



Prof. Dr. Harald Kipke, Patrick Schwentek M.Eng.; Nürnberg

Bewirkt Reurbanisierung Reisezeit- und Wohlstandsverluste?

Makroskopische Analyse der Auswirkungen von Verkehrsangebot und Siedlungsstruktur auf ökonomische und ökologische Indikatoren

Seit zehn Jahren steigt der Ölpreis kontinuierlich an und erreichte im Jahr 2011 seinen bisherigen Höchststand von etwa 107 US\$/Barrel. Vor dem Hintergrund der immer noch starken Abhängigkeit der Auto-Mobilität vom Öl, tritt zwischenzeitlich immer häufiger die Frage auf, ob die Fortführung unseres derzeitigen energieintensiven Verkehrsverhaltens zukunftsfähig ist. Ein erheblicher Anteil dieses Mobilitätsverhaltens ist nachweislich unserer Siedlungsstruktur geschuldet. Nur das Automobil in Verbindung mit billigem Öl ermöglichten die Siedlungsstruktur vor allem im Umland der großen Städte, welche persönliche Reiseweiten nach sich zieht, die zu Fuß nicht mehr und mit öffentlichen Verkehrssystemen nur unwirtschaftlich oder unattraktiv bewältigt werden können. Eine Rückbesinnung zur dichten Stadt des 19. Jahrhunderts setzt ein, wenngleich unter veränderten Randbedingungen.

Es gibt jedoch auch grundsätzlich andere Sichtweisen. In den Vereinigten Staaten, in denen in der ersten Dekade des 21. Jahrhunderts die ersten Maßnahmen zur Rückkehr der Straßenbahn in die Städte ergriffen wurden, gibt es auch in der Verkehrswissenschaft vehemente Gegner der mit öffentlichen Verkehrsmitteln verbundenen Reurbanisierung [1]. Sie attestieren der mit dem Automobil geschaffenen Suburbanisierung gewaltige Wohlstandseffekte, die nun mit der Rückkehr zur dichten ÖPNV-Stadt vernichtet werden. Investitionen vor allem in den schienengebundenen Verkehr seien eine immense Vernichtung von öffentlichem Geld ohne Nutzen. Zur Begründung wird ausgeführt, dass dünn besiedelte „automobile“ Siedlungsstrukturen – wie in Nordamerika – gegenüber dichten ÖPNV-affinen Siedlungsstrukturen – wie in Europa oder Asien – zu einer deutlich verringerten persönlichen Reisezeit im motorisierten Individualverkehr führten, wie ein empirischer Vergleich von nordamerikanischen mit europäischen Städten zeigt [2]. Wenngleich derartige Schlussfolgerungen auch ernsthaft in Zweifel gezogen werden und ihre Vertreter sogar als *intellektuelle Terroristen* bezeichnet werden [3], so bieten sie doch Anlass genug, den Versuch zu unternehmen, die ökonomischen und ökologischen Zusammenhänge von Siedlungsdichte

und -verteilung sowie Verkehrssystemen einmal genauer zu untersuchen.

Die in [2] aufgeführte Hypothese der ökonomischen Mobilitäts-Vorteile disperser Siedlungsstrukturen wird ausschließlich empirisch begründet. Ohne die zum Teil fragwürdigen Annahmen und Schlussfolgerungen für die Richtigkeit dieser umstrittenen Hypothese in Frage zu stellen, bietet diese fachliche Provokation einen guten Anlass, die sicherlich auch auf praktischen Erfahrungen basierende Hypothese, ein höherer ÖPNV-Anteil führe in einem verkehrlichen Gesamtsystem zu längeren Fahrtzeiten und damit zu Wohlstandsverlusten, wissenschaftlich genauer, das heißt mit deduktiven Ansätzen, zu untersuchen.

Ansatz und Methodik

Die Überprüfung der eingangs sehr allgemein formulierten Hypothese macht es erforderlich, den Geltungsbereich der Hypothese zu konkretisieren. Die in [1] und [2] wiedergegebene Proklamation der Suburbanisierung stützt sich in ihrer Begründung ausschließlich auf die Geschwindigkeit als Indikator für Wohlfandeffekte. Der Einfluss der Siedlungsdichte im Hinblick auf die in Summe aufgewendete Reisezeit sowie auf die in Summe aufzuwendenden Unterhaltskosten für die gleiche Bevölkerung wird nicht berücksichtigt. Im vorliegenden Ansatz soll jedoch untersucht werden, wie sich

- die Siedlungsdichte,
- die Siedlungsverteilung und
- das ÖPNV-Angebot

auf den damit verbundenen ökonomischen und ökologischen Mobilitätsaufwand auswirken.

Hierzu musste zunächst ein Ansatz entwickelt werden, der das Zusammenwirken von Verkehrs- und Siedlungsstrukturen qualitativ und quantitativ beschreibt. Aufgrund der Komplexität der Wechselwirkungen innerhalb der drei Eingangsgrößen Siedlungsdichte, Siedlungsstruktur und ÖPNV-Angebot wird zur Berechnung der den ökonomischen und ökologischen Mobilitätsaufwand beschrei-



Kipke



Schwentek

DIE AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Harald Kipke (54) ist Leiter des Labors für Verkehrswesen an der Technischen Hochschule Nürnberg. Er studierte Bauingenieurwesen an der TU München und promovierte dort auf dem Gebiet der Planungsmethodik. Nach mehrjähriger Tätigkeit in der Wirtschaft, wurde er 1999 an die Fachhochschule Bochum und 2001 an die Georg-Simon-Ohm-Hochschule Nürnberg berufen. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der Verkehrsnachfrageanalyse sowie der Auswirkungen neuer Mobilitätsformen. Er forscht am Nuremberg Campus Of Technology (NCT) und ist Studiengangsleiter des neuen Master-Studiengangs Urbane Mobilität (Verkehrswesen) an der TH Nürnberg.

M.Eng. Patrick Schwentek (28) ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Nuremberg Campus Of Technology (NCT) und arbeitet seit seinem Masterabschluss im Jahre 2011 am Labor für Verkehrswesen an der Technischen Hochschule Nürnberg. Er ist Doktorand am Institut für Geographie der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg im Rahmen einer kooperativen Promotion.

benden Größen, Gesamtreisezeit und Gesamtenergieaufwand, auf ein leistungsfähiges makroskopisches Verkehrssimulationsmodell zurückgegriffen. Das Modell ermöglicht es, die zur Erlangung der Allgemeingültigkeit der Aussagen erforderlichen Variationen der Eingangsgrößen schnell und unkompliziert durchzuführen. Auf die Überprüfung der Wechselwirkungen an Hand eines real existierenden Stadtraumes wurde bewusst verzichtet. Spezifische geographische oder demographische Randbedingungen in einer realen Stadt können die Ergebnisse so weit verzerren, dass die angestrebte Allgemeingültigkeit der mit den Berechnungsergebnissen erzielten Aussagen leiden könnte. Die Berechnungen und Auswertungen werden daher bewusst an einer standardisierten Modellstadt mit etwa 200000 Einwohnern durchgeführt (Abb. 1).



Eine spätere Ausweitung des Forschungsprojekts auf unterschiedliche Stadtgrößen oder auch ländliche Siedlungsverteilungen ist möglich und beabsichtigt. Schließlich beschränkte sich das studentische Eigenforschungsprojekt zunächst auf die in europäischen Städten übliche Radial-Ring-Struktur im Verkehrsnetz. Aussagen über die Wirksamkeit orthogonaler Netze, wie in Nordamerika üblich, sind daher in der ersten Stufe noch nicht beabsichtigt. Zur Anwendung kam zur Simulation der Routenentscheidungen das in Deutschland verbreitete und ausgereifte Verkehrssimulationsmodell PTV Visum, für die Verkehrsmittelwahl und die Verkehrserzeugung das Verkehrserzeugungsmodell PTV Viseva. Zweck der Anwendung derartiger Verkehrsmodelle ist in diesem Falle nicht die Optimierung des Verkehrs, sondern die Simulation eines möglichst realitätsnahen Verkehrsverhaltens von Personen unter veränderten verkehrlichen Angebotsstrukturen als Randbedingung.

Modellaufbau und Kalibrierung

Netzmodell

Für die Erstellung des Streckennetzes einer Modellstadt wurde zunächst ein Netzgenerator entwickelt, welcher in der Lage ist, radial-symmetrische Netze beliebiger Größe für die Anwendung in PTV Visum zu generieren. Mit Hilfe des Netzgenerators war es möglich, Verkehrsnetze in verschiedener Darstellungstiefe zu erzeugen, das heißt, je höher die Darstellungstiefe desto feingliedriger wird das Netz erzeugt. Auf diese Weise lassen sich über einen Skalierungsmodus auch Verkehrsnetze für größere oder kleinere Städte in gleicher Weise erzeugen.

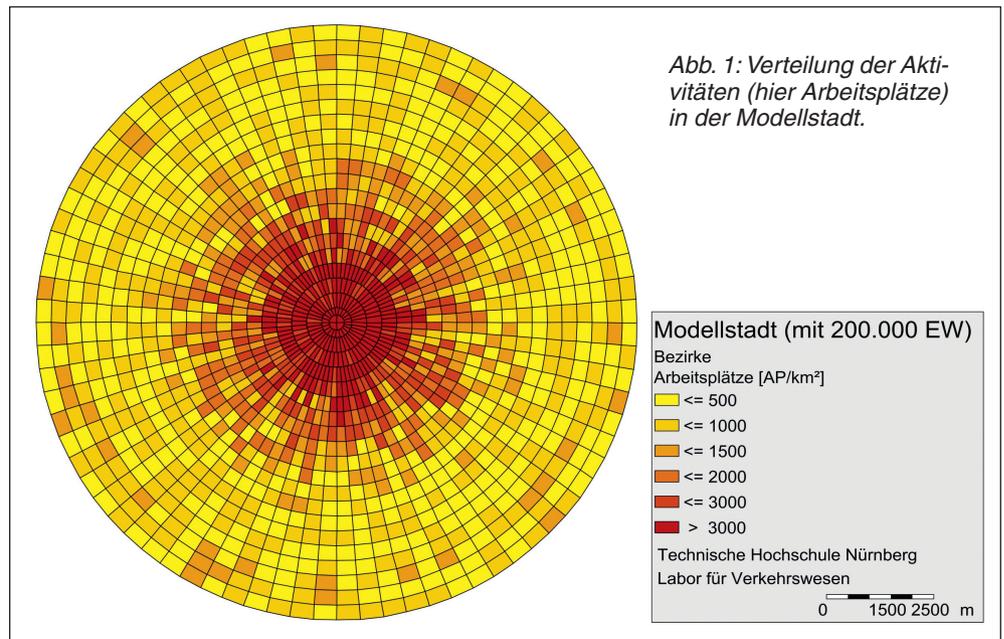
Die Ebene der makroskopischen Netzmodellierung basiert lediglich auf den Modellelementen

- Knoten,
- Kanten (Strecken),
- den Übergängen innerhalb der Knoten (Abbiegevorgänge) und
- den Verbindungsstrecken zwischen Knotenpunkten und den zuvor festgelegten Einspeisungs- und Aufnahmepunkten für den Verkehr, so genannte Anbindungen.

Weitere Merkmale wie beispielsweise Kurvenausrundungen werden vom Routenwahlmodell nicht erkannt und sind daher auf der Ebene der makroskopischen Verkehrssimulation für die Entscheidungswahl nicht relevant.

Normierung ÖV-spezifischer Angebots- und Nachfragegrößen

Zur Sicherstellung der Allgemeingültigkeit der mit den Modellrechnungen erzielten qualitativen und quantitativen Aussagen war es erforderlich, die Modellstadt darüber hinaus zuvor zu standardisieren. Sie sollte daher



über alle verkehrsrelevanten Eigenschaften von Städten ähnlicher Größenordnung verfügen. Hierzu wurden aus vergleichbar großen deutschen Städten ausgewählte verkehrsspezifische Kenndaten, wie die Fläche und die Einwohnerdichte, aber auch der Anteil der Fahrten, die mit öffentlichen Verkehrsmitteln unternommen werden (ÖPNV-Anteil), analysiert und auf das Stadtmodell übertragen.

Der ÖPNV-Anteil stellt eine bedeutende Schlüsselgröße für die sich im Netz ergebende Gesamtreisezeit dar. Zur Implementierung des ÖPNV-Anteils in das makroskopische Verkehrsmodell bieten sich dabei drei grundsätzlich unterschiedliche Möglichkeiten an:

- Es wird unabhängig vom Verkehrsangebot ein fester ÖPNV-Anteil auf allen Herkunft-Ziel-Beziehungen unterstellt. Diese Vorgehensweise lässt extremale Betrachtungen zu (zum Beispiel ÖPNV-Anteil 100 Prozent) und führt zu einem besseren Teilverständnis des ursprünglich beabsichtigten Zusammenhangs zwischen ÖPNV-Anteil und Gesamtreisezeit im Netz. Nachteilig ist jedoch, dass kein kausaler Zusammenhang zwischen Verkehrsnachfrage und Angebotsmerkmalen wie Bedienungshäufigkeit, Liniennetz-, und Haltestellendichte besteht; dies sind jedoch Größen, die unmittelbar wirksam für die Berechnung der Reisezeiten sind.
- Der ÖPNV-Anteil wird für jede Herkunft-Ziel-Beziehung aus dem Verkehrsangebot mit Hilfe des Verkehrserzeugungsmodells berechnet. Dieser modelltheoretische Ansatz, in welchem der ÖPNV-Anteil im Wesentlichen aus den Einflussgrößen Reisezeit und Entfernung resultiert, führt erfahrungsgemäß nicht zu Ergebnissen, welche sich mit den praktischen Beobachtungen decken, da zu viele für die Verkehrs-

mittelwahl mitentscheidende Faktoren, wie Alter, sozialer Status und Milieu aber auch ökonomische Einflüsse, wie eine veränderte Nachfrageelastizität im ÖPNV unberücksichtigt bleiben. Zudem kann mit diesem Ansatz kaum ein so veränderter ÖPNV-Anteil erzielt werden, dass die oben genannten extremalen Betrachtungen möglich sind.

- Der ÖPNV-Anteil wird pauschal, also unabhängig von der Herkunft-Ziel-Beziehung, jedoch auf Basis aggregierter Angebotsbeschreibungsgößen errechnet, beziehungsweise angesetzt. Diese Vorgehensweise stellt einen Kompromiss zwischen den beiden ersten Ansätzen dar und basiert auf dem im Verfahren der Standardisierten Bewertung angewandten Berechnungsmodus über relative Veränderungen eines vorhandenen ÖPNV-Anteils. Da dieser Ansatz nicht auf der Ebene der Herkunft-Ziel-Beziehungen weiter verfolgt werden sollte, war es erforderlich, ein Berechnungsverfahren zu entwickeln, welches die Ermittlung eines stadtübergreifenden Gesamt-ÖPNV-Anteils aus nur wenigen relevanten Angebotskenngrößen ermöglicht. Der ÖPNV-Anteil der Modellstadt musste hierzu jedoch zuvor an Hand realer Städte ähnlicher Größenordnung kalibriert werden.

Für das weitere Vorgehen wurde der zuletzt genannte Ansatz gewählt, wobei die anderen beiden Ansätze sicherlich auch interessante Erkenntnisse ermöglichen und im Rahmen weiterer Studien untersucht werden sollen.

Die bimodalen Verkehrsmittelanteile (MIV, ÖPNV) müssen somit empirisch aus dem Verkehrsangebot ableitbar sein. Auf Basis von sechs realen deutschen Städten mit ähnlicher Einwohnerzahl, für die neuere Daten zur Verkehrsmittelwahl vorlagen, wurde eine



Gegenüberstellung angebots- und nachfrage-relevanter Kenngrößen, wie Einwohnerzahl und -dichte, Einzugsfläche, Betriebsleistung (Fahrzeug-km), Liniennlänge, und bimodaler Modal-Split-Anteil durchgeführt. Beim Vergleich der Kenngrößen der Großstädte und deren öffentliches Verkehrsangebot wurde jedoch auch festgestellt, dass die verkehrsspezifischen Kennzahlen zum Teil sehr stark voneinander abweichen. So ziehen Städte mit hoher Einwohnerdichte, aufgrund des hohen flächenbezogenen Nachfragepotenzials auch ein hohes flächenbezogenes Verkehrsangebot nach sich. Dies bedeutet, dass mit vergleichsweise geringer Betriebsleistung eine große Nachfrage im ÖV ausgeschöpft werden kann. Deshalb lässt sich die Verkehrsnachfrage nur eingeschränkt als Merkmal der Angebotsqualität verwenden.

Aus diesem Grund wurde zunächst eine Normierung der Angebots- und Nachfrage-Kenngrößen durchgeführt. Hierzu mussten zunächst Abweichungsmaße gebildet werden, welche die ausgewählten Angebots- und Qualitätskennwerte ins Verhältnis zum Durchschnittswert der jeweiligen Kennwerte setzen. Aus den zuvor aufgeführten Kenngrößen Bevölkerung, Einzugsfläche des ÖPNV, Verkehrsleistung (=Verkehrsaufwand) und der Liniennetzlänge wurde eine Normierung von ausgewählten Verhältniszahlen aus den jeweiligen Einzel- und Mittelwerten durchgeführt.

- k_p , welches die spezifische Einwohnerzahl mit der durchschnittlichen ins Verhältnis setzt,
- k_A , welches die spezifische Einzugsfläche mit der durchschnittlichen ins Verhältnis setzt,
- $k_{v, \text{ÖV}}$, welches die spezifischen Fahrzeugkilometer mit den durchschnittlichen ins Verhältnis setzt,
- $k_{L, \text{ÖV}}$, welches die spezifische Liniennlänge mit der durchschnittlichen ins Verhältnis setzt.

$$k_p = \frac{EW_i}{\bar{EW}} \quad k_A = \frac{A_i}{\bar{A}}$$

$$k_{v, \text{ÖV}} = \frac{Fz\text{gkm}_i}{\bar{Fz\text{gkm}}} \quad k_{L, \text{ÖV}} = \frac{L_i}{\bar{L}}$$

- i Laufvariable
- EW_i Einwohner der Großstadt n
- \bar{EW} Durchschnitt der Einwohner der untersuchten Großstädte
- A_i Einzugsfläche der Großstadt n
- \bar{A} Durchschnittliche Einzugsfläche der untersuchten Großstädte

- $Fz\text{gkm}_i$ Fahrzeugkilometer der Großstadt n
- $\bar{Fz\text{gkm}}$ Durchschnittliche Fahrzeugkilometer der untersuchten Großstädte
- L_i Länge des Liniennetzes der Großstadt n
- \bar{L} Durchschnittliche Länge des Liniennetzes der untersuchten Großstädte

Alle vier Maße zusammen bilden in Summe einen Gesamtfaktor f_p , welcher Angebots-, Nachfrage- und Qualitätsinformationen enthält (wobei die Qualitätsinformationen auch als Angebotsinformationen interpretiert werden können). Nur durch diese Normierung wird es möglich, weitere Einflussgrößen auf den bimodalen ÖPNV-Anteil, welche für die Streuung des kausalen Zusammenhangs verantwortlich sind, auszumitteln.

$$f_p = k_p - k_A + k_{v, \text{ÖV}} + \alpha \cdot k_{L, \text{ÖV}}$$

$$f_{\text{ÖV}} = \frac{y_{\text{ÖV}, i}}{\bar{y}_{\text{ÖV}}} \cdot \beta$$

Annahme: $f_p = f_{\text{ÖV}}$

$$k_p - k_A + k_{v, \text{ÖV}} + \alpha \cdot k_{L, \text{ÖV}} = \frac{y_{\text{ÖV}, i}}{\bar{y}_{\text{ÖV}}} \cdot \beta$$

$$y_{\text{ÖV}, i} = (k_p - k_A + k_{v, \text{ÖV}} + \alpha \cdot k_{L, \text{ÖV}}) \cdot \beta$$



Foto: Volker Emerleben

Abb. 2: Hoch verdichtete Ballungsräume sind optimal für den ÖPNV, vorausgesetzt, es sind nicht nur die Innenstädte, sondern auch die angrenzenden Stadtteile dicht besiedelt, wie dies in Frankfurt am Main (im Bild) im Unterschied zu zahlreichen US-Großstädten der Fall ist.

**Aktivitätenketten in der Modellstadt [9].**

Tabelle 1

	Aktivitätenkette	Anteil an Wegen	Wege/Tag
1	Wohnen-Arbeiten	11,50 %	0,40
2	Arbeiten-Wohnen	10,40 %	0,36
3	Wohnen-Bildung	8,30 %	0,29
4	Bildung-Wohnen	7,00 %	0,25
5	Wohnen-Einkaufen	11,40 %	0,40
6	Einkaufen-Wohnen	12,70 %	0,44
7	Wohnen-Freizeit	10,40 %	0,36
8	Freizeit-Wohnen	11,30 %	0,40
9	Sonstiges-Sonstiges	17,00 %	0,60
	Summe	100 %	3,5

ÖV-Qualitätsstufen im Linienkonzept des Stadtmodells.

Tabelle 2

Stufe	Linienkonzept im öffentlichen Verkehr	ÖV-Anteil ca.
ÖV 1	20 Buslinien (Radiallinien im 30min-Takt)	8 %
ÖV 2	22 Buslinien (30min-Takt, Radial- und Ringlinien), 4 Expressbuslinien (1h-Takt, Radiallinien)	11 %
ÖV 3	18 Buslinien (30min-Takt, Radial- und Ringlinien), 2 Straßenbahnlinien (15min-Takt, Durchmesserlinien)	12 %
ÖV 4	12 Buslinien (30min-Takt, Radiallinien), 6 Straßenbahnlinien (15min-Takt, Durchmesser- und Ringlinien)	14 %
ÖV 5	20 Buslinien (20min-Takt, Radial- und Ringlinien), 6 Straßenbahnlinien (6min-Takt, Durchmesser- und Ringlinien)	30 %

- f_p Gesamtfaktor, welcher sich aus der Normierung der Abweichmaße ergibt
- f_{ov} ÖV-Faktor
- $y_{ov,i}$ ÖV-Anteil der Großstadt i
- \bar{y}_{ov} Durchschnittlicher ÖV-Anteil der untersuchten Großstädte
- α, β Ermittelte Parameter aus multipler Regression

Der aggregierte, auf die Modellstadt bezogene ÖPNV-Anteil kann dann mit Hilfe eines zuvor empirisch ermittelten durchschnittlichen bimodalen ÖPNV-Anteils und Parametern bestimmt werden. Die Parameter wurden mit Hilfe der multiplen Regression bestimmt. Damit ist es nun möglich, den jeweiligen aggregierten ÖV-Anteil der Modellstadt aus normierten Kenngrößen „relativ“ zu berechnen. Die Einwohneranzahl, Einwohnerdichte und Einzugsfläche sollten dabei in jeder Angebots-Qualitätsstufe konstant bleiben. Die jeweiligen Kenngrößen können dann aus dem Verkehrsmodell abgelesen werden.

Kalibrierung der Reisezeitfunktion

Zur Kalibrierung des primären Einflusskriteriums, der benötigten Reisezeit, wurde analysiert, welche Teil-Einflussgrößen auf die Reisezeiten im Stadtmodell wirken [8]. Für die Zusammensetzung der Reisezeit sind im verwendeten Routenwahlmodell die Anbindungsgeschwindigkeit, die Streckengeschwindigkeit, die Strecken- und Abbiegekapazität, die Verkehrsbelastungen sowie die Abbiegeverlustzeiten maßgebend. Erfahrungsgemäß sinkt die Reisegeschwindigkeit auf einem Streckenabschnitt mit der Verkehrsdichte. Dies kann in Extremfällen bei Überschreiten der Kapazität des Verkehrsweges zu unendlichen Reisezeiten führen. In der Realität geschieht dies nicht, da der Zufluss tageszeitlichen Schwankungen unterworfen ist und sich ein Stau auch wieder abbaut. Der Zusammenhang zwischen Verkehrsbelastung, Kapazität und Reisezeit wird bekanntlich in der Verkehrsplanung mit der Capacity-Restraint-Funktion berücksichtigt.

Die Reisezeiten im öffentlichen Verkehr wurden mit PTV Visum fahrplanfein als Tür zu Tür-Reisezeiten ermittelt und enthalten somit auch die Zu- und Abgangswege zu den Haltestellen. Die Reisezeiten im nicht motorisierten Verkehr wurden entsprechend der Reisezeitermittlung im motorisierten Individualverkehr durchgeführt, wobei hier ein eigenes Verkehrsnetz zugrunde lag, dessen Kapazitätsgrenzen kaum auch nur näherungsweise erreicht wurde, so dass für den Radverkehr mit 15 km/h und für den Fußgängerverkehr mit 4 km/h als Reisegeschwindigkeit gerechnet werden konnte. Die Netzdichte im Fußgänger- und Radverkehrsnetz entsprach dabei der Netzdichte im Kfz-Verkehrsnetz.

Zur Analyse der Auswirkung der einzelnen Parameter der Reisezeitfunktion in PTV Visum auf die Gesamtreisezeit im Netz wurden innerhalb des generierten Modellnetzes zwei identische Strecken von je 1 km Länge untersucht. Diese Strecken bestanden jeweils aus drei Einzelabschnitten mit zwei Abbiegevorgängen. Die mit dem Verkehrsmodell ermittelten routen-bezogene Reisezeiten dieser beiden Strecken wurden anschließend anhand empirisch gewonnener Werte auf ihre Plausibilität überprüft [8].

Kumulative Gesamtreisezeit

Die kumulative Gesamtreisezeit stellt die Reisezeit dar, die von allen Verkehrsteilnehmern innerhalb eines bestimmten Zeitraums in Summe für Ortsveränderungen benötigt wird. Sie ist damit auch ein wichtiger verkehrswirtschaftlicher Indikator. Für die Berechnung dieses Wertes wird ein Analysetag mit 24 Stunden angenommen und nach Verkehrsmitteln getrennt simuliert. Alle Eingangsgrößen zur kumulativen Reisezeitberechnung wurden im Rahmen der Reisezeitparametrierung zuvor getrennt nach Verkehrsmittel auf Plausibilität überprüft. Für die Berechnung der kumulativen Gesamtreisezeit aller Nutzer wurden im Modell für die jeweiligen Nachfrageschichten die einzelnen Belastungen der Ortsveränderungen mit der spezifischen Reisezeit multipliziert und nach Verkehrsart aufsummiert.

$$t_{Ges} = \sum_{k=1}^n \sum_{m=1}^p t_{akt}$$

- k, n Nachfrageschichten
- m, p Verkehrsmittel
- t_{akt} Reisezeit auf der belasteter Route

Abbildung der Verkehrsnachfrage

Zur Erzeugung der Verkehrsnachfrage wurde das von Lohse entwickelte makroskopische Gruppenverhaltens- und Verkehrsstrommodell EVA verwendet [6]. Das EVA-Modell basiert auf verhaltenshomogenen Personengruppen und deren unterschiedlichen Verkehrsaktivitäten. Die Verkehrserzeugung und -verteilung erfolgt in diesem Modell voneinander unabhängig. In der Modellstufe der Routenwahl werden die zuvor errechneten Verkehrsstromverteilungen wieder auf die im Netzgenerator erzeugten Verkehrswege zusammengeführt und als Belastungen dargestellt. Das Erzeugungsmodul des EVA-Modells basiert auf Kennwerten. Diese Kennwerte (Reisezeit, Reiseweite, Widerstand et cetera) können entweder aus empirischen Erhebungen, wie einer Verkehrsbefragung vor Ort erfasst werden oder wie – im konkreten Fall – den Untersuchungsergebnissen der Studie *Mobilität in Deutschland* [9] entnommen werden. Zu den wichtigsten Kennwerten gehören die Strukturgrößen und ihre Verteilung über die Stadt, die Mobilitätsrate, der Verkehrsmittelanteil und Tagesganglinien.

Strukturgrößen beschreiben das Maß für die Attraktivität eines Bezirkes als Quelle oder Ziel. Die Strukturgrößen stellen aus den zugehörigen Personengruppen eine Quell- und Zielgröße für alle Nachfrageschichten dar. Anders als bei der gewöhnlichen Verkehrserzeugung wurde bei der vorliegenden Untersuchung zunächst nur von der Personengruppe *Einwohner* ausgegangen und die Strukturdaten abhängig von der Mobilität der Nachfrageschichten (Wohnen, Einkauf, Freizeit, Bildung und Sonstige) erzeugt. Die Mobilitätswerte wurden der Verkehrserhebung *Mobilität in Städten* [9] entnommen und auf



das Stadtmodell angepasst. Die Strukturgrößen im Stadtmodell wurden sowohl symmetrisch als auch asymmetrisch über die Stadtfläche verteilt angesetzt. Bei der symmetrischen Verteilung werden alle Strukturdaten gleichmäßig auf die Bezirke aufgeteilt, bei der asymmetrischen Verteilung werden bekannte Einflüsse auf die Strukturgrößenverteilung, wie zum Beispiel der Abstand zum Stadtmittelpunkt bei der Aufteilung berücksichtigt und die Strukturdaten sind somit ungleichmäßig (Abb 1). Damit sollten die Auswirkungen einer veränderten Siedlungsverteilung auf die Reisezeit erfasst werden.

Erste Berechnungsergebnisse zeigten, dass beim Vergleich der kumulierten Gesamtreisezeiten bei gleichen ÖV-Qualitätsstufen die Werte bei einer asymmetrischen Siedlungsverteilung nur um fünf Prozent höher liegen als bei einer symmetrischen Verteilung der Strukturgrößen. Offensichtlich führt bei einer asymmetrischen Strukturgrößenverteilung die unsymmetrische Anordnung der Strukturdaten in Kombination mit einem symmetrisch angelegten Liniennetz zu längeren Ortsveränderungen und damit auch zu höheren Reisezeiten. Dieser Einfluss tritt jedoch nur bei einem qualitativ guten ÖV-Angebot auf, bei einem qualitativ geringen ÖV-Angebot sind die Differenzen marginal, so dass in den weiteren Schritten nur noch die Ergebnisse der asymmetrischen Siedlungsverteilung dargestellt sind.

Die *Mobilitätsrate* beschreibt die Zahl der physischen Ortsveränderungen einer Person pro Zeiteinheit und kann weiter nach Aktivitäten differenziert werden. Aus der Studie *Mobilität in Deutschland 2008* hervorgehend wurde eine Gesamtanzahl von 3,5 Wegen pro Person und Tag zugrunde gelegt und weiter in die Aktivitäten Arbeit, Wohnen, Bildung, Einkaufen, Freizeit und Sonstige unterteilt (Tabelle 1).

Der *Verkehrsmittelanteil* (modal split) wurde zunächst monomodal entsprechend der zuvor beschriebenen Normierung der ÖV-spezifischen Angebots- und Nachfragegrößen ermittelt. Die jeweiligen Anteile des Rad- und Fußgängerverkehrs wurden unabhängig von den unterschiedlichen ÖV-Qualitätsstufen unverändert belassen (Radverkehr zirka 26 Prozent, Fußgängerverkehr etwa 15 Prozent). Der Anteil des motorisierten Individualverkehrs berechnet sich aus dem Gesamtverkehrsaufkommen abzüglich des ermittelten Anteils des öffentlichen Verkehrs (Tabelle 2) und der festgesetzten Anteile des Rad- und Fußgängerverkehrs.

Die *Tagesganglinie* beschreibt den Zusammenhang zwischen der Verkehrsstärke und dem Tageszeitintervall. Zu jeder Tageszeit herrscht eine unterschiedliche Verkehrsstärke, die durch die Kapazitäten der Strecken im Netz berücksichtigt werden muss. In der Grundeinstellung von PTV Visum wird von einer Tagesganglinie ausgegangen, die den Tagesverkehr gleichmäßig über den Tag verteilt, jedoch werden keine Tagesspitzen be-

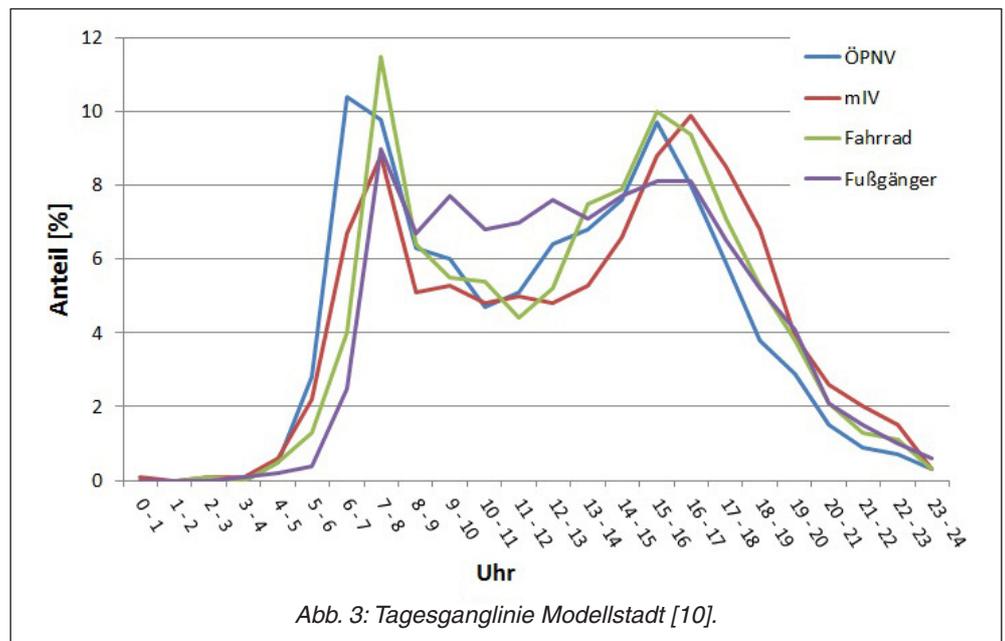


Abb. 3: Tagesganglinie Modellstadt [10].

rücksichtigt. Entsprechend wird die Belastung gleichmäßig über den Analysetag verteilt. Um Reisezeitverluste durch Überlastung der Strecken zu simulieren, müssen aktivitäts- und verkehrsmittelspezifische Tagesganglinien in das Programm eingegeben werden. Die relative Verteilung des Verkehrs über den Tag wurde aus der Studie *Mobilität in Städten* entnommen und auf die Modellstadt angeglichen [10].

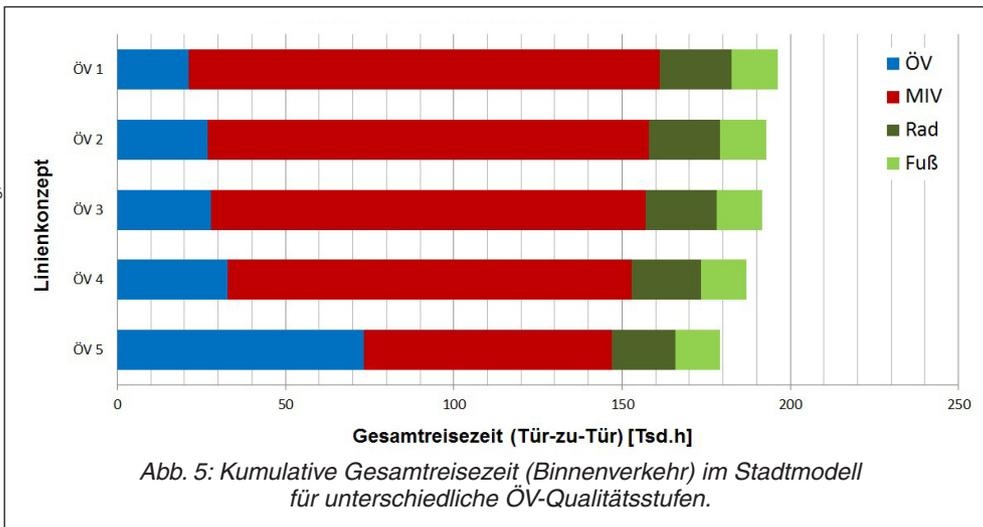
Ergebnisse und Auswirkungen

Die bisherigen Ergebnissen zeigen, dass in dem vorliegenden standardisierten Stadtmodell eine Veränderung des Modal Splits zu Gunsten des ÖV insgesamt eine geringfügige Senkung der Gesamtreisezeit zur Folge hat (Abb. 5). Die zu Beginn zu überprüfende Hypothese, dass eine Verschiebung von Ortsveränderungen vom MIV zum öffentlichen Ver-

kehr zu einer Erhöhung der Gesamtreisezeit führt, konnte mit den vorliegenden Annahmen für die Siedlungsverteilung, Siedlungsdichte und ÖV-Qualität nicht bestätigt werden. Im Gegenteil, gegenüber der Ausgangsqualitätsstufe ÖV 1 mit einem ÖV-Anteil von rund acht Prozent sank die kumulierte Gesamtreisezeit bei konstanter Anzahl von Ortsveränderungen in der ÖV-Qualitätsstufe ÖV 5 mit einem ÖV-Anteil von rund 30 Prozent um etwa zehn Prozent. Es wurden rund 18 000 Stunden/Tag an Reisezeit eingespart. In der Variante mit dem besten ÖPNV-Angebot (ÖV 5) steigt die Summe der Reisezeiten, die im öffentlichen Verkehrssystem zurückgelegt wird, natürlich an, da eine größere Anzahl von Ortsveränderungen mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurückgelegt wird, ein dichter Takt führt jedoch zu kürzeren Wartezeiten und Umsteigezeiten bei jeder Ortsveränderung, gleichzeitig sinken die Reisezeiten im Straßenverkehr infolge der geringeren Netz-Auslastung.



Abb. 4: Ausschnitt aus den Simulationsergebnissen.



Dennoch zeigen die bisherigen Berechnungsergebnisse nur eine Tendenz und müssen durch weitere Variationen der Eingangsparameter auf ihre Validität geprüft werden. So ist beispielsweise zu erwarten, dass in Straßennetzen mit geringer Auslastung im Ausgangszustand die Reisezeit-evidenten Effekte einer Verlagerung von MIV-Fahrten auf den Öffentlichen Verkehr geringer ausfallen als bei hoher Auslastung. Ebenso unberücksichtigt blieb der Effekt einer möglichen Verdichtung der Fußgänger- und Radverkehrsnetze, was zu kürzeren Wegelängen und damit auch zu einer geringeren Reisezeit in Summe führen könnte. Hierzu sind noch weitere Untersuchungen erforderlich.

Zudem basieren die eingangs erwähnten Schlussfolgerungen von Cox [1] vor allem auf nordamerikanischen Verhältnissen und dort auf der Messung der durchschnittlichen Geschwindigkeit im Straßenverkehr, die in europäischen Städten offensichtlich geringer ist als in nordamerikanischen Städten. Da die Siedlungsdichte in nordamerikanischen Städten deutlich geringer ist als in europäischen Städten wird von dem Sonderfall *geringer Siedlungsdichte* auf eine Allgemeingültigkeit geschlossen, die so nicht belegbar ist. Die geschilderten Untersuchungen müssten daher auch mit unterschiedlichen Siedlungsdichten erfolgen.

Fazit

Von Verkehrswissenschaftlern aus den USA wird die provokante These vertreten, disperse Siedlungsstrukturen schafften Wohlstandeffekte, welche in den dichten urbanen Räumen Europas aufgrund der starken Ausrichtung auf den „unwirtschaftlichen“ öffentlichen Verkehr nicht erzielbar seien. Diese Autoren berufen sich dabei auf die mit steigender Siedlungsdichte sinkenden Reisegeschwindigkeiten im Straßenverkehr. Im Rahmen der studentischen Forschung an der TH Nürnberg sollte diese Hypothese mit Hilfe eines standardisierten Stadtmodells auf ihre

Gültigkeit überprüft werden. Hierzu mussten zunächst die folgenden Vereinfachungen und Vorgaben getroffen werden:

- Es wurde ausschließlich der Binnenverkehr einer Stadt mit 200 000 Einwohnern und einer Fläche von 140 km² (etwa 1400 Ew/km²) betrachtet.
- Die Anbindungsgeschwindigkeit der verkehrserzeugenden Strukturschwerpunkte an die Einspeisungspunkte im Verkehrsmodell (PTV Visum) betrug im ÖPNV 4 km/h bezogen auf die Anbindungslänge und im MIV wurde für alle Anbindungen eine Anbindungszeit von 2,5 Minuten festgesetzt.
- Die Ermittlung des ÖPNV-Anteils erfolgte angebotsorientiert, das heißt, in Abhängigkeit von der ÖPNV-Qualität wurde der zu erwartende aggregierte ÖPNV-Anteil für die Gesamtstadt ermittelt, der jeder Ortsveränderung zugrunde gelegt wird.

Ziel der Untersuchung war die Berechnung der in Summe aller Ortsveränderungen auftretenden Gesamtreisezeit im Binnenverkehr eines virtuellen Modell-Stadtraums bei unterschiedlichen ÖPNV-Qualitätsstufen und Verteilungen der Strukturgrößen mit Hilfe eines einschlägigen Verkehrsmodells. Zur Verbesserung der Allgemeingültigkeit der mit den Modellrechnungen erzielten aggregierten Ergebnisse wurde die Modellstadt zuvor validiert. Hierzu wurden aus vergleichbar großen deutschen Städten ausgewählte verkehrsspezifische Kenndaten, wie die Fläche und die Einwohnerdichte, aber auch der Anteil der Fahrten, die mit öffentlichen Verkehrsmitteln unternommen werden (ÖPNV-Anteil), analysiert und auf das Stadtmodell übertragen. Die Festlegung der ÖV-Anteilswerte erfolgte über eine dazu entwickelte Normierungsfunktion und lieferte durchaus plausible Ergebnisse so dass diese insbesondere für die Anteilsverteilung in standardisierten Modellen weiter Gebrauch finden kann. Die Näherungsfunktion für die Reisezeitberechnung könnte jedoch noch durch weitere einflussbildende Faktoren

ergänzt und so in ihrer Zuverlässigkeit weiterentwickelt werden (zum Beispiel Faktor für Fahrtkosten im Verbundgebiet). Ebenso abgeglichen wurde die im Modell errechnete Reisezeit in Abhängigkeit von der Reiselänge. Insgesamt erwies sich das auf diese Weise kalibrierte und validierte Modell als recht konsistent, so dass die darauf basierenden Berechnungsergebnisse im Rahmen der zuvor genannten Vereinfachungen als evident angesehen werden können.

Die bisherigen Ergebnisse legen nahe, dass die Hypothese, eine Verbesserung des Verkehrsangebotes im öffentlichen Verkehr führe in Summe zu einer Erhöhung der Gesamtreisezeiten aller Nutzer, auf Basis der getroffenen Annahmen nicht bestätigt werden kann. Durch eine Verbesserung der Angebotsqualität im öffentlichen Verkehr sank die Gesamtreisezeit sogar um rund zehn Prozent. Zur Interpretation der Ergebnisse sollte berücksichtigt werden, dass der Anteil des öffentlichen Verkehrs in der höchsten ÖV-Qualitätsstufe 30 Prozent betrug und damit noch unter dem derzeitigen ÖV-Anteil im Binnenverkehr der Stadt Zürich [10] liegt. Interessant wäre insofern zu untersuchen, inwiefern sich eine weitere Verbesserung des ÖV-Angebots auf den Modal Split und insbesondere auf die kumulierte Gesamtreisezeit auswirken würde. Der Einbezug weiterer im Modell nicht berücksichtigter Faktoren sowie extremer Betrachtungen ist Bestandteil weiterer Forschung am Labor für Verkehrswesen der Technischen Hochschule Nürnberg.

Literatur

- [1] Cox, W.: California Declares War On Suburbia in: <http://bwcentral.org/2012/04/california-declares-war-on-suburbia/>
- [2] Ziv, J.-C.;Cox, W.: Megacities And Affluence – Transport & Land Use Considerations, World Conference On Transport Research, Berkeley June 2007
- [3] <http://placemakinginstitute.wordpress.com/2010/01/04/wendell-cox-intellectual-terrorist/> abgerufen am 5.11.2013
- [4] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. (2003). RiLSA: Lichtsignalanlagen für den Straßenverkehr. Köln: FGSV Verlag.
- [5] Department of Economic and Social Affairs, P. (2009). World Urbanisation Prospects: The 2009 Revision. New York: United Nations
- [6] Lohse, D. (1998). Beschreibung des EVA-Modells. Dresden: TU Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften Friedrich List
- [7] Domschke, W. (1995). Logistik: Transport. München: Oldenburg Verlag
- [8] <http://www.th-nuernberg.de/seitenbaum/fakultaeten/bauingenieurwesen/die-fakultaet/labore/verkehrs-und-vermessungswesen/www.mobilohmde/forschung/veroeffentlichungen/page.html> abgerufen am 7.11.2013
- [9] Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH, D. Z.-u. (2010). Mobilität in Deutschland 2008: Ergebnisbericht Struktur-Aufkommen-Emissionen-Trends. Bonn,Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
- [10] Ahrens, G.-A., Ließke, F., Wittwer, R., & Hubrich, S. (2009). Sonderauswertung zur Verkehrserhebung *Mobilität in Städten-SrV 2008*, SrV-Stadtgruppe: Oberzentren unter 500 000 EW, Topografie: flach. Dresden: TU Dresden, Lehrstuhl Verkehrs- und Infrastrukturplanung
- [10] http://www.stadt-zuerich.ch/content/ted/de/index/taz/publikationen_u_broschueren/mobilitaet_in_zahlen_2012_2.html abgerufen am 9.11.2013