

Verkehrsumlegungs-Modelle für stark belastete Strassennetze

**Modèles d'affectation pour des réseaux fortement
chargés**

Traffic assignment models for congested road networks

Zusammenfassung d, f, e

büro widmer, Frauenfeld

P. Widmer, dipl. Ing. ETH/SIA/SVI

Th. Klink, dipl. Raumplaner FH/FSU

**Forschungsauftrag SVI 2001/541 auf Antrag der
Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI)**

August 2004

ZUSAMMENFASSUNG

Umlegungsmodelle für den MIV bilden die Routenwahl der Verkehrsteilnehmer ab und berechnen für eine gegebene Verkehrsnachfrage und ein gegebenes Strassennetz die Verkehrsbelastungen und die resultierenden Reisezeiten auf den einzelnen Netzabschnitten. Dazu gelangen in der Praxis verschiedene Algorithmen und Methoden zur Anwendung, von denen die wichtigsten beschrieben und aufgrund der Ergebnisse von Testanwendungen beurteilt werden. Das Hauptaugenmerk gilt dabei Situationen mit stark belasteten Strassennetzen in Agglomerationen und Städten. Die Studie behandelt die in der Praxis häufig vorkommende Aufgabe, eine gegebene heutige oder prognostizierte Verkehrsnachfrage auf das Strassennetz umzulegen, ohne dass eine integrale Rückkopplung mit Nachfrage-, Zielwahl- oder Verkehrsmittelwahlmodellen möglich ist.

Routenwahlmodelle gehen von der Annahme aus, der Verkehrsteilnehmer wähle die mit dem kleinsten Aufwand verbundene Route, um von A nach B zu gelangen, wobei eine Hauptkomponente dieses "Aufwandes" die Reisezeit ist. Die Reisezeit in einem Strassennetz ist von dessen Auslastung abhängig. Mit steigender Verkehrsbelastung sinkt die Geschwindigkeit auf den Strecken und steigt die Wartezeit an den Knoten, es bildet sich Stau. Die auf dem Markt verfügbaren Umlegungsmodelle unterscheiden sich hauptsächlich bezüglich der verwendeten Algorithmen, z.B.:

- inkrementweise Umlegung resp. Sukzessiv-Verfahren
- deterministisches Nutzer-Gleichgewicht (UE) oder
- stochastisches Nutzer-Gleichgewicht (SUE)

und der folgenden Aspekte:

- Berücksichtigung der belastungsabhängigen Wartezeiten an den Knoten, wenn ja, wie detailliert?
- Berücksichtigung dynamischer Effekte?
- Berücksichtigung der Elastizität der Verkehrsnachfrage?

Am Beispiel eines fiktiven städtischen Strassennetzes werden die oben erwähnten Umlegungs-Algorithmen und -Methoden je für eine Situation mit mittlerer, starker und sehr starker Auslastung des Netzes angewendet. Die Beurteilung der Ergebnisse der Testbeispiele führt zu den folgenden Schlussfolgerungen und Empfehlungen:

- Als Umlegungs-Algorithmen ist Gleichgewichtsansätzen (UE und SUE) der Vorzug zu geben. Den in der Anwendung aufwändigeren SUE-Ansätzen liegen plausible Annahmen zum Verkehrsverhalten zugrunde. Bei stark ausgelasteten Netzen ergeben aber UE und SUE ähnliche Resultate und in der Literatur werden für solche Situationen UE-Ansätze empfohlen.
- Während bei schwacher Verkehrsnachfrage die Wahl der anzuwendenden Umlegungs-Algorithmen eine wichtige Rolle für die Zuverlässigkeit der Resultate spielen kann, treten bei den hier interessierenden Situationen mit starker Auslastung des Strassennetzes die Fragen der Kapazitäten, der Widerstandsfunktionen, der Dynamik und der Elastizität der Verkehrsnachfrage in den Vordergrund.
- In stark belasteten städtischen Netzen werden die Reisezeiten massgeblich durch die Wartezeiten an den Knoten beeinflusst. Auch für grobe Abschätzungen sollte daher nicht auf die Modellierung der verkehrsabhängigen Knotenwiderstände verzichtet werden.
- Die vereinfachende Annahme statischer Verhältnisse ergibt bei den Umlegungs-Berechnungen für stark belastete Netze unrealistische Resultate (zu hohe Reisezeiten und über der Kapazität liegende Belastungen). Wenn höhere Ansprüche an die Zuverlässigkeit der Resultate gestellt werden, weil diese z.B. als Grundlage für die Variantenbeurteilung benötigt werden, sollten die dynamischen Effekte (Zeitabhängigkeit der Verkehrsnachfrage und zeitabhängiger Durchfluss des Verkehrs durch das Netz) berücksichtigt werden.
- Umlegungsberechnungen für gegenüber dem Ausgangszustand stark gestiegene Verkehrsnachfragen (Prognosematrix) oder wesentliche Änderungen des Verkehrsangebotes (betriebliche Änderungen, Verkehrsberuhigung, Kapazitätsänderungen usw.) ergeben ebenfalls

unplausible Ergebnisse, wenn die Elastizität der Nachfrage unberücksichtigt bleibt; in solchen Fällen sollten daher Methoden der elastischen Umlegung angewendet werden.

Wenn, wie in dieser Studie angenommen, eine gegebene Quelle-Ziel-Matrix umgelegt werden muss, also kein Modell der Nachfrage, der Ziel- und Verkehrsmittelwahl verfügbar ist, können mit den vorgestellten heuristischen Methoden die in stark belasteten Netzen an Bedeutung gewinnenden Aspekte der Dynamik und der Nachfrage-Elastizität mindestens teilweise berücksichtigt werden. Höhere Ansprüche an die Zuverlässigkeit und Konsistenz der Ergebnisse lassen sich aber nur mit integrierten, dynamischen Gesamtmodellen erfüllen. Im Hinblick auf die zunehmende Problematik der überlasteten Verkehrssysteme in den Agglomerationen und Städten sollte deren Praxistauglichkeit vorangetrieben werden.

RÉSUMÉ

Les modèles d'affectation servent à représenter le comportement des utilisateurs lors de leur choix d'itinéraires et à calculer la charge du réseau ainsi que les temps de parcours pour un point d'équilibre entre une demande et une offre de transport donnée. Les principaux algorithmes utilisés dans la pratique sont décrits et évalués à l'aide de tests. L'étude s'est concentrée sur les situations chargées dans des villes et des agglomérations. La situation souvent rencontrée en pratique, à savoir l'affectation d'une prévision d'offre à un réseau sans possibilité de rétroaction sur la demande, le choix des destinations ou le choix modal, a été l'objet d'une attention particulière.

Les modèles de choix d'itinéraire partent de l'idée que l'utilisateur minimise l'effort nécessaire pour aller de A à B. Une des composantes principales de cet effort est le temps de parcours qui est lui-même dépendant de la charge du réseau. Lorsque la charge augmente, la vitesse diminue dans les tronçons et les temps d'attente augmentent aux nœuds, il y a congestion. Les modèles disponibles sur le marché se distinguent principalement par les algorithmes utilisés, p.ex.:

- affectation par incrément
- équilibre déterministe (UE, user equilibrium)
- équilibre stochastique (SUE, stochastic user equilibrium)

ainsi que les aspects suivants:

- modélisation des nœuds, spécialement des temps d'attente en fonction de la charge
- modélisation des effets dynamiques
- modélisation de l'élasticité de la demande

Les algorithmes mentionnés plus haut ont été testés à l'aide d'un réseau urbain fictif pour des situations moyennement, fortement et très fortement chargées. L'évaluation des résultats permet de tirer des conclusions et de faire les recommandations suivantes :

- Les algorithmes d'équilibre UE et SUE sont préférables aux autres. Les algorithmes SUE demandent plus d'effort lors de l'utilisation mais sont basés sur des hypothèses plus plausibles concernant le comportement des usagers. Les algorithmes UE et SUE produisent des résultats similaires pour les réseaux chargés, alors que d'autres sources recommandent les algorithmes UE.
- Le choix des algorithmes influence fortement la fiabilité des résultats lorsque la charge est faible. Quand la charge est importante, d'autres critères jouent leur rôle, à savoir la capacité, les fonctions débit-vitesse, la dynamique et l'élasticité de la demande.
- Dans des réseaux urbains fortement chargés, les temps de parcours sont principalement influencés par les temps d'attente dans les nœuds. Même pour des estimations grossières, il faudrait tenir compte de la modélisation des nœuds en fonction de la charge.
- La simplification apportée par les modèles statiques produit des résultats irréalistes pour des réseaux chargés (temps de parcours trop élevés, charges supérieures à la capacité). Si les exigences de fiabilité sont élevées, p.ex. pour des comparaisons de variantes, il faudra également simuler les effets dynamiques tels que les variations de la demande et le comportement dynamique de la charge en fonction du temps.
- Les résultats sont également peu plausibles lorsque l'affectation concerne une offre et/ou une demande très différente par rapport à la situation d'origine. Dans ces cas, il faut utiliser des méthodes qui tiennent compte de l'élasticité de la demande.

Les aspects de la dynamique et de l'élasticité de la demande prennent de l'importance dans des réseaux chargés. Ces aspects peuvent être au moins partiellement pris en compte par les méthodes heuristiques présentées dans cette étude quand il s'agit d'affecter une matrice sans disposer des modèles de demande, de choix des destinations ou de choix modal. Seuls des modèles dynamiques et intégrés sont capables de remplir des exigences élevées de fiabilité et de cohérence. Comme la problématique des réseaux urbains fortement chargés ne fait qu'augmenter, il serait judicieux d'étudier si ces modèles sont adaptés à la pratique.

SUMMARY

Traffic assignment is the stage of modeling the choice of routes by road users and of calculating link flows and travel times for a fixed traffic demand and a given road network. Of the many different rules, algorithms and methods, the most commonly used in assignment models are described and evaluated in this paper, based on the results of test applications. The study's focus is on congested road networks in urban areas. It is assumed, that – as is often the case in real life – a given od-matrix of present or future travel demand has to be assigned without availability of demand models (traffic generation, choice of destination or modal split).

Route choice models are based on the assumption, that for a trip from zone i to zone j road users choose the route which has minimal costs. A main component of these costs are travel times. Travel times in a road network depend on traffic flows. As traffic flows increase, speeds on links drop and delays at junctions grow. Commercialized assignment models can be characterized by their rules and procedures implemented, e.g.

- incremental loading
- deterministic user equilibrium (UE)
- stochastic user equilibrium (SUE)

and by the more basic aspects such as

- whether or not junction delays are being modelled, and if yes, in what detail
- whether or not dynamic effects are taken into account
- whether or not demand elasticity is taken into account

Using as an example a fictitious network representing an urban situation, the above mentioned methods are used to assign od-matrices for moderate, high and very high travel demand. The analysis of the test results leads to the following conclusions and recommendations:

- Equilibrium assignment is the preferred method for congested networks. SUE is more difficult to apply but is based on more realistic assumptions than UE. However, for congested networks both methods give similar results and the use of UE is recommended in such situations.
- While in situations with low demand the choice of the assignment algorithms might be crucial, for congested aspects such as capacity, speed-flow-relationships, dynamic effects and demand elasticity become much more important.
- In congested urban networks, junction delays become a major component of travel times and have to be taken into account in the assignment stage. This requires detailed modelling of flow dependent delays and queuing.
- With static assignment methods, over capacity flows and unrealistically high delays will result for congested situations. When higher accuracies of assignment results are required, dynamic effects cannot be neglected.
- A commonly used method to forecast future demand is to apply growth factors to an OD-matrix. If this "upgraded" od-matrix is assigned to the existing, already congested network, unrealistic results will be obtained (much too high flows and delays), if demand elasticity is not taken into account.

Given the situation, as is assumed in this study, where an externally established od-matrix has to be assigned and a demand model is lacking, the heuristic methods evaluated in this study can be applied to take dynamic effects and demand elasticity – at least partly – into account and to improve the results of traffic assignment in congested networks. However, more accurate and more consistent results can be achieved with dynamic, integrated transportation models only. In the light of growing problems due to congestion in urban areas, this new generation of transportation models should be further developed, focussing on facilitating practical applications.