

MOBIDYN - MODELLIERUNG VON MOBILITÄT UND RAUMSTRUKTUR

Johann FIBY

(Dipl.-Ing. Johann FIBY, Ingenieurbüro Dr. Rosinak, Schloßgasse 11, 1050 Wien; email: fiby@rosinak.co.at)

INHALTSVERZEICHNIS

1. Beschreibung des Verfahrens
2. Methodischer Hintergrund
 - 2.1 Lowry's „Model of Metropolis“
3. Das Simulationsmodell Mobidyn
 - 3.1 Funktionsweise
 - 3.1.1 Funktionsweise Raumstruktur
 - 3.1.2 Funktionsweise Verkehrsverhalten
 - 3.1.3 Funktionsweise Netzumlegung
 - 3.2 Eingangsdaten
 - 3.2.1 Eingangsdaten Raumstruktur
 - 3.2.2 Eingangsdaten Verkehrsverhalten
 - 3.2.3 Eingangsdaten Netzumlegung
 - 3.2.4 Eingangsdaten Kalibrierung
 - 3.3 Modellergebnisse
 - 3.3.1 Ergebnisse Raumstruktur
 - 3.3.2 Ergebnisse Verkehrsverhalten
 - 3.3.3 Ergebnisse Netzumlegung
4. Programmstruktur
5. Literaturliste

1. BESCHREIBUNG DES VERFAHRENS

Seit langem ist es Gegenstand der Forschung, die Entwicklung von Stadtregionen durch computergestützte Modelle zu beschreiben bzw. sogar zu prognostizieren. Bis weit in die siebziger Jahre dominierte eine Modelleuphorie, die eng mit dem Planungsverständnis dieser Zeit verknüpft war. Es bestand ein großes Vertrauen in die Planbarkeit von Städten sowie ein allgemeiner Prognoseoptimismus was deterministische mittel- und langfristige Aussagen betraf. Die Begeisterung über die Möglichkeiten computerunterstützter Modelle an sich und die Zuversicht in die Gültigkeit pauschaler und weitgehend linearer Zusammenhänge zwischen den wichtigsten Einflußfaktoren der Stadtentwicklung verflog, indem sich alle optimistischen Annahmen sozusagen in Luft auflösten und den Modellen somit gleichsam den Boden wegzogen. Mit dem zweiten Ölschock und dem Aufkommen des Planungspragmatismus gerieten die Stadtmodelle nach und nach in Vergessenheit. Es verblieben nur mehr wenige Ansätze, die die Idee von komplexen Stadtmodellen aufrecht erhielten. Die wesentlichsten Mängel der Modelle der ersten Generation stellten sich im „Requiem für Modelle“ (Lee, 1973) so dar:

- Ein unstillbarer Datenhunger, der nur durch außerordentlichen und aufwendigen Empirismus bewältigbar war, was
- eine strukturelle Schwerfälligkeit, die sich in langen Manipulations- und Rechenzeiten äußerte, mit sich brachte.
- Ein trotz aller wissenschaftlichen Bemühungen bescheidener theoretischer Hintergrund;
- die schlechte Vermittelbarkeit der Ergebnisse, begründet in einer prinzipiellen Undurchschaubarkeit („Black Box“) der inneren Modellvorgänge;
- Eine Politikferne, sowohl was die Modellogik, als auch die Ergebnisdarstellung betrifft.

Aus diesen Gründen kamen Stadtmodelle auf theoretischer und fachlicher Ebene, sowie auch in der Praxis aus der Mode.

Immer gravierender werdende Konflikte in den Stadtregionen, sowie zwischen der Stadt und dem Umland führten aber wieder zur Einsicht, daß Langfristplanungen notwendig sind und erzeugten die Sehnsucht nach geeigneten Planungsmethoden. Leistungsfähige Kleinrechner, auf denen Spielprogramme entwickelt und vermarktet wurden, brachten die Stadtmodelle wieder ins Zentrum des diesmal spielerischen Interesses. Aufbauend auf der Modellphilosophie des spielerischen Erkenntnisgewinnes durch Simulation anstatt von

deterministischen Prognosemodellen sowie geringer Inputanforderungen bei hoher grafischer Output-Qualität erfolgte die Entwicklung von Mobidyn. Zusätzlich erfüllt Mobidyn folgende Anforderungen:

- Einfache innere Logik der zentralen Zusammenhänge zwischen der Raumstruktur und der Verkehrsstruktur sowie dem Verhalten der Bevölkerung und der Wirtschaft.
- Anordnung flexibler Interdependenz- und Wirkungsmodule rund um diesen Modellkern, die an die jeweilige Untersuchungsregion problemspezifisch angepaßt werden können.
- Ausnutzung der Erkenntnisse und Möglichkeiten der Computerwissenschaften, etwa was die Online-Verfügbarkeit von statistischen Datengrundlagen, die grafische Ausgabe (GIS) und die Verarbeitungskapazität von Workstations betrifft.

2. METHODISCHER HINTERGRUND

Die erste Generation von Stadtmodellen fand um 1960 ihren Ursprung in Nordamerika, wo zwei Traditionen systematischer Planung zusammengeführt wurden:

Verkehrsmodelle: Zunehmende Autoverkäufe in den 40-er und 50-er Jahren führten dazu, daß Städte in ihrer traditionellen physischen Form für die neue Mobilität nicht geeignet waren. Die ersten Verkehrsstudien beschäftigten sich mit der Beseitigung von Verkehrsstaus. Grundlage der Modellierung waren Vorhersagen des Mobilitätsverhaltens (Verkehrserzeugung) und der räumlichen Verteilung (Gravitationsansatz).

Standorttheorie: Andererseits beschäftigten sich Raumplaner und Mikroökonomien mit der Frage, wie die Standortgunst (Grundstückspreise, Erreichbarkeiten, etc.) von Gebieten definiert werden kann und welche Wirkungen auf die Bevölkerungsentwicklung und die wirtschaftliche Prosperität damit prognostiziert werden können.

Durch die Möglichkeit der Verwendung von Großrechnern und die Fortschritte in der EDV-Nutzung wurde die Entwicklung der Modelle unterstützt. Zentren der „Modellbewegung“ waren Kalifornien und in Europa Cambridge (UK), sowie zum Teil die IIASA in Laxenburg. In Kalifornien entwickelte Lowry 1964 in der RAND Corporation das Metropolis-Modell für die Stadt Pittsburgh. In Cambridge gab es darüber hinaus in den 60-er Jahren eine Vielzahl von Stadtmodellen, die in der Regel zur Analyse des Status quo und für die Prognose zukünftiger Entwicklungen verwendet wurden. Während in Cambridge eine beachtliche Kontinuität sowohl bezüglich der theoretischen Forschung (Universität) als auch der Umsetzung (Gründung von Software-Firmen) gegeben ist, endeten die Aktivitäten der IIASA hinsichtlich der Erarbeitung von Stadt- bzw. Raumnutzungsmodellen Mitte der 80-er Jahre.

Stadt	Modellname	Jahr
Greensborough		1960-66
Boston	EMPIRIC	1965-67
Baltimore		1964-65
Conneticut		1967-68
Bay Area	PLUM (Projective Land Use Model)	1967-68
- „ -	BASS (Bay Area Simulation Model)	1967-68
New York State		1964-65
S E Wisconsin		1965-68
San Francisco		1965-67
Washington		1959-60
Pittsburgh	Lowry	1961-65
- „ -	TOMM (Time Oriented Metropolitan Model)	1965-66
Penn Jersey	HS (Herbert - Stevenson Model)	1960-63
- „ -	AAM	1963-67
Detroit	NBER	1972

Tab. 1: Stadtmodelle der 1. Generation; Quelle: Batty 1976

2.1. Lowry's „Model of Metropolis“

Ausgangslage für das Stadtmodell von Lowry war ein großes Datenvolumen aus dem Zensus und der Arbeitsstättenstatistik sowie der Wunsch nach einem brauchbaren Modell als Grundlage für raumordnungspolitische Entscheidungen. Das aus 12 Modellgleichungen bestehende System besteht im wesentlichen aus dem Arbeitsmarkt (tertiärer Sektor), dem Haushaltssektor und Restriktionen. Der als Basic Sector bezeichnete Produktionsbereich umfaßt die güterproduzierenden Betriebe als quasi eingepreiste Größen, die unabhängig von der Erreichbarkeit bzw. dem Arbeitskräfteangebot der Umgebung sind. Exogene Größen sind die (Boden)Flächen und die Beschäftigten des Basic Sectors sowie die Anteile an nicht nutzbarem Land. Endogene Größen sind die Beschäftigten im Service-Sektor (Einzelhandel, Dienstleistungen), die Wohnbevölkerung und der interzonale Verkehr.

Lowry experimentierte mit unterschiedlichsten Ansätzen für die Erreichbarkeit (Gravitation, Potenzansatz, etc.). Die Entwicklung des Modells ist ein Meilenstein in der Modellierung der Zusammenhänge von Raum und Mobilität.

3. DAS SIMULATIONSMODELL MOBIDYN

Angesichts der fortgeschrittenen theoretischen und auch praktischen Erkenntnisse setzt Mobidyn auf den Stand der Wissenschaft auf. Die methodische Grundphilosophie des Modells ist, bewährte bestehende Ansätze entsprechend den Möglichkeiten moderner Rechner sowie unter Verwendung eigener und vorhandener Programm-Module geschickt zu kombinieren.

Mobidyn enthält drei zentrale Modellbereiche:

- Die Beschreibung und die Formulierung der Zusammenhänge von Raumstruktur und Verkehrsstruktur (Systemdefinition).
- Die zeitlichen Verknüpfungen des Systems im gesellschaftlichen, ökonomischen und ökologischen Kontext (Systemdynamik) und
- die Formulierung der Abhängigkeiten im betrachteten Untersuchungsraum (Nachbarschaft).

Mobidyn wird im Rahmen des Forschungsverbunds city:mobil „Stadtverträgliche Mobilität“ für die beiden deutschen Modellstädte Freiburg im Breisgau und Schwerin entwickelt. Gleichzeitig entsteht ein Stadtmodell für den Großraum Wien.

Mobidyn ist ein Programm in Entwicklung. Prototypen für alle Subfunktionen liegen vor. Verschiedene Modellverfahren werden miteinander verglichen und laufend verbessert. Für die Stadt Wien bringt ein Gesamtmodell erste Ergebnisse. Die Modelle für Freiburg und Schwerin werden zur Zeit kalibriert.

3.1. Funktionsweise

Mobidyn besteht aus den Grundbausteinen Raumstruktur, Verkehrsverhalten und Netzumlegung. Die Iteration dieser Bausteine über die Zeit erlaubt die Modellierung der wechselseitigen Zusammenhänge zwischen Mobilität und Raumstruktur. Die drei Grundbausteine werden in einem zweijährigen Zyklus ausgehend von den Daten eines Bestandsjahres durchlaufen. Die Änderungen in der Raumstruktur (z.B. Bevölkerungsänderungen, Beschäftigtenzahlen) werden angezeigt. Die Bausteine sind über eine Kommando-Sprache lose gekoppelt. Dadurch kann das Modell den unterschiedlichen Modellvorgaben verschiedener Städte und den Anforderungen der Benutzer angepaßt werden.

3.1.1. Raumstruktur

Das Untersuchungsgebiet ist in eine Anzahl von Zellen eingeteilt. Den Zellen sind verschiedenste raumstrukturelle Eigenschaften (Anzahl der Bewohner - nach Alter und Geschlecht differenziert, Anzahl der Beschäftigten nach Betriebsart, Baulandreserven usw.) zugeordnet. Die Ausprägungen dieser Eigenschaften werden grundsätzlich als über die Zellenfläche gleichverteilt angenommen. Ausgehend von den Eigenschaften der Zelle selbst, anderer (z. B. benachbarter) Zellen und den Erreichbarkeiten, ändern sich die Zelleneigenschaften über die Zeit; diese Änderung betrifft vor allem die Ansiedlung (oder Abwanderung)

von Bevölkerung oder Betrieben in den einzelnen Zellen. Die Allokation der Beschäftigten und der Bewohner erfolgt nach dem Gravitationsansatz. Die Allokation der Beschäftigten wird für die Gruppen Nahversorgung, Zentrale Dienste, Güterproduktion, produktionsnahe Verwaltung und für die Einkaufszentren und Fachmärkte getrennt durchgeführt. Die Attraktivität für die Bewohner ergibt sich vor allem durch die Beschäftigtendichte.

3.1.2. Verkehrsverhalten

Ausgehend von den Eigenschaften der Raumstruktur und von Verkehrsverhaltensparametern wird das Verkehrsverhalten der Bewohner bestimmt. Es stehen die Verfahren „individuelle Verkehrsverhaltenssimulation“ und „generelle Verkehrsverhaltensrechnung“ zur Verfügung.

Für die individuelle Verkehrsverhaltenssimulation werden auf Basis der Strukturdaten in den Zellen einzelne Personen zufällig ausgewählt. Diesen Personen werden auf Basis von soziodemographischen Verteilungsfunktionen Eigenschaften wie Alter, Geschlecht, Berufstätigkeit und PKW-Verfügbarkeit zugeordnet. Für die Einzelpersonen werden Wegeketten mit Zeitangaben, Wegezielen und Verkehrsmitteln ermittelt. Das Verfahren ist sehr flexibel und erlaubt es, die Abhängigkeiten der Wegeigenschaften von den Personeneigenschaften zu simulieren.

In der generellen Verkehrsverhaltensrechnung wird für die Fahrzwecke Arbeitspendelfahrten, Ausbildungspendelfahrten und für sonstige Fahrten jeweils eine Fahrtenmatrix erzeugt und diese werden zu einer Gesamtmatrix aufsummiert. Für die drei Fahrzwecke werden jeweils eigene Gravitationsansätze und Modal-Split-Verteilungen nach Fahrtweiten verwendet.

3.1.3. Netzumlegung

Die errechneten Personenfahrten werden auf die Verkehrsnetze umgelegt. Es ergeben sich die Netzbelastungen und die neuen Erreichbarkeiten. Das Stadtmodell hat eine einheitliche Form für die Darstellung von Verkehrsnetzen. IV-Strecken, ÖV-Linien und Rad-Verbindungen können gemeinsam in einem Netz modelliert werden, wodurch die Umlegung von Park&Ride- oder Bike&Ride-Wegen ermöglicht wird. Da das Stadtmodell mehrere Netze gleichzeitig bearbeiten und darstellen kann, ist es auch möglich, die Verkehrsarten in verschiedenen Netzen umzulegen.

3.2. Eingangsdaten

Mobidyn benötigt als Eingangswerte, ähnlich einem herkömmlichen Verkehrsmodell, Strukturdaten, Verhaltensparameter und Verkehrsnetze. Zusätzlich sind für die Abschätzung der Allokation von Bevölkerung und Arbeitsstätten Angaben über Baulandverfügbarkeit und Baubestand notwendig. Abhängig von den besonderen Bedingungen in der Modellregion müssen oft weitere Grunddaten erhoben und Allokationsregeln eingeführt werden.

Die Eingangsdaten müssen für den Beginn des Prognosezeitraums vorliegen und können je nach Szenario zwischen je zwei Durchrechnungen neu gesetzt werden. Verhaltensparameter oder Allokationsregeln können im Verlauf der Modellrechnung geändert werden, wenn dadurch bestimmte öffentliche Eingriffsmöglichkeiten wie Fahrpreisänderungen, Parkraumbewirtschaftung, öffentlicher Wohnbau, Förderung von Betriebsansiedelung oder die Bewerbung des öffentlichen Verkehrs modelliert werden.

3.2.1. Eingangsdaten Raumstruktur

Als Zelleigenschaften sind Wohnbevölkerung, Beschäftigte, Bebauung, Baulandreserven, soziale Infrastruktur, Freizeitqualität und eine Kennung für Zentralität vergeben. Die Wohnbevölkerung ist in sechs Klassen angegeben und zusätzlich ist für Wien auch der Ausländeranteil vorhanden. Um das Potential für innere Verdichtung und Stadterneuerung abschätzen zu können, wurde für Wien das Alter der Wohnbebauung in sechs Klassen eingegeben, weiters sind der Anteil der Einfamilienhäuser und die Wohnungen im sozialen Wohnbau vorhanden. Für die Wohnbebauung ist auch die gewidmete Dichte bekannt.

3.2.2. Eingangsdaten Verkehrsverhalten

Für die Verkehrsverhaltensrechnung werden die Ergebnisse einer Verkehrsverhaltensbefragung, wie Wegezanzahl pro Tag für Schüler, Berufstätige und Sonstige, Tagesganglinien, durchschnittliche Fahrtweiten und durchschnittlicher Modal-Split in Abhängigkeit von der Fahrtweite für Arbeitswege, Ausbildungswege, Erledigungswege und Freizeitwege verwendet. Diese Werte werden, wenn sie nicht zellenweise vorliegen, für die Stadt und das Umland getrennt erhoben. Für die Eichung ist eine Kordonzählung an der Stadtgrenze sehr von Vorteil.

3.2.3. Eingangsdaten Netzumlegung

Die wichtigsten Eingangsdaten für die Netzumlegung sind die Verkehrsnetze. Für Wien werden Verkehrsnetze für den Individualverkehr und für den öffentlichen Verkehr verwendet. Für die deutschen Modellstädte werden auch eigene Radwegenetze verwendet. Für das ÖV-Netz werden die Wartezeiten zwischen einzelnen Linien aus den Intervallen berechnet. Zusätzliche Gehzeiten in Stationen oder besonders ungünstige Wartezeiten können eingegeben werden. Das Radverkehrsnetz ist als Erweiterung des IV-Netzes modelliert. Weiters sind für das Radverkehrsnetz Gebiete, in denen ohne Überwindung von Barrieren im niederrangigen Straßennetz radgefahren werden kann, abgegrenzt.

3.2.4. Eingangsdaten für die Kalibrierung

Die Kalibrierung des Stadtmodells besteht aus der statischen Kalibrierung des Bestands und der dynamischen Kalibrierung der Verfahren für die Prognose.

Bei der statischen Kalibrierung werden vor allem Verkehrszählungen, Spinnenerhebungen und Fahrgastzählungen verwendet, um die Verhältnisse im Bestand möglichst gut abzubilden. Die Strukturdaten werden mit zusätzlichen soziodemografischen Daten auf ihre Richtigkeit und Plausibilität überprüft. Die Kalibrierung der Prognose erfolgt einerseits über bekannte Verhältniszahlen (wie Kindergartenplätze pro Einwohner und Flächenbedarf pro Kindergartenplatz). Außerdem wird ausgehend von weiter zurückliegenden Ausgangsdaten die Entwicklung bis zum bekannten gegenwärtigen Zustand durchgerechnet, um die Validität des Modells zu überprüfen.

3.3. Modellergebnisse

Die End- und Zwischenergebnisse des Modells sind einerseits Änderungen in den Strukturdaten und andererseits Fahrtenmatrizen, Netzbelastungen und Erreichbarkeiten.

3.3.1. Ergebnisse Raumstruktur

Das Modell liefert zellenweise die Wohnbevölkerung, die Beschäftigten in den fünf Klassen, das Alter der Wohnbebauung und die verbleibenden Baulandreserven. Daraus können weitere Werte wie die Bebauungsdichte abgeleitet werden.

3.3.2. Ergebnisse Verkehrsverhalten

Das Modell liefert getrennt nach den Verkehrsträgern motorisierter Individualverkehr, öffentlicher Verkehr und nicht motorisierter Verkehr die Verkehrsmatrizen für den durchschnittlichen Werktag. Die Auswertung der Matrizen liefert den Modal-Split und die Fahrtenanzahlen für den Gesamtverkehr, den Verkehr einer Ziel- oder Quellregion oder den Verkehr eines Kordons.

3.3.3. Ergebnisse Netzumlegung

Die Netzumlegungen liefern für die einzelnen Verkehrsarten Netzbelastungen und Widerstandsmatrizen. Die Netzbelastungen werden als Balkenstärken im Netzgraphen angezeigt. Die Widerstandsmatrizen werden in den Allokations-Regeln für die Raumstruktur und in der Verhaltenssimulation verwendet. Aus der Netzumlegung abgeleitete Größen sind die Fahrtweiten, Fahrgastkilometer, Fahrzeugkilometer, die Erreichbarkeiten oder Verkehrsspinnen.

4. PROGRAMMSTRUKTUR

Als Basis für Mobidyn wurde eine Kommando-Sprache mit einer graphischen Oberfläche gewählt, in der die Programmteile von Mobidyn als zusätzliche objektorientierte Befehle eingebaut wurden. Dadurch erhöht sich die Flexibilität und Wartbarkeit des Programms bei gleichzeitiger Reduktion der Komplexität und der Entwicklungszeit.

Unterschiedliche Regeln für verschiedene Simulationsvarianten können wie Daten zur Laufzeit zugeladen werden.

Neue Verfahren können leicht ausprobiert werden, um später als schnelle Kommandos ausprogrammiert zu werden.

Die graphische Benutzeroberfläche ist von der Programmstruktur unabhängig; ein GUI-Editor ist vorhanden.

Die standardisierten Kommandos (z.B. Netzumlegung) und Datenstrukturen (z.B. Verkehrsnetz) sind von den stadtspezifischen Regeln getrennt. Die stadt- oder variantenspezifischen Teile werden in wenigen Zeilen konzentriert formuliert.

Die Teile des Stadtmodells sind beliebig kombinierbar.

Hilfsprogramme für Darstellung & Kalibrierung werden bei Bedarf automatisch zugeladen.

5. LITERATURLISTE

- Andersson A.E., C. Anderstig und B. Harsman 1990: Knowledge and communications infrastructure and regional economic change. *Regional Science and Urban Economics* 20, pp. 359-376.
- Anderstig C. 1989: Transportation investments, accessibility, and land values: In *Metropolitan Infrastructure*, Report to the Commission on Metropolitan Problems, SOU 1989 (112) Stockholm: Allmänna förlaget (in Swedish).
- Anderstig C. und L-G. Mattson 1989: Interregional allocation models of infrastructure investments. *The Annals of Regional Science* 23, pp. 287-298
- Anderstig C. und L-G. Mattson 1991: An integrated model of residential and employment location in a metropolitan region. *Papers in Regional Science* 70, pp. 167-184
- Batty M. 1976: *Urban Modelling - Algorithms, Calibrations, Predictions*, Cambridge University Press.
- Gakenheimer R. 1993: *Land Use/Transportation Planning: New Possibilities for Developing and Developed Countries*, *Transportation Quarterly* 47/2.
- Heinze G.W. 1977: Raumentwicklung und Verkehrsentstehung als mehrdimensionales Verteilungsproblem, in: *Berichte zur Raumforschung und Raumplanung* 2/1977, Österr. Gesellschaft für Raumforschung und Raumplanung, Springer Verlag, Wien.
- Heinze G.W. 1979: Verkehr schafft Verkehr, in: *Berichte zur Raumforschung und Raumplanung* 4,5/1979, Österr. Gesellschaft für Raumforschung und Raumplanung, Springer Verlag, Wien.
- Hunt J.D. and D.C. Simmonds 1993: Theory and application of an integrated land-use and transport modelling framework, *Environment and Planning B: Planning and Design*, Volume 20, pp. 221-244.
- Knoflacher H. et al. 1985: Raumwirksamkeit von Verkehrssystemen, *Straßenforschung* Heft 268, Bundesministerium f. Bauten u. Technik, Wien.
- Lichtenberger E. (Hsg) 1989: *Österreich - Raum und Gesellschaft zu Beginn des 3. Jahrtausends*, Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien.
- Lee D. B. Jr. 1973: Requiem for Large Scale Models, *Journal of the American Institute of Planners*, Vol. 39, pp. 163-78.
- Oosterhout J. K. 1995: *Tcl und Tk, Entwicklung grafischer Benutzerschnittstellen für das X Window System*, Addison-Wesley Publishing Company
- Sorgo K. 1977: *Siedlungseinflüsse auf die individuelle Regulierung von Fortbewegungsaktivitäten*, Dissertation, ETH Zürich.
- Sammer G. 1992: *Siedlungsstruktur und Verkehrssystemplanung*, Beiträge zu einem Seminar der Fakultät für Raumplanung und Architektur der TU-Wien, *Wiener Beiträge zur Regionalwissenschaft*, Band 14.
- Snizek S. 1992: *Siedlungsstruktur und Verkehrssystemplanung*, Beiträge zu einem Seminar der Fakultät für Raumplanung und Architektur der TU-Wien, *Wiener Beiträge zur Regionalwissenschaft*, Band 14.
- Steindorfer P. 1988: Verkehr als städtebauliches Problem, in: *Straßen und Verkehr 2000*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln.
- Wegener 1994: Operational Urban Modells - State of the Art, *Journal of the American Planning Association*, Vol. 60, pp. 17-29.
- Wheaton W. 1977: Residential decentralization, land rents, and the benefits of urban transportation investment. *The American Economic Review* 67, pp. 183-143
- Zuckermann W. 1991: *End of the Road*, The Lutherworth Press, Cambridge.