

Qualitätsmanagement für Verkehrsnachfragemodelle

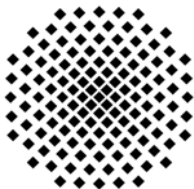
Autoren / Authors:

Markus Friedrich

Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik, Universität Stuttgart
markus.friedrich@isv.uni-stuttgart.de

Veröffentlicht in / Published in:

Friedrich, M. (2010): Qualitätsmanagement für Verkehrsnachfragemodelle; in *DVWG Jahresband 2009/2010 Ansprüche einer mobilen Gesellschaft an ein verlässliches Verkehrssystem*, DVWG e.V. 2011.



Universität Stuttgart
Institut für Straßen- und Verkehrswesen
Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik
www.uni-stuttgart.de/isv/vuv/

Qualitätsmanagement für Verkehrsnachfragemodelle

Markus Friedrich

Universität Stuttgart

Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik

1 Einleitung

Verkehringenieure haben die Aufgabe, bestehende Zustände zu untersuchen und die Wirkungen von Maßnahmen zu ermitteln. Zur Lösung dieser Aufgabe stehen grundsätzlich die empirische Erhebung und die modellbasierte Berechnung zur Verfügung. Erhebungen versprechen auf den ersten Blick die besten Daten zur Beschreibung des bestehenden Zustandes. Bedenkt man jedoch, dass viele Daten nicht direkt oder nur sehr aufwändig über Befragungen, Beobachtungen oder Messungen erfasst werden können, dann erkennt man das ergänzende Modellrechnungen unumgänglich sind. Zudem können mit Erhebungen Daten nur für den Ist-Zustand und nicht für zukünftige Zustände ermittelt werden. Um diese Einschränkungen zu überwinden, bildet man Modelle, die die Wirklichkeit beschreiben. Verkehrsmodelle stellen wie alle Modelle eine zweckbezogene Abstraktion der realen Welt dar. Ziel der Modellierung ist die modellgestützte Vorbereitung von Entscheidungen, die in der realen Welt getroffen werden.

Im Verkehrswesen kommt eine Vielzahl von Modellen zum Einsatz. Zentrale Modelle sind Verkehrsnachfragemodelle und Verkehrsflussmodelle:

- *Verkehrsnachfragemodelle* bilden die Entscheidungen Aktivitätenwahl, Zielwahl, Verkehrsmittelwahl, Abfahrtszeitwahl und Routenwahl im Personenverkehr nach.
- *Verkehrsflussmodelle* bilden die Geschwindigkeitswahl, die Fahrstreifenwahl und das Abstandswahlverhalten im Straßenverkehr.

Da die Modelle von Verkehringenieuren für die Planung des Verkehrsangebots und von politischen Institutionen für die Entscheidungsfindung eingesetzt werden, müssen die Modellergebnisse gewissen Ansprüchen genügen. Das Modell muss den Ist-Zustand und zukünftige Zustände sowohl quantitativ als auch von den Wirkungszusammenhängen realitätsnah abbilden. Für die Verwaltung der Daten und die Model-

lierung der Wirkungszusammenhänge sind Softwareprogramme notwendig. Auch diese Softwareprogramme haben Anforderungen zu erfüllen.

In diesem Beitrag werden zuerst die Begriffe Verkehrsnachfragemodell, Qualität und Qualitätsmanagement definiert. Dann werden Anforderungen an die Qualität von Softwareprogrammen und Verkehrsplanungsmodelle diskutiert

2 Verkehrsnachfragemodelle

Ein Verkehrsnachfragemodell ist ein Modell, das alle relevanten Entscheidungsprozesse der Menschen nachbildet, die zu Ortsveränderungen führen. Im Personenverkehr umfassen diese Entscheidungen die Aktivitätenwahl, die Zielwahl, die Verkehrsmittelwahl, die Abfahrtszeitwahl und die Routenwahl. Das Nachfragemodell ist Teil eines umfassenderen Verkehrsplanungsmodells, das verschiedene Teilmodelle umfasst:

- Das *Datenmodell Mobilitätsverhalten* umfasst alle Daten, die das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung beschreiben. Sie stammen in der Regel aus Haushaltsbefragungen (Welche Personengruppe fährt wie häufig zu welchem Zweck mit welchem Verkehrsmittel?).
- Das *Datenmodell Verkehrsangebot*, oft als Netzmodell bezeichnet, enthält die Daten des Verkehrsangebotes einschließlich der Kosten für die Benutzung des Verkehrsangebotes. Es besteht u.a. aus Knoten bzw. Haltestellen, den Strecken des Straßen- und Schienennetzes und aus den ÖV-Linien mit ihren Fahrplänen. Aber auch Steuerungseinrichtungen wie Lichtsignalanlagen oder Fahrzeuge mit ihren spezifischen Eigenschaften (Kapazität, Kraftstoffverbrauch) können Bestandteil des Verkehrsangebotes sein.
- Das *Datenmodell Siedlungsstruktur* umfasst alle Daten, die die Verteilung der Nutzungen (Standorte von Wohnungen, Arbeitsplätzen, Schulen, Einkaufsgelegenheiten, Freizeitstätten) beschreiben. Diese Daten können in Form von Gebäude-daten oder in der Form von Verkehrszellen vorliegen.
- Das *Wirkungsmodell Ortsveränderungen* entspricht dem eigentlichen Verkehrsnachfragemodell. Es ermittelt aus den Strukturdaten, den Verhaltensdaten und aus den Daten des Verkehrsangebotes die Ortsveränderungen für Personengruppen oder einzelne Personen. Das Modell bildet dazu die verkehrsrelevanten Entscheidungsprozesse der Menschen nach.

- Das *Wirkungsmodell Verkehrsauswirkungen* ermittelt die Wirkungen, die sich direkt als Folge der Ortsveränderungen ergeben (z.B. Emissionen) oder die indirekt dadurch entstehen, dass das Verkehrsangebot in Form von Verkehrswegen oder Fahrzeugen zur Verfügung gestellt werden muss (z.B. Betriebskosten für den ÖPNV).
- Die Ergebnisse der Wirkungsmodelle sind die Eingangsdaten für die *Bewertungsmodelle*. Die Bewertungsmodelle bewerten zum einen die Qualität des Verkehrsangebots aus Sicht der Nutzer. Zum anderen bewerten sie die Auswirkungen des Verkehrs auf die Betreiber des Verkehrsangebots, auf die Gesellschaft, die Wirtschaft und die Umwelt.

3 Qualitätsmanagement

Qualität beschreibt das Maß, in dem ein Produkt die an es gestellten Anforderungen erfüllt. Qualitätsmanagement ist ein kontinuierlicher Prozess, der dazu dient die Qualität eines Produktes regelmäßig zu überprüfen. Ziel eines Qualitätsmanagements ist es, die Qualität zu dokumentieren und zu sichern. Die Erkenntnisse des Qualitätsmanagements können dann dazu genutzt werden, die Qualität zu verbessern.

Die nachstehende Tabelle zeigt Begriffe aus dem Qualitätsmanagement und bezieht die Begriffe beispielhaft auf die Verkehrsnachfragemodellierung. Man erkennt, dass der Modellierer dabei sowohl als Kunde (gegenüber den Herstellern der Modellierungssoftware) als auch als Lieferant (Ergebnisse der Modellrechnungen an Verkehrsingenieure, Politik und Verwaltung) auftritt.

Begriff	Definition	Beispiel
Lieferant	Organisation oder Person, die ein Produkt bereitstellt.	<ul style="list-style-type: none"> Die Hersteller der Modellierungssoftware sind Lieferanten an den Modellierer. Die Modellierer ist Lieferant des Verkehrsnachfragemodells bzw. der mit dem Modell berechneten Ergebnisse. Der Bürger ist ein Datenlieferant, der mit seinen Antworten in einer Haushaltsbefragung Informationen zum Mobilitätsverhalten bereitstellt.
Kunde	Organisation oder Person, die ein Produkt empfängt.	<ul style="list-style-type: none"> Der Modellierer ist Kunde der Modellierungssoftware, die vom Softwarehersteller erbracht wird. Der Verkehrsingenieur, der mit den Ergebnissen des Verkehrsnachfragemodells das Verkehrsangebot plant, ist Kunde, der eine vom Modellierer erbrachte Dienstleistung empfängt.
Produkt	Ein Produkt ist das Ergebnis eines Prozesses. Die DIN EN ISO 9000 benennt vier Produktkategorien: Dienstleistungen, Software, Hardware und verfahrenstechnische Produkte	<ul style="list-style-type: none"> Modellierungssoftware: Lieferant Softwarehersteller Kunde Modellierer Verkehrsnachfragemodell: Lieferant Modellierer Kunde Verkehrsingenieur, Politik und Verwaltung, Bürger Daten: Lieferant Datenlieferant, Bürger Kunde Modellierer
Anforderung	Erfordernis oder Erwartung, das oder die festgelegt, üblicherweise vorausgesetzt oder verpflichtend ist.	<ul style="list-style-type: none"> Die modellierten Verkehrsstärken sollen an 90% der Messstellen um maximal 10% bzw. 100 Fahrzeuge abweichen.

Tabelle 1: Begriffe der DIN EN ISO 9000:2005 im Bezug auf die Verkehrsnachfragemodellierung.

4 Anforderungen an Modellierungssoftware

Anforderungen an ein Softwareprogramm lassen sich folgendermaßen formulieren:

- Das Programm soll bedienungsfreundlich sein und so eine effiziente Modellerstellung unterstützen.
- Das Programm soll die Daten korrekt verwalten und Datenverluste vermeiden. Datenverluste können zum Beispiel durch Programmabstürze entstehen, dadurch dass alte Datenbestände nicht mehr gelesen werden können oder durch eine falsche Umwandlung von Inputdaten in Dialogboxen oder Probleme beim Runden.
- Das Programm soll die in einem Algorithmus beschriebenen Wirkungszusammenhänge formal und numerisch richtig berechnen und dabei hinreichend schnell sein.
- Das Programm soll gut dokumentiert sein, so dass die implementierten Verfahren und die Modellparameter nachvollziehbar beschrieben sind.

- Programmänderungen, die das Berechnungsergebnis beeinflussen, müssen dokumentiert werden.

Anforderungen an die Modellierungssoftware lassen sich beispielhaft anhand des Umgangs mit Wahrscheinlichkeiten illustrieren. Bei der Berechnung von einzelnen Wegeketten und Wegen ergeben sich in makroskopischen Verkehrsnachfragemodellen sehr kleine Wahrscheinlichkeiten. Die Wahrscheinlichkeit für eine einzelne Wegekette Wohnen-Arbeiten-Einkaufen-Wohnen liegt in einem Verkehrsmodell mit 1.000 Verkehrszellen für viele Ketten bei etwa $1:1.000^2$. Diese Wahrscheinlichkeit wird dann mit dem Verkehrsmittelanteil und dem ebenfalls eher kleinen Verkehrsaufkommen einer Personengruppe multipliziert. Wenn in solchen Fällen auf ganze Zahlen oder eine fest Anzahl von Nachkommastellen gerundet wird, können systematische Fehler entstehen. Hier sollte der Modellierer entweder wissen wie gerundet wird oder er sollte die Rundungseinstellungen wählen können.

5 Anforderungen an Nachfragemodelle

Anforderungen an ein Verkehrsnachfragemodell sind vergleichsweise schwerer zu benennen. Da ein Verkehrsnachfragemodell häufig der Vorbereitung verkehrspolitischer Entscheidungen dient, kommen die Anforderungen nicht von den Modellierern (= Lieferant des Produktes), sondern von Verkehrsingenieuren oder politischen Entscheidern. Aufgrund mangelnder Hintergrundkenntnisse werden in der Praxis selten konkrete Anforderungen vor der Modellerstellung formuliert. Nachträgliche Fragestellungen stellen oft unrealistische Anforderungen. Gleichzeitig fehlen klare Vorgaben oder Empfehlungen, wie die Aussagegenauigkeit der Modellergebnisse überprüft werden können.

5.1 Anforderungen an die Einsatzbereiche

Verkehrsnachfragemodelle werden eingesetzt, um vorhandene Zustände in einem Verkehrsnetz zu rekonstruieren und die Wirkungen zukünftiger Entwicklungen (z.B. Bevölkerung oder Preise) und geplanter verkehrlicher Maßnahmen abzuschätzen. Bild 1 zeigt typische Maßnahmen und Entwicklungen, deren Wirkungen mit Verkehrsnachfragemodellen nachgebildet werden. Um die Wirkungen zu quantifizieren und zu bewerten, werden Kenngrößen berechnet. Typische Kenngrößen sind in Tabelle 2 dargestellt. Sie werden von Verkehrsingenieuren und Politikern für eine große Bandbreite

von Einsatzbereichen benötigt. Aus den Einsatzbereichen ergeben sich dann Anforderungen an die Modellbildung und damit auch an den Aufwand für die Modellerstellung. Hier einige Beispiele für Anforderungen, die aus speziellen Fragestellungen bzw. Einsatzbereichen resultieren:

- Ein Verkehrsnachfragemodell, das die Wirkungen von Straßenbenutzungsgebühren oder Kraftstoffpreisen abbilden soll, benötigt eine Teilmodell zur Kostenermittlung und eine Nutzenfunktion mit einer Preiskomponente.
- Sollen die Zugangswege im ÖV durch eine Haltestellenplanung optimiert werden, muss das Modell eine Fußwegenetz enthalten. Die Verkehrszellen dürfen dann nicht an die Haltestellen, sondern müssen an das Fußwegenetz angebunden werden.
- Sind Aussagen zur stündlichen Verkehrsstärke für einzelne Tageszeiten gefordert, dann müssen mit Hilfe von fahrzweckspezifischen Ganglinien die Abfahrtszeiten einzelner Wege bestimmt werden. Soll zusätzlich ein Peak-Spreading nachgebildet werden, dann muss die Abfahrtszeitwahl modelliert werden.
- Aussagen zur Verkehrsstärke auf einzelnen Abbiegern sind mit Verkehrsnachfragemodellen nur eingeschränkt möglich. Sollen solche Aussagen gemacht werden, müssen auf alle Fälle die Knotenpunktwidestände detailliert modelliert und eine feine Verkehrszelleneinteilung gewählt werden.

Die Beispiele zeigen, dass Anforderungen an die Einsatzbereiche bereits bei der Modellbildung berücksichtigt werden müssen. Bei einer Vergabe eines Verkehrsnachfragemodells sollten deshalb

- die Auftraggeber (=Kunde) ihre Anforderungen bereits in der Ausschreibungen formulieren,
- die Auftragnehmer (=Lieferant) Anforderungen einfordern,
- Anforderungen schriftlich festhalten werden.

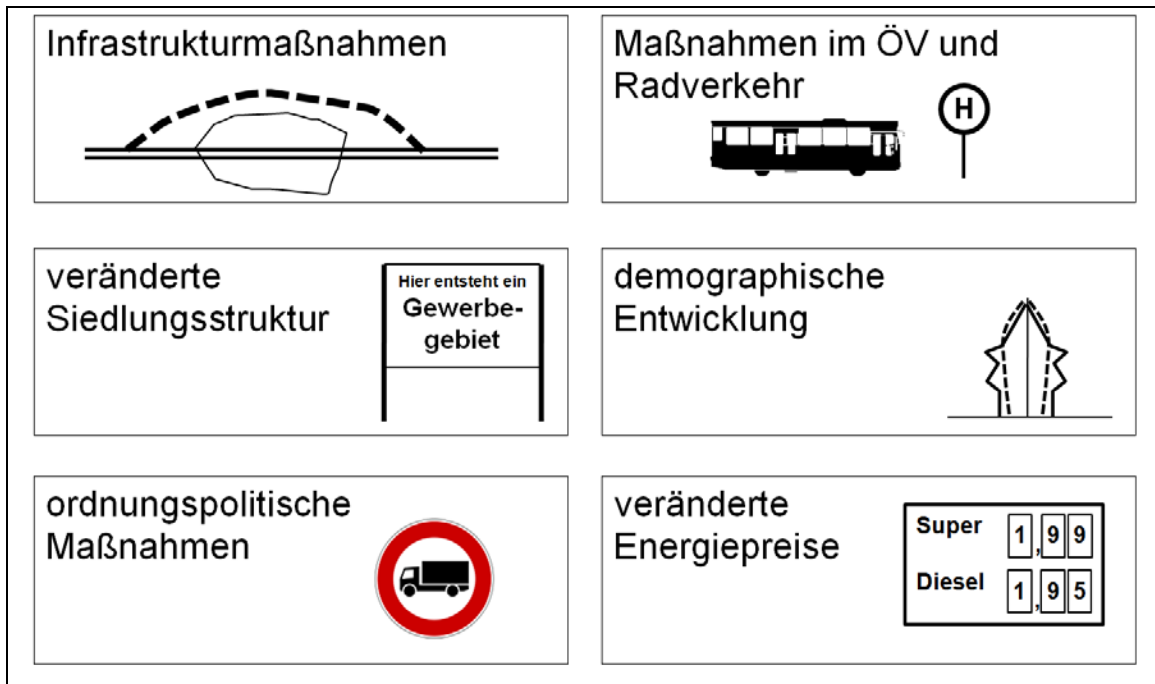


Bild 1: Typische Maßnahmen und Entwicklungen, deren Wirkungen mit Verkehrsnachfragemodellen ermittelt werden.

Kenngröße	Einsatzbereich
Verkehrsstärke (DTVw) auf Straßen	Straßenplanung
Verkehrsstärke auf ÖV-Linien	ÖV-Planung
Reisezeiten Pkw	Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen
relationsfeine Kenngrößen Pkw und ÖV	Standardisierte Bewertung Nachfrageberechnung
Modal Split	Verkehrsplanung
Verkehrsstärke in der HVZ auf Abbiegern	verkehrstechnische Bemessung
Verkehrsstärke in der HVZ auf ÖV-Fahrten	Dimensionierung Platzangebot
Verkehrsstärke differenziert nach Pkw, Lkw < 7,5t, Lkw < 12t, Lkw > 12t	Planung von Durchfahrtsverboten

Tabelle 2: Typische Kenngrößen zur Quantifizierung von Wirkungen, die von Verkehrsingenieuren für verschiedene Einsatzbereiche in der strategischen und technischen Verkehrsplanung benötigt werden.

5.2 Anforderungen an die Aussagegenauigkeit

Makroskopische Verkehrsnachfragemodelle modellieren das durchschnittliche Verhalten einer Personengruppe. Wenn die Personen einer betrachteten Personengruppe an einem Werktag im Mittel 3,5 Wege durchführen, dann wird im makroskopischen Verkehrsnachfragemodell jede Person dieser Gruppe exakt 3,5 Wege erzeugen. In der Realität wird es aber innerhalb einer Personengruppe Schwankungen geben. Ver-

gleichet man das die Wegeanzahl, die die Personen einer Verkehrszelle in der Realität erzeugen mit den Modellwerten dann werden sich mehr oder weniger deutliche Abweichungen ergeben. Der relative Fehler nimmt dabei mit abnehmender Personenzahl zu (siehe Tabelle 3).

Personenzahl in der Zelle	max. relativer Fehler	Modellwert	Minimum Realität	Maximum Realität	absolute Abweichung
[Personen]	[%]	[Wege/Tag]	[Wege/Tag]	[Wege/Tag]	[Wege/Tag]
1	84	3,5	0,6	6,4	3
10	27	35	26	44	9
100	8	350	321	379	29
1.000	3	3.500	3.407	3.593	93
10.000	1	35.000	34.706	35.294	294

Annahmen:

- Mittelwert 3,5 Wege/Tag
- Standardabweichung 1,5 Wege/Tag
- Normalverteilung
- Konfidenzlevel von 95%

Tabelle 3: Relativer und absoluter Fehler in Abhängigkeit der Größe der betrachteten Grundgesamtheit.

Betrachtet man andererseits den Einfluss der Zellengröße auf die Aussagegenauigkeit relationsbezogener Kenngrößen (z.B. Reisezeit), dann stellt man leicht fest, dass die Aussagegenauigkeit mit zunehmender Zellengröße sinkt. Bild 2 illustriert diesen Zusammenhang beispielhaft.

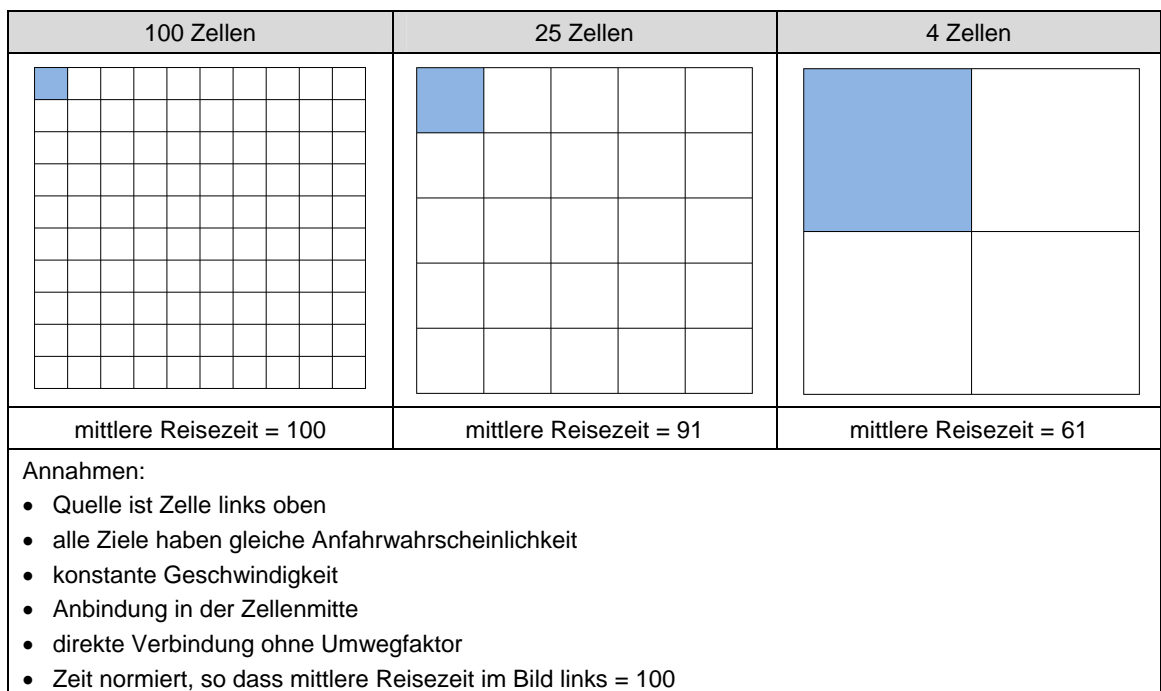


Bild 2: Einfluss der Zellengröße auf die Reisezeit

Die beiden Beispiele zeigen, dass eine feinere, disaggregierte Modellierung (Zahl der Personengruppen, Zellengröße, Abbildung von Knotenwiderständen) die Aussagegenauigkeit in der Regel erhöht. Trotzdem sind abgesicherte Aussagen nur auf einer aggregierten Ebene möglich. Die Aussagegenauigkeit steigt dabei mit zunehmender Aggregation. Die Tatsache, dass ein Nachfragemodell Wegeketten nachbildet, darf also nicht zu der Annahme (ver-) führen, dass das Modell statistisch abgesicherte Aussagen zu den Aktivitätenorten der Personen einer Verkehrszelle machen kann.

5.3 Überprüfung der Aussagegenauigkeit

Ziel einer Überprüfung der Aussagegenauigkeit ist es die Qualität der berechneten Werte durch einen Vergleich mit beobachteten Werten zu bewerten. Bei der Überprüfung können folgende Werte verglichen werden:

- berechnete mittlere Wegezahl je Personengruppe mit den Werten aus einer Haushaltsbefragung,
- berechnete Reiseweiten- oder Reisezeitverteilung der Verkehrsverteilung mit Reiseweiten- oder Reisezeitverteilung, die aus Befragungen abgeleitet werden,
- berechnete Mittelwerte des Modal-Split der Verkehrsmoduswahl mit mittleren Modal-Split Anteilen aus Befragungen,
- berechnete Quelle-Ziel Reisezeiten mit gemessenen Reisezeiten für ausgewählte Relationen,
- berechnete Streckenbelastungen der Umlegung mit gezählten Streckenbelastungen an ausgewählten Zählstellen oder an Screenlines. Eine Screenline umfasst eine Menge von Strecken, die durch eine Polygonlinie definiert werden. Alle Strecken, die durch die Polygonlinie geschnitten werden, gehören zur Screenline. Die Verkehrsbelastungen aller Strecken einer Screenline werden zu einer Screenline-Belastung aufsummiert.

Bei der Überprüfung sollte mit der Überprüfung der Reisezeiten begonnen werden, da die Reisezeiten Einfluss auf alle weiteren Modellergebnisse haben.

5.4 Kalibrierung und Validierung

Die Wirkungszusammenhänge zwischen den Einflussgrößen (Input) und den Wirkungen (Output) werden durch Modellparameter wiedergegeben. Die Parameterwerte

werden durch Eichung des Modells an Messwerten des heutigen Zustands gewonnen. Dieser Prozess, in dem das Modell an die Realität angepasst wird, wird als Kalibrierung bezeichnet. Dabei wird der Parameter entweder mit Hilfe eines Optimierungsverfahrens bestimmt oder iterativ solange verändert, bis die Abweichungen zwischen den aus dem Modell errechneten Werten und den gemessenen Werten minimal sind.

Die Validierung dient sowohl der Überprüfung der Aussagegenauigkeit als auch der Erkennung grundsätzlicher Fehler, die z.B. im Netzmodell (falsche Geschwindigkeit, fehlende Anschlussstellen, falsche Strukturdaten) oder in Verhaltensannahmen (z.B. Einflüsse der Parkraumverfügbarkeit werden nicht berücksichtigt) auftreten können. Beim Vergleich der Modellwerte mit den Messwerten dürfen jedoch nicht die Messwerte herangezogen werden, die nicht bereits für die Kalibrierung benutzt wurden. In Plausibilitätstests kann zum Beispiel geprüft werden, ob es Knoten mit 6 Zufahrten gibt oder ob Strecken sehr hohe Auslastungen aufweisen. Man kann auch in Sensitivitätsanalysen prüfen, wie das Modell reagiert, wenn die Verkehrsnachfrage im Pkw-Verkehr pauschal um 10% erhöht oder die Fahrzeit im ÖV um 10% reduziert wird. Außerdem bietet es sich an die Verkehrsströme für einzelne Zellen oder Strecken visuell zu analysieren, um die Routenwahl und die Fahrtweite zu überprüfen.

6 Fazit

Um eine angemessene Qualität des Produktes Verkehrsnachfragemodell sicherzustellen, sind alle Beteiligten vom Softwarehersteller über den Modellierer bis zum Nutzer der Modellergebnisse gefordert.

Die Nutzer des Verkehrsnachfragemodells

- sind in der Regel die Verkehrsingenieure und Politiker in Kommunen und Kreisen,
- vergeben die Erstellung und die Fortschreibung des Verkehrsnachfragemodell intern oder extern,
- müssen die Einsatzbereiche des Modells z.B. in der Ausschreibung festlegen und angemessene Aussagegenauigkeiten fordern,
- sollten zusätzliche Messwerte für die Validierung erheben bzw. erheben lassen,
- können externe Reviewer mit der Überprüfung des Modells beauftragen.

Die Modellersteller

- sind in der Regel Angestellte der Modellnutzers oder externe Büros,

- sind für die Modellerstellung einschließlich der Kalibrierung und Validierung verantwortlich,
- müssen die Modellerstellung dokumentieren,
- müssen die Aussagegenauigkeit quantifizieren und den Nutzer auf Grenzen der Modellierung hinweisen,
- sollten Kunden auf die Notwendigkeit guter Inputdaten hinweisen,
- sollten sich regelmäßig fortbilden.

Die Softwarehersteller

- müssen Sorge tragen, dass die Software die Wirkungszusammenhänge formal und numerisch richtig berechnet,
- müssen durch eine bedienungsfreundliche Oberfläche und geeignete Daten- und Programmierschnittstellen dem Modellierer eine effiziente Modellerstellung ermöglichen,
- sollten Methoden zur Kalibrierung und Validierung in die Software integrieren,
- müssen die Verfahren gut dokumentieren.

Forschungsgesellschaften und Forschungseinrichtungen:

- sollten Empfehlungen zur Verkehrsnachfragemodellierung entwickeln,
- Aussagen machen, was eine angemessene Aussagegenauigkeit ist,
- könnten die Softwaresysteme testen,
- sind für die Ausbildung der Modellierer verantwortlich.

7 Literatur

- [1] UK Department of Transport, Highway Agency:
The Design Manual for Roads & Bridges (DMRB), Volume 12, London 1996.