

Analyse der Anwendung von Verkehrsnachfragemodellen

FA 1.144

Forschungsstelle: Universität Gesamthochschule Kassel, FG Verkehrssysteme und Verkehrsplanung (Prof. Dr.-Ing. Köhler) / Technische Universität Braunschweig, Institut für Verkehr und Stadtbauwesen (Prof. Dr. rer. nat. Wermuth)
 Bearbeiter: Köhler, U. / Wermuth, M. / Zöllner, R. / Emig, J.
 Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bonn
 Abschluss: April 2000

Dieses Forschungsvorhaben soll aufzeigen, inwieweit die bisher angewendeten Verkehrsnachfragemodelle zur Bestimmung von verschiedenen Maßnahmenwirkungen genutzt werden können. Zum Aufzeigen der derzeit noch vorhandenen Lücken wird einerseits die vorhandene Modelltheorie analysiert, andererseits werden verkehrsplanerische Arbeiten daraufhin ausgewertet, welche Modelle für welche Maßnahmenwirkungsberechnungen bisher erfolgreich angewendet wurden.

1. Aufgabenstellung

In der Verkehrsplanung werden Verkehrsnachfragemodelle zur Quantifizierung der Auswirkungen verkehrlicher Maßnahmen für alle Planungsebenen angewendet. Während in der Vergangenheit Verkehrsnachfragemodelle in erster Linie zur Planung und Begründung der Verkehrsweginfrastruktur herangezogen wurden, besteht heute in stärkerem Maße als früher die Absicht der Verkehrsplanung auch darin, regulierend in das Verkehrsgeschehen einzugreifen, und zwar nicht nur durch verkehrsinfrastrukturelle (und siedlungsstrukturelle) Maßnahmen, sondern auch durch

- ordnungspolitische,
- kostenbeeinflussende,
- organisatorische,
- betriebliche,
- fahrzeugtechnische,
- informationsverbessernde und
- bewußtseinsverändernde

Maßnahmen.

Bisher ist im Wesentlichen nur möglich gewesen, die Wirkungen von Maßnahmen, die direkt Einfluss auf die Reisezeit haben, wie z. B. Infrastrukturmaßnahmen oder Beschleunigungsmaßnahmen im ÖV, ausreichend genau abzubilden, im Gegensatz zu Wirkungen von Maßnahmen aus organisatorischen, ordnungspolitischen, kostenbeeinflussenden und z. T. auch betrieblichen Handlungsansätzen.

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Bedeutung der Ermittlung der Maßnahmenwirkung als Entscheidungshilfe im Verkehrsplanungsprozess und der hohen Investitionen für die meisten Maßnahmen ist deshalb dafür Sorge zu tragen, dass künftig die

- Wirkungen aller Maßnahmen, die derzeit schon quantifiziert werden können, auch quantitativ dargestellt werden,
- die Wirkungen der übrigen Maßnahmen nach bestem Wissen abgeschätzt werden und
- die noch vorhandenen Lücken möglichst bald geschlossen werden.

2. Untersuchungsmethodik

Im ersten Schritt des Forschungsvorhabens wurde die derzeit vorhandene Modelltheorie analysiert. Dazu wurden zunächst die Verkehrsnachfragemodelle anhand wichtiger Merkmale typisiert. Unterschieden wurden

- simulative und Gleichgewichtsmodelle,
- Einzelweg- und Wegekettensmodelle sowie
- Individual- und Aggregatmodelle.

Anschließend wurde auf die einzelnen Stufen der Verkehrsnachfrageberechnung eingegangen.

Für die Teilmodelle

- Verkehrserzeugung,
- Verkehrszielwahl bzw. Verkehrsverteilung,
- Verkehrsmittelwahl bzw. Modal-Split,
- Verkehrswegwahl bzw. Verkehrsumlegung

wurde einerseits aufgezeigt, welche mathematischen Ansätze zur Berechnung der Verkehrsnachfrage vorhanden sind, andererseits wurde die Eignung der vorhandenen Ansätze zur Ermittlung der Maßnahmenwirkung von bisher nicht quantifizierbaren Maßnahmen offen gelegt.

In einem zweiten Schritt wurden Anforderungen an die Verkehrsnachfragemodelle formuliert, d. h. es wurde gefragt, welche Anforderungen Verkehrsnachfragemodelle sowohl aus wissenschaftlicher Sicht als auch aus Sicht der Verkehrsplanungspraxis zu erfüllen haben. Dabei wurde u. a. insbesondere der Maßnahmensensibilität gegenüber den verschiedenen verkehrsplanerischen Maßnahmen sowie der logischen Konsistenz des Modellaufbaus Aufmerksamkeit gewidmet.

Die Anforderung nach Berücksichtigung des induzierten Verkehrs aufgrund verkehrsplanerischer Maßnahmen konnte außerdem herausgearbeitet werden.

Im Zusammenhang mit der Problematik der Genauigkeit von Verkehrsnachfragemodellen sind zusätzlich die Anforderungen an Verkehrsnachfragedaten dargestellt worden.

In einem dritten Schritt wurden verkehrsplanerische Arbeiten mit dem Ziel analysiert, wie Verkehrsnachfragemodelle in der Praxis angewendet werden. Da sich die Anforderungen an die Modelle bzw. an die Modellergebnisse hinsichtlich der Abbildbarkeit von Maßnahmen sowie deren Wirkungen mit der der Aufgabenstellung zugrundeliegenden Intention ändern, wurden die Untersuchungen in folgende Gruppen gegliedert:

- städtische Verkehrsuntersuchungen,
- regionale Verkehrsuntersuchungen,
- Fernverkehrsuntersuchungen,
- ÖPNV-Untersuchungen,
- MIV-Untersuchungen,
- Güterverkehrsuntersuchungen.

In einem vierten Schritt wurde anschließend eine Defizitanalyse durchgeführt. Unter Berücksichtigung der vorhandenen Modelltheorie, der Anforderungen an Verkehrsnachfragemodelle sowie der Erkenntnisse aus der Auswertung von verkehrsplanerischen Arbeiten wurde aufgezeigt, wo derzeit Lücken in der Abbildung von verkehrsplanerischen Maßnahmen zu erkennen sind und wie diese Lücken geschlossen werden können.

3. Untersuchungsergebnisse

Unter Verkehrserzeugung wird noch vielfach die Berechnung des Quell- und Zielverkehrs von Verkehrszellen verstanden. Das hierfür übliche Modellkonzept ist das Raumaggregatmodell. Dieses Modell erfüllt keineswegs mehr die Anforderungen, die heute an ein möglichst kausal aufgebautes Modell zu stellen sind. Der Grund liegt darin, dass im Quellverkehr einer Verkehrszelle auch Wege von Bewohnern anderer Verkehrszellen enthalten sind, die diese Zelle im Zielverkehr aufsuchen. Die Berechnung des Fremdverkehrs ist jedoch – ebenso wie der gesamte Zielverkehr – weder auf der Basis der Merkmale der Wohnbevölkerung der Zielzelle, noch allein in Abhängigkeit von Attraktivitätsgrößen (wie Arbeitsplätze, Geschäftsflächen) möglich, da der Zielverkehr einer Verkehrszelle in starkem Maße von der Erreichbarkeit der Verkehrszelle und dem Nachfragepotenzial in ihrem Einzugsgebiet abhängt. Das bedeutet, dass jeweils der von Fremden verursachte Quell- und Zielverkehr einer Verkehrszelle erst nach der Verkehrszielwahl (und in der Folge davon sogar erst nach der Verkehrsmittelwahl) möglich ist.

Die Individualverhaltensmodelle sind in der Lage, das gesamte tägliche Wegeaufkommen einer Person einer bestimmten soziodemografischen Gruppe darzustellen. Hierin sind auch die gesamten nicht Heim gebundenen Wege enthalten, die von anderen Verkehrszellen ausgehen und zu anderen Verkehrszellen führen. Immerhin sind durchschnittlich 20–25 % des gesamten Verkehrsaufkommens im Personenverkehr nicht Heim gebundene Wege. Der Heim gebundene Verkehr, d. h. 75–80 % des Gesamtverkehrs, kann jedoch auf diese Weise kausallogisch richtig in die nächsten Modellstufen der Ziel- und Verkehrsmittelwahl eingebracht werden. Die nicht Heim gebundenen Wege lassen sich nach der Verkehrsverteilung als Teilketten von den ermittelten Zielen aus ergänzen, so dass dadurch Wegeketten erzeugt werden.

Wegekettenmodelle, wie sie heute verwendet werden, kopieren lediglich die in der empirischen Analyse erhobenen rd. 70 % der häufigsten Wegeketten. Sie rechnen somit die in der Stichprobe festgestellten häufigsten Wegeketten auf die gesamte Bevölkerung hoch. Dabei wird das Wegemuster, d. h. die Abfolge der Zwecke (Aktivitäten), unverändert aus der Datenanalyse für die

Beschreibung des aktuellen Verkehrszustandes übernommen und i. d. R. auch für die Prognosesimulation unverändert genutzt. Variiert werden ggf. nur die Ziele und Verkehrsmittel durch Anwendung von Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodellen.

Infolge der neuen Maßnahmen werden Wegemuster möglicherweise umorganisiert. Um die Handlungsmöglichkeiten eines Verkehrsteilnehmers unter neuen Bedingungen auch im Modell nicht unnötig einzuschränken, sollen die Wegemuster aus der Analyse nicht einfach übernommen werden. Vielmehr sollte von den personengruppenspezifischen Aktivitätsmustern ausgegangen und nach Pflicht- (Haupt-) und Nebenaktivitäten unterschieden werden, um darauf die mögliche Umorganisation zu neuen Aktivitätenketten zu ermöglichen. Notwendig wäre hierzu in der Forschung, die Freiheitsgrade hinsichtlich zeitlicher Flexibilität bei der Durchführung von Aktivitäten, den Bedarf an zusätzlichen Aktivitäten bzw. die Möglichkeit der Einsparung von Aktivitäten bei Ausschöpfung des Zeitbudgets zu untersuchen.

Es zeigt sich somit bei den heute verwendeten Verkehrserzeugungsmodellen, dass eine Berechnung des Verkehrsaufkommens einer Verkehrszelle in Form von Quell- oder Zielverkehr als erste Stufe eines Vier-Stufen-Algorithmus nicht ratsam ist. Hinsichtlich ihrer logischen Konsistenz überzeugen lediglich die Wegekettenmodelle und die Modelle, die zunächst die Aktivitätenhäufigkeiten ermitteln, um daraus die Wegeketten abzuleiten. Hinsichtlich der Abfolge von Wegen in einer Kette sowie der Möglichkeiten der Reduzierung oder Neugenerierung von Aktivitäten in einer Kette besteht noch empirischer Forschungsbedarf.

Die verschiedenen beschriebenen Verkehrsverteilungsmodelle haben gezeigt, dass die den Modellen zugrunde liegenden verschiedenen Verhaltensprinzipien zu demselben Verkehrszielwahlmodell führen. Von allen Modellkonzepten ist das der Nutzenmaximierung das adäquateste.

Wenngleich die logische Konsistenz dieses Modelltyps durchaus als gegeben angesehen werden kann, so bestehen die Hauptprobleme dabei bei der Definition des Widerstandes und vor allem bei der Bestimmung der relevanten Attraktionsgewichte der Verkehrszellen. In beiden Fragestellungen liegt noch sehr großer empirischer Forschungsbedarf. Die fehlenden Erkenntnisse bei der Modellierung der Attraktionsgewichte zur Verkehrszielwahl bilden die gravierendste Lücke im gesamten Bereich der Verkehrsnachfragemodelle.

Ein weiteres ungelöstes Problem besteht in der Verwendung eines gewichteten Widerstands bei Verkehrszielwahlmodellen für wahlfreie Verkehrsteilnehmer mit mindestens zwei Verkehrsmittelalternativen, wenn nicht ein simultanes Ziel-Verkehrsmittelwahl-Modell verwendet wird.

Die beiden Verkehrsmittelwahlmodelle, die auf dem Verhaltensprinzip der Nutzenmaximierung beruhen, also das Probit- und das Logitmodell, letzteres ggf. mit Box-Cox-transformierten Einzelnutzen, erfüllen die Bedingung der logischen Konsistenz weitestgehend. Das Probitmodell ist für zwei Alternativen das zutreffendste Modell, für mehr als zwei Alternativen scheidet dieser Ansatz jedoch aufgrund der aufwändigen Eichung der Modellparameter nahezu aus. Da jedoch das simultane Ziel-Verkehrsmittelwahlmodell für Verkehrsteilnehmer mit mindestens zwei Verkehrsmittelalternativen zu empfehlen ist, kommt in der praktischen Anwendung bei mehr als zwei Alternativen nur das Logitmodell infrage. Auch bei den Nutzenmaximierungsmodellen besteht das Problem der Definition des Widerstandes für verschiedene Verkehrsmittel.

Das bedeutendste, noch weitgehend ungelöste Problem bei der Verkehrsmittelwahl besteht in der Identifikation der verfügbaren

Verkehrsmittel der einzelnen Personen im Rahmen von Individualverhaltensmodellen. Das Modellkonzept der Nutzenmaximierung ist für die Verkehrsteilnehmer logisch konsistent anwendbar, für die auch die Verkehrsmittelwahlsituation, d. h. die jeweilige Kombination von verschiedenen verfügbaren Verkehrsmitteln, angegeben werden kann. Hierzu ist eine umfassende empirische Analyse der Verkehrsmittelwahlsituationen der verschiedenen Personengruppen notwendig.

Der geringste Forschungsbedarf besteht bei der Routenwahl. Grund dafür ist die Tatsache, dass in Zukunft die Streckenbelastungen eines Verkehrsnetzes unter der Prämisse ermittelt werden können, dass die Verkehrsteilnehmer – mit Hilfe von Telematiksystemen unter Berücksichtigung des bestehenden Belastungszustandes des Netzes – den objektiv widerstandskürzesten Weg wählen können. Diese Annahme führt zum Verfahren der belastungsabhängigen Routenwahl, wie es heute bereits i. a. angewandt wird. Man kann somit sagen, dass bereits bisher das häufigste verwendete Verfahren auf der Annahme aufbaute, dass die Verkehrsteilnehmer in der Lage sind, den – unter der jeweiligen Vorbelastung – zeitkürzesten Weg zu ermitteln.

Häufig wird die Integration der Teilmodelle zu einem einzigen simultanen Verkehrsnachfragemodell gefordert. Die Versuche hierzu gelangen zu „black-box“-Modellen, die hinsichtlich ihrer Detailstruktur rein phänomenologisch aufgebaut sind und jegliche logische Modellkonsistenz vermissen lassen. Wie gezeigt wurde, lassen sich die Modellstufen Ziel- und Verkehrsmittelwahl auf einfache Weise zu einem Simultanmodell zusammenfassen. Die inhaltliche Integration mit der Verkehrserzeugung ist ohne weiteres möglich. Dabei nimmt das Teilmodell Verkehrserzeugung die wichtige Funktion zur Ermittlung der Haupt- und Nebenaktivitäten einer Person einer bestimmten Gruppe ein. Nach der Zielwahl für die Hauptaktivitäten können Nebenaktivitäten in die Wegeketten „eingehängt“ werden, soweit Budgetrestriktionen (Zeit, Kosten etc.) dies zulassen. Das Simultanmodell wird dabei als interaktives Zusammenwirken von Teilmodellen realisiert, wobei jedoch die Modellstrukturen sachlogisch nachvollziehbar blieben und die Kalibrierung der Modellparameter nicht zu absurden Modellen führt, wie das bei „black-box“-Modellen der Fall sein kann.

Eine Integration der ersten drei Modellstufen mit der Routenwahl ist ohnehin in bezug auf ihre Notwendigkeit sehr fraglich, da die Widerstandseinschätzung des Verkehrsteilnehmers bei der

grundsätzlichen Wegeentscheidung, insbesondere bei der Ziel- und Verkehrsmittelwahl, eine allgemeinere ist als bei der unmittelbaren Verkehrswegwahl im Netz. Eine Rückkopplung ist möglich und sinnvoll, jedoch ist die Forderung eines Simultanmodells nicht berechtigt.

Die Einbeziehung des induzierten Verkehrs in Nachfragemodelle bereitet bisher Schwierigkeiten. In keinem der diskutierten Verkehrsnachfragemodelle wird dieser Verkehrsanteil berücksichtigt. Da die zur Entstehung von (primär) induziertem Verkehr heranzuziehenden Erklärungsgrößen im Wesentlichen identisch sein dürften mit denen zur Erklärung von Verkehrsverlagerungen, sollte es grundsätzlich möglich sein, den induzierten Verkehr in die Verkehrsnachfragemodelle einzubeziehen.

4. Folgerungen für die Praxis

Insgesamt ist festzustellen, dass die vorhandenen Modellstrukturen in ihrem Aufbau zwar geeignet sind, die Anforderungen weitgehend zu erfüllen, die an Verkehrsmodelle zu stellen sind.

Wenngleich auch konzeptionelle theoretische Forschungen noch notwendig sind, so zeigt sich aber, dass der hauptsächliche Forschungsbedarf auf der Seite der Empirie liegt.

Auch die neuen Maßnahmenkategorien, deren Wirkung in den verkehrsplanerischen Arbeiten z. T. subjektiv abgeschätzt werden, sind weitgehend mit den bestehenden Modellkonzepten zu beurteilen, wenn die Modellparameter auf der Basis von empirischen Daten kalibriert werden können. Es liegt also weniger daran, dass keine geeigneten Modellkonzepte existieren, sondern eher daran, dass über Verkehrsnachfrage und -verhalten – insbesondere auch im Güterverkehr – zu wenige Kenntnisse vorliegen. Die Forschung muss deshalb nicht nur theoretische Untersuchungen fördern, sondern auch die kostenintensive Datensammlung – unter Beachtung von Anforderungen aus konzeptionellen Überlegungen – unterstützen. Diese Daten erhöhen nicht nur die Qualität einer Modellsimulation, sondern eröffnen auch erst die Möglichkeit, bestehende Modellansätze zu überarbeiten bzw. neue Modellansätze zu konzipieren. □