

# Straßen- verkehrstechnik

10

Oktober 2022  
66. Jahrgang

[www.strassenverkehrstechnik-online.de](http://www.strassenverkehrstechnik-online.de)

Organ der FGSV Köln | BSVI München | FSV Wien



**Themenheft Verkehrs-  
nachfragemodellierung**  
Die neuen  
Empfehlungen im  
Personenverkehr

**Themenheft Verkehrs-  
nachfragemodellierung**  
Anforderungen an die  
Modellgüte und die  
Qualitätssicherung

**Themenheft Verkehrs-  
nachfragemodellierung**  
Verkehrsnach-  
fragemodelle in  
Kommunen

# Wie viele? Wohin? Womit? Wo lang?

Liebe Leserinnen und Leser,

Die wesentliche Aufgabe der Verkehrsplanung besteht darin, durch ein angemessenes Verkehrsangebot Ortsveränderungen von Menschen und Gütern zu ermöglichen. Für die Planung des Angebots müssen wir wissen, wie diese Ortsveränderungen aussehen:

- Wie viele?
- Wohin?
- Womit?
- Wo lang?

Um diese Ausprägungen der Ortsveränderungen für den heutigen oder einen zukünftigen Zustand abschätzen zu können, nutzen wir Verkehrsnachfragemodelle. Die bekannteste Form eines Verkehrsnachfragemodell ist das Vier-Stufen-Modell:

- Stufe 1: Aktivitätenwahl oder Verkehrserzeugung: Wie viele Ortsveränderungen gibt es?
- Stufe 2: Zielwahl oder Verkehrsverteilung: Wohin geht eine Ortsveränderung?
- Stufe 3: Moduswahl oder Verkehrsaufnahme: Womit mit welchem Modus wird die Ortsveränderung durchgeführt?
- Stufe 4: Routenwahl oder Verkehrswahl: Welche Route wird für die Ortsveränderung genutzt?

In dieser SVT-Ausgabe geht es um Verkehrsnachfragemodelle. Anlass ist die Fertigstellung des Regelwerks „Empfehlungen zum Einsatz von Verkehrsnachfragemodellen für den Personenverkehr“ oder kurz EVNM-PV. Auf rund 250 Seiten geben die EVNM-PV umfassende Empfehlungen für die Praxis der Nachfragemodellierung von der Modellspezifikation, über die Modellerstellung mit der Qualitätssicherung bis zur Modellanwendung. Kommunen und Länder können jetzt Ausschreibungen mit Bezug auf die EVNM-PV erstellen. Das erleichtert die Kommunikation zwischen Auftraggebern und Auftragnehmern bei der Festlegung der Modelleigenschaften und bei der Abnahme des fertigen Modells.

Wenn Ihnen 250 Seiten zu viel sind, dann biete ich Ihnen als Alternative ein „Model to go“ an, das Sie in Ihrem Kopf abspeichern können und dann immer dabei haben. Mit diesem Modell können Sie die Wirkungen von Maßnahmen auf die Verkehrsleistung abschätzen. Welche Wirkung haben eine neue Ortsumfahrung, eine Pkw-Maut, ein 9-Euro-Ticket, eine Seilbahn, On-Demand-Angebote, Homeoffice oder eine Förderung von E-Fahrzeugen? Beantworten Sie einfach die Fragen aus der Überschrift:

- Wie viele: Verändert sich die Zahl der Wege?
- Wohin: Verändert sich die Reiseweite?

Univ.-Prof. Dr.-Ing.  
Markus Friedrich

Universität Stuttgart,  
Lehrstuhl für Verkehrsplanung und  
Verkehrstechnik

Mitglied des Wissenschaftlichen  
Beirats dieser Zeitschrift



- Womit: Verändert sich die Nutzung des Pkw?
- Wo lang: Gibt es erwünschte oder unerwünschte räumliche Verlagerungen des Verkehrs?

Falls Sie die Fragen für Ihre Maßnahme nicht beantworten können oder raten müssen, dann liegt es möglicherweise daran, dass die Maßnahme keine Wirkung hat oder dass wir die Wirkungszusammenhänge nicht kennen. Auch das ist eine Erkenntnis.

Wahrscheinlich ist dieses Modell schon in Ihrem Kopf implementiert. Dann gibt hier noch ein Modell-Update. Erweitern Sie das Modell um die folgenden Fragen:

- Standortwahl: Verändern sich durch die Maßnahme die Standorte für Wohnen und andere Aktivitäten?
- Fahrzeugerschaffungswahl: Verändert die Maßnahme den Bestand? Werden Neufahrzeuge mit anderen Antriebsarten oder anderem Gewicht gekauft?
- Fahrzeugbeschaffungswahl: Verändert sich die Verfügbarkeit von Zeitkarten, mit denen die Nutzung des öffentlichen Verkehrs jederzeit möglich ist?
- Abfahrtszeitwahl: Beeinflusst die Maßnahme die Abfahrtszeitwahl und damit die Nachfrage in der Hauptverkehrszeit?

Um Maßnahmen zu beurteilen, die wir heute und in Zukunft untersuchen wollen, benötigen wir diese Modellerweiterungen nicht nur in unserem Kopfmodell, sondern auch in unseren Computermodellen. Das wird eine Aufgabe der kommenden Jahre sein.

Fazit: Wenn es schnell gehen muss, nutzen Sie Ihr Kopfmodell. Wenn es gut werden soll, dann nutzen Sie ein Computermodell. Und wenn sich beide Modelle widersprechen, dann sollten Sie Ihr Modell als „Diskussionspartner“ ernst nehmen.

Ihr

Markus Friedrich

P.S.: Am 9. November findet in Köln die Einführungsveranstaltung zu den EVNM-PV statt. Jeder, der kommt und die vier Stufen in der richtigen Reihenfolge beantworten kann, erhält ein Lob!

# Straßen- verkehrstechnik



Organ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln  
Organ der Bundesvereinigung der Straßenbau- und Verkehrsingenieure, München  
Organ der Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße · Schiene · Verkehr, Wien

## Themenheft Verkehrsnachfragemodellierung

### EDITORIAL

**Wie viele? Wohin? Womit? Wo lang?** 717  
*Univ. Prof. Dr.-Ing. M. Friedrich, Stuttgart*

### FACHBEITRÄGE/PROFESSIONAL ARTICLES

*Themenheft Verkehrsnachfragemodellierung*  
**Die neuen Empfehlungen für Verkehrsnachfragemodellierung im Personenverkehr** 721  
*Mediator/Dipl.-Geogr. W. Hahn, Marburg/Friedrichshafen  
Prof. Dr.-Ing. C. Hebel, Aachen  
Prof. Dr.-Ing. W. Manz, Kaiserslautern*  
The new recommendation paper for transport demand modelling in passenger transport

*Themenheft Verkehrsnachfragemodellierung*  
**Einsatzbereiche für Verkehrsnachfragemodelle** 727  
*Prof. Dipl.-Ing. J. Emig, Lübeck  
Prof. Dr.-Ing. C. Hebel, Aachen  
Dipl.-Ing. A. Schwark, Hamburg*  
Areas of Application for Travel Demand Models

*Themenheft Verkehrsnachfragemodellierung*  
**Anforderungen an die Modellgüte und die Qualitätssicherung von Verkehrsnachfragemodellen** 737  
*Dr.-Ing. E. Pestel, Dresden  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Friedrich, Stuttgart  
Dipl.-Geogr. W. Hahn, Marburg*  
Requirements for model quality and quality control of travel demand models

*Themenheft Verkehrsnachfragemodellierung*  
**Verkehrsnachfragemodelle in Kommunen: Von der Ausschreibung bis zur erfolgreichen Modellanwendung** 749  
*Dr.-Ing. J. Pillat, Karlsruhe  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Friedrich, Stuttgart  
Dipl.-Met. C. Maget, München  
Dr.-Ing. E. Pestel, Dresden  
V. Waßmuth, Karlsruhe*  
Travel Demand Models in Local Authorities: Steps from Tender to successful Applications

*Themenheft Verkehrsnachfragemodellierung*  
**Makroskopische und Mikroskopische Modelle – (Wie) Bringen wir beides zusammen?** 757  
*Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Friedrich, Stuttgart  
PD Dr.-Ing. M. Kagerbauer, Dr.-Ing. J. Pillat, Karlsruhe  
W. Scherr, CH-Bern*  
Macroscopic and Microscopic Models – How to bring both together?

*Themenheft Verkehrsnachfragemodellierung*  
**Praxisbeispiele aus der Verkehrsnachfragemodellierung** 764  
*Dipl.-Met. C. Maget, Dipl.-Geogr. K. Pointvogel, München  
Dipl.-Ing. F. Amme, Braunschweig  
Dr. A. Justen, Ittigen*  
Practical Examples of Transport Demand Modelling

### FACHINFORMATIONEN

**Aus der FGSV** 790  
**Technische Regelwerke** 792  
**Veranstaltungskalender** 794  
**Literaturbesprechungen** 794  
**Impressum** 796  
**Literaturschau** 802

### MARKT UND PRAXIS

**Special Automatisierte und vernetzte Systeme** 774  
**Special E-Mobilität und Ladeinfrastruktur** 780  
**Special Straßenbetriebs- und Winterdienst** 786  
**Straßenbautechnik aktuell** 801

### FSV-aktuell

**Mitteilungen der Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße · Schiene · Verkehr, Wien** 797

### Wissenschaftlicher Beirat der Fachzeitschrift „Straßenverkehrstechnik“

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Boltze, Darmstadt  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Fritz Busch, München  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernhard Friedrich, Braunschweig  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich, Stuttgart  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gerlach, Wuppertal  
DirProf. Dr.-Ing. Michael Rohloff, Bergisch Gladbach  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Sammer, Wien

# Makroskopische und Mikroskopische Modelle – (Wie) Bringen wir beides zusammen?

Ziel von Verkehrsnachfragemodellen ist es, die Ist-Situation abzubilden und darauf aufbauend Prognosen zu erstellen. Neben den etablierten makroskopischen Verkehrsnachfragemodellen kommen zunehmend mikroskopische Verkehrsnachfragemodelle zum Einsatz. Beide Modellansätze haben Vor- und Nachteile. Makroskopische Modelle bilden das Verkehrsverhalten von aggregierten Personengruppen ab. Mikroskopische Modelle hingegen modellieren einzelne Personen mit deren situationsabhängigem Verkehrsverhalten. Für manche Fragestellungen sind mikroskopische Modelle besser geeignet (z. B. individuumsbezogene Entscheidungen zum Verkehrsverhalten), für andere Fragestellungen makroskopische Modelle (z. B. Verkehrsbelastungen). Bei der Erstellung zukünftiger Verkehrsnachfragemodelle sollte die Entwicklung hybrider Modelle in Erwägung gezogen werden, die je nach Fragestellung makroskopische oder mikroskopische Modellierungsansätze zur Verfügung stellen.

The aim of travel demand models is to replicate the present state to provide forecasts of future states. In addition to the well-established macroscopic travel demand models, microscopic travel demand models are increasingly used. Both modelling approaches have advantages and disadvantages. Macroscopic models simulate the travel behaviour of aggregated groups of people. Microscopic models, on the other hand, simulate individuals with their situation-dependent travel behaviour. For some questions microscopic models are more suitable (e. g., individual-related decisions on travel behaviour), for others macroscopic models (e. g., traffic volumes). When building future travel demand models, the development of hybrid models should be considered, which provide macroscopic or microscopic modelling approaches depending on the question to be addressed.

doi.org/10.53184/SVT10-2022-5

## 1 Einleitung

Ein Verkehrsmodell ist eine computergestützte Simulation, die verkehrsrelevante Entscheidungsprozesse von Privatpersonen und wirt-

schaftlichen Akteuren nachbildet, um die Nachfrage im Verkehrsnetz zu quantifizieren. Tabelle 1 zeigt diese Entscheidungsprozesse für den Personenverkehr und den regionalen Güterverkehr. Für die Zwecke der Verkehrs-

planung wurden verschiedene Modelltypen entwickelt, die für bestimmte Planungsaufgaben eingesetzt werden und dementsprechend bestimmte Entscheidungsprozesse in den Mittelpunkt der Modellierung stellen:

Modelltyp	Teilmodelle	
	Personenverkehr	regionaler Güterverkehr
Flächennutzungsmodelle	Standortwahl	
Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodelle	Fahrzeugbeschaffungswahl	
	Zeitkartenbeschaffungswahl	
	Mobilitätsdienstleistungszugang	
Verkehrsnachfragemodelle	Aktivitätenwahl/ Aktivitätenreihenfolge	Verkehrsaufkommensermittlung
	Zielwahl	Zielwahl
	Verkehrsmittelwahl	Tourenbildung, Fahrzeugklassenzuordnung
	Abfahrtszeitwahl (Wunschabfahrtszeit)	
Verkehrsflussmodelle	Routenwahl	
	Geschwindigkeitswahl	
	Fahrstreifenwahl	
	Fahrzeugfolgeabstandwahl	

Tabelle 1: Verkehrsrelevante Entscheidungen und ihre Abbildung in Verkehrsmodellen (FGSV 2022)

### ■ Verfasser

**Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich**  
markus.friedrich@isv.uni-stuttgart.de

Lehrstuhl Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik  
Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 7  
70569 Stuttgart

**PD Dr.-Ing. Martin Kagerbauer**  
(corresponding author)  
martin.kagerbauer@kit.edu

Institut für Verkehrswesen  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Kaiserstraße 12  
76131 Karlsruhe

**Dr.-Ing. Juliane Pillat**  
juliane.pillat@ptvgroup.com

PTV Transport Consult GmbH  
Stumpfstraße 1  
76131 Karlsruhe

**Wolfgang Scherr**  
juliane.pillat@ptvgroup.com

PTV Transport Consult GmbH  
Stumpfstraße 1  
76131 Karlsruhe

- Flächennutzungsmodelle bilden Standortentscheidungen privater Personen und wirtschaftlicher Akteure nach. Sie prognostizieren so die Verteilung der Bevölkerung und der Aktivitätenorte in einem Untersuchungsraum.
- Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodelle bestimmen Personen oder deren Anteile, denen z. B. ein Pkw oder eine ÖV-Zeitkarte oder eine andere Mobilitätsdienstleistung (wie beispielsweise Car- oder Bikesharing) zur Verfügung stehen. Diese können als Mobilitätswerkzeuge bezeichnet werden. Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodelle bilden damit die Entscheidungen bei der Mobilitätswerkzeugwahl nach.
- Verkehrsnachfragemodelle bestimmen die Anzahl Verkehrsteilnehmender im Verkehrsnetz oder in den Verkehrsmitteln. Sie bilden hierfür die Entscheidungsprozesse von Menschen nach, die zu Ortsveränderungen führen. Im Personenverkehr umfassen diese Entscheidungen die Aktivitätenwahl, die Zielwahl, die Verkehrsmittelwahl, die Abfahrtszeitwahl und die Routenwahl. Im Güterverkehr ermitteln die Modelle das Frachtaufkommen und bilden die Transportlogistikprozesse der Tourenplanung nach. Im Güterfernverkehr gibt es wie im Personenverkehr eine Verkehrsmittelwahl.
- Verkehrsflussmodelle simulieren die Interaktion zwischen Fahrzeugen bzw. Radfahrenden und/ oder Zufußgehenden, die im Straßenraum oder auf Schienenverkehrswegen auftreten. Verkehrsflussmodelle für den Kraftfahrzeugverkehr bilden die Geschwindigkeitswahl, die Fahrstreifenwahl und das Abstandswahlverhalten nach.

Alle genannten Modelltypen können als makroskopische oder mikroskopische Modelle formuliert werden. Während makroskopische Modelle die Eigenschaften und Entscheidungen von Gruppen von Personen oder Fahrzeugen abbilden, betrachten mikroskopische Modelle die Eigenschaften und Entscheidungen von Einzelpersonen bzw. Einzelfahrzeugen. Jeder Ansatz hat Vorteile und Nachteile.

Ziel dieses Beitrages ist es, die Eigenschaften der beiden Modellansätze „makroskopisch“ und „mikroskopisch“ darzustellen und darauf aufbauend Aussagen zur Eignung der Modellansätze für die Zwecke der Verkehrsplanung zu machen. Neben der Eignung werden auch die Handhabbarkeit und Verbreitung der beiden Modellansätze beschrieben.

Dieser Beitrag fokussiert auf die Modellierung der Verkehrsnachfrage und der Verkehrsmittelverfügbarkeit im Personenverkehr. Für beide Modellansätze wird die gängige Praxis beschrieben, die auch außerhalb der akademischen Forschung zu anwendungsfähigen Modellen geführt hat.

Innerhalb der mikroskopischen Verkehrsnachfragemodelle werden die Begriffe „agentenbasiert“ bzw. „aktivitätenbasiert“ („agent-based“, „activity-based“) verwendet. Es handelt sich um zwei Modell-Familien („Schulen“, „Bewegungen“), die nach Ansicht der Autoren viele methodische Gemeinsamkeiten aufweisen. Beide verfolgen das Ziel, Einschränkungen der makroskopischen Modellierung zu überwinden. Wie auch bei den makroskopischen Modellen beschreibt dieser Beitrag die mikroskopischen Methoden, die zu anwendbaren Modellen geführt haben.

## 2 Eigenschaften makroskopischer und mikroskopischer Verkehrsnachfragemodelle

Der fundamentale Unterschied zwischen beiden Modellansätzen ist die aggregierte Berechnung der Mobilitätsausprägungen ganzer Personengruppen (makroskopisch) gegenüber der Berechnung des Verhaltens jeder individuellen Person (mikroskopisch). Dabei erlaubt die mikroskopische Modellierung eine höhere Detaillierung von Zeit, Raum und den Attributen der Personen und Haushalte.

In den folgenden Abschnitten werden weitere Unterschiede und Gemeinsamkeiten der beiden Modellkategorien näher untersucht.

### 2.1 Abbildung von Entscheidungen

Die Unterschiede der beiden Modellansätzen werden klar, wenn man vergleicht, wie die Entscheidungen der mobilen Personen mathematisch nachgebildet werden. Sowohl bei makroskopischen als auch bei mikroskopischen Modellen werden Wahrscheinlichkeiten für Alternativen berechnet. In der Verkehrsmittelwahl könnte ein Beispiel der Alternativen mit ihren Wahrscheinlichkeiten so aussehen: Auto 35 %, ÖV 25 %, Rad 20 % und Fuß 20 %. Um dies im Modell zu berechnen, verwenden beide Modellansätze die gleichen mathematischen Konzepte, nämlich stochastische Modelle. Das in der Praxis am häufigsten anzufindende stochastische Modell ist das multinomiale LOGIT.

Soweit gibt es also wesentliche Gemeinsamkeiten der beiden Ansätze. Der große Unterschied besteht darin, wie mit diesen Wahrscheinlichkeiten umgegangen wird. Im makroskopischen Modell werden die Wahrscheinlichkeiten aller Alternativen mit der Anzahl Personen multipliziert und das Ergebnis ist eine reelle Zahl (z. B. 3,5 Personen nehmen das Auto und 2,5 Personen den Bus). In einem mikroskopischen Modell wird dagegen für jedes Individuum eine eindeutige Zufallsziehung unter den Alternativen vorgenommen: Für die Ziehung sind die Alternativen mit ihren Wahrscheinlichkeiten gewichtet. Diese Zufallsziehung wird auch Monte-Carlo-Simulation genannt.

Eine wichtige Konsequenz dieses Unterschiedes: Makroskopische Modelle sind deterministisch – mikroskopische Modelle sind dagegen probabilistisch. Dass makroskopische Modelle deterministisch sind, ist sehr praktisch. Es bedeutet, dass ein Input genau einen Output ergibt: Für ein Szenario der Zukunft ergibt sich genau ein Verkehrszustand für jedes Element des gesamten Verkehrssystems. Mikroskopische Modelle kennen dagegen kein deterministisches Ergebnis. Mit verschiedenen Random-Seeds (Startwert für einen Zufallszahlengenerator) erhält man Variationen in den Modellergebnissen. Mit der Verwendung desselben Random-Seeds können Ergebnisse aber trotzdem reproduziert werden. Das bringt Herausforderungen in der Praxis mit sich. Man braucht eine große Zahl an Einzelereignissen oder mehrere Modellläufe, um einen im Mittel zu erwartenden Verkehrszustand abzuleiten. Andererseits erlaubt das mikroskopische Modell auf diese Weise, die Unsicherheit der Ergebnisse abzuschätzen. Auch in der Realität sind die Verkehrsstärken nicht an jedem Tag gleich, sondern variieren von Tag zu Tag.

### 2.2 Verkehrsangebot und Reisezeiten

Eine große Gemeinsamkeit mikroskopischer und makroskopischer Modelle findet sich in den Modellen des Verkehrsangebots. Dazu gehört ein Netzmodell, das die Straßen-, Rad-, Fußwegeinfrastruktur beschreibt, sowie das ÖV-Angebot und weitere Verkehrsangebote (z. B. Car-, Bikesharing oder Ridepooling). Daraus werden Reisezeiten und andere Angebotskenngößen auf Basis von Fahrplänen und Auslastungen abgeleitet. Abstraktionen des Fahrplans sind in makroskopischen Modellen möglich, jedoch nicht zwingend notwendig. Für beide Mo-

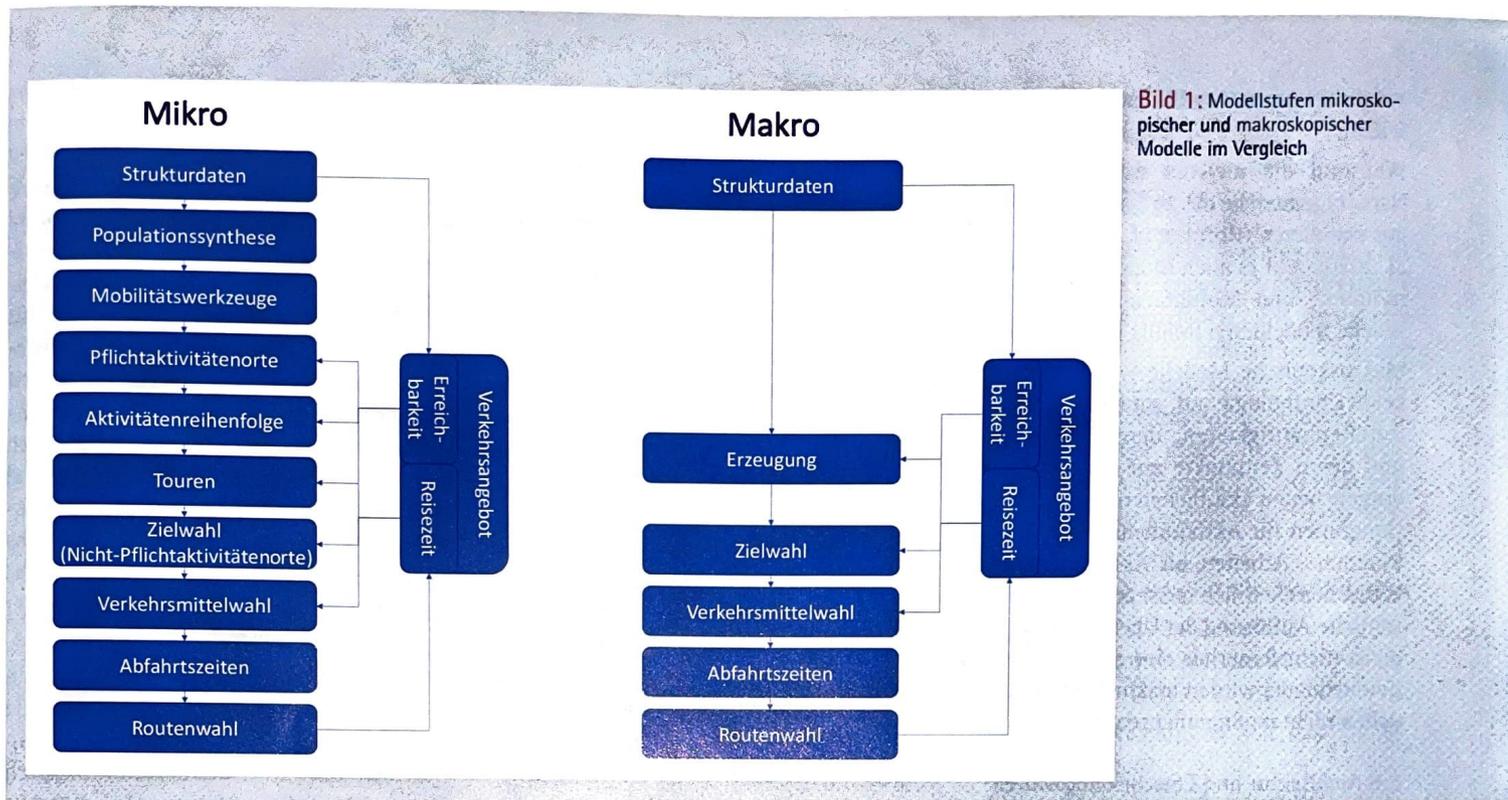


Bild 1: Modellstufen mikroskopischer und makroskopischer Modelle im Vergleich

dellansätze gilt, dass ein mikroskopischer Fahrplan i. d. R. für Prognosehorizonte nicht existiert und ggf. nur abstrahiert bzw. ohne Anschlussoptimierung vorliegt.

Bei bedarfsabhängigen Mobilitätsangeboten wie beispielsweise Carsharing oder Ridepooling ist die Abbildung der Fahrzeuge im mikroskopischen Modell zur Bestimmung der Verfügbarkeit sinnvoll, um festzustellen, ob ein Fahrzeug beispielsweise für die Carsharing-Nutzung verfügbar ist. Bei Ridepooling ist zudem eine Steuerungsheuristik im Sinne eines Operators notwendig, um die Möglichkeit einer Nutzung zu beschreiben. Makroskopische Modelle arbeiten hier mit Verteilungen und zusätzlichen Randsummenbedingungen, um die Wahrscheinlichkeit abzubilden, ein Sharing-Fahrzeug zu bekommen.

### 2.3 Abbildung von Bevölkerung und Raumstruktur

Grundlage für die Verkehrsnachfragemodelle sind Strukturdaten, die zum einen die räumliche Verteilung der Bevölkerung beschreiben und zum anderen die räumliche Verteilung der Attraktivität für die Ziele der Aktivitäten und Wege. Grundsätzlich sind die Strukturdaten für beide Modellansätze sehr ähnlich; sie unterscheiden sich aber in der räumlichen Detaillierung. Während makroskopische Modelle ihre Strukturdaten auf Verkehrszellen (Zonen, Bezirken) abbilden, sind die Daten bei mikroskopischen Model-

len höher aufgelöst, z. B. adressenscharf auf Geokoordinaten, so dass die Mobilität von „Tür zu Tür“ simuliert werden kann.

Auch der räumliche Detailgrad der Inputdaten unterscheidet sich. Während makroskopische Modelle die Personen in Kategorien einteilen (wie beispielweise Studierende, Erwerbstätige mit Pkw oder ohne Pkw), sind die Inputdaten für mikroskopische Modelle für jede einzelne Person detailliert nach Alter, Geschlecht, Erwerbsstatus etc. Zudem werden in mikroskopischen Modellen auch Haushaltskontext und Verfügbarkeit von Mobilitätswerkzeugen (Führerscheinbesitz, Pkw-Verfügbarkeit, ÖV-Zeitkartenbesitz oder Verfügbarkeit bzw. Zugang von/zu Mobilitätsdienstleistungen) für jede einzelne Person abgebildet.

Da diese Inputdaten aus vorhandenen (verfügbaren) Statistiken weder für mikroskopische noch für makroskopische Modelle in der ausreichenden Granularität vorliegen, sind zusätzliche Modellierungsschritte notwendig, um diese zu generieren.

Bei mikroskopischen Modellen wird dabei eine synthetische Bevölkerung erzeugt. Diese beschreibt jeden Einwohner und jeden Haushalt im Modellgebiet. Wegen des feineren Detaillierungsgrads wird die Bevölkerung für mikroskopische Modelle i. d. R. mit IPF (Iterative-Proportional-Fitting) oder IPU (Iterative-Proportional-Updating) und/oder Discrete-Choice-Modellen generiert, sodass im Resultat Personen- oder Haushaltseigen-

schaften miteinander gekreuzt sind. Die Herausforderung ist dabei, dass die Eigenschaften der synthetischen Bevölkerung auf Haushaltsebene (z. B. Haushaltsgröße, Haushaltseinkommen und Pkw-Besitz) und auf Personenebene (Alter, Geschlecht, Erwerbsstatus oder ÖV-Zeitkartenbesitz) die gleichen Verteilungen wie in der realen Bevölkerung aufweisen.

### 2.4 Einzelwege versus Tagespläne

Die beiden Modellansätze unterscheiden sich in der zeitlichen und räumlichen Abbildung der Mobilität von Personen.

In makroskopischen Modellen werden dabei einige Vereinfachungen gegenüber der Realität getroffen. Die wichtigste Vereinfachung ist die z. T. getroffene Annahme, dass jeder Weg unabhängig von den anderen Wegen des Tages ist. Erweiterungen makroskopischer Modelle, bilden die räumliche Reihenfolge von Aktivitätenorten ab und berücksichtigen so Zusammenhänge zwischen den Wegen einer Wegeketten, dem Wohnort und den Orten von Pflichtaktivitäten.

Mikroskopische Modelle bilden dagegen die Verkehrsnachfrage chronologisch in diskreten Zeitschritten (meist in Minuten) ab. Für jede Person wird dabei ein individueller Tagesplan simuliert. Dieser Tagesplan ist zeitlich hoch aufgelöst und besteht aus einer Verkettung von Aktivitäten und Wegen. Dabei wird für jeden Weg eine Reisezeit berechnet und für jede Aktivität ein Anfangs-

zeitpunkt und die Dauer der Aktivität selbst.

Während die meisten mikroskopischen Nachfragemodelle die 24 Stunden eines Tages simulieren (Horn et al. 2016, Scherr et al. 2020), gibt es auch Modelle, die das Aktivitäten- und Mobilitätsprogramm einer Woche modellieren (Mallig et al. 2013).

Makroskopische Modelle weisen hingegen keine Chronologie auf, sondern bilden Aktivitätenhäufigkeiten, deren Übergängen und deren Zeitpunkte auf Grundlage von vorgegebenen Häufigkeiten und zeitlichen Ganglinien für Aktivitätenübergänge (z. B. Wohnen – Arbeiten) ab. Aktivitätenhäufigkeiten beziehen sich meist auf einen Tag, die zeitliche Auflösung der Übergänge ist dabei meist nicht feiner als eine Stunde. Die Aktivitätendauer wird in makroskopischen Modellen nicht maßnahmensensitiv abgebildet.

## 2.5 Architektur und Entscheidungsstufen

Bild 1 zeigt schematisch die Modellstufen eines mikroskopischen bzw. makroskopischen Modells. Der Ablauf erfolgt dabei nicht notwendigerweise bei jedem Modell in der dargestellten Reihenfolge. Es gibt Modelle, bei denen Modellstufen die Reihenfolge tauschen oder bei denen zwei Stufen zu einer simultanen Stufe zusammengefasst werden.

Die Abbildung des Verkehrsangebots ist bei beiden Modellansätzen sehr ähnlich und beide Modellansätze haben auch gemeinsam, dass der Verfahrensablauf mit Strukturdaten auf aggregierter Ebene beginnt. Diese werden dann – wie in Abschnitt 2.3 beschrieben – bei einem mikroskopischen Modell zur Erstellung der synthetischen Bevölkerung verwendet.

Nach der Festlegung des Wohnorts für Haushalte bzw. Agenten in der Populationssynthese, werden in mikroskopischen Modellen für die sogenannten Pflichtaktivitäten (Arbeit oder Ausbildung) feste Ziele bestimmt, die wiederholt aufgesucht werden können. Vor allem, wenn ein längerer Zeitraum modelliert wird, ist diese Stabilität der Zielwahl sinnvoll. Die Bestimmung dieser festen, wiederkehrenden Ziele wird i. d. R. mit einem einfachen Zielwahlmodell durchgeführt. Prinzipiell bieten auch makroskopische Modelle die Möglichkeit, einzelne Zielwahlentscheidungen, wie z. B. zur Arbeit oder zur Ausbildung, zu fixieren, was in der Praxis jedoch eine Ausnahme darstellt.

Makroskopische Modelle nutzen in der Mo-

dellstufe der Erzeugung auf Wege- oder Wegekettenebene beobachtete Häufigkeiten je Personengruppen. Die Häufigkeiten werden unmittelbar z. B. als Mittelwerte aus Haushaltsbefragungen bestimmt und die Konsistenz der Wegehäufigkeiten durch Prüfung der Datensätze sichergestellt. Das bedeutet in der Konsequenz, dass die Häufigkeit von Wegen oder Wegeketten für eine definierte Personengruppe für alle Verkehrszellen oder Gruppen von Verkehrszellen (z. B. differenziert nach Raumtyp) gleich ist. In der Praxis findet man selten makroskopische Modellen deren Mobilitätsraten auf das Verkehrsangebot reagieren, wenngleich dies über die Einbeziehung von Erreichbarkeitskenngrößen auch bei makroskopischen Modellen möglich ist.

Bei mikroskopischen Modellen ist die Erzeugung komplexer, da, abhängig von den spezifischen Eigenschaften der jeweiligen Agenten, Aktivitäten erzeugt werden, die dann in Touren gruppiert werden. Außerdem wird innerhalb jeder Tour die Reihenfolge der Aktivitäten festgelegt. Die Möglichkeiten für die Erzeugung korrespondieren mit den makroskopischen Modellen aus Haushaltsbefragungen mit Wegetagebüchern. Für jede Aktivität wird bei jeder Person eine zeitliche Dimension (Dauer und Startzeitpunkt) bestimmt. Diese werden dann mit der Ziel- und Verkehrsmittelwahl genauer spezifiziert. Erreichbarkeiten spielen bei der Wahl der Aktivitäten eine Rolle: Die sekundären Aktivitäten werden z. B. in den Tagesplan eines Arbeitspendlers so eingepasst, dass Ort und Dauer der Arbeit sowie die Reisezeit zum Arbeitsplatz bei der Wahl der sekundären Aktivitäten berücksichtigt ist.

Beide Modellansätze ermitteln die Ziele in Abhängigkeit von Zielpotenzialen, und den relationsfeinen Kenngrößen zur Beschreibung des Verkehrsangebots. Gemeinsam ist ihnen auch, dass in der Verkehrsmittelwahl Kenngrößen des Verkehrsangebots und Verkehrsmittel-Präferenzen verwendet werden. Die dabei verwendeten Entscheidungsmodelle (typischerweise Discrete-Choice-Modelle wie das LOGIT) sind – was die mathematische Formel angeht – bei beiden Modellansätzen sehr ähnlich.

In makroskopischen Modellen werden Zielwahl und Verkehrsmittelwahl für große Aggregate von Personen und Zielaktivitäten berechnet, die räumliche Auflösung ist dabei die Quelle-Ziel-Beziehung zwischen zwei Verkehrszellen. Tourenbasierte Modelle berücksichtigen dabei den Kontext entlang ei-

ner Aktivitätenkette. Aktivitätenpaarbasierete Modelle können dies ausschließlich im Kontext definierter Bezugsstandorte, meist des Wohnstandorts. Makroskopische Modelle verwenden typischerweise in der Zielwahl mehr Randbedingungen, als es mikroskopische Modelle tun. So wird z. B. im Falle einer harten Randsummenbedingung für Schule und Arbeit jeder Schul- und Arbeitsplatz unabhängig von seiner Erreichbarkeit mit der gleichen Häufigkeit aufgesucht. Sowohl aktivitätenkettenbasierte als auch paarbasierte makroskopische Modelle sind so in der Lage, die Zielwahl für „Nebenaktivitäten“ wie Einkaufen oder Freizeit in Abhängigkeit vom Wohnstandort durchzuführen, wenn der Weg den Wohnstandort weder als Quelle oder Ziel aufweist.

Bei mikroskopischen Modellen werden Zielwahl und Verkehrsmittelwahl für jede Person mehrfach berechnet. Immer wenn eine Aktivität endet, werden chronologisch Ziel und Verkehrsmittel zur nächsten Aktivität bestimmt, so dass Aktivitäten und Wege in Touren verkettet sind und so der Tagesplan detailliert abgebildet wird. Die Zielwahl muss dabei nur für die flexiblen Aktivitäten (Freizeit, Einkauf etc.) durchgeführt werden, da die Standorte für Wohnen, Arbeit und Ausbildung für jede Person bereits in einem früheren Modellschritt festgelegt wurden. Die Ziel- und Verkehrsmittelwahl in mikroskopischen Modellen berücksichtigt den gesamten Kontext der reisenden Person. So hat z. B. jeder Weg zur Arbeit den gleichen Arbeitsort. Die beiden Wege einer Tour, die von zu Hause zum Einkaufen und wieder nach Hause mit dem eigenen Fahrrad oder Auto durchgeführt wird, nutzen i. d. R. dasselbe Verkehrsmittel. Außerdem wird situationsabhängig die Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln bzw. das Verkehrsmittel bei zuvor durchgeführten Wegen berücksichtigt.

Es gibt mikroskopische Modelle, die auch Fahrzeuge als Agenten modellieren. Das hat den Vorteil, dass die Fahrzeug-Verfügbarkeit bei der Modellierung von Mobilitätsdienstleistungen (z. B. Carsharing oder Ridepooling) für reisende Personen berücksichtigt wird. Solche Modelle sind inzwischen in der akademischen Forschung sehr verbreitet und werden in einzelnen Fällen bereits in der Praxis angewandt (Ziemke et al. 2019; Scherr et al. 2020; Kagerbauer et al. 2021).

Während Auswertungen zu Multimodalität (Nutzung von verschiedenen Verkehrsmitt-

tehn auf unterschiedlichen Wegen) i. d. R. nur mit mikroskopischen Modellen durch die Identifikation und „Verfolgung“ von einzelnen Agenten über einen längeren Zeitraum möglich ist, kann Intermodalität durch die Berücksichtigung von Verkehrsmittelkombinationen in beiden Modellansätzen berücksichtigt werden. Dabei gibt es unterschiedliche Möglichkeiten der Modellierung der einzelnen Wegeetappen. Mikroskopische Modelle modellieren entweder chronologisch die einzelnen Etappen oder zweistufig, indem Zu- und Abgänge des Hauptverkehrsmittels gewählt werden.

Makroskopische Modelle bilden diese Chronologie nicht ab, sodass Pkw z. B. an P+R-Standorten „vergessen“ werden können. Dieses Problem lässt sich z. T. durch Symmetrisierung von Kenngrößenmatrizen beheben, dem steht allerdings gegenüber, dass eine Symmetrisierung wiederum die Tageszeitabhängigkeit bestimmter Kenngrößen nivelliert. Eine Verkehrsmittelentscheidung entlang einer gesamten Wegekette z. B. auf Grundlage der Hauptaktivitäten, kann für nicht austauschbare Verkehrsmittel wie Rad und Pkw jedoch realisiert werden.

Die Abfahrtszeiten der Wege werden in mikroskopischen Modellen durch die chronologische Modellierung der einzelnen Aktivitäten (und Wege) der Agenten determiniert. Die Wegedauern ergeben sich aus dem Verkehrsangebot des gewählten Verkehrsmittels zum spezifischen Modellierungszeitpunkt. In makroskopischen Modellen hingegen fixe tageszeitliche Verteilungen von z. B. verkehrsmittel-feinen Aktivitätenübergängen zur Anwendung, die i. d. R. nicht abhängig von Verkehrsangebot sind.

Wenn auch die Routenwahl von Agenten (Personen oder Fahrzeuge) in den Verkehrsnetzen mikroskopisch modelliert ist, so findet sie unter Berücksichtigung aller anderen Agenten, die gerade unterwegs sind, statt. Daraus werden Reisezeiten abgeleitet, die wieder in die verschiedenen Wahlentscheidungen einfließen. Makroskopische Modelle legen die Verkehrsnachfrage im Aggregat um. Für beide Modellansätze entstehen die Verkehrsbelastungen als Summe der Routenwahl aller Personen und die Reisezeiten in Abhängigkeit von der aktuellen Belastung.

### 3 Anwendungsfälle und Modellverbreitung

#### 3.1 Einsatzbereiche

Grundsätzlich wird ein Verkehrsmodell für bestimmte Zwecke erstellt. Es soll geeignete Kenngrößen bereitstellen, mit denen der heutige Zustand und zukünftige Zustände mit potenziellen Maßnahmen bzw. veränderten Rahmenbedingungen beurteilt werden können. Vor einer Modellerstellung müssen deshalb folgende Fragen zum Einsatzbereich eines Modells beantwortet werden:

- Was ist der Anlass für die Modellerstellung?
- Welchen Zeitraum soll das Modell abbilden?
- Welche Entwicklungen soll das Modell berücksichtigen?
- Welche Maßnahmen oder veränderte Rahmenbedingungen sollen mit dem Modell untersucht werden?
- Welche Kenngrößen soll das Modell als Ergebnis liefern?

Auch als E-Book!

## ZTV M 13 – Handbuch und Kommentar

Die neuen „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen“, Ausgabe 2013 (ZTV M 13) nehmen sowohl Auftraggeber als auch Auftragnehmer durch zahlreiche Neuerungen stärker in die Pflicht.



**KIRSCHBAUM**  
Ihr Fachverlag für Verkehr und Technik

C. Drewes, D. John,  
H.-H. Meseberg  
2015, 312 Seiten,  
DIN B5, Hardcover  
78,- € inkl. MwSt. und  
Inlandsversand  
ISBN 978-3-7812-1940-3  
Auch als E-Book inkl. KV-Reader

Mit ARS Nr. 24/2013 hat das BMVI – damals noch BMVBS – die neuen ZTV M 13 bekannt gegeben. Im Gegensatz zu den ZTV M 02 behandelt das neue Regelwerk nicht nur endgültige weiße Markierungen, sondern auch vorübergehende gelbe Markierungen. Darüber hinaus gibt es aber noch weitere **grundlegende Neuerungen**, die in der Kommentierung eingehend behandelt und erläutert werden.

So wird z. B. bei den Anforderungen an die Tages- und Nachtsichtbarkeit von endgültigen Markierungen zwischen Anforderungen im Neuzustand und solchen im Gebrauchszustand unterschieden, um den üblichen Verschleiß angemessen zu berücksichtigen. Auch wird in den ZTV M 13 erstmals empfohlen, wann eine Fahrbahnmarkierung erneuert werden sollte, weil sie ihre Funktion nicht mehr erfüllt.

Markierungsfirmen, die im Geltungsbereich der ZTV M 13 arbeiten wollen, müssen sich zukünftig zertifizieren lassen und dabei nachweisen,

dass sie alle Anforderungen erfüllen, die das neue Regelwerk u. a. an Maschinen und Personal stellt.

Ziel der Kommentierung ist es, insbesondere die zahlreichen Neuerungen eingehend zu erläutern und praxisingerechte Vorgehensweisen anzubieten. Auch Fragen, die sich bereits aus der praktischen Anwendung der ZTV M 13 ergeben haben, werden aufgegriffen und behandelt. Neben der Kommentierung der ZTV M 13 werden auch weitergehende Hinweise gegeben und Zusammenhänge mit europäischen Normen und anderen Regelwerken aufgezeigt.

Um einen vollständigen Blick auf das aktuelle Regelwerk zur Markierung zu erhalten, wurden wichtige Auszüge aus den Technischen Lieferbedingungen, den Hinweisen zu Markierungen auf neuen Fahrbahnoberflächen sowie die geltenden RMS Teil 1 und 2 mit in das Werk integriert.

Weitere Infos/Online-Bestellung unter [www.kirschbaum.de](http://www.kirschbaum.de)