

P. CERWENKA / H. STAADT / H. H. TOPP

Modell-Planer-Dialog in der Verkehrsplanung

1. Vorbemerkungen

In dem folgenden Beitrag soll über Erfahrungen berichtet werden, welche die Verfasser als freie Mitarbeiter der Arbeitsgemeinschaft Städtebau und Architektur Darmstadt bei der Verkehrsplanung Oberursel im Rahmen der Stadtentwicklungsplanung mit der Anwendung von Verkehrsmodellen gesammelt haben. Dabei kommt es nicht auf die Beschreibung allgemein bekannter Modellansätze an. Vielmehr sollen anwendungsbezogene Probleme dargestellt sowie insbesondere das Wechselspiel zwischen den Ergebnissen der Modellrechnungen und deren planerischer Interpretation beschrieben werden.

Oberursel ist mit etwa 40 000 Einwohnern eine Mittelstadt mit relativ hoher Eigenständigkeit in unmittelbarer Nachbarschaft Frankfurts. Bereits 1963 und 1966/70 wurde von zwei Ingenieurbüros ein Generalverkehrsplan bzw. dessen Fortschreibung erarbeitet. Die ursprünglich im Rahmen der Stadtentwicklungsplanung vorgesehene Überarbeitung der vorhandenen Generalverkehrsplanung und ihre Erweiterung auf die 1972 eingemeindeten Stadtteile Oberstedten, Stierstadt und Weißkirchen erwies sich aus verschiedenen Gründen als unmöglich; diese Gründe liegen zum Teil in geänderten Zielvorstellungen der Verkehrsplanung allgemein, in geänderten Planungsabsichten im regionalen Straßennetz und in den durch die Stadtentwicklungsplanung neu definierten Entwicklungszielen Oberursels.

Während der Planungsspielraum im öffentlichen Personennahverkehr eng begrenzt war, konnten im Bereich des Straßenverkehrs Netzalternativen in Wechselwirkung mit den Stadtentwicklungsalternativen untersucht werden. Da nicht – wie ursprünglich erwartet – rechtzeitig auf Daten der regionalen Verkehrsuntersuchung Rhein-Main zurückgegriffen werden konnte, mußte sich die Planung des regionalen Straßennetzes darauf beschränken, die bestehenden Planungen intuitiv zu überprüfen, hinsichtlich des Netzzusammenhangs plausible Alternativvorschläge zu entwickeln und mit den zuständigen Straßenbaubehörden und den Nachbargemeinden Oberursels über Festlegungen im regionalen Straßennetz zu verhandeln. Die Bewertung der Planungsalternativen im städtischen Straßennetz dagegen basiert auf der Ermittlung der Verkehrsbelastungen.

Für die belastungsmäßige Untersuchung der alternativen städtischen Straßennetze lagen außer den Analysedaten für den Kraftfahrzeugverkehr aus den früheren Verkehrsuntersuchungen Daten von mehreren Dauerzählstellen der Straßenbaubehörde vor. Ferner wurden gerade zu Beginn der Planungsarbeiten im Jahr 1973 differenzierte Daten über Beschäftigte, Erwerbstätige, Ein- und Aus-

pendler sowie über die Verkehrsmittelwahl der Pendler aus der Volks- und Arbeitsstättenzählung 1970 (VZ 70) verfügbar.

2. Konzeption und Begründung der Methodik

Die Methodik zur Abschätzung der künftigen Verkehrsentwicklung richtet sich in starkem Maße nach den Entwicklungsmöglichkeiten im Planungsraum; sie reicht von der pauschalen Aufwertung der Analyseergebnisse bei stagnierender Entwicklung über die Anwendung analytisch geicher Verkehrsmodelle in sich langsam und stetig entwickelnden Planungsräumen bis zum weitgehenden Ersatz von Verkehrsanalysen durch Anwendung von allgemeingültigen Zusammenhängen zwischen Flächennutzung und Verkehr und von Analogieschlüssen bei starken Strukturveränderungen.

Aufgrund der Situation, daß eine Vielzahl verkehrlicher Daten – wenn auch zum Teil veraltet und zu verschiedenen Zwecken mit unterschiedlichen Methoden zu verschiedenen Zeiten erhoben – vorlag, und insbesondere auch aufgrund der Erkenntnis, daß Verkehrserhebungen bei sich entwickelnden und umstrukturierenden Planungsräumen einen relativ geringen Stellenwert haben, war den Verfassern und der Stadt Oberursel von Anfang an klar, daß eine breit angelegte Verkehrserhebung, wie sie in vielen Planungsausschreibungen sogar in der besonders aufwendigen Form der Kordonbefragung gefordert wird, für die Verkehrsplanung Oberursel keine wesentlichen Erkenntnisse bringen würde.

Bei sich langsam und stetig entwickelnden Planungsräumen allerdings sind Verkehrserhebungen auch in größerem Umfang durchaus sinnvoll und vertretbar, da in diesen Fällen häufig die Verkehrsanalyse bereits wesentliche Hinweise für Planungsempfehlungen liefert. In jedem Falle muß aber der notwendige Umfang kostspieliger Erhebungen, deren Ergebnisse zudem häufig statistische Verzerrungen oder irgendwelche Besonderheiten widerspiegeln, sorgfältig überprüft werden. Der Aussage der Richtlinien für Verkehrserhebungen [1]*, daß Verkehrserhebungen »stets gerechtfertigt« sind, »da sie gesicherte Ausgangswerte für eine Prognose und eine richtige und wirtschaftliche Planung liefern«, kann auch bei Durchführung der Erhebung durch »erfahrene Ingenieure« in dieser Form nicht zugestimmt werden. Ebenso sind die in den Richtlinien angesprochenen 14-h- bis 16-h-Zählungen vom Aufwand und vom vergleichsweise geringen Informationsgehalt her kaum zweckmäßig. Die besonders aufwendige

* Die Ziffern in [] beziehen sich auf die Literaturangaben am Ende des Beitrages.

Befragung auf der Straße ist bei größeren Verkehrsstärken nur gezielt an ausgewählten Querschnitten und auch nur während eines kurzen Zeitraums vertretbar. Erfahrungen im Rahmen der Verkehrsplanung Oberursel bei einer zweistündigen Verkehrsbefragung an zwei Querschnitten haben wiederum gezeigt, daß selbst bei sehr geringem Umfang der zu erhebenden Daten trotz hohen Zähleraufwands Rückstau und damit verbundene mögliche Verzerrungen der Zählergebnisse und eine Herabsetzung der Verkehrssicherheit kaum zu vermeiden sind. Eine Stichprobenbefragung ist aufgrund der Örtlichkeiten häufig nicht möglich.

Vor dem Hintergrund teilweise bereits vorliegender Daten, der Analyseproblematik generell und der besonderen Problematik breit angelegter Erhebungen haben die Verfasser zunächst auf neue Verkehrserhebungen völlig verzichtet. Die gewählte Prognosemethodik baut auf modellhaften Verkehrsberechnungen auf; die Modellparameter wurden – soweit möglich – an den vorliegenden, unvollständigen Daten geeicht. Für die Eichung der Modelle zur Beschreibung der Binnenpendlerbeziehungen im Berufsverkehr wurden darüber hinaus auch die entsprechenden Volkszählungsdaten anderer Städte herangezogen. Die so ermittelten Parameter wurden analog auf Oberursel übertragen und soweit möglich einer weiteren Kontrolle anhand der für die 1970 noch selbständigen Stadtteile differenziert vorliegenden Volkszählungsdaten unterworfen.

Die Berechnungen für den Analysezustand dienen der Eichung des Modells. Gleichzeitig wurden aus der Struktur des Raumes zunächst unerklärliche größere Abweichungen vom Modell ermittelt, deren Ursachen dann durch eine gezielte, kurzzeitige Verkehrsbefragung nachgegangen werden konnte. Durch diese Vorgehensweise werden also nicht nur die Erscheinungsformen des Verkehrs phänomenologisch erfaßt, sondern es wird den in den Strukturwerten liegenden Ursachen nachgegangen. Schließlich erhält man bei relativ geringem finanziellem Aufwand Prognosewerte mit ausreichender Genauigkeit zur Dimensionierung der Verkehrsanlagen. Ein großer Vorteil der Modellrechnungen ist die große Flexibilität in der Anwendung, was insbesondere bei der in die Stadtentwicklungsplanung integrierten Verkehrsplanung entscheidend ist, da kurzfristig Verkehrsbelastungen für verschiedene Entwicklungsalternativen, für verschiedene Verkehrsnetze und vor allem auch für Zwischenstufen errechnet werden können.

3. Datenproblematik

Die Genauigkeit der Ergebnisse von Modellrechnungen hängt entscheidend von jener der Eingangsdaten ab. Ein genau arbeitendes Rechenmodell ist zwar – wie allgemein bekannt – eine notwendige, aber noch keine hinreichende Voraussetzung für genaue Ergebnisse. Man kann davon ausgehen, daß die Theorie der Modelle zur Beschreibung der Verkehrsverteilung und der Verkehrswege-

wahl so weit entwickelt ist, daß die Eingangsdaten das kritische Glied in der Berechnungskette darstellen. Zur besseren Beurteilung der Ergebnisse von Modellrechnungen soll diesem Problemkreis einige Aufmerksamkeit gewidmet werden.

3.1 Daten aus der Volks- und Arbeitsstättenzählung 1970

Für das Stadtgebiet Oberursel lag die Auswertung der VZ 70 nach dem »Nordrhein-Westfalen-Programm« räumlich sehr differenziert vor, so daß sich für die Verkehrszelleneinteilung keine nennenswerten Beschränkungen ergaben, obwohl die statistischen Bezirke meist nach verwaltungstechnischen und sonstigen nicht verkehrsrelevanten Kriterien abgegrenzt werden. Unterschieden werden in dieser Auswertung insgesamt fast 80 Erhebungsmerkmale, von denen im wesentlichen drei für die praktische Verkehrsplanung verwertbar sind: Einwohner (EW), Erwerbstätige (E) und Beschäftigte (B).

Obwohl die VZ 70 die für die Verkehrsplanung wichtige »zellenscharf« differenzierte Auswertung zugelassen hätte, wurden die Pendlerbeziehungen, abgesehen von »Sonderauswertungen« einiger kreisfreier Städte, nur »gemeindescharf« ermittelt. Das Urmaterial (Fragebogen) wurde inzwischen vernichtet. Aus verkehrsplanerischer Sicht ist dies um so bedauerlicher, als bei der nächsten Volkszählung die Pendlerbewegungen in dieser Differenziertheit nicht mehr erhoben werden sollen. Außerdem werden nur Ergebnisse für die durch die Gebietsreform entstandenen Großgemeinden geliefert werden, so daß dann auch die jetzt noch vorhandene Aufteilung auf Stadtteile entfällt. Vergleichbarkeit und Fortschreibbarkeit der Daten der VZ 70 werden damit stark eingeengt. Allerdings ist zu begrüßen, daß künftig Daten über PKW-Besitz und PKW-Unterbringung erhoben werden sollen.

Für das Stadtgebiet von Oberursel insgesamt lagen pauschale Zahlen für Auspendler (Ap) und Einpendler (Ep) vor, so daß die Randbedingung $E - Ap = B - Ep$ überprüft werden konnte. Mit den Zahlen der VZ 70 ergibt sich eine Diskrepanz von ca. 1000 Personen; das sind bezogen auf die Anzahl der Erwerbstätigen ca. 6 %. Rücksprachen mit dem Hessischen Statistischen Landesamt und eigene Überlegungen ergaben, daß Fehler bei der Anzahl der Beschäftigten am wahrscheinlichsten sind, da für die drei übrigen Größen vom Statistischen Landesamt Plausibilitätskontrollen durchgeführt wurden. Diese kontrollierten Größen wurden deshalb als »richtig« angenommen. Die Anzahl der Auspendler konnte der VZ 70 nur für das Stadtgebiet insgesamt entnommen werden. Als Eingangsdaten für Verteilungsmodelle wird aber die Anzahl der Auspendler differenziert nach einzelnen Verkehrszellen benötigt. Hier halfen die Ergebnisse einer ebenfalls 1970 von der Stadt Oberursel durchgeführten Zählung weiter. Eine entsprechende Verteilung der Einpendler auf die Verkehrszellen wurde mit Hilfe einer an-

deren, dem Gewerbesteuerausgleich entnommenen Oberuseler Zählung vorgenommen. So entstanden die Eingangsdaten für das Verteilungsmodell, mit dem die Binnenpendlerbeziehungen ermittelt werden (vgl. Abschnitt 4.1).

Die Fahrbeziehungen des Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehrs im Berufsverkehr, bezogen auf das gesamte Stadtgebiet, wurden direkt aus den Daten der VZ 70 gewonnen. Diese Angaben waren noch nach dem überwiegend benutzten Verkehrsmittel differenziert, so daß der Analyse-»modal split« für diese Verkehrsarten bekannt war.

3.2 Daten aus Verkehrserhebungen

Einzelne Daten zu Verkehrsbelastungen lagen einerseits aus den erwähnten Generalverkehrsplanungen und andererseits von Dauerzählstellen des Hessischen Straßenbauamtes vor. Die Analysedaten der Generalverkehrsplanungen wurden dazu benutzt, die Ergebnisse der Modellrechnungen für den Analysezeitpunkt zu überprüfen. Ähnlich wurden die Belastungswerte der Dauerzählstellen zur Überprüfung der Umlegung der Berufspendlerströme auf das regionale Netz herangezogen, wobei allerdings hier die Verhältnisse der Belastungen untereinander mehr interessierten als deren absoluter Wert. Die Ergebnisse der Dauerzählstellen weisen neben dem durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV) noch die beiden höchsten Stundenbelastungen eines Jahres auf. Dabei kann nicht festgestellt werden, ob diese hohen Belastungen möglicherweise durch besondere Ereignisse entstanden sind. Deshalb sind diese Werte für die Verkehrsplanung nur in beschränktem Umfang und nur im Vergleich mit Ergebnissen anderer Zählungen verwendbar.

Unvermeidbare Fehlerquellen im Datenmaterial müssen genannt und zumindest qualitativ ermittelt werden, um die Auswirkungen auf die Ergebnisse der Modellrechnung beurteilen zu können. In diesem Zusammenhang muß auch die gewünschte erforderliche Genauigkeit dieser Ergebnisse diskutiert werden. Sie sollen dem Planer als Entscheidungshilfen bei der Festlegung von Neuplanungen dienen und außerdem Belastungswerte zur Dimensionierung der Verkehrsanlagen liefern. Da die Dimensionierung von Verkehrswegen in Sprüngen erfolgt (z. B. Spurenanzahl bei Straßen), ist eine übergroße Genauigkeit unnötig. Außerdem wurde an dem Beispiel Oberursel deutlich, daß der „Input“ oft mit so vielen Fehlerquellen und Annahmen behaftet ist, daß dem „Output“ ein gewisser „Mißtrauensbereich“ zugeordnet werden muß. Wenn die Genauigkeit des Inputs beschränkt ist, so ist eine übertriebene Genauigkeit des Rechenmodells unnötig, unwirksam und unwirtschaftlich.

4. Modellrechnungen

Die Möglichkeiten der praktischen Anwendung mathematischer Modelle zur Beschreibung des verkehrsrelevanten

Verhaltens der Bevölkerung sind je nach Verkehrszweck sehr unterschiedlich. Dies gilt insbesondere für die Verkehrsverteilung, in geringerem Maße auch für die Verkehrserzeugung und für die Verkehrsmittelwahl. Für den Berufsverkehr liegen umfangreiche Erfahrungen in der Anwendung von Verkehrsverteilungsmodellen vor, wenngleich auch hier — wie noch gezeigt wird — einige praktische Probleme immer wieder auftreten oder nicht beachtet werden. Die These, daß der Ansatz eines Verkehrsverteilungsmodells grundsätzlich für alle Verkehrszwecke anwendbar ist, sofern nur die Parameter entsprechend gewählt werden, kann jedoch kaum die praktischen Schwierigkeiten mildern, die in unzureichender Kenntnis der Parametereinflüsse liegen. So sind zum Beispiel Einkaufsverkehr, Freizeitverkehr und Wirtschaftsverkehr von einer für die praktische Verkehrsplanung brauchbaren modellmäßigen Erfassung weit entfernt.

Dies veranlaßte die Verfasser, bei der rechnerischen Vorausschätzung der Verkehrsbeziehungen vom Berufsverkehr auszugehen, dem in der morgendlichen Spitzenstundengruppe lediglich der ebenfalls relativ leicht zu erfassende Schülerverkehr zu überlagern ist, während in der maßgebenden abendlichen Spitzenstundengruppe zusätzlich die Verkehrszwecke Einkauf einschließlich Erledigung, Freizeit und der zu dieser Tageszeit noch nicht ganz abgeflaute Wirtschaftsverkehr zu berücksichtigen sind.

Wegen der genannten Schwierigkeiten der modellhaften Erfassung der letztgenannten Verkehrszwecke wurde angenommen, daß die räumliche Struktur der Verkehrsbeziehungen verschiedener Verkehrszwecke in erster Näherung gleich ist, was für Oberursel für die beiden wichtigsten Verkehrszwecke Berufsverkehr und Einkaufsverkehr durchaus plausibel ist.

Die Verkehrserzeugung, die Verkehrsverteilung und auch die Verkehrsmittelwahl wurden nur für den Berufsbinnenpendlerverkehr mit Rechenmodellen durchgeführt. Die Fahrbeziehungen des Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehrs im Berufsverkehr wurden direkt der VZ 70 entnommen. Bei der Verkehrsumlegung wurde der Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr wie der Binnenverkehr behandelt. Jeder Verbindung zum regionalen Straßennetz wurde eine fiktive Verkehrszelle mit einem Einfüllknotenpunkt zugeordnet. Anhand einer überschlägigen Umlegung der Fahrten des Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehrs auf das regionale Straßennetz wurden diese auf die fiktiven Verkehrszellen verteilt. Für die Umlegung auf das städtische Straßennetz wurde die Binnenpendlermatrix um die Anzahl der fiktiven Verkehrszellen erweitert.

4.1 Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung

Für den ersten Arbeitsschritt der Verkehrsabschätzung, die Verkehrserzeugung, wurde die modellhafte Annahme getroffen, daß jeder Erwerbstätige täglich seinen Arbeitsplatz aufsucht, d. h. täglich zwei »Fahrten« im Berufsver-

kehr unternimmt. Es wurde bewußt darauf verzichtet, für kranke und im Urlaub befindliche Erwerbstätige, deren Anteil außerhalb der Haupturlaubszeit im allgemeinen ca. 10 % beträgt, einen Abminderungsfaktor zu berücksichtigen. Damit liegen die Rechenergebnisse auf der sicheren Seite.

Als Modell zur räumlichen Verteilung des Berufsbinnenpendlerverkehrs wurde der Ansatz

$$F_{ij} = C_{li} \cdot E_i \cdot C_{2j} \cdot B_j / f(d_{ij})$$

mit F_{ij} Anzahl der werktäglichen Fahrten von der Wohnung zum Arbeitsplatz zwischen Zelle i und j ,

C_{li}, C_{2j} Konstanten,

E_i Anzahl der Erwerbstätigen in Zelle i ,

B_j Anzahl der Beschäftigten in Zelle j und

$f(d_{ij})$ Widerstandsfunktion (in Abhängigkeit eines noch zu definierenden Widerstandes d_{ij} zwischen Zelle i und j)

gewählt. Die Konstanten C_{li} ($i = 1, \dots, n$) und C_{2j} ($j = 1, \dots, n$) werden so bestimmt, daß (mit n als Zellenanzahl) alle Randbedingungen

$$\sum_j F_{ij} = E_i \quad (i = 1, \dots, n) \quad \text{und} \quad \sum_i F_{ij} = B_j \quad (j = 1, \dots, n)$$

erfüllt sind. Zur Lösung des sich aus der Einhaltung dieser Randbedingungen ergebenden bilinearen Gleichungssystems wird der von Kirchhoff [2] angegebene Algorithmus verwendet.

Widerstandsfunktionen haben die Aufgabe, die im allgemeinen mit der Entfernung abnehmende verkehrliche Anziehungskraft zwischen Quelle und Ziel einer Aktivität modellmäßig zu erfassen. Besonders häufig wurden bisher folgende Widerstandsfunktionen mit einem zunächst noch unbekannten Parameter verwendet:

$$f_1(d_{ij}) = d_{ij}^\alpha, \quad f_2(d_{ij}) = e^{\alpha \cdot d_{ij}}, \quad f_3(d_{ij}) = e^{\alpha \cdot d_{ij}^2}$$

Diese drei Funktionen wurden den weiteren Betrachtungen zunächst zugrunde gelegt. Mitunter werden auch mehrparametrische Widerstandsfunktionen vorgeschlagen und auch verwendet, die bei ausreichenden Erhebungen im allgemeinen sogar stets — im statistischen Sinne — „bessere“ Ergebnisse für die modellmäßige Erfassung des Analysezustandes liefern. Allerdings multipliziert sich das Ausmaß der Problematik im Prognosezustand mit der Anzahl der Parameter, weil — streng genommen — jeder der Parameter prognostiziert werden müßte, da nämlich diese Parameter in irgendeiner jedoch wenig durchschaubarer Weise von der sich ändernden sozio-ökonomischen Struktur eines Gebietes beeinflußt werden und somit keineswegs zeitinvariante Konstanten darstellen müssen.

Für die konkrete Durchführung der Berechnung waren noch drei Probleme zu lösen:

— Welche der drei genannten Widerstandsfunktionen soll gewählt werden?

— Welcher Zahlenwert soll dem Parameter α zugewiesen werden?

— Welche Größe soll als Widerstand d_{ij} zwischen Zelle i und j definiert werden?

Die ersten beiden Problemkreise konnten dadurch einer Klärung zugeführt werden, daß für einige kreisfreie Städte zellscharfe Binnenpendlererhebungen im Berufsverkehr vorlagen. Mit diesen erhobenen Berufspendlermatrizen wurden die drei genannten Widerstandsfunktionen alternativ unter Variation des Parameters α in der Weise zur Berechnung herangezogen, daß die Quadratsumme der Abweichungen zwischen erhobenen und zu berechnenden Fahrtenanzahlen minimiert wurde. Dabei zeigte sich, daß die ersten beiden Ansätze fast gleich gute Ergebnisse lieferten. Der dritte Ansatz zeigte in allen Fällen deutlich ungünstigere Ergebnisse. Schließlich wurde die erste Widerstandsfunktion für das vorliegende Projekt ausgewählt. Eine zahlenmäßige Festlegung des Parameters α erfolgte mit Hilfe einer Berufspendlermatrix, die für die Verkehrsbeziehungen zwischen den im Jahre 1970 noch selbständigen Gemeinden Oberursel, Oberstedten, Stierstadt und Weißkirchen erhoben worden war. Der Wert $\alpha = 1,3$ ergab eine günstige »Bereinstimmung« zwischen erhobenen und berechneten Werten und wurde den weiteren Berechnungen zugrunde gelegt. (Eine Sensitivitätsanalyse zeigte darüber hinaus, daß sich die Ergebnisse bei einer Variation von α zwischen 0,7 und 2,0 nur unwesentlich ändern).

Funktionsansatz und Parameterwert wurden unverändert für die Prognose übernommen. Gegen diese Vorgehensweise werden häufig zu Recht Bedenken angemeldet. Da jedoch eine „geeignete“ Vorgehensweise nur dann möglich wäre, wenn zu verschiedenen Zeitpunkten für ein und dasselbe Untersuchungsgebiet nach denselben Erhebungsrichtlinien dieselben Merkmale möglichst in einer Vollerhebung erfaßt würden, da aber solche Zeitreihen von vergleichbaren Berufspendlermatrizen nicht existieren und nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand zu ermitteln wären, ist man weitgehend gezwungen, die beschriebene Lösung zu wählen. Diese Annahme, welche die eigentliche Prognose der Verkehrsverteilung darstellt, wird in vielen Verkehrsuntersuchungen nicht ausdrücklich erwähnt.

Bei den hier behandelten Untersuchungen wurde als Widerstand die Luftlinienentfernung zwischen den siedlungsmäßigen Zellschwerpunkten definiert. Auch dagegen werden vielfach Bedenken geäußert. Bei verkehrlich einigermaßen homogen erschlossenen Flächen, wie sie städtische Gebiete im allgemeinen darstellen, erscheint diese Abstraktion jedoch gerechtfertigt. Trennwirkungen, welche diese Homogenität erheblich beeinträchtigen (z. B. große Flüsse oder auch Gleisanlagen mit nur wenigen Querungsmöglichkeiten) sollten allerdings in der Weise berücksichtigt werden, daß die „Luftlinien“ um diese Hindernisse herumgeführt werden. Bei der gewählten Definition des Widerstandes tritt ein Problem bei der modellmäßigen Erfassung der „Zellinnenpendler“, also der Matrizenwerte F_{ii} , ein, da es aufgrund der Definition

keine realen Luftlinienentfernungen d_{ij} gibt. Versuche, diese Distanz durch eine Art Trägheitsradius der Zelle oder anderweitig durch eine reale zellenbezogene Länge zu beschreiben, sind gescheitert. Die Zellinnenpendler wurden folglich völlig aus dem bisher beschriebenen Verkehrsverteilungsmodell herausgelöst und modellmäßig getrennt erfaßt.

Bei den erwähnten Untersuchungen für einige kreisfreie Städte hat sich gezeigt, daß der Verhältniswert

$$p_i = \bar{F}_{ii} / (E_i + B_i - \sqrt{E_i^2 + B_i^2})$$

mit $\bar{F}_{ii}$ als tatsächlich erhobener Zellinnenpendleranzahl eine relative räumliche Konstanz aufweist und etwa um den Wert 1,0 schwankt. p_i stellt den Anteil der Zellinnenpendler, bezogen auf eine empirisch gefundene Funktion der Anzahl der Erwerbstätigen und der Beschäftigten der betrachteten Zelle i , dar. Die direkteren Verhältnisse $\bar{F}_{ii}/E_i$ bzw. $\bar{F}_{ii}/B_i$ weisen die erwähnte relative Konstanz nicht auf. Eine Korrelation zwischen immerhin noch unterschiedlichen Größen p_i und der Zellgröße konnte nicht ermittelt werden, wobei als „Zellgröße“ sowohl Zellflächen als auch die Werte E_i bzw. B_i herangezogen wurden.

In der hier durchgeführten Untersuchung für die Stadt Oberursel wurde schließlich (mit Ausnahme von zwei Zellen) ein einheitlicher Wert von $p_i = p = 1,10$ gewählt. Dieser gegenüber den untersuchten kreisfreien Städten etwas erhöhte Werte ergab sich aus Daten über Oberursel selbst. Für die zwei erwähnten Zellen wurde aufgrund von Analyserhebungen sogar ein noch höherer Wert (1,25) zugrunde gelegt (vgl. Abschnitt 5).

Anzahl und Größe der Verkehrszellen sollten so gewählt werden, daß die einzelnen Zellen hinsichtlich ihrer für den Verkehr relevanten Struktur in sich möglichst homogen sind. Außerdem richten sich Anzahl und Größe der Zellen nach Zweck und Umfang der Untersuchung.

4.2 Verkehrsmittelwahl, Verkehrsumlegung

Die Aufteilung der Fahrten erfolgte auf drei Gruppen von „Verkehrsmitteln“: Fußgängerverkehr, individueller Fahrzeugverkehr (IV) und öffentlicher Personennahverkehr (ÖV). Zunächst wurden die »Fahrten«, die als Fußgängerverkehr realisiert werden, abgespalten. Es wurde angenommen, daß bis zu einem Abstand von 1000 m zwischen den Schwerpunkten der Verkehrszellen die entsprechenden »Fahrten« im Fußgängerverkehr abgewickelt werden.

Die Linienführung der beiden für den Binnenverkehr in Oberursel wichtigen Verkehrsmittel des ÖV, eine Straßenbahn- und eine Buslinie, bieten eine gute Versorgung der bebauten Gebiete. Im Analysezustand liegen die Schwerpunkte von nur zwei Verkehrszellen außerhalb des 400-m-Einzugsbereiches der Haltestellen. Nach Abspaltung des Fußgängerverkehrs wurde für die restlichen Fahrten im Binnenverkehr eine Aufteilung IV : ÖV für die Bezie-

hungen zwischen allen Verkehrszellen von 60 : 40 gewählt, ausgenommen die beiden vom ÖV ungünstig erschlossenen Zellen. Für den Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr wurden entsprechend der Zentralität der Quellen und Ziele und entsprechend dem künftigen ÖV-Angebot Aufteilungsverhältnisse IV : ÖV zwischen 70 : 30 und 30 : 70 zugrunde gelegt (siehe auch [3]).

Bei der Verkehrsumlegung wurden IV und ÖV unterschiedlich behandelt. Im ÖV konnte wegen der Überschaubarkeit des Untersuchungsgebietes und wegen der geringen Anzahl von Routen eine Umlegung „per Hand“ vorgenommen werden. Im IV wurde die Umlegung mit Hilfe eines Rechenmodells durchgeführt. Diese Umlegung erfolgte sowohl belastungsunabhängig als auch belastungsabhängig. Eine belastungsabhängige Umlegung allein hat nur geringen Aussagewert, da die durch Engpässe im Netz verursachten Verkehrsverlagerungen nicht erkannt werden können. Die Belastungsabhängigkeit wird in der Weise berücksichtigt, daß die Matrix der Verkehrsbeziehungen in »Scheiben« aufgeteilt wird, wobei die für das Routensuchen erforderlichen Widerstände jeweils aufgrund der bereits umgelegten »Scheiben« ermittelt werden. Es ist also ein iteratives Verfahren. Umgelegt werden die Elemente (Fahrbeziehungen) der einzelnen »Matrizen-scheiben« zur Gänze auf die Routen mit den in jedem Iterationsschritt jeweils kleinsten Widerständen. In der Literatur werden vielfach Verfahren vorgeschlagen, bei denen in ein und demselben Iterationsschritt auf mehrere Wege (z. B. auf den erst-, zweit- und drittbesten Weg) umgelegt wird. Abgesehen von dem Problem der Ermittlung der auf die einzelnen Alternativrouten entfallenden Anteile, sind Mehrwegverfahren in großen und stark vermaschten Netzen wegen des hohen Rechenzeitbedarfs aufwendig, und man versucht, die Aufteilung auf alternative Routen in anderer Weise zu berücksichtigen. Eine solche Möglichkeit ergibt sich bei iterativer, belastungsabhängiger Umlegung ohnehin dadurch, daß wegen der belastungsabhängigen Widerstände in verschiedenen Iterationsschritten für ein und dieselbe Fahrbeziehung unterschiedliche Routen als die jeweils besten erkannt werden können.

Als Widerstände werden für die Umlegung in der vorliegenden Untersuchung Reisezeiten, also Summen aus Fahrzeiten auf Strecken und Wartezeiten an Knotenpunkten, verwendet. Das Rechenmodell war so ausgelegt, daß die Wartezeiten an den Knotenpunkten nicht richtungsabhängig variiert werden konnten, sondern jeweils für die gesamte Knotenpunktzufahrt gültig waren.

Folgender Zusammenhang zwischen Reisezeit t und Verkehrsstärke M wird gewählt [4]:

$$t = t_0 \cdot [1 + 0,15 \cdot (M/L_p)^4]$$

mit t_0 Reisezeit bei $M = 0$ KFZ/h und

L_p praktische Leistungsfähigkeit in einer Richtung.

Für die speziellen zu untersuchenden Straßennetze wurden hinsichtlich der Leistungsfähigkeit vier Straßentypen festgelegt:

Typ 1: $l_m = 500 \text{ KFZ/h} \cdot \text{Spur}$

Straßen in den alten Ortskernen mit Querschnittsverengungen, Störungen durch ruhenden Verkehr, durch unregelmäßigen Fußgängerquerverkehr und Zufahrten.

Typ 2: $l_m = 750 \text{ KFZ/h} \cdot \text{Spur}$

Innerörtliche Hauptverkehrsstraßen mit durchgehendem ausreichendem Querschnitt, Störungen durch ruhenden Verkehr, durch unregelmäßigen Fußgängerquerverkehr und Zufahrten.

Typ 3: $l_m = 1000 \text{ KFZ/h} \cdot \text{Spur}$

Innerörtliche Hauptverkehrsstraßen, gut ausgebaut, weitgehend anbaufrei, Knotenpunkte mit Lichtsignalanlagen (LSA) ausgestattet.

Typ 4: $l_m = 1200 \text{ KFZ/h} \cdot \text{Spur}$

Vierspurige Hauptverkehrsstraßen, anbaufrei, mit Richtungstrennung und planfreien Knotenpunkten.

Die angegebenen Leistungsfähigkeiten l_m gelten jeweils für eine Fahrspur. l_m bedeutet die mögliche Leistungsfähigkeit aller Fahrspuren einer Richtung. Das Verhältnis l_m/l_p wurde einheitlich für alle Straßentypen mit 1,5 angenommen.

Die Iteration wurde bei allen untersuchten Planungsfällen in fünf Schritten durchgeführt, und zwar wurde die Matrix der Verkehrsbeziehungen in „Scheiben“ von 50 %, 20 % und dreimal je 10 % aufgeteilt. Hinsichtlich der Anzahl der Iterationsschritte stehen natürlich Genauigkeit des Ergebnisses und Rechenaufwand in Konkurrenz zueinander. Eine allgemein gültige Anzahl zu wählender Schritte kann nicht angegeben werden, da das Ausmaß der Belastungsabhängigkeit der Widerstände vom jeweiligen Netz und von den jeweiligen Verkehrsbeziehungsmatrizen beeinflusst wird. Es ist jedoch darauf zu achten, daß die umzulegenden Matrizen Scheiben mit fortschreitender Iteration kleiner werden.

Neben den in Abschnitt 4.1 genannten Anforderungen an Anzahl und Größe der Verkehrszellen sind aus der Sicht der Verkehrsumlegung weitere Anforderungen zu stellen. Je größer die Zellen sind, desto mehr Verkehr „verschwindet“ sowohl innerhalb ein und derselben Zelle als auch (bei ungünstiger Lage der Einfüllknotenpunkte an Zellgrenzen) zwischen benachbarten Zellen. Aus dem letztgenannten Grunde sollten Einfüllknotenpunkte möglichst zentral in einer Zelle und dennoch auch in einem realistischen Bezug zum Netz liegen, worauf schon zu Beginn der Untersuchung bei der Einteilung des Gebietes in Zellen geachtet werden muß. Die Empfehlung einer absoluten minimalen und maximalen Zellengröße ist wegen der genannten Abhängigkeiten nicht möglich. (Das Stadtgebiet von Oberursel wurde in 25 Verkehrszellen eingeteilt).

Im Gegensatz zu dem gewählten Verkehrsverteilungsmodell, in dem man im wesentlichen nur den (oder

die) Parameter der Widerstandsfunktion variieren und zu einer Eichung heranziehen kann, gibt es bei dem beschriebenen Umlegungsmodell eine Fülle von „Schräubchen“, an denen gedreht werden kann (z. B. Korrektur der Reisezeiten, der praktischen Leistungsfähigkeiten, Variation der Anzahl der Iterationsschritte, der Lage der Einfüllknotenpunkte usw.). Diese große Anzahl von Freiheitsgraden ermöglicht bei einiger Ausdauer und bei einigem Geschick im allgemeinen eine recht befriedigende Übereinstimmung von Modellwerten und erhobenen Werten. Allerdings muß man dabei bedenken, daß durch dieses »Schräubchendrehe« stets nur der zu einem bestimmten vergangenen Zeitpunkt erhobene Zustand modellmäßig beschrieben werden kann, daß dieser Vorgang aber für Prognosezustände natürlich nicht vollziehbar ist. Auch hier bedient man sich (ebenso wie bei der Verkehrsverteilung) des vollständigen Analogieschlusses von Ursache-Wirkung-Zusammenhängen, d. h., man nimmt an, daß die Veränderung einer Ursache in der Gegenwart bei gleicher Veränderung derselben Ursache in der Zukunft dieselbe Wirkungsänderung wie in der Gegenwart bewirken wird. Da es sich bei all diesen Prozessen nicht um physikalisch-deterministische, sondern um soziologisch-stochastische Vorgänge handelt, ist dieser Analogieschluß eine modellmäßige Vereinfachung der Realität, wobei häufig nicht einmal das Ausmaß für die durch diese Vereinfachung verursachten Fehler angegeben werden kann. Aus dem Zwang zur Problemlösung, dem der Ingenieur in starkem Maße ausgesetzt ist, ergibt sich jedoch die Notwendigkeit, im Bewußtsein der Mängel eines Verfahrens dasselbe dennoch anzuwenden, da es kein »besseres« gibt, d. h., kein solches, das mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand innerhalb eines verfügbaren Zeitrahmens verlässlichere und genauere Ergebnisse liefert.

5. Wechselspiel zwischen Modell und Planer

Nicht nur Beschaffung und Aufbereitung der Daten und die im Zusammenhang mit der Anwendung der Modellrechnung zu treffenden Annahmen, sondern insbesondere auch die Anwendung der Ergebnisse der Modellrechnungen sind wichtige Arbeitsschritte, welche der kritischen Interpretation des planenden Ingenieurs bedürfen.

Grundforderungen bei der Konzeption der Methodik (vgl. Abschnitt 2) waren weitgehender Verzicht auf Verkehrserhebungen, hohe Flexibilität und einfache Handhabung bei der „Durchrechnung“ verschiedener Stadtentwicklungsalternativen und verschiedener Verkehrsnetzwerke.

Die gewählte Methodik, der Modell-Planer-Dialog, ermöglichte insbesondere für die Zwischenausbaustufen ein Experimentieren mit zahlreichen Alternativvorschlägen, die sich zum Teil aus der Interpretation der Ergebnisse vorangegangener Rechnungen entwickelten. Insbesondere auch aus der Gegenüberstellung der Ergebnisse belastungs-

nach von	Ober- ursel	Stier- stadt	Weiß- kirchen	Ober- stedten	Σ ₁	Σ ₂
Ober- ursel	[6826]	117 133	91 101	18 26	226 260	[7086]
Stier- stadt	310 275	[511]	50 58	0 1	360 334	[845]
Weiß- kirchen	213 176	23 51	[373]	0 1	236 228	[601]
Ober- stedten	293 314	0 16	0 13	[345]	293 343	[688]
Σ ₁	816 765	140 200	141 172	18 28	1115 1166	
Σ ₂	[7591]	[711]	[545]	[373]		[9220]

Abb. 1: Matrix der Berufspendler

Modellannahmen:

$f_1 = d_{ij}^\alpha ; \alpha = 1,3 ; p = 1,1 ; p \text{ (Oberstedten)} = 1,25$

(Erster Wert entspricht erhobenem Wert, zweiter Wert entspricht berechtigtem Wert. Für die Hauptdiagonalelemente lagen keine erhobenen Werte vor.)
Σ₁ = Summen ohne Hauptdiagonalelemente
Σ₂ = Summen mit Hauptdiagonalelementen

abhängig und belastungsunabhängig durchgerechneter Umlegungen konnten wichtige planerische Schlüsse gezogen werden.

Die »Eichung« der Rechenmodelle oder — richtiger ausgedrückt — die Kontrolle der Rechenergebnisse erfolgte in zwei Schritten, nämlich nach der Verkehrsverteilung und nach der Verkehrsumlegung. Eine alleinige Kontrolle nach der Verkehrsumlegung führt dazu, daß Abweichungen zwischen Modell und Wirklichkeit nicht mehr erklärt werden können.

Die Ergebnisse der ersten Durchrechnung der Verkehrsverteilung zeigten starke Abweichungen von den Werten der VZ 70. Allerdings war kein systematischer Fehler festzustellen, der auf falsche Annahmen im Verkehrsverteilungsmodell hingewiesen hätte. Eine Nachprüfung der Eingangsdaten ergab, daß durch falsches Zusammenfassen von Zählbezirksdaten zu Verkehrszellendaten Fehler entstanden waren. Nach Bereinigung dieser Datenfehler traten bei den Verkehrsbeziehungen zwischen dem Stadtteil Oberstedten und allen anderen Stadtteilen größere Abweichungen auf, während die Verkehrsbeziehungen zwischen den drei anderen Stadtteilen durch die Modellrechnung gut angenähert wurden. Die Abweichungen konnten auch durch die Variation des Parameters α nicht auf ein annehmbares Maß reduziert werden. Eine Analyse der Pendlerbewegungen aus Oberstedten ergab, daß dieser Stadtteil bezüglich des Berufsverkehrs sehr viel stärker zur Nachbarstadt Bad Homburg als nach Oberursel orientiert ist. Diese strukturellen Unterschiede im Untersuchungsgebiet bezüglich der Berufspendler konnten durch die Modellrechnung aufgedeckt werden.

Hier wird deutlich, daß eine Zusammenfassung von Gemeinden nach politischen Gesichtspunkten ohne Berücksichtigung der strukturellen Gegebenheiten neben anderen auch verkehrsplanerische Schwierigkeiten mit sich bringt. Um so wichtiger ist die Abgrenzung eines Planungsraumes nach verkehrsrelevanten Kriterien.

Die Ergebnisse der Modellrechnung bzw. die Diskrepanzen zu den erhobenen Werten dienten im vorliegenden Beispiel dazu, Fehler in den Eingangsdaten und Strukturunterschiede des Untersuchungsgebietes aufzudecken. Erst nachdem diese Unstimmigkeiten erkannt und beseitigt bzw. berücksichtigt worden waren, wurde wiederum der Parameter α variiert, um endgültig die Rechenergebnisse den erhobenen Werten anzugleichen.

Um aufzuzeigen, inwieweit einerseits sich die Ergebnisse der Modellrechnungen der „Realität“ annähern und andererseits die Genauigkeit vom planenden Ingenieur als ausreichend angesehen wird, werden in der dargestellten Matrix (Abb. 1) den erhobenen Werten die berechneten Werte gegenübergestellt.

Die auf den Ergebnissen der Arbeitsschritte Verkehrserzeugung und Verkehrsverteilung aufbauende rechnerische Ermittlung der Verkehrsbelastungen im Straßennetz für das Jahr 1970 sollte dazu dienen, das Umlegungsmodell sowie die verwendeten Parameter und Daten zu kontrollieren.

Bereits die Ergebnisse der ersten Durchrechnung der Verkehrsumlegung wiesen größenordnungsmäßig gute Übereinstimmung mit den von der Straßenbaubehörde und mit den im Rahmen der alten Generalverkehrsplanung erhobenen Verkehrsbelastungen auf mit der Ausnah-

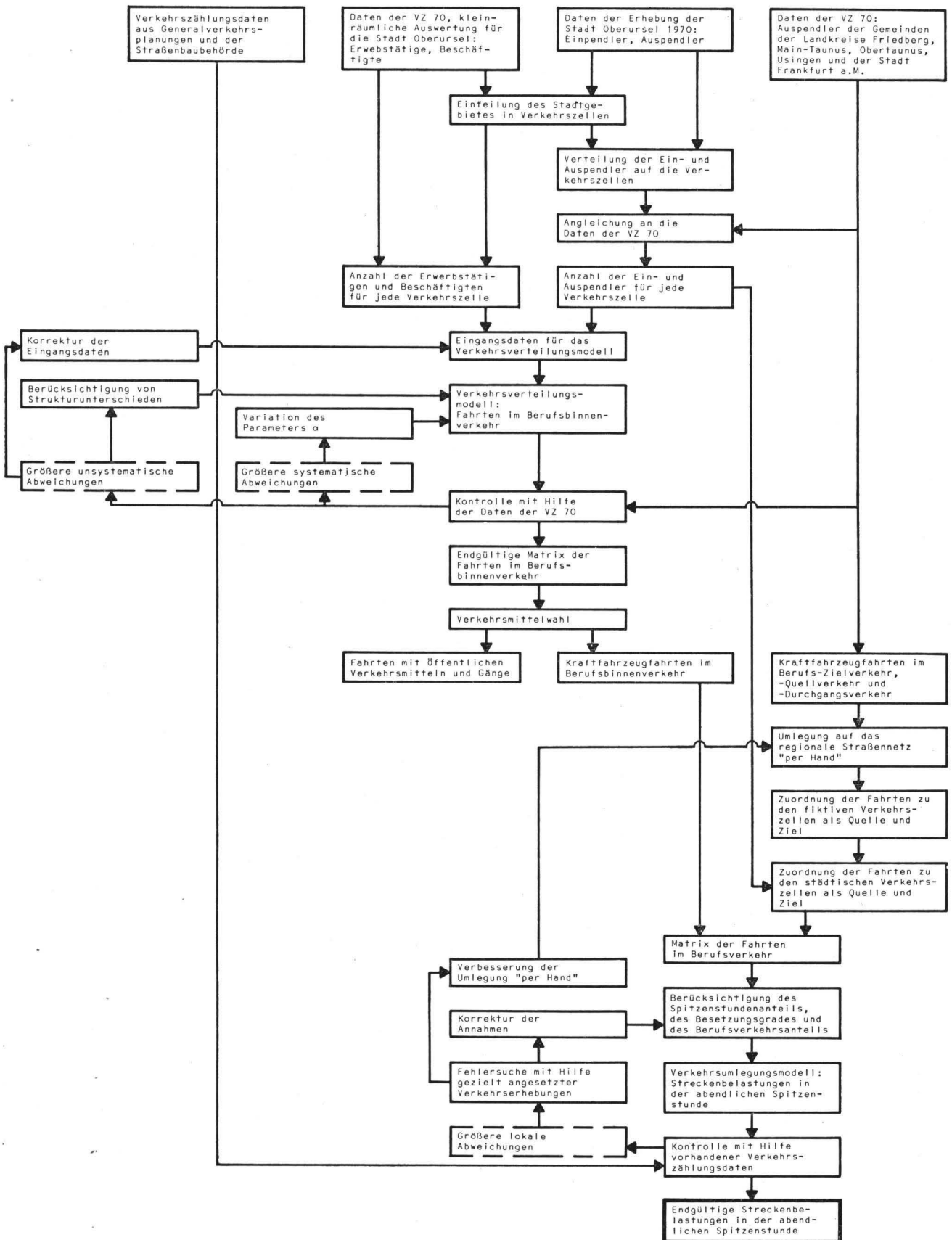


Abb. 2: Vereinfachtes Flußdiagramm

me, daß die berechneten Werte an zwei Ausfallstraßenquerschnitten zu gering waren. Die Belastungen dieser Ausfallstraßen wurden mit Hilfe einer dreistündigen Querschnittszählung kontrolliert. Diese Zählung bestätigte die Abweichungen zwischen den berechneten und den erhobenen Werten. Wegen der guten Übereinstimmung im übrigen Stadtgebiet wurden wiederum Fehler in den Eingangsdaten vermutet.

Da eine Überprüfung der nach Plausibilitätsüberlegungen „per Hand“ durchgeführten Umlegung des Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehrs auf das regionale Straßennetz die Vermutung falscher Annahmen nicht bestätigte, wurde eine gezielte zweistündige Befragungszählung an diesen beiden Ausfallstraßen durchgeführt. Die Kraftfahrer wurden nach Quelle, Ziel und Zweck ihrer Fahrt befragt.

Die Ergebnisse dieser Zählung bestätigten prinzipiell die Richtigkeit der Annahmen zur Umlegung des Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehrs. Allerdings wurden durch die Zählung Durchgangsverkehrsströme aufgedeckt, die offensichtlich aufgrund von bestimmten Engpässen im Frankfurter Straßennetz auf das Oberurseler Stadtgebiet verdrängt wurden. Diese Verdrängungseffekte konnten bei der erwähnten Umlegung „per Hand“ zunächst nicht berücksichtigt werden. Außerdem konnte durch die Befragung festgestellt werden, daß der angenommene Anteil von 60 % des Berufsverkehrs am Gesamtverkehr um 5 % bis 10 % geringer war.

Diese Kontrollvorgänge sollten nicht als Eichung bezeichnet werden, da es sich hierbei nicht um stetige und rechnerinterne Prozesse der Anpassung von berechneten Werten an erhobene Größen, sondern lediglich um grob iterative und manuell durchgeführte Vergleiche von Rechen- und Zählergebnissen handelt. Diese anfechtbare vereinfachte Vorgehensweise soll hier nicht unerwähnt bleiben, da eine Methode stets dem Zweck einer Untersuchung angemessen und dem Auftraggeber gegenüber wirtschaftlich vertretbar sein sollte.

In diesem Kontrollprozeß wurden also nicht nur Modellparameter festgesetzt, sondern es wurden umgekehrt auch Widersprüche zwischen den Ergebnissen der Modellrechnungen und der Verkehrserhebungen aufgedeckt und erklärt. Hier wird noch einmal der Weg deutlich, der im Rahmen der Verkehrsplanung Oberursel beschritten wurde. Zunächst wurde versucht, mit Hilfe von Rechenmodellen das Verkehrsgeschehen zu beschreiben und Verkehrsbelastungen abzuschätzen. Verkehrszählungen wurden nur in geringem Umfang an ausgewählten Querschnitten durchgeführt, um die Ergebnisse der Modellrechnungen zu kontrollieren. Für den vorliegenden Fall bedeutete dies sowohl die wirtschaftlichere als auch die methodisch folgerichtige Vorgehensweise.

6. Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund der Erfahrungen im Rahmen der Verkehrsplanung Oberursel wird über häufig wenig

beachtete Probleme bei der Anwendung von Verkehrsmodellen berichtet.

Es wird aufgezeigt, mit welchen Unzulänglichkeiten der Ausgangsdaten gerechnet werden muß. Die Fortpflanzung der Datenfehler durch die „genau“ arbeitenden Rechenmodelle ist nur größenordnungsmäßig durch Plausibilitätskontrollen zu überprüfen. Der Verkehrsplaner muß sich darauf einstellen, daß Rechenmodelle aufgrund der zahlreichen Fehlermöglichkeiten bei Daten und Annahmen in jedem einzelnen der vier Rechenschritte schließlich nur Orientierungswerte zur Größenordnung künftiger Verkehrsbelastungen liefern können.

Insbesondere auf die Erfahrungen mit Rechenmodellen zur Beschreibung der Verkehrsverteilung und der Verkehrsumlegung wird detailliert eingegangen. Durch den Modell-Planer-Dialog werden die Möglichkeiten der Modellrechnungen überhaupt erst nutzbar gemacht. Die Modellrechnung kann stets nur Hilfsmittel des Planers sein, nie dagegen Prognoseersatz oder „black box“, nach deren Ergebnissen dimensioniert wird. Ergebnisse von Modellrechnungen erhalten ihren Wert erst durch die iterative Verknüpfung mit der planerischen Interpretation. Der Stellenwert des Modells als Hilfsmittel muß deutlich gesehen werden, das Durchrechnen von Planungsfällen darf nicht zum Automatismus werden.

Die Vorgehensweise insgesamt ist in einem vereinfachten Flußdiagramm dargestellt (Abb. 2). Diese im Rahmen der Verkehrsplanung Oberursel gewählte generelle Vorgehensweise sowie die im einzelnen angewendeten Rechenmodelle zur Beschreibung der Verkehrsverteilung und der Verkehrsumlegung haben sich bei der vorliegenden Datenproblematik bewährt. Der erarbeitete Ansatz wurde inzwischen in der Abteilung Verkehrsplanung und Verkehrstechnik der Ingenieursozietät BGS im Rahmen der Generalverkehrsplanung Frankenthal in weiterentwickelter Form erfolgreich angewendet. Auch bei der gemeinsamen Generalverkehrsplanung für die Städte Bad Nauheim/Friedberg wird grundsätzlich wiederum von diesem Ansatz ausgegangen.

Literatur

- [1] Richtlinien für Verkehrserhebungen, Ausg. 1970. (Bearb.:) Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Arbeitsausschuß »Verkehrszählungen«. – Köln 1970.
- [2] Kirchhoff, P.: Verkehrsverteilung mit Hilfe eines Systems bilinearer Gleichungen. Ein Beitrag zur Entwicklung von Verkehrsverteilungsmodellen. – Braunschweig 1970. = Veröffentlichungen des Instituts für Stadtbauwesen, Technische Universität Braunschweig, H. 5.
- [3] Retzko, H.-G.; P. Cerwenka; G. Skoupil; H. H. Topp: Verkehr als restriktive Determinante der Stadtentwicklung. Ein Beispiel. In: Straßenverkehrstechnik. 18. Jg (1974) Nr. 3, S. 72–76.
- [4] Traffic assignment. (Hrsg.:) U. S. Department of Transportation. – Washington (D. C.) 1973.