

## Schätzung der Verkehrs - Verteilung (O-D Matrix) bei der Anwendung der Verkehrsstärkemessen in den Straßenquerschnitten

### Einführung. Beschreibung der Methode

O-D Matrix bestimmen die wichtigste Informationsquelle, die den Bedarf an Transport in der Stadt betrifft. Sie dienen der richtigen Bildung von Straßennetz und Öffentlichen Personen Verkehrslinien. Anhand dieser Grundlagen gerechnete Verkehrsstärken werden zur Dimensionierung der Verkehrsinfrastruktur benutzt (z.B. bei der Wahl der Straßenquerschnitte oder der Bezeichnung von den Parkplatzbedürfnissen im Gebiet). In der Verkehrsplanung wird die Vier - Stufen - Methode angewendet. Das Schema dieser Methode zeigt Abb. Nr 1 ( stark betonten Linien). Die Phasen dieser Methoden umfassen, was folgt:

- Verkehrs-Erzeugung zeigen, wo der Verkehr entsteht und wie seine Größe ist. Quell- und Zielverkehr für jeden Bezirk wird gerechnet.
- Verkehrs-Verteilung stellt dar, woher und wohin der Verkehr stattfindet und wie groß er ist. Man verteilt den Quellverkehr jedes Bezirks für alle Ziele.
- Verkehrsmittelwahl - auf der Basis der Umfragen teilt man die Reisen auf den folgenden Verkehrsmitteln (Autos, ÖPNV).
- Verkehrs-Umlegung bezeichnet, an welchen Strecken der Verkehr abläuft. In der Konsequenz bekommt man Verkehrsbelastungen der einzelnen Netzstrecken.

In dieser Methode verwendet man die Angaben aus den Haushaltsumfragen und aus den Kordonumfragen. Diese Methode fordert einen großen Arbeitsaufwand und Kosten.

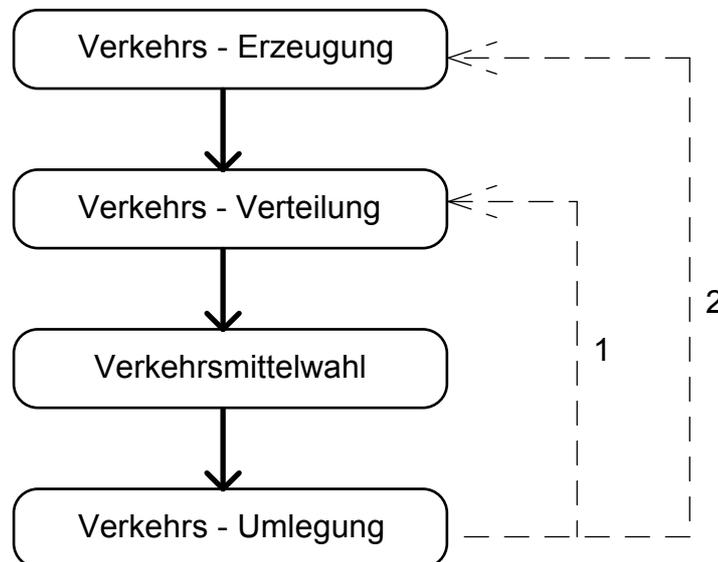


Abb. 1. Schema der Methode

Hier wird die andere Methode verwendet (das zeigt Abb. Nr 1 - unterbrochene Linien). Bei Schätzung der O-D Matrix verwendet man die Verkehrsstärken, die in den Straßenquerschnitten gemessen werden. Wir brauchen gemessene Verkehrsstärken auch für andere Ziele (z. B. für Signalsteuerung, für Beobachtung des Motorisierungstrendes). Methoden der Rechnung O-D Matrix

mit der Ausnutzung von der Verkehrsstärken können auch bei den Systemen der Verkehrssteuerung in der Stadt benutzt werden. Darum erlauben diese Methoden die Schätzungskosten zu vermindern.

Von Verkehrsstärkemessungen kann man O-D Matrix direkt (Abb. Nr1 - Verfahren 1) oder Verkehrs-Erzeugung, und später O-D Matrix (Abb. Nr1 - Möglichkeit 2) schätzen. Wir messen zuerst die Verkehrsstärken in manchen Strassenquerschnitten. In dem ersten Fall rechnen wir Elemente O-D Matrix und später die Verkehrsstärken in allen Querschnitten. Das ist gerechnete Verkehrs-Umlegung. In der zweiten Methode werden zuerst die Verkehrserzeugungen in jeden Bezirk gerechnet. Später rechnet man Elemente O-D Matrix und die Verkehrsstärken in allen Querschnitten.

### Schätzung O-D Matrix unmittelbar von den Messungen

In der ersten Methode (wir rechnen direkt O-D Matrix) ist die Zahl der Unbekannten sehr hoch und immer höher von der Zahl der Gleichungen. Wir bekommen das unterbestimmtes Gleichungssystem. Wenn die Zahl der Stadtbezirke  $n$  beträgt, ist die Zahl der Verkehrs-Erzeugungen  $2n$ , und die Zahl der Elemente O-D Matrix  $n^2$ . Beispielsweise zeigte man in Krakau 200 Bezirke, 400 Verkehrserzeugungen und 40000 O-D Matrixelemente. Die Anzahl der Netzstrecken beträgt 2500. Deshalb müssen wir die Mathematikprogrammierung anwenden. Darum müssen wir auch der O-D Matrixelemente  $T_{ij}$  aus den vorigen Verkehrsuntersuchungen benutzen. Deswegen kann man diese Methode nur in diesen Städten verwenden, in denen solche Untersuchungen früher durchgeführt wurden (KBR in Polen, KONTIV in Deutschland).

Die Aufgabe ist bei der Anwendung der mathematischen Programierung lösbar. Man muß Minimalwert der Zielfunktion F bei den Nebenbedingungen finden, wie die Formel zeigt:

$$\sum_i \sum_j (\bar{T}_{ij} \cdot d_{ij}^a) = N_a \quad (1)$$

wobei:

$\bar{T}_{ij}$  - gerechnetes Element O-D Matrix

$N_a$  - gemessene Verkehrsstärke in der Straßenquerschnitt  $a$

$d_{ij}^a$  - Koeffizient

$(d_{ij}^a = 1)$  - Element O-D Matrix führt durch die beobachtene Querschnitt

$(d_{ij}^a = 0)$  - Element O-D Matrix führt nicht durch die beobachtene Querschnitt

### Formel der Zielfunktion

a)  $F1 = \min \sum \log$

b)  $F2 = \min \sum \mathcal{C} - T \mathfrak{h}$

c)  $F3 = \min [\sum \log + \sum \mathcal{C} - T \mathfrak{h}]$

In der Zielfunktion treten zwei O-D Matrix  $T$  und  $\bar{T}$  auf. Das ist gerechnete O-D Matrix  $\bar{T}$  und seine erste Annäherung  $T$ . Beispielsweise rechnen wir O-D Matrix in der Stadt, wo Verkehrsuntersuchungen früher stattgefunden haben. Wir haben alte O-D Matrix. Das ist erste Annäherung der gegenwärtigen O-D Matrix. Es gibt auch andere erste Annäherung. In den großen und mittleren Städten verwendet man das Gravitationsmodell. Proportionallmodell ist ihre erste Annäherung. Zielfunktion wird als Quotient dieser Elemente (a), ihre Quadratmittel (b) oder ihre

Kombination (c - in dieser Fall ihre Summe) dargestellt. Man kann auch nach anderen Formeln der Zielfunktion suchen.

### Rechnung der Verkehrserzeugungen von den Messungen

In der zweiten Methode (die Rechnung der Verkehrserzeugungen und später O-D Matrix) kann die Zahl der Unbekannten größer, gleich oder kleiner sein als die Zahl der Gleichungen. Es gibt hier viel weniger Variablen als in der ersten Methode (z. B. in Krakau 400 statt 40000). Die Rechnung der Verkehrserzeugungen hat einen wesentlichen Vorteil und zwar, anhand der Verkehrserzeugungen ist es möglich alle Elemente O-D Matrix zu rechnen. Bei der Schätzung der O-D Matrix unmittelbar von den Messungen (das erste Verfahren) bekommt man nur diese Elemente, die in den beobachteten Straßenquerschnitten auftreten. Wenn die Zahl der Unbekannten größer als die Zahl der Gleichungen ist, nimmt die Zielfunktion die folgende Form an:

$$F = \min \sum_i \frac{P_i}{\bar{P}_i} + \sum_i \frac{Q_i}{\bar{P}_i} - \bar{P}_i \quad (2)$$

wobei:

$P_i$  - gerechnete Verkehrserzeugung des Bezirks  $i$

$\bar{P}_i$  - angenommene Verkehrserzeugung des Bezirks  $i$  (z.B. aus der vorigen Verkehrsuntersuchungen)

Das Gleichungssystem (1) muß um die Proportionalmodell beschreibende Gleichung ergänzt werden:

$$\bar{T}_{ij} = \sum \frac{G_i \cdot A_j}{\sum A_j} \quad (3)$$

wobei:

$G_i$  - Quellverkehr des Bezirks  $i$

$A_j$  - Zielverkehr des Bezirks  $i$

Die Aufgabe kann man auch die Form des bestimmten oder überbestimmten Gleichungssystems annehmen. In diesem Fall braucht man keine Verkehrserzeugungswerte aus letzten Verkehrsuntersuchungen. Die Methode kann in den Städten verwendet werden, in denen solcher Art Untersuchungen noch nicht durchgeführt werden waren. Das kann man nur in den kleinen und mittleren Städten benutzen, wo die Anwendung des Proportionalmodells richtig ist. Verkehrsstärkemessungen sollen ca. 8 - 10 % von Netzstrecken umfassen. In den großen Städten verwenden wir das Gravitationmodell. Hier müssen wir die Haushaltsumfragen durchführen oder die Angaben aus letzten Verkehrsuntersuchungen verwenden.

### Vergleich der Methoden - Vorteile und Nachteile

In Tab. 1. hat man die Ergebnisse der Schätzung O-D Matrix zusammengestellt, die anhand von verschiedenen Methoden entstanden sind. Matrix  $T1_{ij}$  ist Ergebnis von Anwendung der ersten Methode - der Berechnung O-D Matrix unmittelbar von den Verkehrsmessungen. Zwei letzten Spalten kommen von den zweiten Verfahren - der Schätzung der Verkehrserzeugungen und später O-D Matrix. Ergebnisse unterscheiden sich wenig voneinander. Die besten Ergebnisse bekommt man, wenn die Zahl der Gleichungen und die Zahl der Unbekannten gleichen (die Zahl der Messungen und die Zahl der Bezirken gleichen) - das ist Matrix  $T2_{ij}$ . Dieses Verfahren fordert aber

die Durchführung von vielen Messungen und ist dem entsprechend teurer. Als einziges ist es nur in den Städten anwendbar, in denen die Verkehrsuntersuchungen noch nicht stattgefunden haben.

Tab. 1. Die Ergebnisse der Schätzung O-D Matrix, die anhand von verschiedenen Methoden entstanden sind.

O-D Paar	O-D Matrixelemente			
	$T_{ij}$	$T1_{ij}$	$T2_{ij}$	$T3_{ij}$
1-2	54	50	54	54
1-3	182	184	182	184
1-4	91	89	91	89
2-1	55	53	53	53
2-3	136	132	135	143
2-4	68	70	68	70
3-1	45	48	45	45
3-2	34	32	34	36
3-4	57	56	57	59
4-1	27	24	27	27
4-2	21	25	21	21
4-3	68	70	68	72

- wobei:  $T_{ij}$  - O-D Matrix aus der beispielsweise Aufgabe.  
 $T1_{ij}$  - Matrix - Ergebnis von der Schätzung O-D Matrix unmittelbar von den Messungen.  
 $T2_{ij}$  - Matrix - Ergebnis von der Rechnung der Verkehrserzeugungen von den Messungen; die Zahl der Messungen und die Zahl der Bezirken gleichen.  
 $T3_{ij}$  - Matrix - Ergebnis von der Rechnung der Verkehrserzeugungen von den Messungen; die Zahl der Messungen ist kleiner als die Zahl der Bezirken.

Unten stellt man Vorteile und Nachteile der Methoden dar.

1) Schätzung O-D Matrix unmittelbar von den Messungen:

- Alle Verkehrsarten werden zusammen gerechnet (Binnen-, Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr).
- Hohe Zahl der Unbekannten (mehr als den Gleichungen).
- Gebrauchte Angaben:
  - gemessene Verkehrsstärke
  - O-D Matrix aus den vorigen Verkehrsuntersuchungen
- Man bekommt nur diese Elemente, die in den beobachteten Straßenquerschnitten auftreten.
- Methode verwendet man nur in diesen Städten, in denen solche Untersuchungen früher durchgeführt wurden.

2) Rechnung der Verkehrserzeugungen von den Messungen:

- Durchgangsverkehr wird zuerst gerechnet.
- Gebrauchte Angaben:
  - gemessene Verkehrsstärke
  - angenommenes Verkehrsverteilungsmodell (Proportionall- oder Gravitationmodell)
  - O-D Matrix aus den vorigen Verkehrsuntersuchungen (nur bei dem Gravitationmodell in den großen Städten)
- Es ist möglich, alle Elemente O-D Matrix zu rechnen.

- Methode verwendet man auch in diesen Städten, in denen Verkehrsuntersuchungen zuerst durchgeführt werden (nur kleine und mittlere Städte).

Bei der Schätzungen O-D Matrix benutzte man die Programme Excel und Quattro.Pro. Bei der Anwendung dieser Programme kann man die Aufgabe, die max. 200 Unbekannten und 100 Gleichungen enthalten. Die Programme haben zur Prüfung der Methoden gedient. Im Ziel der Lösung der praktischen Aufgaben muß man die Programme vorbereiten, die mit den Verkehrsbelastungen gerechneten Programmen mitarbeiten. Man kann in Zukunft das Suchen nach den effektivsten Zielfunktionen fortsetzen. Man soll auch den Einfluß des Staueszustandes und der Veränderungen der Verkehrsstärken binnen 24 Stunden berücksichtigen.

### **Literatur:**

1. Proceeding of The Second Meeting of The Euro Working Group on Urban Traffic and Transportation, 15 - 17 September 1993, Paris.
2. W. Brilon, H. Blanke. Planungsmodelle, Ruhr-Universität Bochum, 1992
3. Hamerslag, B. H. Immers. Estimation of trip matrices: shortcomings and possibilities for improvement.
4. A. Waltz, Z. Lilpop, A. Sidorenko. Prognozowanie ruchu miejskiego, 1983.