Identifizierung erfolgversprechender Maßnahmen. Mathematische Simulationsmodelle, in denen die Wechselwirkungen zwischen Flächennutzung und Verkehr abgebildet werden, können daher nicht nur dazu benutzt werden, die wahrscheinliche räumliche Entwicklung der Stadt und die aus ihr resultierende Mobilität vorherzusagen, sondern darüber hinaus Informationen für ihre Steuerung in Richtung auf eine sozial- und umweltverträgliche Stadt- und Verkehrsstruktur bereitzustellen.

In dem hier dokumentierten Projekt wurde ein solches Modell dazu verwendet, die Auswirkungen von Strategien zur Reduzierung von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen des Verkehrs durch Maßnahmen zur Beeinflussung der Flächennutzung und der Verkehrsnachfrage abzuschätzen.

Die Modellsimulationen zeigen, daß Flächennutzungsmaßnahmen allein nur wenig zur Reduzierung der CO₂-Emissionen beitragen, daß jedoch eine Kombination von Flächennutzungsmaßnahmen und 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. Es konnte zudem nachgewiesen werden, daß dies weder zu unzumutbaren Opfern an Mobilität und einer Verstärkung sozialer Disparitäten noch zu zusätzlichen Kosten für die öffentliche Hand führen würde.

Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit jüngeren empirischen Befunden aus vielen Ländern. Sie besagen, daß eine verdichtete und durchmischte Siedlungsstruktur lediglich eine Voraussetzung für eine Stadt der kurzen Wege ist, aber allein - ohne flankierende Maßnahmen im Verkehrsbereich - diese nicht herbeiführt. Dagegen bietet die gegenwärtige Siedlungsstruktur europäischer Städte mit ihrer im Vergleich zu amerikanischen Städten noch immer relativ hohen Dichte ein großes bisher ungenutztes Potential zur Verringerung der mit dem Pkw zurückgelegten Entfernungen - lediglich durch Umorganisation, das heißt bessere räumliche Zuordnung der Aktivitäten ohne einen grundlegenden Umbau ihrer räumlichen Struktur.

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 elektronische 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. Raumaneignung bedeutet die Herstellung einer Beziehung zwischen Mensch und Raum: von dauerhafter physischer Veränderung (Bautätigkeit) über transitorische Raumnutzung (Wohnen, Arbeiten, Einkaufen, Ausbildung, Freizeit) zu immaterieller Ortsbezogenheit (Vertrautheit, Gewohnheit, soziale Integration). Abbildung 1 deutet die komplexen Wechselbeziehungen zwischen Raumaneignung und Raumüberwindung an.

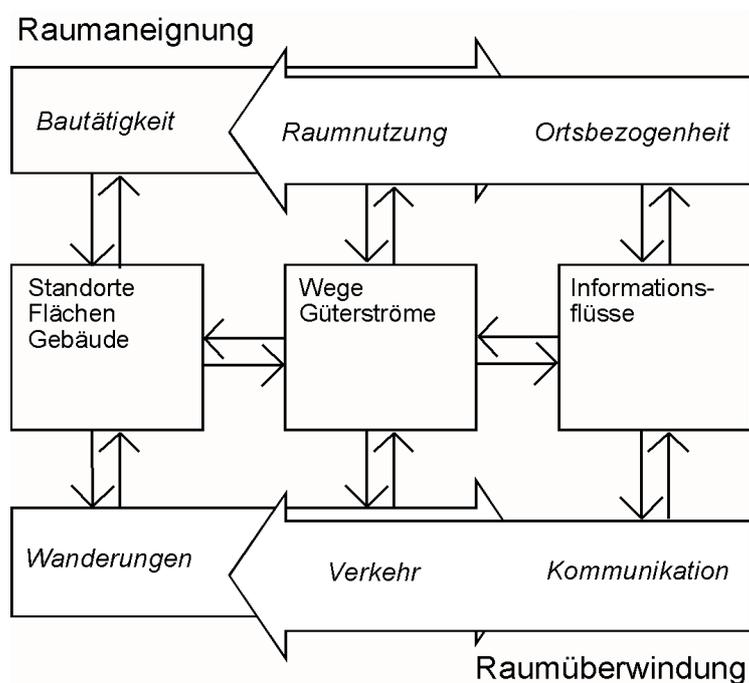


Abbildung 1. Raumaneignung und Raumüberwindung

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. Reise-pioniere 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 wieder-zukehren."

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 erleichtert berufliche und soziale Mobilität, führt jedoch auch oft 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 auf Kosten der Nähe und damit den Verlust regionaler oder lokaler 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 - daß ihre ursprünglich befreiende und entlastende Wirkung in ihrer unbegrenzten Steigerung sich in ihr Gegenteil verkehrt - teilt Mobilität mit anderen technischen Entwicklungen. Dies allein wäre kein Grund für die Raumplanung, sich mit ihr zu befassen - wären da nicht ihre räumlichen und 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. Straßen und Flughäfen beanspruchen immer mehr Flächen in den Städten und für den Naturhaushalt wichtigen 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 Ungerechtigkeit 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 Regierung versprach, die CO₂-Emissionen aus allen Quellen bis zum Jahr 2005 um dreißig Prozent gegenüber 1987 zu reduzieren. Auf der nachfolgenden Klimakonferenz von Kyoto im Jahre 1997 verpflichteten sich die Länder der Europäischen Union, ihre CO₂-Emissionen gegenüber 1990 um acht Prozent zu reduzieren. Demgegenüber kam die vom Deutschen Bundestag eingesetzte Enquête-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" bereits 1990 zu dem Schluß, daß die reichen Industrieländer wie Deutschland ihre Treibhausgasemissionen langfristig sogar um 80 Prozent reduzieren müssen, wenn den Entwicklungsländern eine maßvolle Steigerung ihres Energieverbrauchs zur Entwicklung ihrer Wirtschaft zugestanden werden soll (Enquête-Kommission, 1990).

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 zu erhöhen, daß sie seinen tatsächlichen 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 Durchsetzung erhoben. Der wichtigste Einwand ist, daß eine Verteuerung des Benzins vor allem Haushalte mit geringem Einkommen treffen würde, und daß 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 heutigen Mobilitätschancen sozial gerecht verteilt sein, und wie sähe eine 'gerechte' Verteilung 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 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 der gegenwärtigen Verteilung der Automobilität eine sozial gerechte Verteilung der zusätzlichen Belastungen aussehen sollte. Theoretisch gibt es vier Definitionen von Gerechtigkeit bei der Zuteilung von Gütern oder Belastungen bei gegebenen Ausstattungsunterschieden (vgl. Wegener, 1994b):

- *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, so daß alle Individuen denselben Prozentsatz ihres bisherigen Verbrauchs einsparen müßten. Eine solche Verteilung würde 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.

Alle diese Betrachtungsweisen können kritisiert werden, weil sie die Benutzung des Automobils als positives Gut sehen, 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 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, kleinere Haushalte, zunehmende Frauenerwerbstätigkeit, 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 automobiler Erreichbarkeit, großzügigem Parkplatzangebot und niedrigen Bodenpreisen an. Die Dezentralisierung der Bevölkerung verläuft noch immer schneller als die der Arbeitsplätze, so daß die räumliche Trennung von Wohnen und Arbeiten weiter zunimmt.

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 akzeptable 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 Stadtverkehrs und damit seines Energieverbrauchs und seiner CO₂-Emissionen eine Funktion der Siedlungsdichte ist, und empfehlen eine Rückkehr zu kompakten Flächennutzungsstrukturen mit hoher Dichte und kleinräumige Durchmischung der Nutzungen. Darstellungen der Diskussion finden sich in Breheny (1992), Bergmann u.a. (1993), Banister (1995) und Holz-Rau (1997).

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 führte das Vertrauen in diese Hypothese Ende der achtziger und Anfang der neunziger Jahre zu Empfehlungen wie

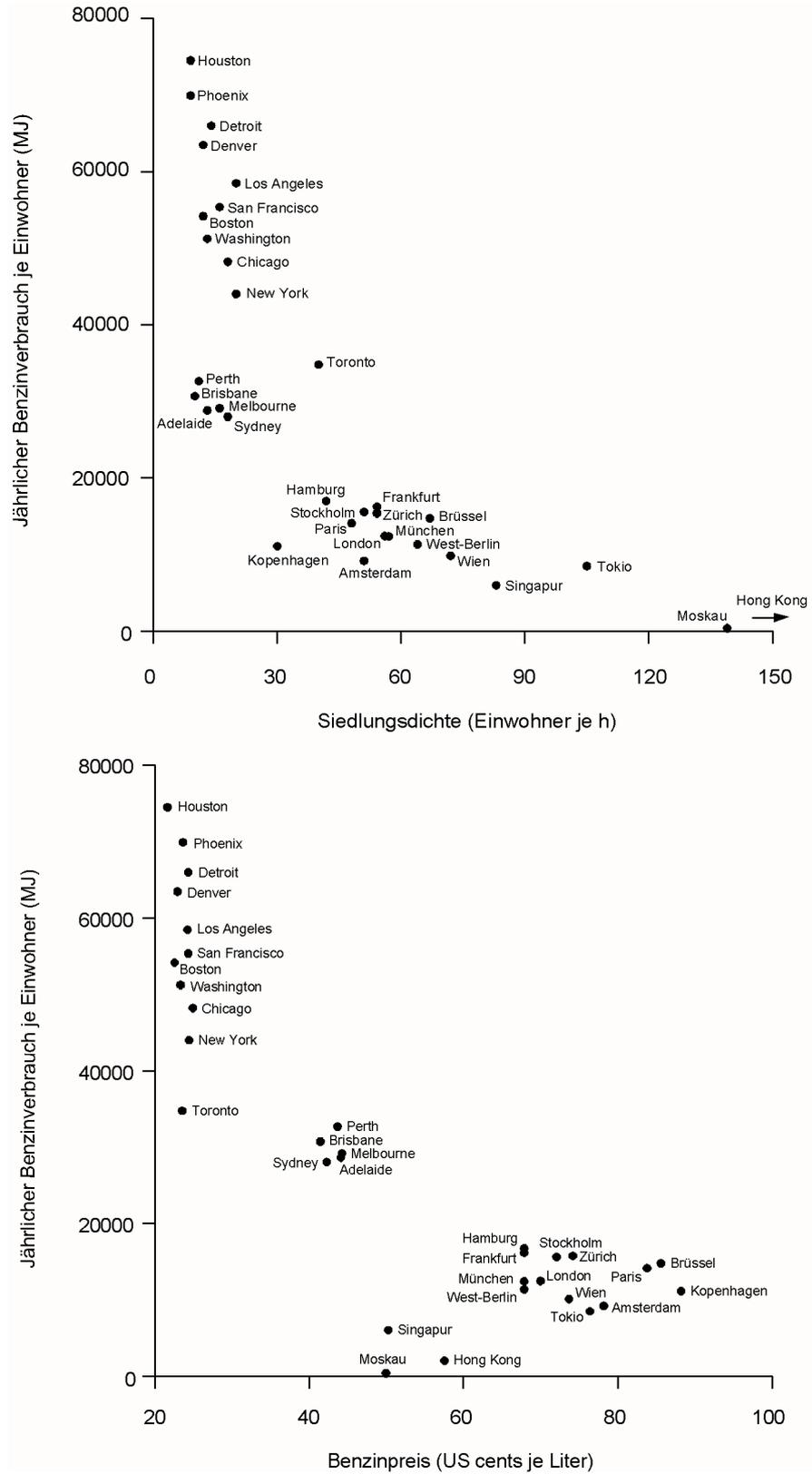


Abbildung 2. Jährlicher Benzinverbrauch je Einwohner als Funktion von Siedlungsdichte (oben) und Benzinpreis (unten) im Jahre 1980 (Newman und Kenworthy, 1989).

"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 (VROM, 1990)

"Die strengen Raumordnungspolitiken der letzten Jahrzehnte haben zur Trennung der Bodennutzung geführt. Die daraus resultierende Entwicklung ausgedehnter Stadtrand siedlungen 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 Vergangenheiten 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 Europäischen Kommission (1990)

Das Problem dieser Maßnahmenempfehlungen war, daß der Nachweis ihrer Wirksamkeit, nämlich der Nachweis, daß eine Rückkehr zu höheren Siedlungsdichten unter den heutigen Bedingungen eines weitgehend unregulierten Verkehrsmarkts und niedrigen Verkehrskosten zu einer Senkung des Energieverbrauchs des Stadtverkehrs führen würde, nicht erbracht werden konnte.

Im Gegenteil, es gibt inzwischen eine zunehmende Zahl von empirischen Untersuchungen, die dieser Hypothese widersprechen:

- Rickaby (1987; 1991; Rickaby u.a., 1992) 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 suburbane Bevölkerung von England und Wales zwischen 1961 und 1991 nicht in die Umlandgemeinden gezogen sondern in den Kernstädten geblieben wäre, die gesamten Energieeinsparungen weniger als drei Prozent betragen hätten.

-
- Holz-Rau und Kutter (1995) stellten beim Vergleich baulich unterschiedlicher Stuttgarter Stadtbezirke fest, daß sich die Unterschiede in den zurückgelegten Wegeentfernungen nur zu geringem Teil auf bauliche Strukturen zurückführen lassen. Beim Einkaufsverkehr lassen sie sich weitgehend aus den jeweiligen Angebotsstrukturen ableiten. Beim Freizeitverkehr dominieren soziale Komponenten, die allerdings über Standortentscheidungen mit den baulichen Strukturen verbunden sein können. Beim Berufsverkehr spielt vor allem die Entfernung zur Innenstadt, in der nach wie vor ein großer Teil aller Arbeitsplätze konzentriert ist, die entscheidende Rolle.
 - Auf der Ebene der Region Stuttgart ermittelten Holz-Rau und Kutter in derselben Untersuchung einen signifikanten Zusammenhang zwischen Arbeitsplatzbesatz (dem Verhältnis von Beschäftigten zu Erwerbstätigen) einer Gemeinde und dem Verkehrsaufwand im Berufsverkehr. Die geringsten Wegeentfernungen im Berufsverkehr weisen Gemeinden auf, bei denen dieses Verhältnis nahe eins ist, das heißt bei denen so viele Arbeitsplätze zur Verfügung stehen, daß theoretisch alle Erwerbstätigen einen Arbeitsplatz am Ort finden könnten, während überwiegende Einpendlergemeinden (die Großstädte) und überwiegende Auspendlergemeinden (im Umland) deutlich längere Wegeentfernungen im Berufsverkehr aufweisen.
 - Kagermeier (1997) stellte am Beispiel des Großraums München fest, daß Nutzungsmischung im Zusammenhang mit einer dichten und kompakten städtebaulichen Gestaltung zwar für eine geringere Pkw-Nutzung im Binnenverkehr, weniger aber für den Verkehrsaufwand von Bedeutung ist. Laut Kagermeier sind die entscheidenden Variablen für den Verkehrsaufwand die Größenrelationen und Entfernungen zwischen der Kernstadt und den nachrangigen Zentren.
 - Bahrenberg (1997) wies durch einen Vergleich des Berufsverkehrs in Bremen in den Jahren 1970 und 1987 nach, daß die relative und absolute Zunahme der Pkw-Fahrten in diesem Zeitraum nur zu rund einem Zehntel auf längere Berufswege, das heißt auf raumstrukturelle Gründe, zurückzuführen war, während neunzig Prozent der zusätzlichen Pkw-Fahrer trotz gleich gebliebener Wegelänge auf den Pkw umstiegen - eine Folge der gestiegenen Motorisierung der Bevölkerung. Bahrenberg folgert daraus, daß eine Beeinflussung der Verkehrsmittelwahl über die Raumstruktur wenig erfolgversprechend ist.
 - In einem Überblick über nordamerikanische Studien konstatieren Miller u.a. (1998), daß der Zusammenhang zwischen Dichte und Wegelänge keinesfalls so eindeutig ist, wie es aus der Studie von Newman und Kenworthy hervorzugehen scheint. Sie weisen nach, daß die Bedeutung des Faktors Dichte in der Regel abnimmt, wenn weitere Erklärungsfaktoren wie sozioökonomische Merkmale der Verkehrsteilnehmer, Bedienungsqualität im öffentlichen Nahverkehr oder Pkw-Besitz berücksichtigt werden.

Sogar die Daten in Newman und Kenworthy können auf eine Weise interpretiert werden, die die einfache Abhängigkeit zwischen Dichte und Verkehrsaufwand 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 - allerdings werden auch auf diese Weise die großen Unterschiede im Energieverbrauch *zwischen* den amerikanischen Städten, etwa zwischen New York und Houston, nicht erklärt. Jetzt wird aber plausibel, warum der Kraftstoffverbrauch in australischen Städten viel niedriger ist als in amerikanischen Städten, obwohl die australischen Städte ähnlich dispers angelegt sind wie die amerikanischen: 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.

Allerdings gibt es außer dem wachsenden Konsens darüber, daß einfache Erklärungen des Zusammenhangs zwischen Siedlungsstruktur und Verkehrsaufwand nicht ausreichen, wenig Übereinstimmung darüber, wie die energetisch optimale Stadt des 21. Jahrhunderts aussehen sollte. Die Einschätzung von Schmitz (1991) gilt auch heute noch:

"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."

Zur Abschätzung der Wirkung von Maßnahmen zur Reduzierung des Verkehrsaufwands in Städten gibt es grundsätzlich drei methodische Ansätze. Erstens kann man Menschen befragen, wie sich ihr Mobilitätsverhalten bei Änderung der Rahmenbedingungen der Mobilität verändern würde ("stated preference"). Zweitens kann man aus Beobachtungen des Mobilitätsverhaltens von Menschen unter verschiedenen Rahmenbedingungen Schlüsse darauf ziehen, wie sie sich bei Änderungen dieser Rahmenbedingungen verhalten würden ("revealed preference"). Drittens kann man menschliches Mobilitätsverhalten in mathematischen Modellen simulieren.

Alle drei methodischen Ansätze haben Vor- und Nachteile. In Befragungen können auch subjektive Faktoren von Mobilitätsentscheidungen aufgedeckt werden. Befragungen leiden jedoch darunter, daß die Befragten nur Vermutungen darüber anstellen können, wie sie sich in noch unbekanntem Situationen verhalten würden; über die Validität dieser Vermutungen ist nichts bekannt. Empirische, auf Beobachtungen basierende Untersuchungen erzeugen differenzierte und verlässliche Ergebnisse; diese gelten jedoch nur für bereits existierende Situationen und sind deshalb zur Abschätzung der Wirkungen neuartiger Maßnahmen nicht geeignet. Auch ist es zumeist nicht möglich, beobachtete Verhaltensänderungen eindeutig einzelnen Ursachen zuzuordnen, da sich in der Realität zumeist mehrere Einflußgrößen zugleich verändern.

Mathematische Modelle des menschlichen Verhaltens beruhen ebenfalls auf empirischen Befragungen oder Beobachtungen, nur daß in ihnen die Schlußfolgerungen quantifiziert werden. Für mathematische Modelle gilt deshalb streng genommen wie für empirische Verfahren, daß ihre Ergebnisse nicht universell gültig sind, sondern nur in Situationen, die denen ähnlich sind, in denen ihre Parameter geschätzt wurden. Dennoch kann in mathematischen Modellen abgebildetes menschliches Verhalten bei Einhaltung bestimmter Regeln der Modellbildung in gewissen Grenzen auch auf unbekannte Situationen übertragen werden. Zudem sind mathematische Modelle die einzige Methode, in der die Wirkung einzelner Einflußfaktoren abgeschätzt werden kann, indem alle übrigen Einflußfaktoren konstant gehalten werden.

Dies ist der Schlüssel zur Identifizierung erfolgversprechender Maßnahmen. Mathematische Simulationsmodelle, in denen die Wechselwirkungen zwischen Flächennutzung und Verkehr abgebildet werden, können daher nicht nur dazu benutzt werden, die wahrscheinliche räumliche Entwicklung der Stadt und die aus ihr resultierende Mobilität vorherzusagen, sondern darüber hinaus Informationen für ihre Steuerung in Richtung auf eine sozial- und umweltverträgliche Stadt- und Verkehrsstruktur bereitzustellen.

Seit dem Aufkommen der Computer in den fünfziger Jahren hat es zahlreiche Versuche gegeben, mathematische Simulationsmodelle in der Planung einzusetzen. Mit wenigen Ausnahmen haben diese Modelle keinen dauerhaften Einfluß auf die Planungspraxis gehabt, und nur wenige von ihnen haben als Forschungsmethode an Universitäten überlebt (vgl. Wegener, 1994a).

Dies beginnt sich in jüngerer Zeit zu ändern. Heute werden durch die Umweldebatte 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 sein (Luhmann, 1986). Vielmehr müssen die langfristigen Folgen von Entscheidungen zur räumlichen Stadtentwicklung nach dem besten Stand des heutigen Wissens vorausgeschätzt und Politik und Öffentlichkeit deutlich gemacht werden.

Dies erfordert eine grundlegende Überprüfung der Art und Weise, wie unsere Städte funktionieren und sich weiter entwickeln und damit auf eine ganzheitliche Sicht von Städten als komplexe soziale, ökonomische, technische und räumliche Systeme. Hierzu können mathematische Modelle der räumlichen Stadtentwicklung einen Beitrag leisten.

Diese Einsicht hat dazu geführt, daß in vielen Ländern heute wieder mathematische Modelle der räumlichen Stadtentwicklung entwickelt werden. Dieses Mal werden die 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 (vgl. Wegener, 1995; 1998d). Insbesondere in den USA haben umweltorientierte Gesetze wie die Clean Air Act Amendments (CAAA) von 1990, der Intermodal Surface Transportation Efficiency Act (ISTEA) von 1991 und neuerdings der Transport Equity Act von 1998 die Städte dazu verpflichtet, bei Straßenbauvorhaben nicht nur deren verkehrlichen Auswirkungen, sondern auch deren Auswirkungen auf die Flächennutzung und Umweltqualität nachzuweisen. Dies hat dazu geführt, daß in vielen Staaten und Stadtregionen heute an integrierten Flächennutzungs-, Verkehrs- und Umweltmodellen gearbeitet wird. Ein prominentes Beispiel ist das Transportation and Land Use Model Integration Program (TLUMIP) des Staates Oregon (ODOT, 1999).

5 Das IRPUD-Modell

Das IRPUD-Modell ist ein Simulationsmodell intraregionaler Standortwahl- und Mobilitätsentscheidungen in einer Stadtregion (Wegener, 1983; 1985; 1998a; 1998b; 1998c). Es erhält seine räumliche Dimension durch die Einteilung der Untersuchungsregion in 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 Perioden von einem oder mehreren Jahren Dauer eingeteilt wird.

5.1 Theoretische Grundlagen

Die wichtigsten dem Modell zugrundeliegenden Theorieannahmen sind folgende:

Akteure

Der Prozeß der Siedlungsentwicklung wird als ein Teilprozeß der gesellschaftlichen Entwicklung verstanden, in dem öffentliche und private Akteure in Verfolgung ihrer jeweils unterschiedlichen Ziele zusammenwirken.

- *Öffentliche* Akteure der Stadtentwicklung sind die Gebietskörperschaften von der kommunalen bis zur gesamtstaatlichen Ebene. Für die räumliche Stadtentwicklung relevante Entscheidungen sind alle direkten Investitions- oder Baumaßnahmen der Stadt und anderer staatlicher Planungsträger sowie alle indirekten staatlichen oder kommunalen Maßnahmen aus dem Bereich der Steuergesetzgebung und des Bau- und Bodenmarkts einschließlich der Bauleitplanung. Die staatlichen Eingriffe in die räumliche Stadtentwicklung bilden den Planungssektor der räumlichen Stadtentwicklung.
- *Private* Akteure der Stadtentwicklung sind Unternehmen, Haushalte oder Individuen. Für die räumliche Stadtentwicklung relevante Entscheidungen sind deren nicht oder nur indirekt durch öffentliche Planungsentscheidungen beeinflussbaren Standortwahl- und Mobilitätsentscheidungen. Die privaten Akteure der Stadtentwicklung interagieren miteinander auf speziellen Märkten wie dem Bau- und Bodenmarkt oder dem Wohnungsmarkt. Die privaten Entscheidungen bilden daher den Marktsektor der räumlichen Stadtentwicklung.

'Plan' und 'Markt' sind somit zwei grundsätzliche Kategorien der Stadtentwicklung, die sich gegenseitig bedingen: Die öffentliche Planung setzt Rahmenbedingungen für das Verhalten der privaten Marktakteure oder greift selbst direkt in den Markt ein. Umgekehrt ist sie oft nur Reaktion auf vorangegangene Marktentwicklungen oder gar Erfüllungsgelhilfe ökonomisch starker Markt-

kräfte. Nicht selten beschränkt sich ihre Rolle darauf, durch den Markt verursachte Benachteiligungen kompensatorisch aufzufangen. Je nach Gesellschafts- und Wirtschaftssystem ist das Verhältnis von 'Plan' und 'Markt' verschieden. In jüngerer Zeit wird die Unterscheidung zwischen öffentlichen und privaten Akteuren durch halbstaatliche Akteure wie Public-Private Partnerships oder privatisierte öffentliche Unternehmen schwieriger.

Für das Modell ist allerdings nur wichtig, welche Entscheidungen welcher Akteure im Modell *endogen* abgebildet werden sollen, und welche Entscheidungen als *exogen* angenommen werden.

Entscheidungen staatlicher Akteure werden exogen vorgegeben, ebenso wie Entscheidungen halbstaatlicher oder privater Akteure, sofern sie weitgehend von öffentlichen Akteuren bestimmt werden, sowie private Großvorhaben wie größere Industrieansiedlungen, die als 'historische Einzelereignisse' von keinem Modell prognostiziert werden können. Alle übrigen Entscheidungen sind private Entscheidungen, die endogen im Modell abgebildet werden. Dabei wird unterstellt, daß ein relativ großer Anteil der für die Entwicklung der städtischen Siedlungsstruktur relevanten Entscheidungen durch private Akteure gefällt wird.

Dementsprechend bildet das Modell vor allem das Verhalten der privaten Akteure im Rahmen von durch 'öffentliche' Entscheidungen vorgegebenen Handlungsspielräumen ab.

Verhaltensannahmen

Über das Verhalten der Akteure werden auf der Grundlage handlungstheoretischer und sozialpsychologischer Theorieansätze folgende Grundannahmen getroffen:

- Die Akteure versuchen rational zu handeln, das heißt ihre Interessen (Präferenzen) wahrzunehmen und zu verwirklichen.
- Dabei unterliegen sie gruppenspezifisch unterschiedlichen ökonomischen, rechtlichen und informationellen Restriktionen.
- Angesichts dieser Restriktionen begnügen sie sich mit der Realisierung von Anspruchsniveaus.
- Die Höhe der Anspruchsniveaus wird durch die Erfahrungen der Akteure beim Versuch ihrer Realisierung bestimmt.
- Vor allem ökonomisch schwächere Akteure sind häufig gezwungen, nicht realisierbare Anspruchsniveaus zu reduzieren.

Präferenzen und Restriktionen sind die Bestimmungsgrößen für das Verhalten der Akteure in Entscheidungssituationen, in denen sie zwischen Handlungsalternativen auswählen. Es wird unterstellt, daß sie hierbei heuristische Entscheidungsregeln anwenden, was zur Folge hat, daß die Ergebnisse der Entscheidungen nicht durchweg optimal im Sinne der individuellen Nutzenmaximierung sind, sondern systematische Abweichungen vom Optimum darstellen, deren Verteilung geschätzt werden kann.

Flächennutzung und Verkehr

Mit diesen Grundannahmen über das Verhalten der privaten Akteure werden die für die räumliche Stadtentwicklung relevanten Standortwahl- und Mobilitätsentscheidungen im Modell abgebildet. Abbildung 4 zeigt die dabei berücksichtigten Wirkungszusammenhänge in Form des Regelkreises 'Siedlungsentwicklung und Verkehr' ('land-use transport feedback cycle'):

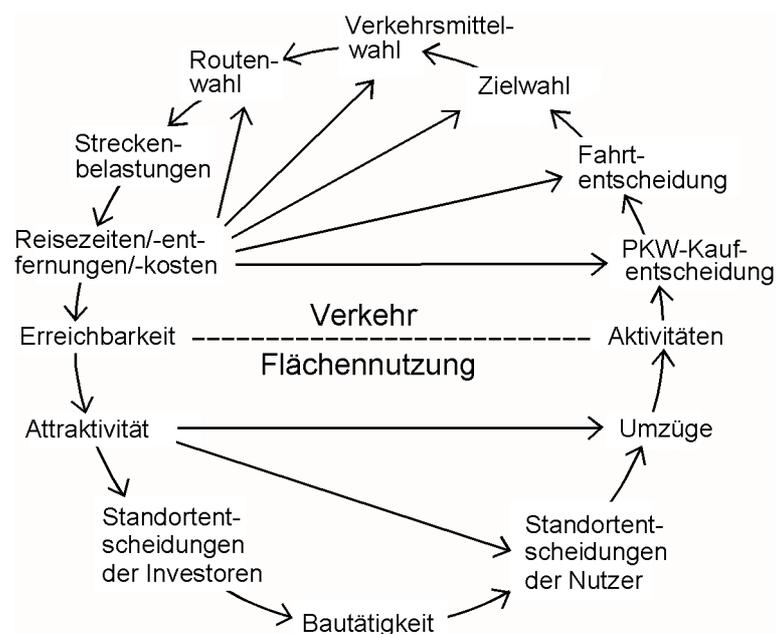


Abbildung 4. Der Regelkreis 'Siedlungsentwicklung und Verkehr'

- Die Verteilung der Flächennutzungen wie Wohngebiete oder Industrie- und Gewerbegebiete 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.

Mobilität

Die Abbildung von täglichen Mobilitätsentscheidungen erfolgt auf der Grundlage der folgenden Verhaltensannahmen:

Es wird angenommen, daß Menschen ihr Leben in ihrem jeweiligen *Aktionsraum* räumlich organisieren (Hägerstrand, 1970). Der Aktionsraum eines Individuums ist die Menge der ihm infolge seines Alters, seines Einkommen, seines Wohnorts und anderer Bestimmungsgrößen zur Verfügung stehenden räumlichen Gelegenheiten. Der Aktionsraum wird durch drei Arten von *Restriktionen* eingeschränkt:

- *Kapazitätsrestriktionen*: personenbezogene nichträumliche Einschränkungen der Mobilität wie Geldbudget, Zeitbudget, Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln oder Fähigkeit zu dessen Nutzung;
- *Kopplungsrestriktionen*: Einschränkungen der Verknüpfung von Aktivitäten durch Standorte und Zeitpläne von Einrichtungen und anderen Individuen;
- *Institutionelle Restriktionen*: Einschränkungen des Zugangs zu Einrichtungen durch öffentliche oder private Festlegungen wie Eigentum, Öffnungszeiten, Eintrittsgebühren oder Preise.

Bei täglichen Mobilitätsentscheidungen sind Geld- und Zeitbudgets die wichtigsten Restriktionen. Zahavi (Zahavi u.a., 1981) hat auf der Grundlage der Aktionsraumtheorie die Hypothese aufgestellt, daß Individuen bei ihren täglichen Mobilitätsentscheidungen keineswegs, wie es die herkömmliche Theorie des Verkehrsverhaltens unterstellt, den Raumüberwindungsaufwand *minimieren*, sondern vielmehr im Rahmen ihrer für die Raumüberwindung zur Verfügung stehenden Zeit- und Geldbudgets die Zahl der erreichten Gelegenheiten *maximieren*. Darüber hinaus stellte er durch Untersuchungen in zahlreichen Städten in verschiedenen Ländern fest, daß die für den Verkehr zur Verfügung stehenden Zeit- und Geldbudgets zwar innerhalb von Stadtregionen je nach

Alter, Einkommen und Wohnstandort variieren, im Mittel der ganzen Stadtregion aber eine hohe zeitliche Stabilität aufweisen.

Die Stabilität der Zeit- und Geldbudgets erklärt, warum jede Beschleunigung des Verkehrs in der Vergangenheit nicht für Zeiteinsparungen genutzt wurde, sondern für mehr und längere Fahrten - mit dem Ergebnis, daß die von einem durchschnittlichen Verkehrsteilnehmer im Verkehr verbrachte Zeit seit vielen Jahren bei etwas mehr als eine Stunde täglich liegt. Sie erklärt auch, warum die Tatsache, daß die Kraftstoffpreise in den letzten vierzig Jahren real auf weniger als die Hälfte gesunken sind, nicht zu einer Senkung der Verkehrsausgaben, sondern zu einer enormen Ausweitung des Autoverkehrs geführt hat. Sie erklärt schließlich auch, warum Beschleunigung und Kostensenkung zusammen es mehr und mehr Menschen erlauben, ohne größere Erhöhung ihrer für den Verkehr aufgebrauchten Zeit- und Geldbudgets mit weiten Fahrten verbundene Wohnstandorte im Umland der Städte zu wählen, und warum Einkaufszentren im dünnbesiedelten Umland Kunden aus einem immer größeren Einzugsbereich anziehen.

Die Theorie Zahavis erlaubt auch Aussagen darüber, was geschehen würde, wenn Geschwindigkeit und Kosten der Raumüberwindung durch Planung gezielt verändert werden würden. Beschleunigungen und Kostensenkungen des Verkehrs führen zu mehr, schnelleren und weiteren Fahrten, Verlangsamung und Verteuerung zu weniger, langsameren und kürzeren Fahrten. Dies hat mittelfristig Auswirkungen auf die Raumstruktur. Weitere Fahrten ermöglichen disperse Standorte und größere räumliche Arbeitsteilung, kürzere Fahrten erfordern eine engere räumliche Koordination der Standorte. Allerdings führen Verlangsamung und Verteuerung des Verkehrs nicht unbedingt zu einer Rekonzentration der Nutzungen in Richtung auf das Stadtzentrum. In vielen heutigen Stadtregionen ist die Bevölkerung bereits so weit dezentralisiert, daß eine Beschleunigung der Dezentralisierung der Arbeitsplätze wirksamer zu kürzeren Wegen führt als eine Rekonzentration der Einwohner.

Im IRPUD-Modell sind diese Verhaltensannahmen durch haushaltstypspezifische Zeit- und Geldbudgets für Verkehr sowie durch eine Einteilung der täglichen Wege in notwendige und disponible Fahrten operationalisiert. Berufs- und Schulwege gelten als notwendig, Einkaufs- und Freizeitfahrten als disponibel. Beide Budgets reagieren elastisch auf Änderungen der Geschwindigkeit und der Kosten des Verkehrs. Steigt (sinkt) der Zeitbedarf für die notwendigen Fahrten, erhöht (verringert) sich das Zeitbudget, und es werden weniger (mehr) disponible Fahrten gemacht. Steigen (sinken) die Kosten für die notwendigen Fahrten, erhöht (verringert) sich das Geldbudget, und es werden weniger (mehr) Pkw gekauft und weniger (mehr) disponible Fahrten gemacht. Auf diese Weise ergeben sich die charakteristischen Unterschiede in Motorisierung und Mobilitätsverhalten der Haushalte mit unterschiedlichem Alter, Einkommen und Wohnstandort.

Darüber hinaus wird sichergestellt, daß die mittleren Geldbudgets aller Haushalte einer Einkommensgruppe mit exogen prognostizierten Verkehrsbudgets übereinstimmen. Dies beruht auf der Annahme, daß im Falle einer starken Verteuerung des Verkehrs auch die übrigen Ausgaben der Haushalte durch höhere Lebenshaltungskosten, Heizungskosten, Mieten und Bodenpreise steigen würden, so daß für eine Umschichtung der Haushaltsausgaben zugunsten des Verkehrs wenig Spielraum bliebe.

Standortwahl

Der Einfluß von Geschwindigkeit und Kosten des Verkehrs auf das Standortwahlverhalten von Unternehmen und Haushalten wird durch verschiedene Formen von Erreichbarkeitsmaßen im Modell realisiert.

Standortsuchende Bauinvestoren und Unternehmen berücksichtigen bei der Standortwahl - neben anderen Attraktivitätsmerkmalen - die Erreichbarkeit der zur Auswahl stehenden Grundstücke in bezug auf die für die vorgesehene Nutzung relevanten Gelegenheiten. Bei der Wohnstandortwahl berücksichtigt ein wohnungssuchender Haushalt neben anderen Attraktivitäts- und Erreichbarkeitsmaßen sowohl die Entfernung der neuen Wohnung vom Arbeitsplatz des Haushaltsvorstands als auch die Entfernung von der alten Wohnung (Abbildung 5, links). Dies trägt der Tatsache Rechnung, daß auch nach einem Umzug soziale Kontakte zu der alten Wohnung bestehen bleiben. Aus ähnlichen Gründen berücksichtigt ein Erwerbstätiger bei der Wahl eines Arbeitsplatzes nicht nur dessen Entfernung von seiner Wohnung, sondern gegebenenfalls auch die von seinem alten Arbeitsplatz (Abbildung 5, rechts).

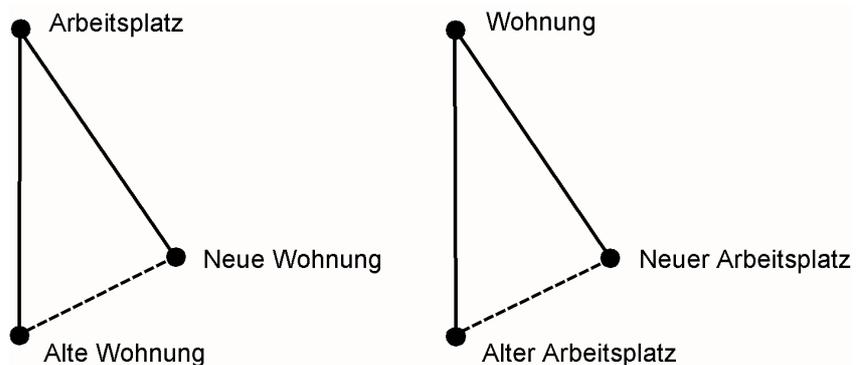


Abbildung 5. Wohnstandortwahl (links) und Wahl des Arbeitsplatzes (rechts)

Das 'Brotchie'-Dreieck

Abbildung 6 stellt den Zusammenhang zwischen Mobilitäts- und Standortwahlentscheidungen in einem von Brotchie (1984) vorgeschlagenen Diagramm dar:

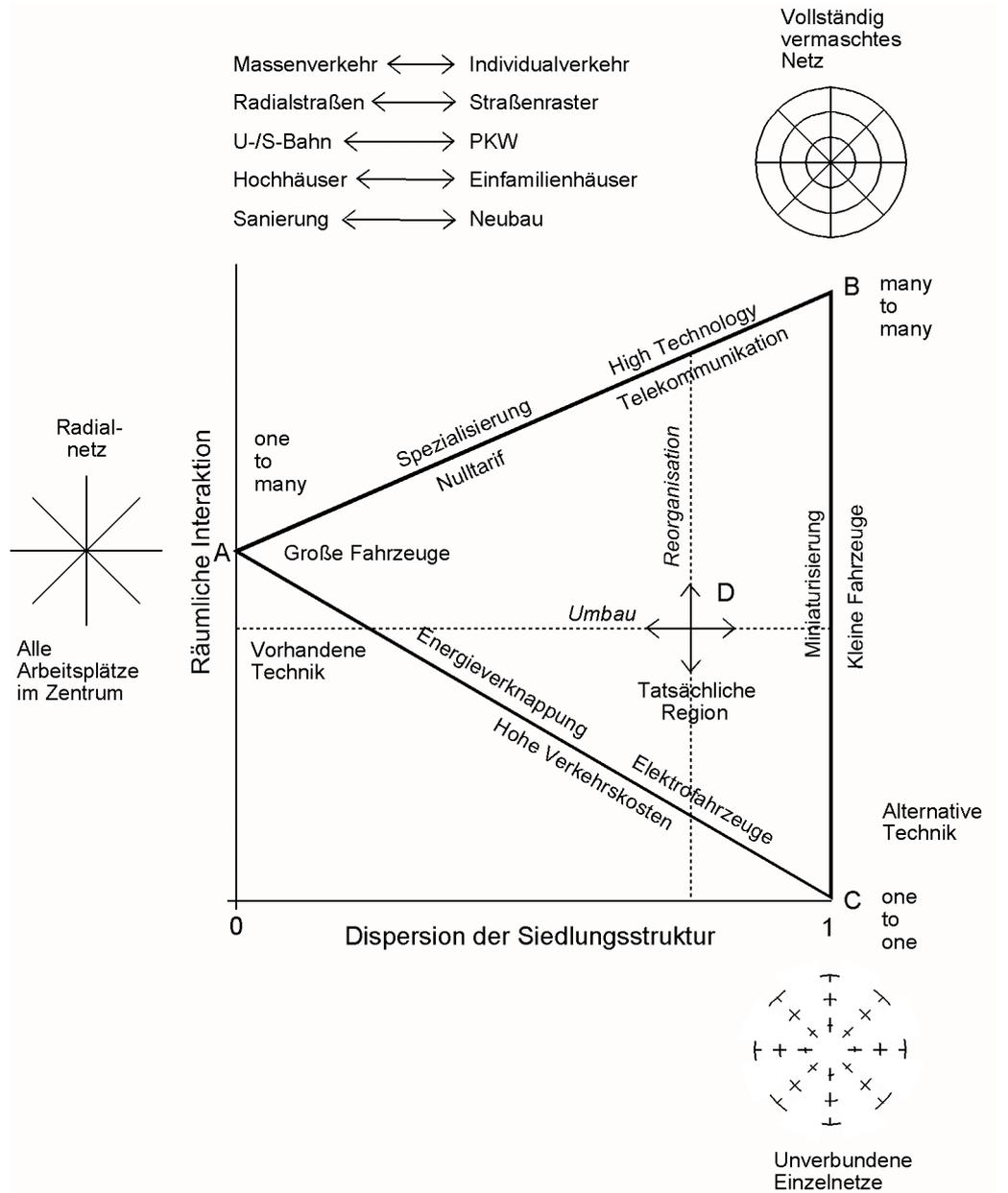


Abbildung 6. Das 'Brotchie'-Dreieck (Brotchie, 1984)

Das 'Brotchie-Dreieck' umfaßt das Universum möglicher Konstellationen von Raumnutzung und Raumüberwindung in einer Stadtregion. Die Raumnutzung ist auf der X-Achse als räumliche Dispersion (zum Beispiel mittlere Entfernung der Arbeitsplätze vom Stadtzentrum), die 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.

5.2 Modellstruktur

Das IRPUD-Modell prognostiziert für jede Simulationsperiode intraregionale *Standortentscheidungen* von Unternehmen, Wohnungsbauinvestoren und Haushalten, die aus ihnen resultierenden *Wanderungen* und *Verkehrsströme*, die Entwicklung der *Bautätigkeit* und *Flächennutzung* und die Wirkung öffentlicher *Planungseingriffe* in den Bereichen Wirtschaftsförderung, Wohnen, Infrastruktur und Verkehr.

Abbildung 7 ist eine schematische Darstellung der wichtigsten im Modell abgebildeten Teilsysteme und 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, Haushalte, Beschäftigte, Unternehmen und Bauinvestoren. 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, Betriebsverlagerungen und Betriebsschließungen,
- der Wohnungsmarkt: Zuwanderung, Abwanderung, Einzüge und Umzüge,
- der Bau- und Bodenmarkt: Neubau, Modernisierung und Abriß,
- der Verkehrsmarkt: Ortsveränderungen und ihre Folgen Erreichbarkeit, Staus, Unfälle, Lärm und Energieverbrauch.

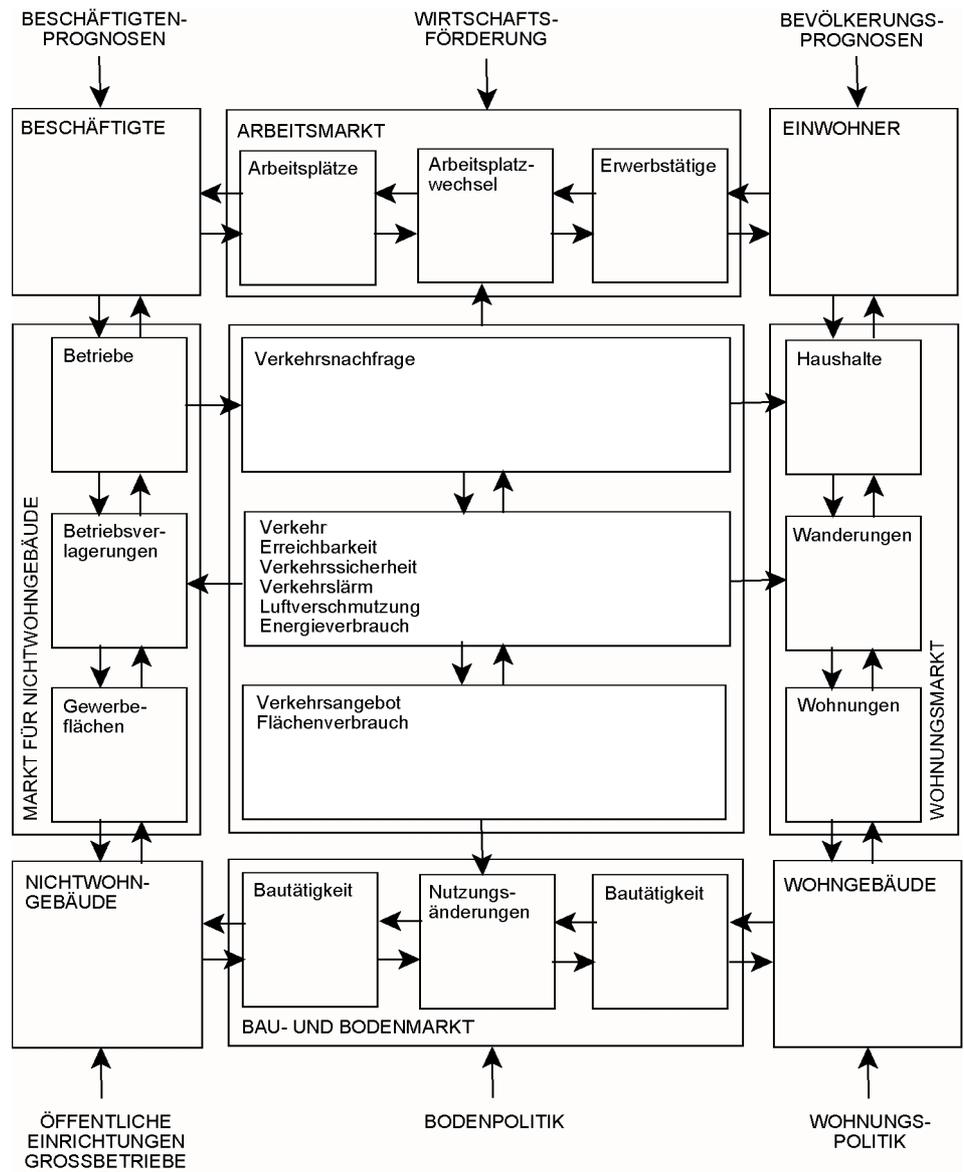


Abbildung 7. Das IRPUD-Modell

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 in der Gesamtregion eine Funktion exogener Vorgaben. Die Nachfrage in den Teilräumen der Stadtregion ist eine Funktion der Gesamtnachfrage; ihre räumliche Verteilung wird durch das Angebot an Arbeitsplätzen, Gebäuden und Flächen in den Teilräumen und dessen Attraktivität bestimmt. Die Attraktivität des Angebots ist allgemein eine benutzergruppenspezifische Funktion von Lage (Erreichbarkeit), 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 und Verkehr.

5.3 Teilmodelle

Das IRPUD-Modell hat eine modulare Struktur und besteht aus sechs eng miteinander verknüpften Teilmodellen, die in zyklischer Abfolge auf eine gemeinsame raumzeitliche Datenbasis einwirken.

- (1) Im Teilmodell *Verkehr* werden Berufs-, Einkaufs-, Dienstleistungs- und Ausbildungswege für vier sozioökonomische Gruppen und drei Verkehrsarten (Fahrrad/Fuß, ÖPNV, Pkw) berechnet. Das Modell ermittelt eine Lösung, bei der Pkw-Besitz, Wegezahl, Ziel-, Verkehrsmittel- und Routenwahl und Stauzeiten im Verkehrsnetz im Gleichgewicht sind.
- (2) Im Teilmodell *Altern* werden Veränderungen der Modellvariablen, die sich aus biologischen, technischen oder langfristigen sozioökonomischen Trends ergeben, mit Hilfe probabilistischer Übergangsmodele vom Markov-Typ mit dynamischen Übergangswahrscheinlichkeiten simuliert. Es gibt drei derartige Modelle, eins für Arbeitsplätze, eins für Einwohner und eins für Haushalte/Wohnungen.
- (3) Im Teilmodell *Öffentliche Maßnahmen* werden vom Benutzer vorgegebene öffentliche Planungsmaßnahmen aus den Bereichen Wirtschaftsförderung, Wohnungsbau, Gesundheits- und Sozialwesen, Bildung, Erholung und Verkehr ausgeführt.
- (4) Im Teilmodell *Private Bautätigkeit* werden Standortwahlentscheidungen privater Bauinvestoren simuliert, die Gewerbe- oder Wohngebäude abreißen, modernisieren oder zum Verkauf, zur Vermietung oder zur Eigennutzung neu errichten. Das Teilmodell ist somit ein Modell des regionalen Bau- und Bodenmarkts.
- (5) Im Teilmodell *Arbeitsplatzwechsel* wird die intraregionale Arbeitsplatzmobilität in Form von Entscheidungen von Arbeitnehmern für freie Arbeitsplätze innerhalb der Region simuliert.

- (6) Im Teilmodell *Wohnungsmarkt* werden intraregionale Wanderungen von Haushalten als Suchprozesse auf dem regionalen Wohnungsmarkt simuliert. Das Wohnungsmarktmodell ist ein stochastisches Mikrosimulationsmodell vom Monte-Carlo-Typ. Die Ergebnisse des Wohnungsmarktmodells sind intraregionale Wanderungsströme von Haushalten nach Haushaltstyp zwischen Wohnungen nach Wohnungstyp in den Zonen.

Detaillierte Beschreibungen der sechs Teilmodelle sind in Wegener (1998a) enthalten.

Abbildung 8 veranschaulicht die zyklische Abfolge der sechs Teilmodelle. Das Verkehrsmodell ist ein Gleichgewichtsmodell für einen Zeitpunkt. Alle übrigen Teilmodelle modellieren Veränderungen in einer Zeitperiode. Die Teilmodelle (2) bis (6) werden in jeder Simulationsperiode einmal ausgeführt, das Verkehrsmodell (1) am Anfang und am Ende jeder Periode. Jedes Teilmodell übergibt Informationen sowohl an das nachfolgende Teilmodell als auch an seine nächste eigene Iteration in der folgenden Periode.

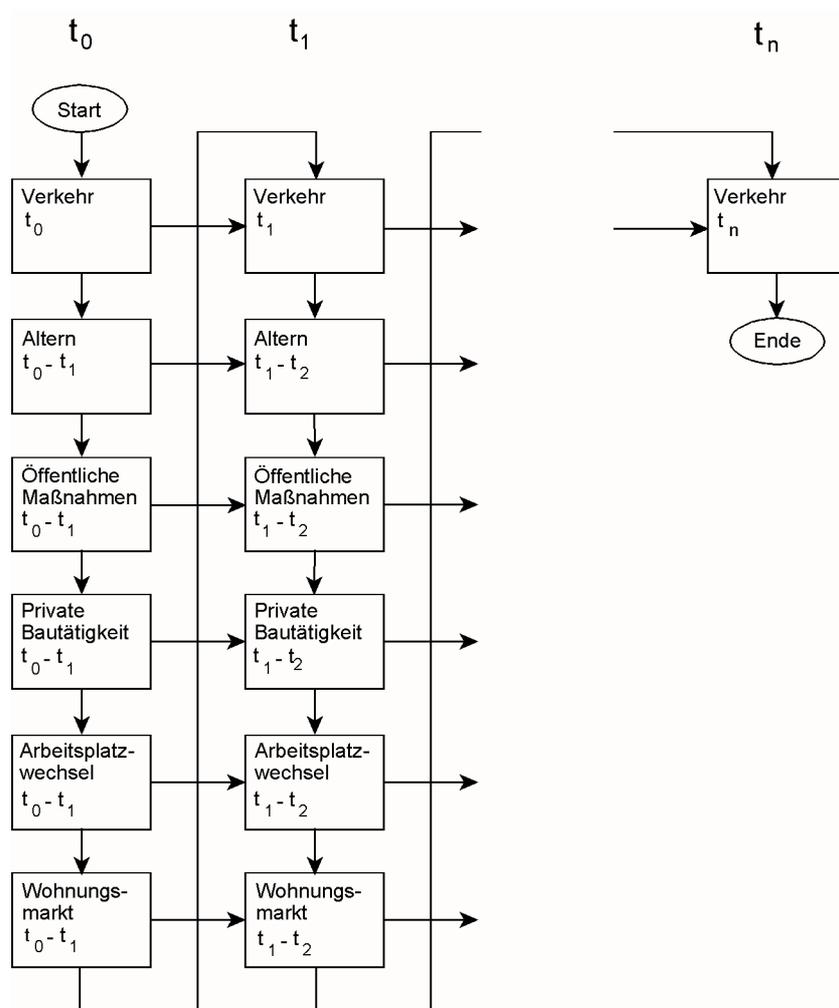


Abbildung 8. Abfolge der Teilmodelle im IRPUD-Modell

5.4 Modelldaten

Die für das IRPUD-Modell benötigten Daten können in vier Gruppen eingeteilt werden: Modellparameter, Regionsdaten, Zonendaten und Netzdaten:

Modellparameter

Modellparameter sind alle Eingabedaten zur Festlegung von Lage und Verlauf der Modellgleichungen. Es gibt sechs Gruppen von Modellparametern:

- Bevölkerungsparameter
- Haushaltsparameter
- Wohnungsparameter
- technische Parameter
- monetäre Parameter
- Präferenzparameter

Regionsdaten

Das Modell benötigt Informationen über die ökonomische und demographische Entwicklung der Gesamtregion:

- Beschäftigung
- Zuwanderung
- Abwanderung

Zonendaten

Die Zonendaten beschreiben die Verteilung von Gebäuden und Aktivitäten in der Stadtregion im Basisjahr. Für jede Zone werden die folgenden Daten benötigt (die Zahlen in Klammern geben die Anzahl Klassen an):

- Bevölkerung: Nationalität (2), Geschlecht (2), Alter (20)
- Erwerbstätige/Arbeitslose: Nationalität (2), Geschlecht (2), Qualifikation (4)
- Haushalte: Nationalität (2), Alter (3), Einkommen (4), Größe (5)
- Wohnungen: Gebäudetyp (2), Eigentumsform (3), Qualität (4), Größe (5)
- Haushalte/Wohnungen: Haushaltstypen (30), Wohnungstypen (30), Belegung (30x30)
- Beschäftigte/Arbeitsplätze: Branchen (40)
- Öffentliche Einrichtungen: Einrichtungstypen (40)
- Flächennutzung: Flächennutzungsarten (30)
- Mieten/Preise: Wohnungstypen (30), Flächennutzungsarten (10)

Netzdaten

Das Verkehrsnetz der Region wird als einheitliches multimodales Netz des öffentlichen Personennahverkehrs und des Straßenverkehrs streckenweise verschlüsselt. Für jede Strecke werden die folgenden Informationen benötigt:

- Streckentyp
- Anfangsknoten
- Endknoten
- Streckenlänge
- Streckenreisezeit (ÖPNV)
- Basisgeschwindigkeit (Straße)

Für jede Linie des öffentlichen Personennahverkehrs werden die folgenden Informationen benötigt:

- Liste der angefahrenen Knoten
- Zug- oder Wagenfolge in der Spitzenstunde

5.5 Planungsmaßnahmen

Das IRPUD-Modell dient zur Abschätzung der Wirkungen von öffentlichen Planungsmaßnahmen aus den Bereichen Wirtschaftsförderung, Wohnungswesen, öffentliche Einrichtungen und Verkehr.

In allen Anwendungen ist der erste Simulationslauf das sogenannte Trendszenario. Es ist definiert als die wahrscheinlichste Entwicklung, die eintreten würde, wenn alle Trends, die im Basisjahr galten, während des gesamten Prognosezeitraums gültig bleiben würden. Das Trendszenario umfaßt alle Maßnahmen, die bereits ausgeführt werden oder bereits beschlossen sind.

Das Modell unterscheidet *globale* und *lokale* Planungsmaßnahmen:

Globale Planungsmaßnahmen betreffen die ökonomischen oder institutionellen Rahmenbedingungen der Gesamtregion:

- globale wirtschaftspolitische Maßnahmen: Veränderungen der Steuergesetze oder Förderbedingungen; Vorausschätzungen von Beschäftigung und Zuwanderung in und Abwanderung aus der Region;
- globale wohnungspolitische Maßnahmen: Steuergesetze und Förderrichtlinien für den Wohnungsbau oder neue planungsrechtliche Regelungen in den Bereichen Flächennutzung und Bautätigkeit;
- globale verkehrspolitische Maßnahmen: Steuern oder Subventionen mit Auswirkungen auf Kraftstoffpreise, Parkgebühren oder Tarife im öffentlichen Personennahverkehr; allgemeine Geschwindigkeitsbeschränkungen oder Straßenbenutzungsgebühren.

Lokale Planungsmaßnahmen sind auf einzelne Zonen oder Strecken des Verkehrsnetzes bezogene rechtliche Regelungen oder Investitionsprojekte:

- lokale Bauleitplanung: Festsetzungen von Art und Maß der Nutzung für einzelne Zonen in einem Flächennutzungs- oder Bebauungsplan;
- lokale wirtschaftliche Maßnahmen: Betriebsansiedlungen, Betriebsverlagerungen oder Betriebsstillegungen in bestimmten Zonen;
- lokale Wohnungsbaumaßnahmen: Wohnungsbau- oder Stadterneuerungsprojekte in bestimmten Zonen;
- lokale öffentliche Einrichtungen: Schulen, Krankenhäuser, Freizeiteinrichtungen usw. in bestimmten Zonen;
- lokale Verkehrsmaßnahmen: Neubau, Umbau oder Schließung einzelner Strecken des Straßennetzes, Geschwindigkeitsbeschränkungen auf einzelnen Straßenzügen, Neueinrichtung, Stilllegung oder Angebotsveränderungen auf Linien des öffentlichen Personennahverkehrs.

5.6 Modellergebnisse

Das IRPUD-Modell erzeugt umfangreiche Ergebnisdateien, aus denen ein breites Spektrum von graphischen und tabellarischen Ergebnisausgaben abgerufen werden kann.

Die graphische Ausgabe erfolgt in der Form von Zeitreihendiagrammen und Karten. Zeitreihendiagramme stellen die Entwicklung einzelner Modellvariablen oder Outputindikatoren für mehrere Zonen oder Teilregionen oder für die Gesamtregion oder für verschiedene Szenarien im Zeitverlauf dar.

Beispiele für Indikatoren, die vom Benutzer zur Darstellung ausgewählt werden können, sind:

Bevölkerung:

- Einwohner
- Anteil ausländische Einwohner (%)
- Anteil Einwohner 0-5, 6-14, 15-29,30-59, 60+ Jahre (%)
- Haushalte

Beschäftigte:

- Beschäftigte insgesamt
- Beschäftigte nach Wirtschaftssektoren (%)
- Arbeitslosenquote
- Verhältnis Arbeitsplätze/Erwerbstätige
- Wohnungen insgesamt
- Anteil Einfamilienhäuser (%)
- Wohnfläche je Einwohner (qm)
- Mittlere Miete je qm

Verkehr:

- Wege nach Zweck (Beruf, Einkaufen, Dienstleistungen, Ausbildung)
- Wege nach Verkehrsart (Fuß/Fahrrad, ÖPNV, Pkw)
- Anteil Wege nach Verkehrsart (%)
- Mittlere Wegelänge (km)
- Mittlere Reisezeit (min)
- Mittlere Fahrtkosten (DM)
- Pkw-km je Einwohner je Tag
- CO₂-Emissionen Pkw je Einwohner je Tag (g)
- CO₂-Emissionen des Verkehrs insgesamt je Einwohner je Tag (g)
- Mittlere Wegelänge je Haushalt je Tag (km)
- Mittlere Reisezeit je Haushalt je Tag (min)
- Verkehrsausgaben je Haushalt je Monat (DM)
- Ausgaben für den ÖPNV je Haushalt je Monat (DM)
- Pkw je 1.000 Einwohner
- Streckenbelastungen nach Richtung und Geschwindigkeit

6.2 Raum und Zeit

In der im folgenden beschriebenen Anwendung des Modells für die Stadtregion Dortmund wurde die Stadtregion in 30 Zonen unterteilt: Diese wurden zu vier raumstrukturell unterschiedlichen Teilregionen zusammengefaßt (siehe Abbildung 10):

- DI Die *Dortmunder Innenstadt* (Zonen 1-3) umfaßt den engeren Stadtkern Dortmunds mit der eigentlichen City und innerstädtischen Stadtbezirken hoher Dichte.
- DA Die *Dortmunder Außenstadt* (Zonen 4-9) umfaßt die ringförmig um die Innenstadt gelegenen neun übrigen Stadtbezirke Dortmunds.
- DU Das *Dortmunder Umland* (Zonen 13-22) umfaßt einen um Dortmund gelagerten unvollständigen Ring kleinerer und mittlerer Umlandgemeinden mit eindeutiger Ausrichtung auf Dortmund.
- EX Die *Externen Zonen* (Zonen 23-30) dienen zur Abgrenzung der eigentlichen Untersuchungsregion gegenüber dem polyzentrischen Ruhrgebiet im Westen und dem ländlichen Umland im Osten.

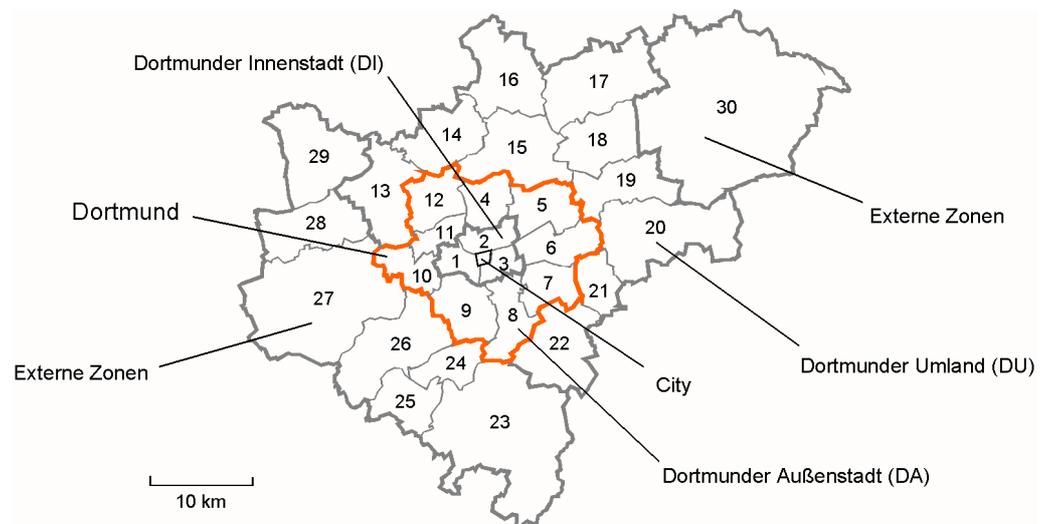


Abbildung 10. Die Zonen und Teilregionen der Stadtregion Dortmund

Die zeitliche Struktur des Modells wird durch 15 Simulationsperioden von drei Jahren Dauer bestimmt, so daß das Modell einen Zeitraum von 45 Jahren abbildet. Basisjahr aller Simulationen ist das Jahr 1970, um nachzuweisen, daß das Modell die Entwicklung der Stadtregion über einen längeren Zeitraum der Vergangenheit in ihren Grundzügen richtig wiederzugeben vermag. Die im Modell durchgespielten Planungsmaßnahmen setzen Mitte der neunziger Jahre ein. Prognosehorizont des Modells ist das Jahr 2015.

6.3 Szenarien

Außer dem Trendszenario wurden fünf Arten von Szenarien durchgespielt: Szenarien, in denen die Siedlungsentwicklung durch Flächennutzungsplanung beeinflusst wurde, Szenarien, in denen die Kosten des Verkehrs verändert wurden, Szenarien, in denen die Reisegeschwindigkeiten geändert wurden, und Kombinationsszenarien, in denen mehrere Verkehrsmaßnahmen oder Flächennutzungs- und Verkehrsmaßnahmen zusammen zum Einsatz kamen.

Basiszenario:

- 00 Trendszenario (keine neuen Maßnahmen)

Flächennutzungsszenarien:

- 20 Kompakte Stadt: Zentralisierung von Bevölkerung und Arbeitsplätzen (Baubeschränkungen im Umland)
- 21 Disperse Stadt: Dezentralisierung von Bevölkerung und Arbeitsplätzen (Baubeschränkungen in der Kernstadt)
- 22 Dezentrale Konzentration: Zentralisierung der Bevölkerung und Dezentralisierung der Arbeitsplätze

Verkehrskostenzenarien:

- 30 Erhöhung des Benzinpreises bis 2015 auf 12 DM/l und Reduzierung des mittleren PKW-Benzinverbrauchs 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

Geschwindigkeitsszenarien:

- 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

Kombinationsszenarien Verkehr:

- 53 'Alles für den ÖPNV': Szenarien 30+32+40
- 54 'Mobilitätsreduzierung': Szenarien 30+32+35+47

Kombinationsszenarien Flächennutzung und Verkehr:

- 60 Zentralisierung von Bevölkerung und Arbeitsplätzen und 'Alles für den ÖPNV': Szenarien 20+53
- 61 Dezentralisierung von Bevölkerung und Arbeitsplätzen und 'Alles für den ÖPNV': Szenarien 21+53
- 62 Zentralisierung der Bevölkerung und Dezentralisierung der Arbeitsplätze und 'Alles für den ÖPNV': Szenarien 22+53

Die Flächennutzungs- und Verkehrsszenarien 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 Verkehrskosten- und Geschwindigkeitsszenarien 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 realistischere 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.

Im folgenden werden zunächst die Ergebnisse der Verkehrsszenarien und danach die der Flächennutzungsszenarien dargestellt.

Verkehrsszenarien

Die Ergebnisse der Simulationen der Verkehrsszenarien sind in den Diagrammen der Abbildungen 11 bis 15 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 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 zusammen, da die Maßnahmen erst ab Mitte der neunziger Jahre wirksam werden; dieser Teil des Diagramms dient dazu, die Entwicklung des Indikators in der Vergangenheit anschaulich zu machen.

Abbildung 11 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 12 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.

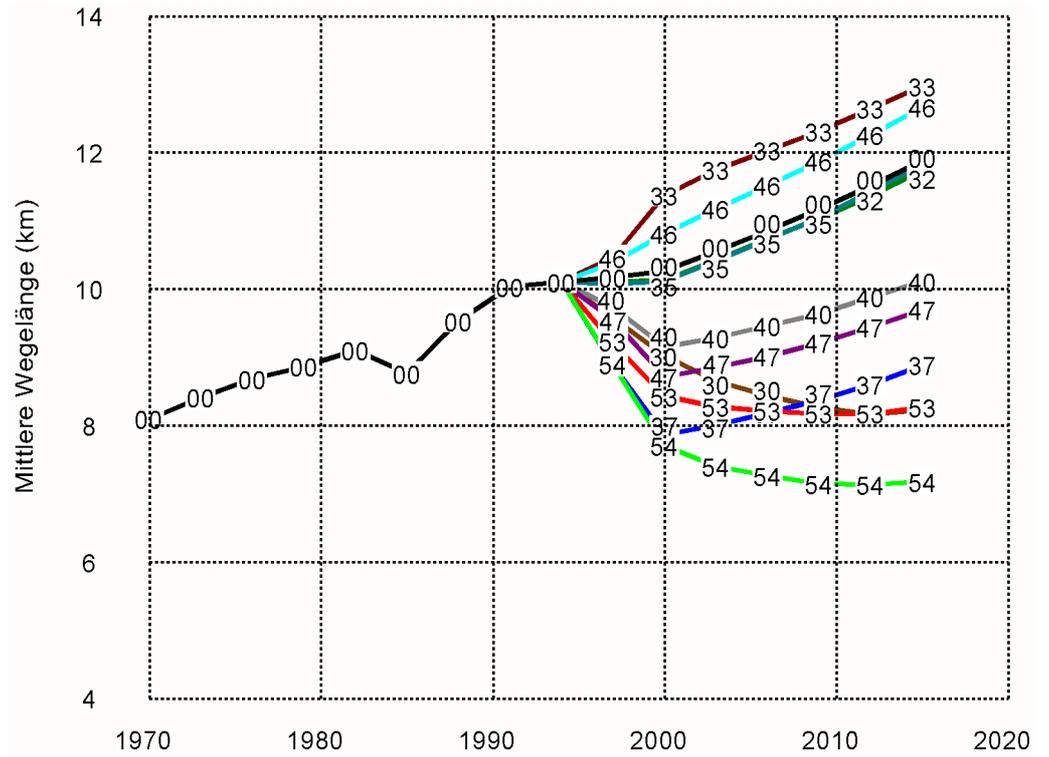


Abbildung 11. Verkehrsszenarien: mittlere Wegelänge

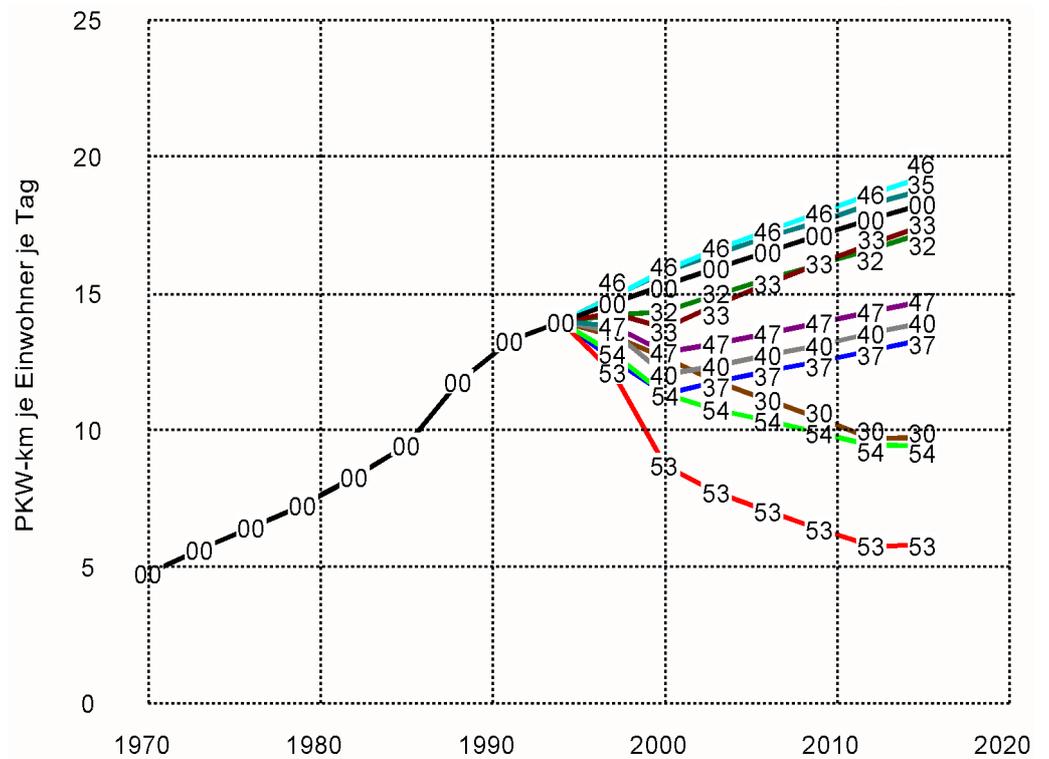


Abbildung 12. Verkehrsszenarien: Pkw-km je Einwohner

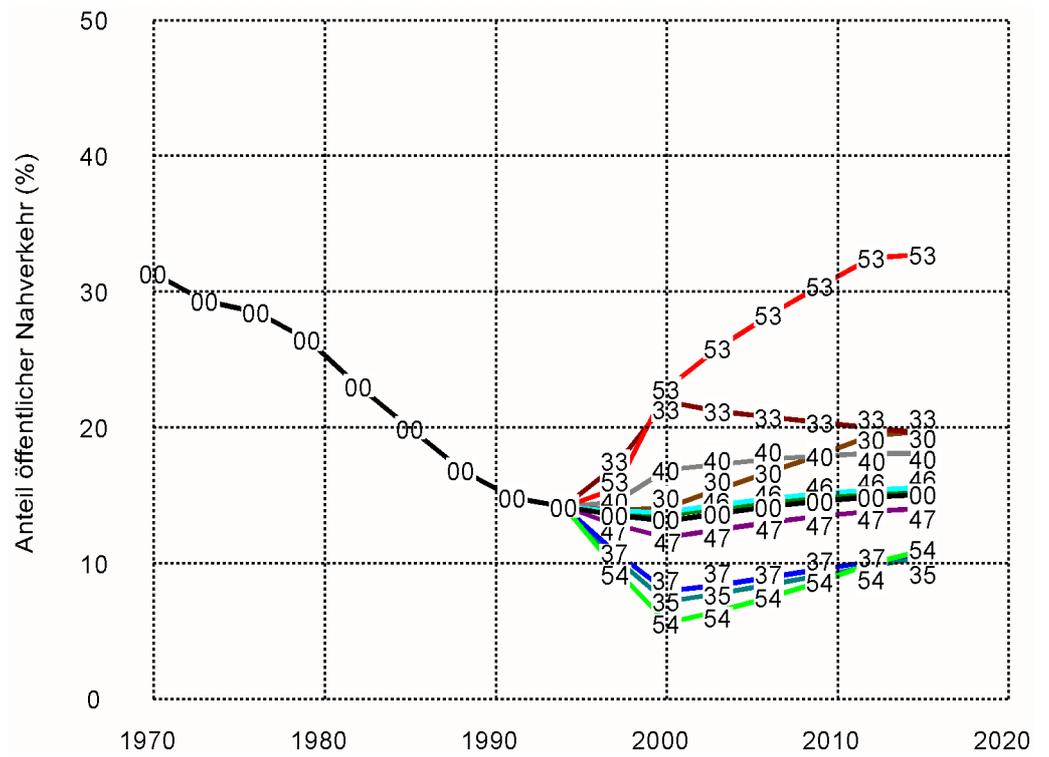


Abbildung 13. Verkehrsszenarien: Anteil ÖPNV

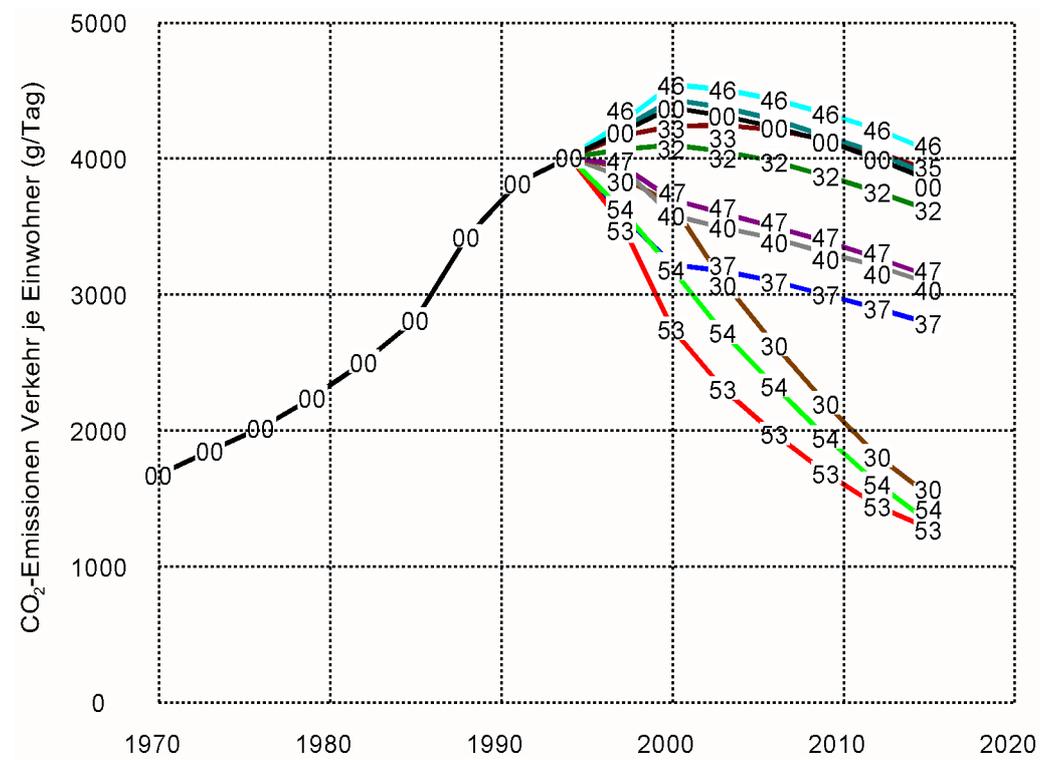


Abbildung 14. Verkehrsszenarien: CO2-Emissionen der Verkehrs

Abbildung 12 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 13 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 15 Prozent abgenommen. 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 zunächst 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 dreißig Prozent.

Das bedeutet signifikante Einsparungen beim Energieverbrauch und bei den CO₂-Emissionen, wie Abbildung 14 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 des Verkehrs je Einwohner nach dem Jahr 2000 infolge des geringeren Kraftstoffverbrauchs der Fahrzeuge ab. Ohne diese Eingriffe kann das von der Bundesregierung auf der Rio-Konferenz erklärte Ziel, die CO₂-Emissionen des Verkehrs 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 bringt Szenario 53 jedoch die geringsten Opfer an Mobilität mit sich.

Abbildung 15 zeigt, welche Wirkung diese Verkehrsmaßnahmen auf die Siedlungsstruktur, das heißt die räumliche Verteilung von Wohnungen und Arbeitsplätzen hat.

Abbildung 15 (oben) zeigt das 'Brotchie-Dreieck' der Stadtregion zwischen 1970 und 2015. Es illustriert, wie im Basisszenario sowohl die Arbeitsplätze als auch die Einwohner weiter dezentralisieren. In der Ausschnittsvergrößerung im unteren Diagramm sind auch die Kurven für die anderen zehn Szenarien eingezeichnet. Die senkrechten Linien kennzeichnen die Linie BC, das heißt die mittlere Entfernung der Einwohner zum Zentrum.

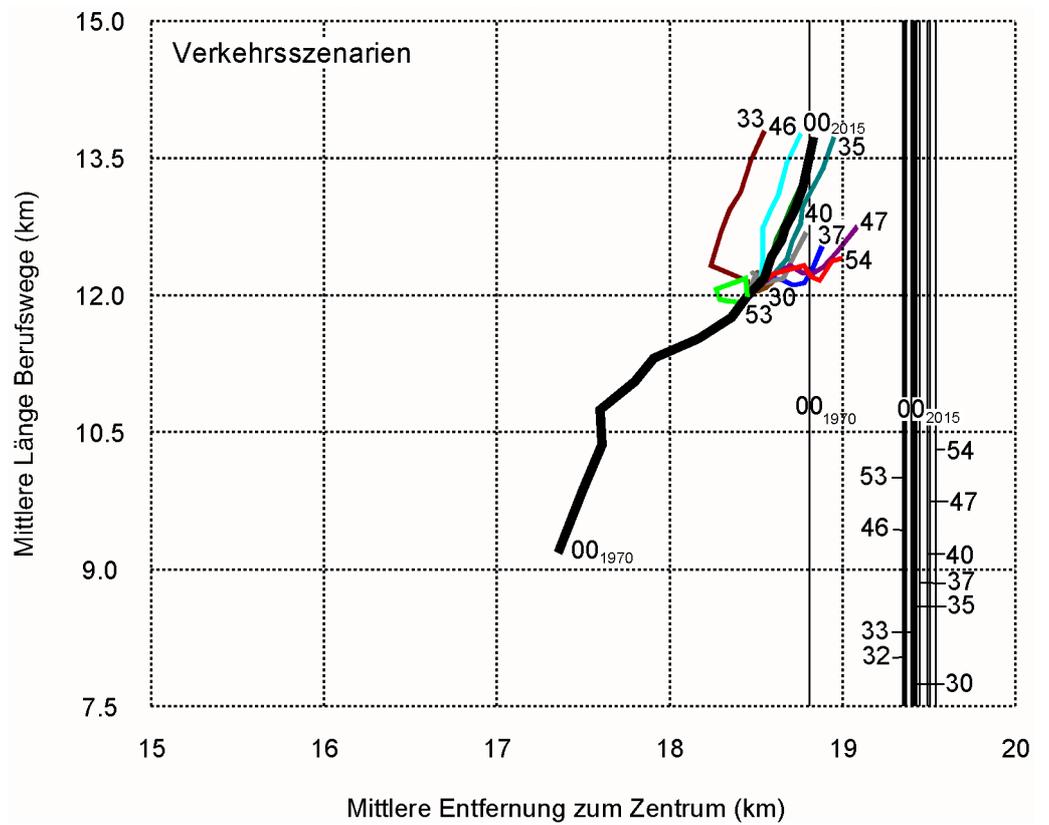
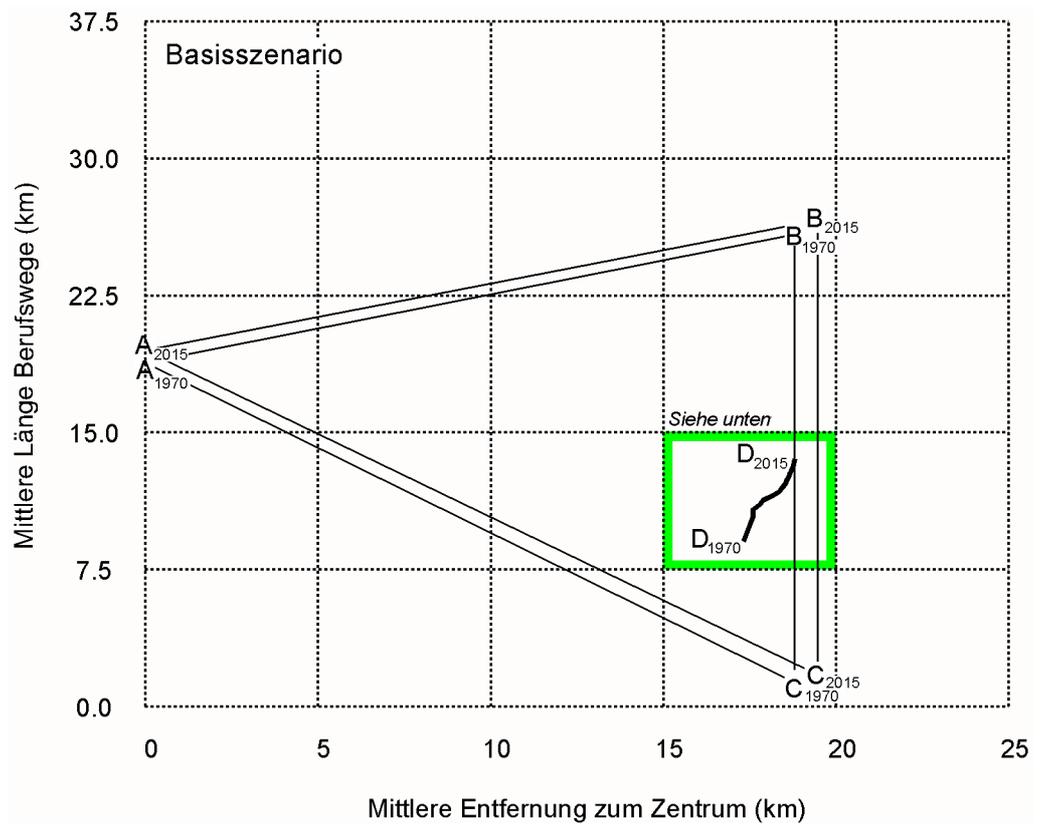


Abbildung 15: Brotchie-Dreieck: Verkehrsszenarien

In allen Szenarien entwickelt sich die Raumstruktur der Region in Richtung auf mehr Dezentralisierung und mehr Verkehr, allerdings mit unterschiedlicher Geschwindigkeit:

- Maßnahmen zur Stärkung des ÖPNV (Szenarien 30, 33, 46 und 53) verbessern die Erreichbarkeit der Innenstadt und verzögern die Dezentralisierung von Arbeitsplätzen und Einwohnern. Maßnahmen, die den Verkehr teurer oder langsamer machen (Szenarien 35, 37, 47 und 54) beschleunigen dagegen die Dezentralisierung der Arbeitsplätze, um sie für Kunden und Beschäftigte im Umland leichter erreichbar zu machen; allerdings führt dies wiederum zu einer geringfügig stärkeren Dezentralisierung der Einwohner.
- Veränderungen allein der Kosten des ÖPNV (Szenarien 33 und 35) haben nur geringen Einfluß auf die Länge der Berufswege: Dagegen führen Verteuerung oder Verlangsamung von Pkw-Fahrten (Szenarien 30, 32, 37, 40, 47, 53 und 54) zu deutlich kürzeren Berufswegen. Da Berufswege weniger flexibel sind als andere Wege, sind die Einsparungen hier jedoch geringer als bei den Wegen insgesamt (vgl. Abbildung 11); das größte Einsparpotential liegt bei den 'freiwilligen' Einkaufs- und Freizeitwegen.

Abbildung 16 geht dem Einwand nach, daß eine starke Erhöhung der Mineralölsteuer sozial ungerecht sein würde, da durch sie das Autofahren ein Privileg der Reichen werden würde. Diese Frage wird am Beispiel des in bezug auf CO₂-Einsparungen erfolgreichsten Szenarios 53 untersucht. Das Diagramm zeigt die im Szenario 53 mit dem Pkw zurückgelegte Entfernung je Tag für vier Haushaltseinkommensgruppen. Wie zu erwarten, fahren Haushalte mit geringem Einkommen weniger mit dem Auto als Haushalte mit mittlerem oder höheren Einkommen. Aber während der siebziger und achtziger Jahre steigern alle Haushaltsgruppen ihre mit dem Pkw zurückgelegten Entfernungen erheblich. Alle Einkommensgruppen werden von den Maßnahmen des Szenarios 53 betroffen. 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 17 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. 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.

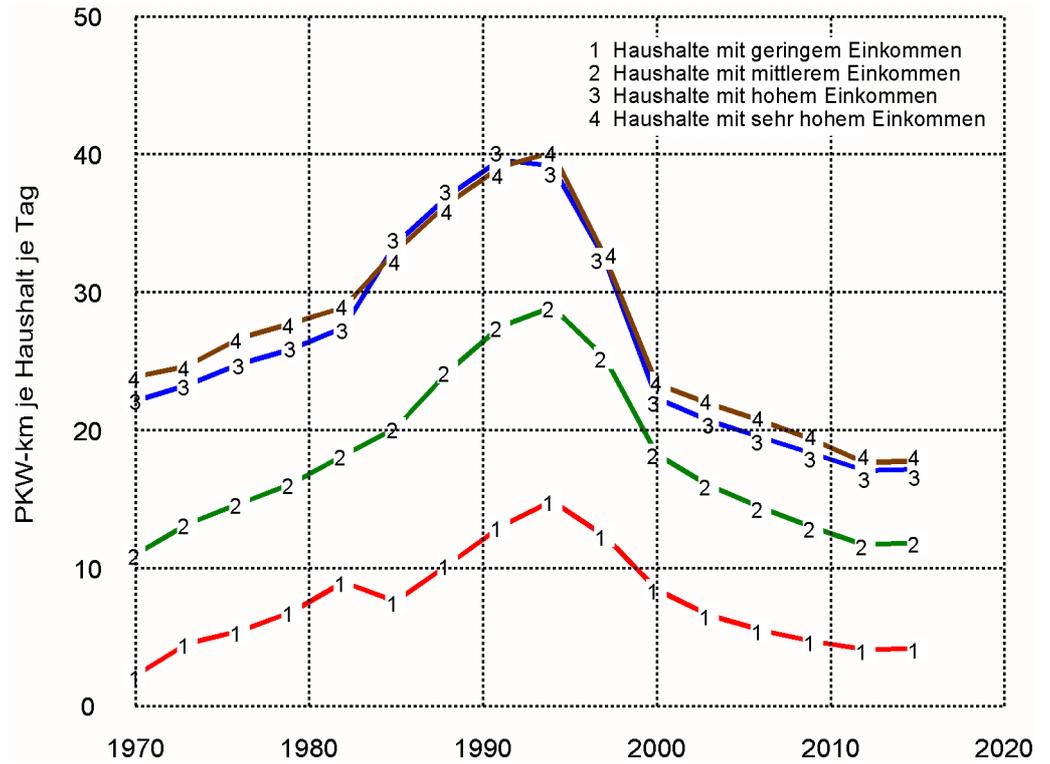


Abbildung 16. Szenario 53: Pkw-km je Haushalt

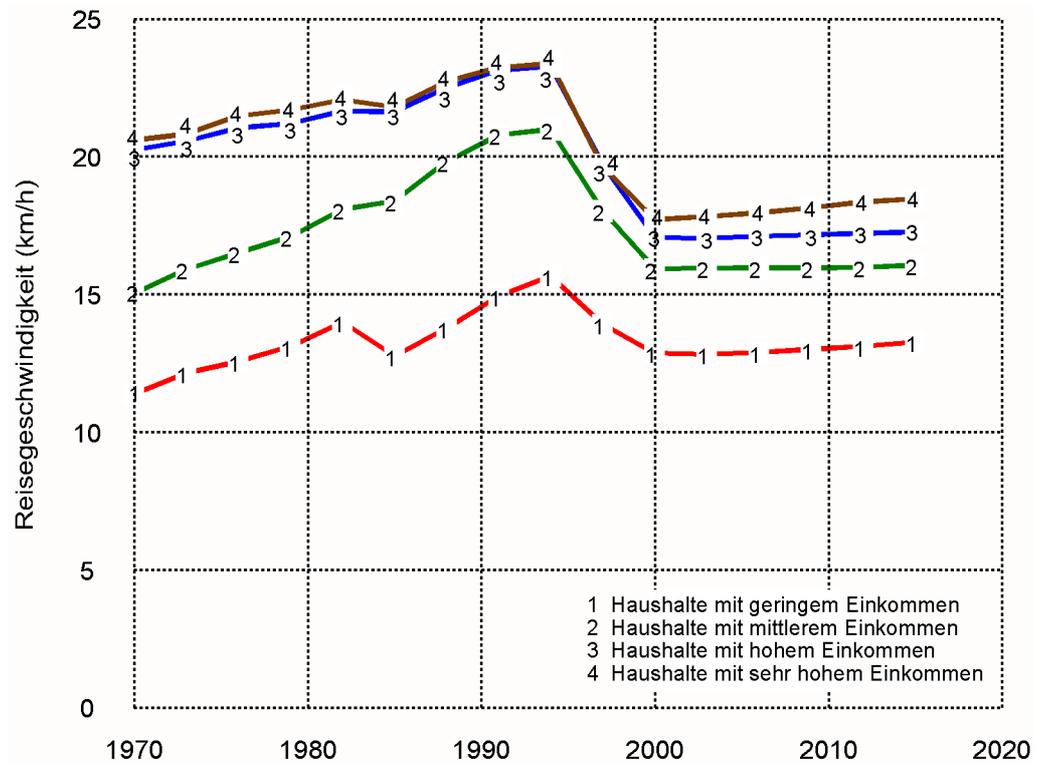


Abbildung 17. Szenario 53: mittlere Reisesgeschwindigkeit

Ein 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 1 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 das ihnen erlauben, nicht nur mehr Busse und Bahnen für die zusätzlichen Fahrgäste bereitzustellen, sondern auch die Bedienungsqualität deutlich zu verbessern. Zum Vergleich dienen die Einnahmen und Ausgaben des Verkehrsverbunds Rhein-Ruhr im Jahre 1990:

Tabelle 1. Finanzielle Auswirkungen des Szenarios 53

	<i>Trendszenario 2015</i>	<i>Szenario 53 2015</i>
Millionen Pkw-km/Jahr	7.748	2.578
Benzinpreis (DM/l)	2,70	12
Mineralölsteuereinnahmen (Mio. DM)	496	1.289
... Differenz (Mio. DM)		793
... in DM von 1990 (Mio. DM)		380
<i>Zum Vergleich VRR^a 1990</i>		
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.

Flächennutzungsszenarien

Die zweite Gruppe von Szenarien enthält Szenarien, in denen die Flächennutzungsplanung geändert wurde sowie weitere Kombinationsszenarien, in denen das Zusammenwirken von Verkehrs- und Flächennutzungsänderungen untersucht wurde.

In den Szenarien 20, 21 und 22 wird die gesamte zukünftige Neubautätigkeit entweder in die Kernstadt oder das Umland gelenkt:

- Szenario 20 entspricht einer möglichen Ausprägung des Leitbilds der 'kompakten Stadt'. Durch Baubeschränkungen im Umland wird die gesamte Bautätigkeit sowohl im Wohnungs- als auch im Gewerbebau innerhalb Dortmunds konzentriert.

- Im Szenario 21 wird die Dispersionstendenz des Basisszenarios durch Baubeschränkungen in der Kernstadt noch bestärkt. Das Ergebnis ist die 'disperse Stadt' nach amerikanischem Vorbild.
- Das Szenario 22 entspricht einer möglichen Ausprägung des Leitbilds der 'dezentralen Konzentration'. Durch Wohnbaubeschränkungen im Umland wird der Dezentralisierung der Bevölkerung entgegengewirkt. Zugleich wird durch Baubeschränkungen in der Kernstadt erreicht, daß Arbeitsplätze überwiegend im Umland entstehen, so daß die räumliche Trennung von Arbeitsplätzen und Wohnorten in der Stadtregion abnimmt.

Die Abbildungen 18 und 19 zeigen, um wieviel sich im Szenario 20 die Verteilung der Einwohner auf die Teilregionen der Stadtregion gegenüber dem Trendszenario verändert (die Abkürzungen der Teilregionen entsprechen denen in Abbildung 10). Im Szenario 21 unterscheidet sich die Dispersion der Einwohner nicht sehr von der im Trendszenario, da in Dortmund selbst nur wenig Wohnbauflächen zur Verfügung stehen; die Dezentralisierung der Arbeitsplätze ist jedoch stärker ausgeprägt. Das Szenario 22 ähnelt bei den Einwohnern Szenario 20, bei den Arbeitsplätzen Szenario 21.

Abbildung 20 zeigt, daß selbst diese drastischen Flächennutzungsänderungen allein nur geringe Wirkungen auf die Mobilität haben. Bei allen drei Flächennutzungsszenarien steigen die mittleren Wegelängen nahezu so schnell wie im Trendszenario. Die wichtigste Ursache hierfür ist, daß bei weiterhin niedrigen Raumüberwindungskosten wenig Anlaß für die Bewohner besteht, nahegelegene Ziele zu bevorzugen. Die 'kompakte Stadt' hat etwas kürzere Berufswege, dafür aber längere Freizeitfahrten zu den Naherholungsgebieten im Umland. Bei der 'dezentralen Konzentration' wirkt sich positiv aus, daß sich dank der Dezentralisierung der Arbeitsplätze die räumlichen Verteilungen von Bevölkerung und Arbeitsplätzen angleichen. Dies gilt in abgeschwächter Form auch für die 'disperse Stadt', so daß selbst diese geringfügig kürzere Wege als das Trendszenario aufweist. Erst in Verbindung mit dem ÖPNV-Szenario 53 wirken sich die geringeren Entfernungen zwischen Wohnungen und Arbeitsplätzen in der 'kompakte Stadt' (Szenario 60) aus; allerdings sind die Wegelängen kaum kürzer als im Szenario 53 selbst (Abbildung 11).

Die folgenden Abbildungen 21 bis 23 bestätigen diese Aussagen. Die Pkw-km je Einwohner in den Flächennutzungsszenarien unterscheiden sich nur geringfügig von denen des Trendszenarios. Zunächst überrascht, daß sich der ÖPNV-Anteil auch in der 'kompakten Stadt' und der 'dezentralen Konzentration' gegenüber dem Trendszenario verringert. Dies liegt daran, daß in diesen Szenarien der (hier nicht gezeigte) Anteil der Fuß- und Radwege zunimmt. Erst in Verbindung mit dem ÖPNV-Szenario bieten sie die Voraussetzungen für eine verstärkte ÖPNV-Benutzung. Entsprechend gering sind ohne flankierende Maßnahmen zur Verteuerung der Automobilität die Einsparungen bei den CO₂-Emissionen; in Verbindung mit dem ÖPNV-Szenario 53 sind sie praktisch genau so groß wie bei diesem selbst (Abbildung 14).

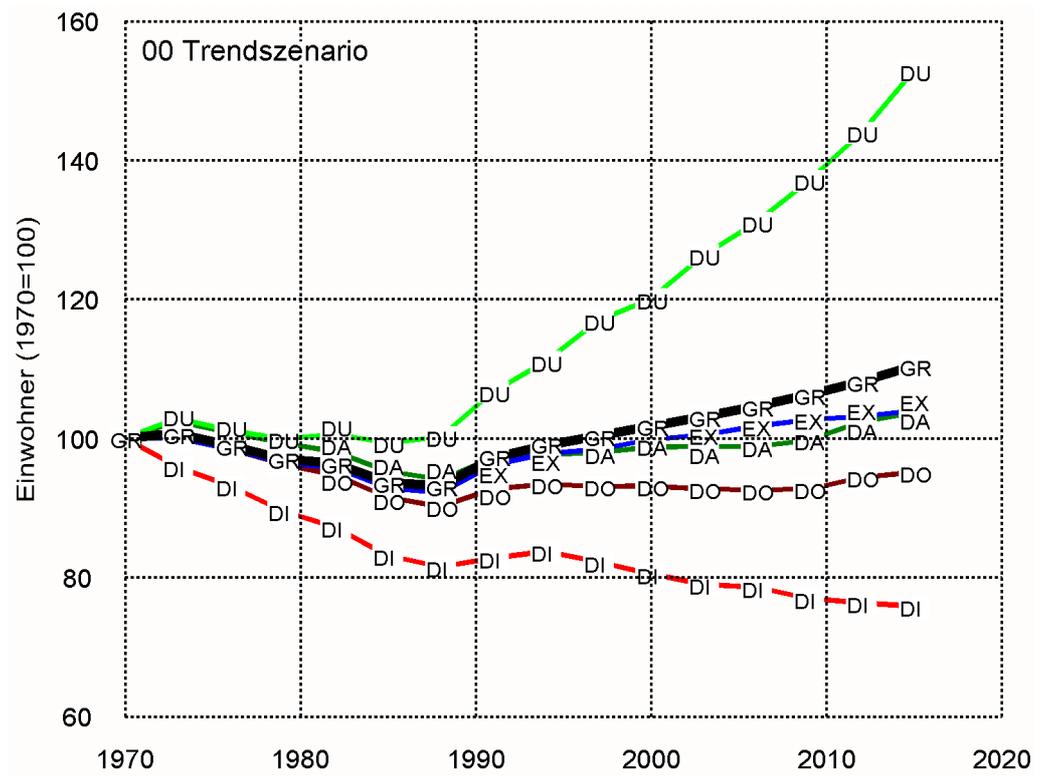


Abbildung 18. Einwohner in den Teilregionen im Trendszenario

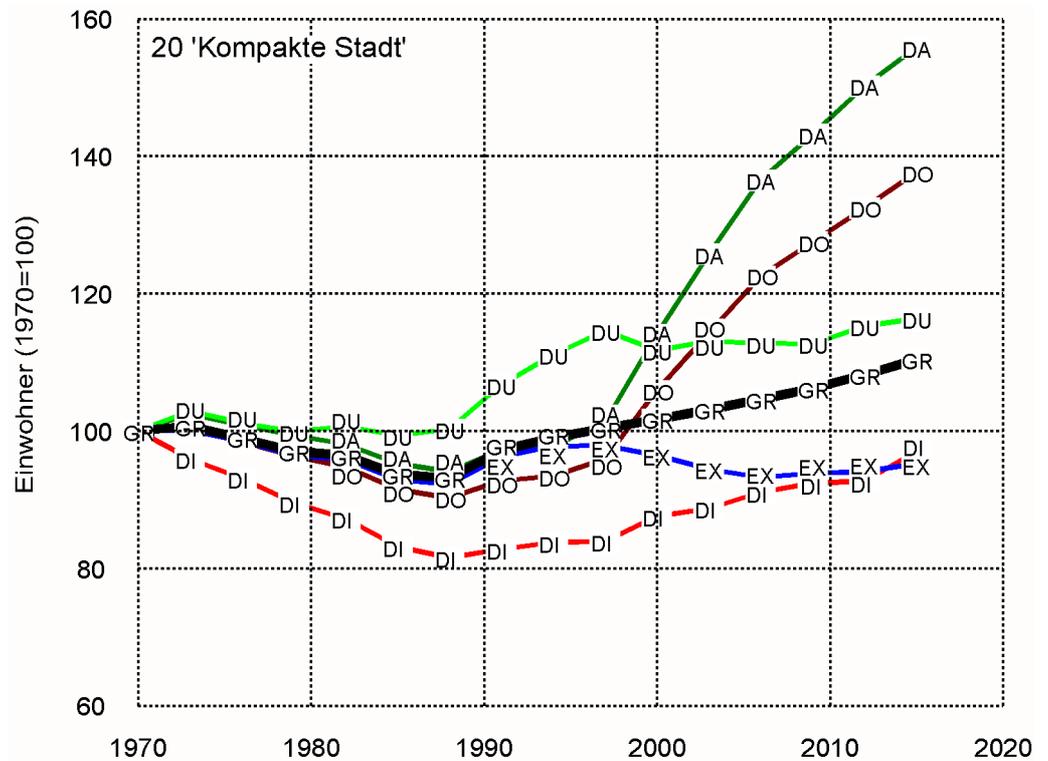


Abbildung 19. Einwohner in den Teilregionen im Szenario 20

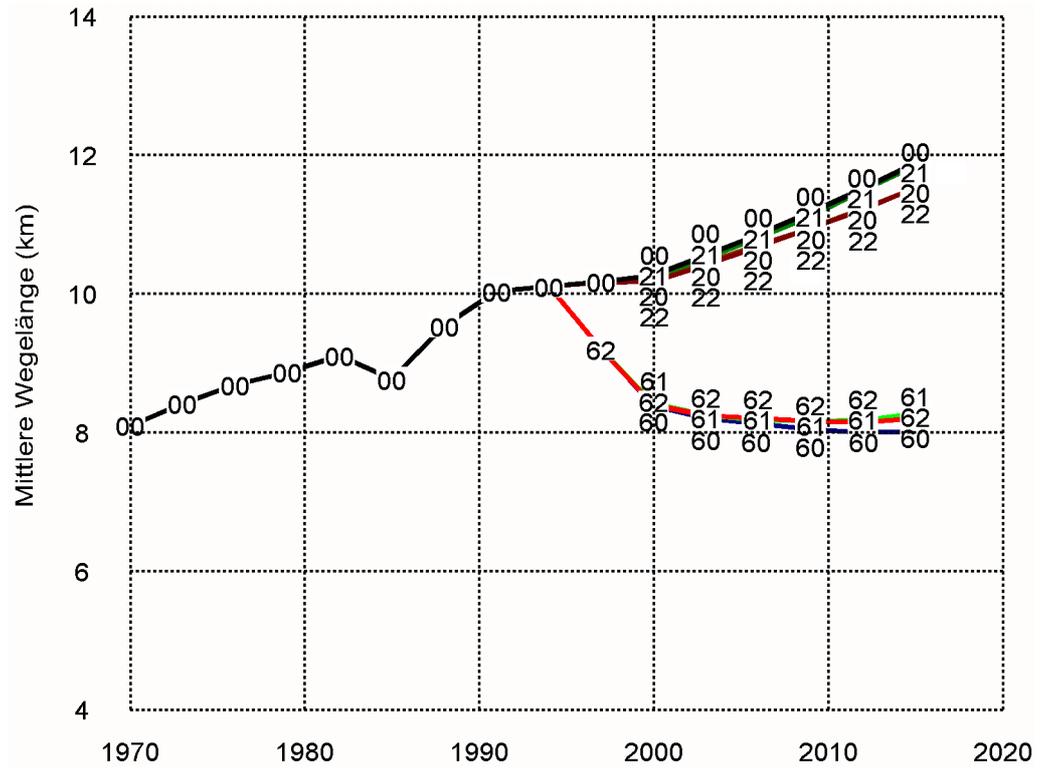


Abbildung 20. Flächennutzungsszenarien: mittlere Wegelänge

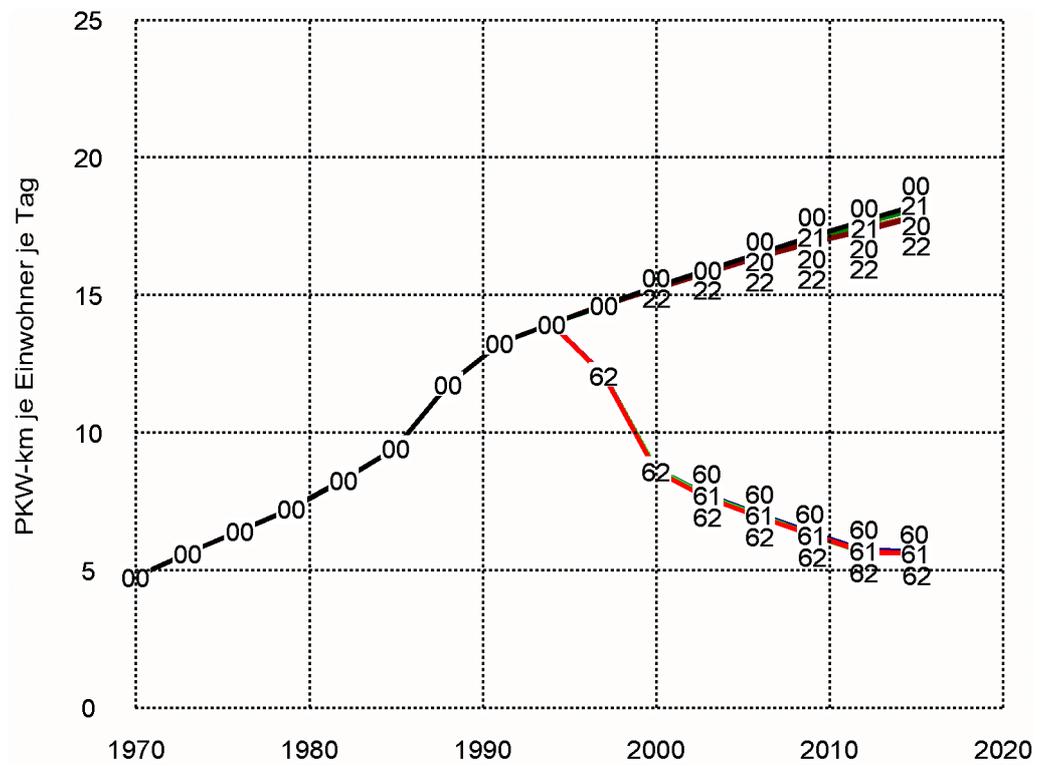


Abbildung 21. Flächennutzungsszenarien: Pkw-km je Einwohner

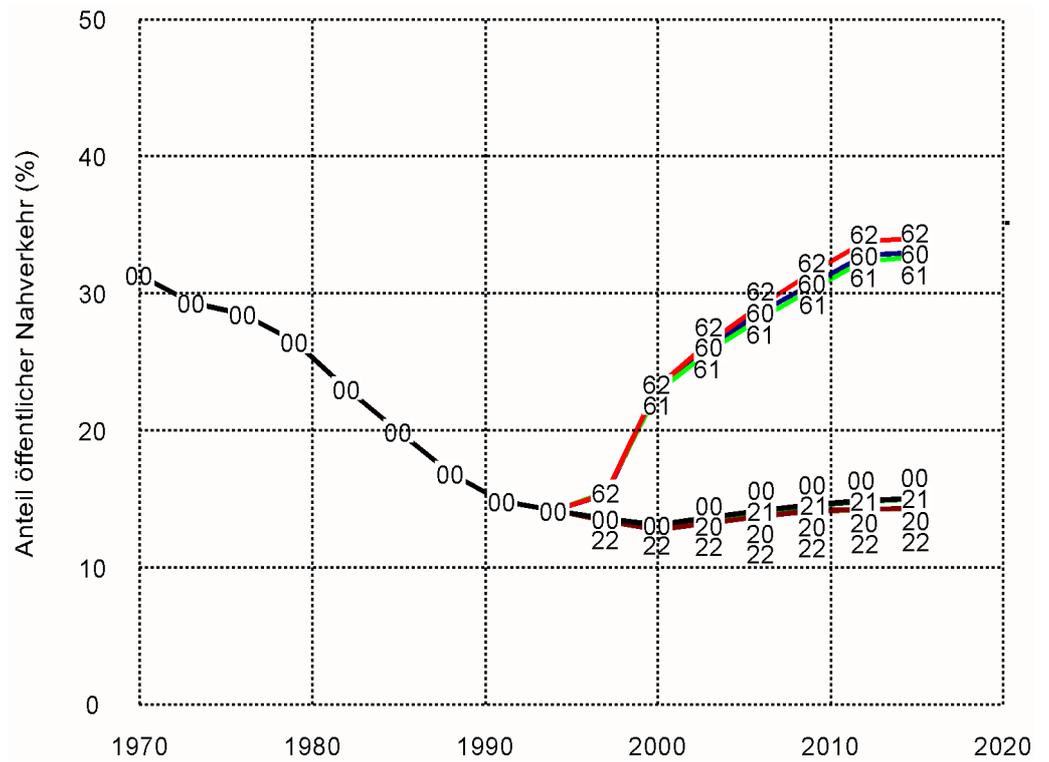


Abbildung 22: Flächennutzungsszenarien: Anteil ÖPNV

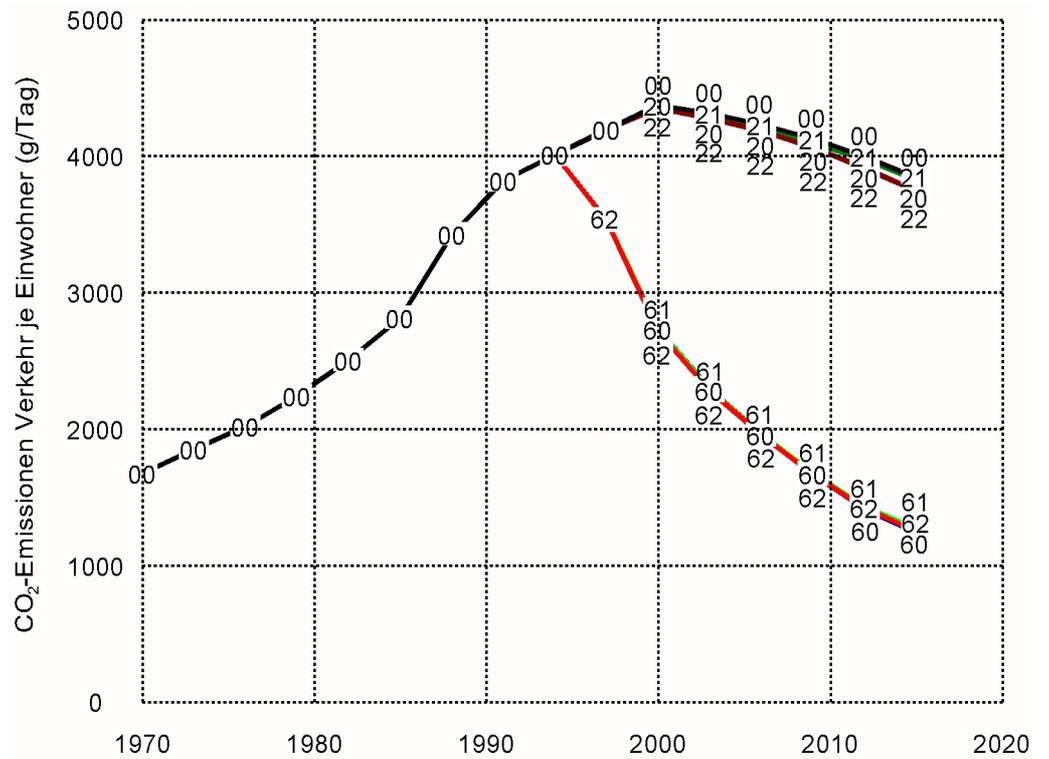


Abbildung 23: Flächennutzungsszenarien: CO₂-Emissionen des Verkehrs

7 Fazit

In dem hier dokumentierten Forschungsprojekt wurde ein integriertes Flächennutzungs- und Verkehrsmodell dazu verwendet, die Auswirkungen von Strategien zur Reduzierung von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen des Verkehrs durch siedlungsstrukturelle und verkehrliche Maßnahmen abzuschätzen.

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. 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.

Ein Vergleich der Szenarien 53 und 54 macht deutlich, daß das 'gemäßigte' Szenario 53 mehr für die Umwelt erreicht als das 'radikale' Szenario 54 und dies mit weitaus weniger einschneidenden Restriktionen für die Lebensgestaltung der Menschen.

Die Flächennutzungsszenarien bestätigen die Ergebnisse empirischer Untersuchungen, daß Flächennutzungsplanung allein ohne gleichzeitige Veränderung der Rahmenbedingungen der Mobilität wenig zur Reduzierung der CO₂-Emissionen beiträgt.

Diese Ergebnisse erfordern eine Überprüfung der unter Fachleuten weitverbreiteten Überzeugung, daß der wichtigste Weg zur Reduzierung des Autoverkehrs in Stadtregionen die Rückkehr zu durchmischten, verdichteten Flächennutzungsformen ist. Aus Gründen der Verkehrsverminderung kann die Notwendigkeit einer solchen Rückkehr nicht abgeleitet werden: wir müssen unsere Städte nicht umbauen.

Vielmehr enthält die gegenwärtige Siedlungsstruktur europäischer Städte mit ihrer im Vergleich zu amerikanischen Städten noch immer recht hohen Dichte ein großes ungenutztes Potential zur Verringerung der mit dem Pkw zurückgelegten Entfernungen - lediglich durch Umorganisation, das heißt bessere räumliche Zuordnung der Aktivitäten ohne einen grundlegenden Umbau ihrer räumlichen Struktur. Damit soll nicht gesagt werden, daß ein Umbau unser Städte nicht sinnvoll wäre, aber aus anderen, zum Beispiel sozialen, ästhetischen oder anderen ökologischen Gründen.

Die Dringlichkeit der Forderung, Energieverbrauch und CO₂-Emissionen in Stadtregionen zu verringern, könnte umfassenden räumlichen Stadtentwicklungsmodellen eine neue Chance geben. Mathematische Simulationsmodelle,

in denen die Wechselwirkungen zwischen Flächennutzung und Verkehr abgebildet werden, können nicht nur dazu benutzt werden, die wahrscheinliche räumliche Entwicklung der Stadt und die aus ihr resultierende Mobilität vorherzusagen, sondern darüber hinaus Informationen für ihre Steuerung in Richtung auf eine sozial- und umweltverträgliche Stadt- und Verkehrsstruktur bereitzustellen.

Allerdings müssen diese Modelle, um nützlich zu sein, auf die neuen Fragen, die heute für die Städte wichtig sind, Antworten geben können:

Erstens müssen sie die langfristigen Auswirkungen von Maßnahmen im Bereich der Flächennutzungs- und Verkehrsplanung 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 für die Stadt als Ganzes und für verschiedene soziale oder ethnische Gruppen vorausschätzen. Heute gibt es nur wenige Modelle, die diesen Kriterien genügen (Wegener, 1994a; 1998d). Ein Beispiel ist das von der Europäischen Kommission geförderte Projekt SPARTACUS (LT Consultants u.a., 1998).

Zweitens müssen sie die potentielle Substitution zwischen Standortwahl- und Wegeentscheidungen in bezug auf tägliche Aktivitäten wie Wohnen, Arbeiten, Einkaufen oder Ausbildung und Freizeit sowie differenzierte Mobilitätsmuster wie Wegeketten und intermodale Wege wie Park-and-Ride und 'Kiss-and-Ride' oder Fahrgemeinschaften abbilden können. Dies erfordert, mikroanalytische, aktivitätsorientierte Ansätze, wie sie derzeit in der Verkehrsmodellierung entwickelt und erprobt werden, auch auf andere Prozesse der räumlichen Stadtentwicklung wie Haushaltsbildung, Wohnstandortwahl, Standortwahl von Unternehmen und bauliche Investitionsentscheidungen anzuwenden. Jüngere Entwicklungen in den Bereichen Datenverfügbarkeit, Computertechnik und Modelltheorie lassen erwarten, daß eine neue Generation von Stadtmodellen entstehen wird, die diese Anforderungen erfüllen (Wegener und Spiekermann, 1996).

8 Zukünftige Arbeiten

Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um die in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse zu erhärten und zu spezifischen Handlungsempfehlungen für die räumliche Stadtentwicklungsplanung zu konkretisieren.

Hierzu wäre vor allem die räumliche Auflösung der verwendeten Modelle zu erhöhen. Insbesondere die Einteilung des Untersuchungsgebiets in relativ große Zonen bringt die Gefahr mit sich, daß gerade die für eine nachhaltige Mobilität wichtigen kurzen Wege innerhalb einer Zone nicht realistisch abgebildet werden. Eine größere räumliche Feinkörnigkeit wäre auch erforderlich, um die Wirkung differenzierter Maßnahmen zur Beeinflussung des Verkehrsverhaltens wie Fahrgemeinschaften, Car-sharing oder Park-and-ride abzubilden. Ebenso dürfte ohne weitere räumliche Disaggregation die Frage, ob die kompakte Stadt oder die dezentrale Konzentration nachhaltiger ist, nicht entschieden werden können.

Das Ziel muß es deshalb sein, bei der Abbildung der menschlichen Standortwahl- und Mobilitätsentscheidungen im Modell den gleichen Grad an räumlicher Disaggregation zu erreichen, der heute schon in aktivitätsorientierten Verkehrsmodellen verwirklicht wird. Zur Erreichung dieses Ziels ist es vorgesehen, weitere Teile des Simulationsmodells der räumlichen Stadtentwicklung in Mikrosimulationen umzuwandeln. Bereits heute ist das Modell des regionalen Wohnungsmarkts, in dem das Standortwahlverhalten von Haushalten simuliert wird, als Mikrosimulation nach dem Monte-Carlo-Verfahren ausgebildet. Als nächstes soll das Verkehrsmodell, in dem die Mobilitätsentscheidungen von Haushaltsmitgliedern simuliert werden, in eine Mikrosimulation umgewandelt werden. Hiermit ist in einem anderen Projekt bereits begonnen worden. Später sollen die Teilmodelle der Haushaltsbildung und der Standortwahlentscheidungen der Unternehmen und Bauinvestoren folgen.

Ferner ist vorgesehen, die bereits vorhandenen Teilmodelle zur Prognose der Umweltauswirkungen unterschiedlicher Stadtstrukturen in den Bereichen Lärmausbreitung, Luftverschmutzung, Stadtklima und Flächenverbrauch mit dem Simulationsmodell zu verknüpfen und weitere Umweltmodelle insbesondere in bezug auf den Energieverbrauch von Gebäuden, stationäre Luftschadstoffemissionen und die Regenwasserbewirtschaftung zu entwickeln.

9 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.
- Bahrenberg, G. (1997): Zum Raumfetischismus in der jüngeren verkehrspolitischen Diskussion. In: Jüngst, P., Pfromm, K., Schulze-Göbel, H.-J., Hg.: *Urbs et Regio*. Kasseler Schriften zur Geographie und Planung 65/1997, 345-371.
- 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.
- Banister, D., Hg. (1995): *Transport and Urban Development*. London: Chapman & Hall.
- Breheny, M.J. (1992): The contradictions of the compact city: a review. In: Breheny, M.J., Hg.: *Sustainable Development and Urban Form*. European Research in Regional Science 2. London: Pion, 138-159.
- 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.
- EMNID (1992): *KONTIV 1989*. Tabellenteil. Bielefeld: EMNID.
- Enquête-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre", Hg. (1990): *Schutz der Erde. Eine Bestandsaufnahme mit Vorschlägen zu einer neuen Energiepolitik*. Bonn: Deutscher Bundestag.
- Foucher, M. (1993): *Fragments d'Europe: Atlas de l'Europe médiane et orientale*. Paris: Fayard.
- Hägerstrand, T. (1970): What about people in regional science? *Papers of the Regional Science Association* 24, 7-21.
- Holz-Rau, C. (1997): *Siedlungsstruktur und Verkehr*. Materialien zur Raumentwicklung Heft 84. Bonn: Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung.
- Holz-Rau, C., Kutter, E. (1995): *Verkehrsvermeidung. Siedungsstrukturelle und organisatorische Konzepte*. Materialien zur Raumentwicklung Heft 73. Bonn: Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung.
- Kagermeier, A. (1997): *Siedlungsstruktur und Verkehrsmobilität. Eine empirische Untersuchung am Beispiel von Südbayern*. Dortmund: Dortmunder Vertrieb für Bau- und Planungsliteratur.
- 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.
- Luhmann, N. (1986): *Ökologische Kommunikation: Kann die moderne Gesellschaft sich auf ökologische Gefährdungen einstellen?* Opladen: Westdeutscher Verlag.

- LT Consultants, Marcial Echenique & Partners, MECSA, TRT Trasporti e Territorio, Institut für Raumplanung (1998): *SPARTACUS - System for Planning and Research in Towns and Cities for Urban Sustainability*. Final Report. Helsinki: EU Environment and Climate Research Programme. <http://www.ltcon.fi/spartacus/>
- Miller, E.J., Kriger, D.S., Hunt, J.D., Badoe, D.A. (1998): The Transportation-Land-Use Interaction: Empirical Findings. In: Miller, E.J., Kriger, D.S., Hunt, J.D.: *Integrated Models for Simulation of Transit and Land-Use Policies*. TCRP Project H-12. Final Report. Toronto: Joint Program in Transportation, University of Toronto.
- 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.
- ODOT - Oregon Department of Transportation (1999): Transportation and Land Use Model Integration Program. <http://www.odot.state.or.us/tdb/planning/modeling/papers/Gen2WP.pdf>
- 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., Barrett, 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.
- Schmitz, S. (1991): Minderung von Schadstoff- und CO₂-Emissionen im Straßenverkehr - eine Herausforderung für Raumordnung und Städtebau. *Informationen zur Raumentwicklung* 1/2, 1-18.
- 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.
- VROM: Ministerium für Wohnungswesen, Raumordnung und Umwelt (1990): *Vierte Note (EXTRA) zur Raumordnung in den Niederlanden*. Gekürzte deutsche Ausgabe. Den Haag: VROM.
- 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. In: Bericht über die Tagung "'Um die Wette leben" - Geschwindigkeit, Raum und Zeit' der Fachgruppe Mensch und Verkehr der SRL in der Akademie der Diözese Rottenburg-Stuttgart, Weingarten, 26.-28.01.94. SRL-Schriftenreihe 39, 83-95.
- Wegener, M. (1994d): *Die Stadt der kurzen Wege: Müssen wir unsere Städte umbauen?* Arbeitspapier 136. Dortmund: Institut für Raumplanung.
- Wegener, M. (1995): Accessibility and development impacts. In: Banister, D. (Hg.): *Transport and Urban Development*. London: Chapman & Hall, 157-161.
- Wegener, M. (1998a): Das IRPUD-Modell: Überblick. <http://irpud.raumplanung.uni-dortmund.de/irpud/pro/mod/mod.htm>.
- Wegener, M. (1998b): Nachhaltige räumliche Stadtstrukturen: Müssen wir unsere Städte umbauen? <http://irpud.raumplanung.uni-dortmund.de/irpud/pro/co2/co2.htm>.
- Wegener, M. (1998c): Reduction of CO₂ emissions of transport by reorganisation of urban activities. In: Hayashi, Y., Roy, J. (Hg.): *Land Use, Transport and the Environment*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 245-267.
- Wegener, M. (1998d): Applied models of urban land use, transport and environment: state of the art and future developments. In: Lundqvist, L., Mattsson, L.-G., Kim, T.J. (Hg.): *Network Infrastructure and the Urban Environment*. Advances in Spatial Systems Modelling. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 245-267.
- Wegener, M., Spiekermann, K. (1996): The potential of microsimulation for urban models. In: Clarke, G.P. (Hg.): *Microsimulation for Urban and Regional Policy Analysis*. European Research in Regional Science 6. London: Pion, 147-163.
- Zahavi, Y., M.J. Beckmann und T.F. Golob (1981): *The 'UMOT'/Urban Interactions*. Washington, DC: US Department of Transportation.
- Zeller, C. (1992): *Mobilität für alle!. Umriss einer Verkehrswende in einem autofreien Basel*. Basel/Boston/Berlin: Birkhäuser Verlag.