

Das Verkehrsangebot als Basis zur Berechnung der Mobilität im Stadtverkehr

VON DIRK VALLÉE, AACHEN

v. fm. c
v. st. b
s

1. Einleitung und Zielsetzung

1.1 Definition der Mobilität

Das Wort Mobilität bedeutet im weitesten Sinne des Wortes „Beweglichkeit“ bzw. „Bereitschaft zum Ortswechsel“. In der Verkehrswissenschaft wird der Begriff für die „Maßzahl der realisierten Ortsveränderungen einer Person in einem festgelegten Zeitraum“ (i. d. R. ein Tag), in der Einheit [Wege/Person · Tag] verwendet. Dieses gilt insbesondere für den Stadtverkehr, auf den sich diese Arbeit beschränkt.

Soll die Beweglichkeit bzw. das Mobilitätsverhalten einer Gruppe von Individuen beschrieben werden, reicht allein die Anzahl der durchgeführten Ortswechsel nicht zur Beschreibung. Zusätzlich ist auch eine Maßzahl für die Beteiligung der Mitglieder der Gruppe an den Ortsveränderungen erforderlich. Ferner ist eine Betrachtung der Länge der zurückgelegten Wege erforderlich.

Daraus ergeben sich für eine ganzheitliche Betrachtung des Mobilitätsverhaltens folgende Komponenten:

- Anzahl der Wege
- Verkehrsbeteiligung
- Länge der Wege

Bei der Betrachtung der Anzahl der Wege ist es wichtig, nicht nur – wie häufig gemacht – die Anzahl der Fahrten mit dem Pkw oder dem öffentlichen Personennahverkehr zu berücksichtigen, sondern alle Wege, also auch die zu Fuß oder die mit dem Fahrrad zurückgelegten Wege. Diese Forderung muß erhoben werden, um Substitutionen von Wegen zu Fuß oder mit dem Fahrrad durch Fahrten mit motorisierten Verkehrsmitteln oder umgekehrt erfassen zu können. Durch die Berechnung der Mobilität lassen sich Verkehrsmengen und der induzierte Verkehr berechnen.

1.2 Kausalitäten des Mobilitätsverhaltens

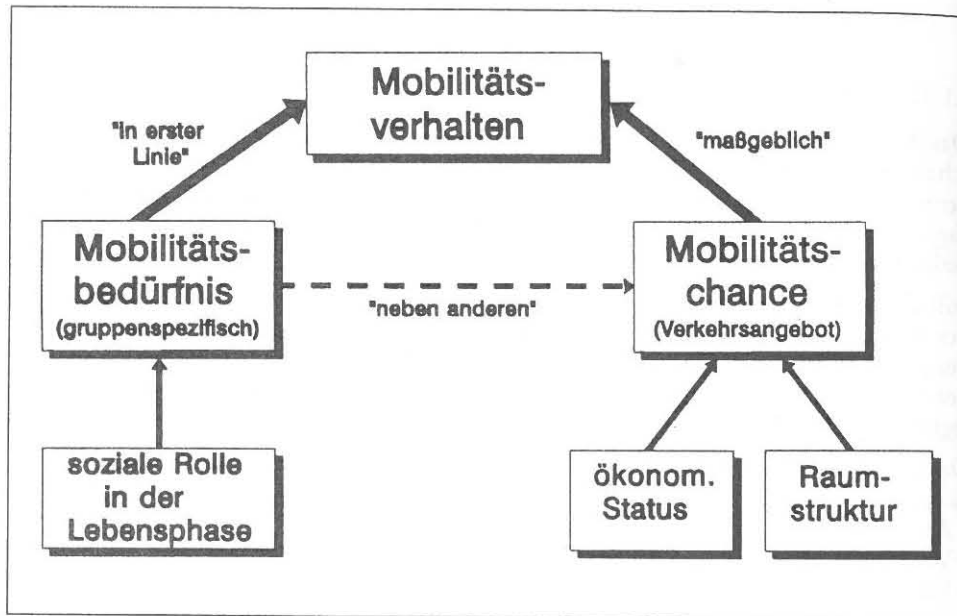
Die Maßzahl Mobilität beschreibt die beobachtete Anzahl der Ortsveränderungen, also das beobachtete Mobilitätsverhalten. Verhalten ist in der Psychologie als „Reaktion auf Reize“ definiert und ist das Ergebnis von Bedürfnissen und Chancen. Daher ist es für eine Quantifizierung des Mobilitätsverhaltens erforderlich, die Reize zu erfassen.

Anschrift des Verfassers:

Dr.-Ing. Dirk Vallée
Verkehrswissenschaftliches Institut der RWTH Aachen
Mies-van-der-Rohe-Straße 1
52072 Aachen

Hautzinger et al. haben sich intensiv mit den Ursachen des Mobilitätsverhaltens auseinandergesetzt. Die Untersuchungen führten zu 6 Thesen, deren Inhalt in Abbildung 1 graphisch aufbereitet ist.

Abbildung 1: Kausalitäten des Mobilitätsverhaltens



nach Hautzinger et al.¹⁾

Demnach¹⁾ „bestehen mehr oder weniger offenkundige und bisher in unterschiedlichem Maße empirisch belegte Wirkungszusammenhänge:

1. Das Mobilitätsverhalten einer Person hängt in erster Linie von gruppenspezifischen Mobilitätsbedürfnissen ab; kennzeichnend für die Gruppenzugehörigkeit ist die soziale Rolle in der Lebensphase.
2. Das Mobilitätsverhalten einer Person wird maßgeblich von ihren Mobilitätschancen geprägt; bessere Mobilitätschancen bedeuten tendenziell mehr Wege (Aktivitäten), größere Aktionsräume und geringere Zeitaufwände.
3. Das Mobilitätsverhalten einer Person wird von der Raumstruktur beeinflusst; im Sinne eines Stadt-Land-Gefälles liegen im ländlichen Raum die Zahl der Wege (Aktivitäten) einer Person unter dem Durchschnitt, die zurückgelegten Distanzen und die aufzuwendenden Wegezeiten über dem Durchschnitt.
4. Die Mobilitätschancen (Pkw-Verfügbarkeit) werden ihrerseits neben anderen Faktoren (z.B. ökonomischer Status) vom Mobilitätsbedarf beeinflusst.

5. Die Mobilitätschancen hängen weiterhin von der Raumstruktur ab; das niedrigere öffentliche Verkehrsangebot im ländlichen Raum wird durch höhere Motorisierungsgrade teilweise kompensiert.
6. Die einzelnen Komponenten des Mobilitätsverhaltens (Wegezahl, Distanz, Zeitaufwand) bilden eine Art Gleichgewichtssystem; während Wegezahl (Aktivitätenhäufigkeit) und Zeitaufwand relativ stabile Größen sind, paßt sich das Individuum über die Wegelänge (Größe des Aktionsraumes) an die individuellen Mobilitätschancen an¹⁾

Die soziale Rolle in der Lebensphase (z.B. Schüler, Hausfrau, Berufstätiger, Rentner) ist eine stabile Größe. Demnach können die Mobilitätsbedürfnisse des einzelnen als stabil angesehen werden. Bisherige Berechnungsmodelle zur Quantifizierung von Verhalten basieren auf den Unterschieden zwischen den Bevölkerungsgruppen. Sie bedürfen einer sehr aufwendigen Datenermittlung in Form von Zählungen zur Kalibrierung der Modelle. Ziel dieses Ansatzes soll sein, ein neues Berechnungsverfahren zu erstellen, daß auf den Gemeinsamkeiten bei der Gesamtheit der Bevölkerung bzgl. der subjektiven Empfindung der Zeit- und Kostenkomponenten der Verkehrswiderstände basiert.

Die Mobilitätschancen (z.B. Pkw-Verfügbarkeit, Motorisierungsgrad, öffentliches Verkehrsangebot) werden wiederum von der Raumstruktur und dem ökonomischen Status beeinflusst. Die genannten Größen lassen sich unter dem Begriff Verkehrsangebot zusammenfassen, wobei die Raumstruktur und der ökonomische Status im weitesten Sinne dazu gehören. Wenn der Begriff Mobilitätschance aber das Verkehrsangebot meint, ist daraus der Schluß zu ziehen, daß das Mobilitätsverhalten ganz wesentlich vom Verkehrsangebot beeinflusst wird. Das Verkehrsangebot und dessen subjektive Empfindung ist im Verkehrswiderstand nach *Walther*²⁾ quantifiziert.

1.3 Der Gesamtsystem-Widerstand

Der Verkehrswiderstand nach *Walther* berücksichtigt in einem Wert zeitliche und monetäre Aufwendungen für einen Weg. Er beinhaltet alle Angebotskomponenten der einzelnen Verkehrsmittel, als da wären²⁾

- mot. IV:
- Fußweg von der Wohnung zum Pkw
 - Beförderungszeit / -geschwindigkeit
 - Parkplatzsuchzeit
 - Fußweg vom Pkw zum Ziel
 - geschwindigkeitsabhängiger Benzinverbrauch
 - Benzinpreis
 - Pkw-Betriebskosten (ohne Steuer, Versicherung, Wertverlust)
 - Pkw-Besetzungsgrad (nach neuesten Erkenntnissen nicht statisch, sondern von den monetären Widerstandskomponenten abhängig)
- ÖPNV:
- die Art des Verkehrsmittels
 - Zu- und Abgangswege (örtliche Verfügbarkeit)
 - Bedienungshäufigkeit (zeitliche Verfügbarkeit)
 - Beförderungszeit / -geschwindigkeit
 - Umsteigenotwendigkeit / -zeit
 - Tarifniveau / -struktur

Fußgänger- und – Siedlungsstruktur (Großstadt, Kleinstadt, ländliches Gebiet)
 Fahrradverkehr: – Topographie (Flachland, Bergland)
 – Wegenetze (Radwegenetz, Fußwegenetz)

maßgebendes Einkommen der Bevölkerung

Die Berücksichtigung des Einkommens ist zur korrekten Bestimmung der aus den Kosten herrührenden monetären Widerstandskomponenten erforderlich. Zudem findet durch die Berücksichtigung des Einkommens der ökonomische Status der betrachteten Bevölkerung Eingang in den Widerstand.

Der Widerstand wird prinzipiell für einen speziellen Weg mit einem bestimmten Verkehrsmittel gebildet. Er läßt sich unter Berücksichtigung aller zurückgelegten Wege mit allen zur Verfügung stehenden Verkehrsmitteln zum Gesamtsystem-Widerstand zusammenfassen. Dieser Gesamtsystem-Widerstand stellt somit einen Indikator für die Qualität des Verkehrsangebotes in einem Untersuchungsgebiet dar.

Die zurückgelegten Wege finden über die Wegweitenhäufigkeitsverteilung Eingang in den Gesamtsystem-Widerstand. Ebenso beinhaltet die Wegweitenhäufigkeitsverteilung ein Kriterium für den Einzugsbereich der Untersuchung. Die Abgrenzung des Einzugsbereiches ist im Hinblick auf die erforderliche Berücksichtigung der Länge der Wege von Bedeutung.

Im allgemeinen wird die Unterscheidung zwischen Nahverkehr und Fernverkehr an der Grenze 50 km vorgenommen. Wege unter 50 km Länge werden zum Nahverkehr gerechnet, solche über 50 km Länge gelten als Fernverkehr. Diese synthetische Festlegung für alle Untersuchungsgebiete ist unzweckmäßig, insbesondere für vergleichende Betrachtungen von Untersuchungsgebieten verschiedener Größe und zentralörtlicher Bedeutung. Eine sinnvolle Abgrenzung muß die gewachsene Größe des Raumes und das Verhalten der darin am Verkehr teilnehmenden Personen berücksichtigen. Aus diesem Grunde wird die Größe der Untersuchungsgebiete dergestalt festgelegt, daß 90% aller Wege bis 50 km Berücksichtigung finden. Untersuchungsgebiete anderer Ausdehnung bedürfen einer gesonderten Betrachtung.

Der Gesamtsystem-Widerstand beinhaltet das Verkehrsangebot und den ökonomischen Status der Bevölkerung, welcher wiederum Rückschlüsse auf die Bevölkerungsstruktur zuläßt. Durch die Berücksichtigung der Wegweitenhäufigkeitsverteilung beinhaltet der Gesamtsystem-Widerstand auch die Raumstruktur, die Verteilung der Aktivitätengeregenheiten und die Länge der Wege. Damit sind alle von *Hautzinger et al.*¹⁾ beschriebenen Einflüsse auf das Mobilitätsverhalten mit dem Gesamtsystem-Widerstand erfaßt.

2. Hypothese

2.1 Das Widerstandsbudget als Basis zur Mobilitätsbestimmung

Die zu beweisende Hypothese lautet:

Die Mobilität ist vom Verkehrsangebot determiniert und als Ausschöpfungsgrad eines Widerstandsbudgets berechenbar. Dieses Budget wird als für alle gleich angenommen.

$$\text{Mobilität der Mobilen} = \frac{\text{Widerstandsbudget}}{\text{Gesamtsystem-Widerstand}}$$

Als ausschöpfendes Element des Widerstandsbudgets muß demnach der Gesamtsystem-Widerstand verwendet werden, also der Indikator für die Qualität des Verkehrsangebotes. Die Mobilität der Mobilen ist demnach das Ergebnis unterschiedlicher Mobilitätschancen in unterschiedlichen Gebieten.

Der theoretische Ansatz erfolgt in Anlehnung an die häufig verwendeten Zeit- und Kostenbudgets, deren Existenz vielfach vermutet wird, aber bisher nicht eindeutig nachweisbar ist (vgl. z. B. 4)). Ferner ist aus der hier verwendeten Widerstandsdefinition zu belegen, daß die genannten Budgets nicht als simultane Budgets verwendet werden können. Wegen der gleichzeitigen Wirkung von zeitlichen und monetären Widerstandskomponenten und deren gegenseitiger Substitutionsmöglichkeit kann nur ein Widerstandsbudget, welches gewissermaßen eine Zusammenfassung des Zeit- und des Kostenbudgets darstellt, existieren.

2.2 Bestimmung der Größe des Widerstandsbudgets

Aus bekannten Werten für die Mobilität der Mobilen und den Gesamtsystem-Widerstand wird das Widerstandsbudget berechnet. Die dazu verwendete Gleichung lautet

$$\text{Widerstandsbudget} = \text{Gesamtsystem-Widerstand} \cdot \text{Mobilität der Mobilen}$$

Zur Anwendung dieser Gleichung wurden aus Befragungen bekannte Werte für die Mobilität der Mobilen verwendet. Des weiteren wurden aus vorliegenden Untersuchungen bekannte Gesamtsystem-Widerstände verwendet. Die verwendeten Gesamtsystem-Widerstände können als zuverlässig gelten, da bei ihrer Bestimmung vielfältige Plausibilitätskontrollen durch Vergleich von Berechnungs- zu Befragungsergebnissen angestellt wurden. Dazu gehören unter anderem:

- der Modal-Split
- die Reisweitenhäufigkeitsverteilungen der einzelnen Verkehrsmittel
- die mittleren Reiseweiten der einzelnen Verkehrsmittel
- die mittleren Unterwegszeiten der einzelnen Verkehrsmittel
- der Umsteigeranteil im Netz des ÖPNV
- der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch im MIV

Tabelle 1: Gesamtsystem-Widerstände verschiedener Untersuchungsgebiete

Stadt	Jahr	Gesamtsystem-Widerstand	Mobilität der Mobilen	Widerstandsbudget
Aachen	1990	42,091	4,00	168,4
Berlin	1989	50,539	3,26	164,8
Bonn	1990	41,485	3,92	162,6
Stuttgart	1981	46,597	3,61	168,2

Aus den genannten Werten errechnet sich ein arithmetischer Mittelwert für das Widerstandsbudget von 166 Widerstandseinheiten bei einer Standardabweichung von 2,8 Widerstandseinheiten. Der mit der Einwohnerzahl in den Untersuchungsgebieten gewichtete Mittelwert für das Widerstandsbudget beträgt 165,3 Widerstandseinheiten. Demzufolge wird das Widerstandsbudget im weiteren zu 165 Widerstandseinheiten angenommen.

Daraus folgt, daß die Mobilität der Mobilen aus der Gleichung

$$\text{Mobilität der Mobilen} = \frac{165}{\text{Gesamtsystem-Widerstand}}$$

für Untersuchungsgebiete berechenbar ist, die 90% aller Wege bis 50 km Entfernung berücksichtigen.

Liegt eine andere Wegeweitenhäufigkeitsverteilung zugrunde, bedarf es der Einführung eines Korrekturgliedes k . Dieses Korrekturglied ist der Quotient der mittleren Wegeweite der betrachteten Wegeweitenhäufigkeitsverteilung durch die mittlere Wegeweite der Häufigkeitsverteilung, die 90% aller Wege bis 50 km Entfernung berücksichtigt. Damit wird eine allgemeine Berechnung der Mobilität im Stadtverkehr mit folgender Gliederung möglich:

$$\text{Mobilität der Mobilen} = k \cdot \frac{165}{\text{Gesamtsystem-Widerstand}}$$

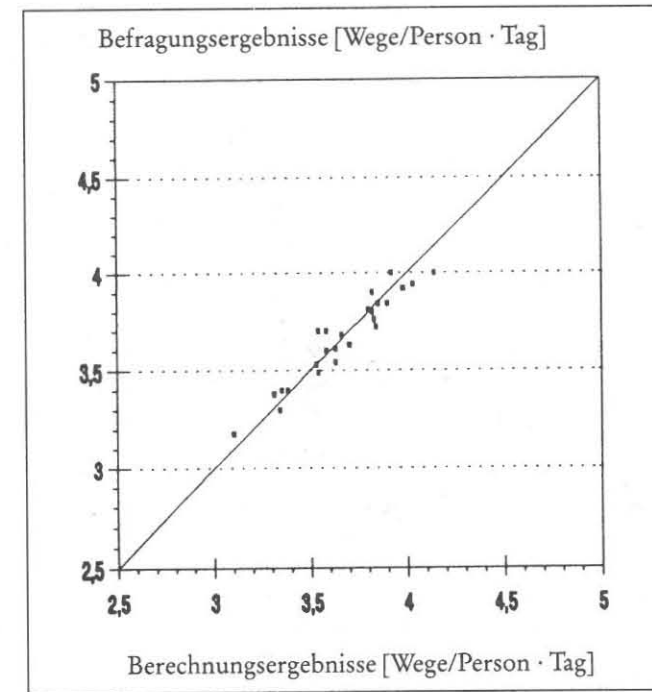
Dieser vergleichsweise einfache Ansatz kann nur deshalb gemacht werden, weil die verwendete Widerstandsformulierung davon ausgeht, daß für die Modellierung des Stadtverkehrs die Gemeinsamkeiten bei der Gesamtheit der Bevölkerung bezüglich der subjektiven Empfindung der Zeit- und Kostenkomponenten der Verkehrswiderstände ganz offensichtlich signifikanter sind als die bekannten Unterschiede der Einflüsse sogenannter verhaltenshomogener soziodemographischer Gruppen.

2.3 Beweis der Hypothese

Ein theoretischer Beweis der Hypothese ist nicht möglich. Auch Befragungen zur Quantifizierung des Widerstandsbudgets scheiden aus, da der Widerstand subjektiven Empfindungen unterworfen ist. Insofern kann der Beweis nur anhand einer Vielzahl von Beispielen erfolgen.

Zu diesem Zweck wurden 26 Untersuchungsgebiete verschiedener Infrastrukturausstattung, Größe und Struktur analysiert. Für alle Untersuchungsgebiete waren die ortsspezifischen Wegeweitenhäufigkeitsverteilungen aus Befragungen bekannt, und es wurden 90% aller Wege bis 50 km Entfernung berücksichtigt. Nach der Abbildung des Verkehrsangebotes kann der Gesamtsystem-Widerstand bestimmt werden. Anschließend wurde aus dem Widerstandsbudget und dem Gesamtsystem-Widerstand die Mobilität der Mobilen berechnet. Der Vergleich der Berechnungs- mit den Befragungsergebnissen³⁾ untermauert die aufgestellte Hypothese (Korrelationskoeffizient $r = 0,9542$, Bestimmtheitsmaß $r^2 = 0,9105$, Restvarianz = 0,0049).

Abbildung 2: Vergleich der Berechnungs- und Befragungsergebnisse



Bei diesen Untersuchungen wurden die ortsspezifischen Wegeweitenhäufigkeitsverteilungen als interne exput-Größen aus Befragungen verwendet. Sensitivitätsanalysen³⁾, bei denen typische Wegeweitenhäufigkeitsverteilungen für Groß-, Mittel- oder Kleinstädte aus der KONTIV verwendet wurden, verschlechtern die Ergebnisse des Vergleichs nur unwesentlich. Des weiteren konnten auch für extremal gute und extremal schlechte Verkehrsangebote plausible Ergebnisse für die berechneten Mobilitäten nachgewiesen werden.

Damit können die Hypothese der Abhängigkeit der Mobilität der Mobilen von der Qualität des Verkehrsangebotes und die Größe des Widerstandsbudgets untermauert werden und im Sinne eines Induktionsbeweises als bewiesen angesehen werden.

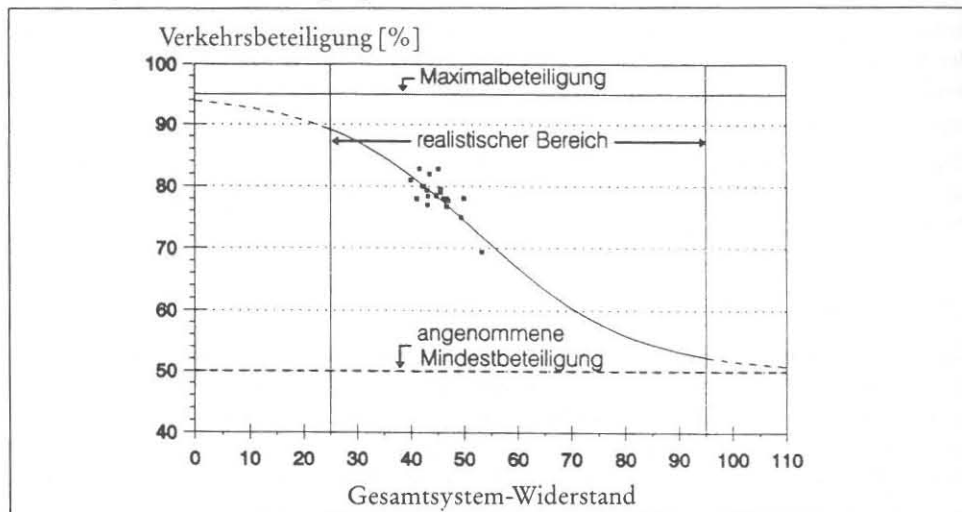
2.4 Abschätzung der Verkehrsbeteiligung

Neben der Länge der Wege und der Anzahl der Wege wurde eingangs die Verkehrsbeteiligung als weitere wichtige Mobilitätskomponente benannt. Diese meint die grundsätzliche Verkehrsteilnahme, unabhängig vom benutzten Verkehrsmittel. Wenn die Mobilität insgesamt von der Qualität des Verkehrsangebotes bestimmt ist, muß dieses folglich auch für die Verkehrsbeteiligung gelten. Also muß auch die Verkehrsbeteiligung mit Hilfe des Gesamtsystem-Widerstandes berechenbar sein.

Eine Bestimmung der Verkehrsbeteiligung ist wegen der mangelhaften Datengrundlage nicht möglich. Daher wird eine Abschätzung vorgenommen, bei der die Existenz einer Mindest- und einer Maximalbeteiligung unabhängig von der Qualität des Verkehrsangebotes angenommen wird. Des weiteren wird davon ausgegangen, daß die Verkehrsbeteiligung mit steigendem Gesamtsystem-Widerstand sinkt und zwischen den Grenzwerten einer logistischen Entwicklung gehorcht. Die maximale Verkehrsbeteiligung kann bei realistischer Betrachtung den theoretischen Höchstwert 100% nicht erreichen, da Kranke, Alte, Kleinkinder und Häftlinge ganz oder teilweise immobil sind. Daher ist von einer maximalen Verkehrsbeteiligung von ca. 92%, auf jeden Fall weniger als 95%, auszugehen. Diagnostizierte Maximalwerte liegen bei 87,3% (KONTIV 82, 24-29 Jahre), 87,4% (KONTIV 82, voll Berufstätige in großen Mittelzentren in hoch verdichteten Regionen > 50000 EW, z.B. Moers, Neuss, Unna) bzw. 89,9% (KONTIV 89, 25-35 Jahre).

Die Mindestverkehrsbeteiligung kann den theoretischen Mindestwert 0% nicht erreichen, da eine Gesellschaft ohne Ortsveränderungen mindestens zur Nahrungsmittelversorgung, zur Berufsausübung und zur Ausbildung nicht lebensfähig ist. Die Erwerbstätigen sind in Industriegesellschaften mindestens 40% der Gesamtbevölkerung, die 6- bis 16jährigen Personen (Schüler) machen bei einer normalen Alterspyramide mindestens 10% der Bevölkerung aus. Unter der Annahme, daß die zur Nahrungsmittelversorgung erforderlichen Wege von diesen ohnehin am Verkehr beteiligten Personengruppen mit erledigt werden und dadurch für die anderen Personen keine Ortsveränderungen erforderlich werden, ergibt sich eine Mindestbeteiligung von 50%. Diagnostizierte Minimalwerte liegen für Personen über 71 Jahre in ländlichen Gebieten bei 45,1% (KONTIV 76) bzw. 51,0% (KONTIV 82), für Personen über 71 Jahre im Bundesdurchschnitt bei 48,2% (KONTIV 76), 55,6% (KONTIV 82), 67,6% (KONTIV 89), bzw. für Personen über 80 Jahre im Bundesdurchschnitt bei 55,36% an Werktagen und 52,03% an Sonntagen.

Abbildung 3: Verkehrsbeteiligung



Aus den bekannten Werten für die Verkehrsbeteiligung und den Gesamtsystem-Widerständen von 20 Untersuchungsgebieten sowie den oben gezeigten Grenzwerten wurde folgende Funktion bestimmt:

$$\text{Verkehrsbeteiligung} = 0,5 + \frac{0,45}{1 + e^{-3,6291 + 0,0691 \cdot \text{Gesamtsystem-Widerstand}}}$$

Der Summand 0,5 berücksichtigt dabei die untere Grenze der Verkehrsbeteiligung, der Nenner 0,45 ist die Differenz der Maximalbeteiligung und der angenommenen Mindestbeteiligung. Die angenommene Mindestbeteiligung ist für die Bestimmung der Koeffizienten im Exponenten der logistischen Entwicklung von höchst untergeordneter Bedeutung.

3. Anwendungsbereiche

3.1 Berechnung von Verkehrsmengen

Nachdem alle Komponenten der Mobilität in Abhängigkeit vom Gesamtsystem-Widerstand, und damit von der Qualität des Verkehrsangebotes, berechenbar geworden sind, läßt sich ebenfalls die häufig verwendete Größe „Mobilität aller“ berechnen. Diese ist das Produkt der Mobilität der Mobilen mit der Verkehrsbeteiligung. Die Multiplikation der Mobilität aller mit der Personenzahl führt schließlich zur Bestimmung der Verkehrsmengen. Dieses läßt sich sowohl für eine makroskopische Untersuchung eines gesamten Untersuchungsraumes zur Entwicklung von Strategiekonzepten als auch für mikroskopische Untersuchungen einzelner Verkehrszellen oder Verkehrsbeziehungen durchführen.

Des weiteren lassen sich nunmehr alle in der *standardisierten Bewertung von Verkehrsweginvestitionen des Öffentlichen Personennahverkehrs* genannten Einflußfaktoren⁵⁾ berechnen. Zu nennen sind

- die Mobilität in motorisierten Fahrten (IV und ÖV) je Einwohner und Werktag
- der ÖV-Anteil an den werktäglichen Personenfahrten
- mittlere Beförderungsweiten im IV und ÖV
- mittlere ÖV-Beförderungszeiten (Zeiten im Fahrzeug) unter Berücksichtigung der ortsspezifischen Qualität des Verkehrsangebotes im ÖV und im IV
- mittlere Reisezeiten im IV und ÖV (Tür zu Tür unter Einschluß aller Teilreisezeiten)
- der mittlere Zeitaufwand (Zeitbudget) je Person und Werktag für motorisierte Fahrten, die bisher nur aus Befragungen gewonnen werden konnten.

3.2 Definition des induzierten Verkehrs

Neben der Bestimmung der Verkehrsmengen ist ein weiterer wichtiger Anwendungsbereich die Berechnung des induzierten Verkehrs. Als induzierte Verkehre sind solche Ortsveränderungen definiert, die vor einem bestimmten Zeitpunkt oder einer angebotsrelevanten Maßnahme nicht stattgefunden haben (positiv induzierter Verkehr; Verkehrszuwachs) oder danach nicht mehr durchgeführt werden (negativ induzierter Verkehr; Verkehrsverzicht). Induzierte Verkehre sind also eine Veränderung der Mobilität als Folge einer Veränderung des Verkehrsangebotes.

Als Folge von Angebotsänderungen bei einzelnen Verkehrsmitteln ändern sich deren Widerstände für einen Weg. Solche Widerstandsänderungen haben einen anderen Modal-Split und einen anderen Gesamtsystem-Widerstand zur Folge. Der geänderte Gesamtsystem-Widerstand führt zu anderen Mobilitätskennwerten, also zu induziertem Verkehr. Durch die geänderte Mobilität aller (Wegeanzahl und Verkehrsbeteiligung) beschreiben die beiden Modal-Splits jedoch unterschiedliche Verkehrsvolumina, so daß sie nicht miteinander vergleichbar sind. Daraus folgt, daß jeweils eine Betrachtung des stattfindenden und des potentiellen Verkehrs (Potentialaufteilung genannt) erforderlich ist.

Die Potentialaufteilung ist die konsequente Erweiterung des 4-fach-Split des stattfindenden Verkehrs um den „Nicht-Verkehr“ zu einer ganzheitlichen Betrachtung des gesamten potentiellen Verkehrs³⁾. Diese Erweiterung ist zulässig, da die ermittelten Mobilitätskennwerte Mittelwerte für alle betrachteten Personen sind. Bei der Potentialaufteilung wird unterstellt, daß eine Person, sobald sie mobil wird, die gleiche durchschnittliche Wegeanzahl durchführt wie eine vorher schon mobile Person. Für die Anwendung ist jedoch vornehmlich die Veränderung der Anzahl der mit den einzelnen Verkehrsmitteln durchgeführten Wege und unter Umständen die Veränderung der Verkehrsleistung bei den Verkehrsmitteln interessant. Zur Beantwortung dieser Frage wird die Wegebilanz verwendet.

Die Wegebilanz besteht aus dem Modal-Split des stattfindenden Verkehrs und der Mobilität aller. Das Produkt aus der Mobilität aller und dem Modal-Split-Anteil ergibt die Anzahl der Wege je Verkehrsmittel. Die Veränderung dieser Menge deckt die Veränderung der Wegeanzahl bei den einzelnen Verkehrsmitteln auf. Dieses Verfahren soll nun zur Verdeutlichung anhand eines realen Beispiels demonstriert werden.

3.3 Berechnungsbeispiel zum induzierten Verkehr

Das Beispiel bezieht sich auf Veränderungen im Verkehr in der Stadt Aachen zwischen den Jahren 1986 und 1988. In diesen Zeitraum fielen folgende Veränderungen der relevanten verkehrsbestimmenden Parameter:²⁾

- Anstieg des Haushaltsnettoeinkommens von 3384,- DM auf 3906,- DM
- Anstieg des BAFöG-Satzes von 690,- DM auf 710,- DM
- Einführung der netzweit gültigen, übertragbaren AachenKarte
- Steigerung der Betriebsleistung im ÖPNV
- Anstieg der mittleren Parkplatzsuchzeit durch Anwohnerparkzonen
- Rückgang der Benzinpreise von 0,95 DM/l auf 0,92 DM/l
- Anstieg der Pkw-Grundkosten von 0,1495 DM/km auf 0,155 DM/km.

Aufgrund dieser Maßnahmen verändern sich die Kenngrößen der Mobilität wie folgt:

Tabelle 2: Kenngrößen der Mobilität in Aachen

	OHNE-Fall 1986	MIT-Fall 1988	Veränderung
Gesamtsystem-Widerstand	55,575	54,904	-0,671
Mobilität der Mobilen	3,77	3,82	+0,05
Verkehrsbeteiligung	70,68%	71,15%	+0,47
Mobilität aller	2,66	2,72	+0,06

Die Summe des induzierten Verkehrs beträgt demnach

$$\frac{2,72 - 2,66}{2,66} \cdot 100 = +2,26\%$$

Aus dem Modal-Split des stattfindenden Verkehrs und der Verkehrsbeteiligung läßt sich nun die Potentialaufteilung bestimmen.

Tabelle 3: Modal-Split des stattfindenden Verkehrs für Aachen 1986 und 1988

	zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV		Σ
Split 1986	30,25%	7,46%	13,40%	48,89%		100%
Split 1988	30,01%	7,37%	14,14%	48,48%		100%

Tabelle 4: Potentialaufteilung für Aachen 1986 und 1988

	zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV	Nicht-Verkehr	Σ
1986	21,38%	5,27%	9,47%	34,56%	29,32%	100%
1988	21,35%	5,24%	10,07%	34,49%	28,85%	100%
Veränd.	-0,03	-0,03	+0,60	-0,07	-0,47	0,00

Der Nicht-Verkehr stellt das Komplement der Verkehrsbeteiligung zu 100% dar. Seine Änderung um 0,47%-Punkte bedeutet, daß der Anteil der mobilen Verkehrsbevölkerung (Einwohner und Einpendler) um den entsprechenden Anteil größer geworden ist.

Die Änderungen der Verkehrsmengen bei den einzelnen Verkehrsmitteln aus Verlagerung und induziertem Verkehr zeigt die Wegebilanz.

Tabelle 5: Wegebilanz für Aachen 1986 und 1988

	zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV	Nicht-Verkehr	Σ
1986	30,25%	7,46%	13,40%	48,89%	–	100%
1988	30,01%	7,37%	14,14%	48,48%	–	100%
266 Wege	80,47	19,84	35,65	130,05	–	266
272 Wege	81,62	20,05	38,46	131,87	–	272
Veränd.	+1,15	+0,21	+2,81	+1,82	-5,99	0
rel. Veränd.	+1,43%	+1,06%	+7,88%	+1,40%	–	–

Es zeigt sich als Folge der getroffenen Maßnahmen ein deutlicher Zuwachs der Fahrtenanzahl im ÖPNV. Das Berechnungsergebnis von 7,88% deckt sich unter Berücksichtigung der Genauigkeitsgrenzen von Zählungen sehr gut mit dem entsprechenden Zählergebnis von ca. 7%. Der Zuwachs wird durch die Attraktivitätssteigerung des Angebotes im ÖPNV hervorgerufen und resultiert aus Wanderungsgewinnen von den anderen Verkehrsmitteln, aus Neuverkehr vorher immobilier Personen und aus Mehrverkehr nach wie vor mobiler Personen. Hinzu kommen Verdrängungseffekte vom MIV aufgrund der dortigen Angebotsverschlechterung.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Hypothese, die Mobilität der Mobilen [Wege/Person · Tag] sei vom Verkehrsangebot bestimmt und mit Hilfe der Qualität des Verkehrsangebotes aus einem Widerstandsbudget bestimmbar, bewiesen werden konnte. Der Indikator für die Qualität des Verkehrsangebotes ist durch den Gesamtsystem-Widerstand gegeben. Auch die Mobilitätskomponente Verkehrsbeteiligung ist vom Gesamtsystem-Widerstand abhängig. Damit läßt sich die Mobilität aller als Produkt aus der Mobilität der Mobilen und der Verkehrsbeteiligung berechnen. Diese bildet die Basis zur Quantifizierung des induzierten Verkehrs, der als Mobilitätsänderung infolge von Angebotsänderungen definiert ist, mit Hilfe der Potentialaufteilung und der Wegebilanz.

Als nächster Schritt ist die Berechnung der Verkehrsverteilung in Arbeit. Dadurch wird eine geschlossene Lösung mit Hilfe der berechneten Wegweitenhäufigkeitsverteilung möglich. Zu diesem Zweck wird das verkehrszellenbezogene Angebot in Widerstände umgesetzt. Die daraus entstehenden zellspezifischen Gesamtwiderstände bilden die Grundlage zur Berechnung der zellspezifischen Mobilität mit den hier vorgestellten Methoden.

Literatur

- 1) *Hautzinger, H., Kessel, P., Baur, R.*; PROGNOSE AG, Basel
Mobilitätschancen unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen
Bundesministerium für Verkehr (Hrsg.), Bonn, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 310, 1980
- 2) *Walther, K.*
Maßnahmenreagibler Modal-Split im städtischen Personenverkehr – Theoretische Grundlagen und praktische Anwendung –
Veröffentlichungen des Verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH Aachen (VIA), Aachen, Heft 45, 1991
- 3) *Vallée, D.*
Das Verkehrsangebot als Basis zur Berechnung der Mobilität im Stadtverkehr
Dissertation an der RWTH Aachen
Veröffentlichungen des Verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH Aachen (VIA), Aachen, Heft 49, 1994
- 4) *Kocks Consult GmbH; Zumkeller, D., Poeck, M., Zahavi, Y.*
Verkehr und Stadt als Interaktionsmechanismus (VUSI)
Forschungsauftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Nr. 16.39.101/78, Bonn, 1978
- 5) *Bundesministerium für Verkehr (Hrsg.)*
Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des öffentlichen Personenverkehrs Bonn, 1988

Abstract

This study develops a method to determine the complex indicators "mobility" [trips/person day] and "Traffic-Participation" in urban traffic. The research is based on a new understanding of the "Traffic Resistance", introduced by Walther. With the help of the Traffic Resistance it is possible to integrate the traffic supply in all its details into the "Gesamtsystem-Widerstand", an indicator of traffic supply quality in a research area, normally a town or city.

The study proposes the hypothesis of an existing Traffic-Resistance Budget for tripmakers. The mobility of tripmakers can be determined as exhaustion of the Traffic-Resistance Budget by the Gesamtsystem-Widerstand, which also determines traffic-participation. From tripmakers' mobility and traffic-participation the mobility of all people can be determined as product of these indicators. Thereupon the quantification of induced traffic (defined as the modification of mobility resulting from modification of the Transportation System Supply) is possible. The calculation works by extending the modal-split of occurring traffic to the "non-traffic" into an integrated view of occurring and potentially traffic.