

## Dynamische Verkehrsprognosen in Netzen auf der Basis makroskopischer Modellansätze

FA 3.328

Forschungsstelle: Universität Hannover, Institut für Bauinformatik (Prof. Dr.-Ing. R. Damrath)

Bearbeiter: Rose, M.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: März 2002

### 1. Aufgabenstellung

Eine leistungsfähige Verkehrsleittechnik auf Autobahnen erfordert eine dynamische Prognose von Verkehrsabläufen. Hierzu wurden verschiedene makroskopische Verkehrsmodellierungen entwickelt, die jedoch bisher noch nicht vergleichend untersucht wurden. Gegenstand des Forschungsprojektes ist eine einheitlich vergleichende Untersuchung makroskopischer Modellierungen zur Simulation von Verkehrsabläufen auf Autobahnen. Sie erfordert die Analyse der theoretischen Grundlagen, die praktische Anwendung für geeignete Verkehrsszenarien auf der Grundlage von Verkehrsmessdaten und die sich daraus ergebenden Empfehlungen für weitere Entwicklungen im Bereich der Verkehrsprognosen.

### 2. Untersuchungsmethodik

#### Theoretische Grundlagen

Die theoretischen Grundlagen umfassen die mathematischen Modellansätze und die numerische Realisierung der makroskopischen Verkehrsmodellierungen entsprechend den aktuellen Veröffentlichungen. Dabei sind die Verfahren nach Cremer/Papageorgiou, Hilliges, Helbing/Treiber und Kühne/Kerner/Konhäuser eingehend untersucht worden. Diese Untersuchung beinhaltet eine detaillierte Darstellung der Verfahren und eine vergleichende Beurteilung für die Simulation instabiler Verkehrszustände auf einer Ringstrecke.

#### Praktische Anwendung

Die praktische Anwendung umfasst die Datenauswertung und -aufbereitung von Verkehrsmessungen auf der A5 bei Frankfurt und die Verkehrssimulationen mit den verschiedenen Verfahren für drei ausgewählte Verkehrsszenarien. Die Szenarien sind ein ortsfester Stau, eine einzelne Stauwelle sowie mehrere Stauwellen über Autobahnkreuze. Für die Verkehrssimulationen sind die Anfangs- und Randbedingungen des Untersuchungsraums aus den aufbereiteten Daten der Verkehrsmessungen direkt übernommen. Die verschiedenen Verfahren werden bezüglich der ausgewählten Verkehrsszenarien qualitativ und quantitativ vergleichend beurteilt.

#### Simulationsprogramme

Im Rahmen des Forschungsvorhabens waren Simulationsprogramme seitens der Entwickler nur teilweise verfügbar. Daher sind die aufgeführten Verfahren der makroskopischen Verkehrsmodellierung in einer Form neu implementiert worden, die für die theoretischen Untersuchungen und die praktischen Anwendungen ausreichend waren. Erst dadurch wurde eine vergleichende

Beurteilung der verschiedenen Verfahren bei gleichartigen Parametern und bei gleichartigen softwaretechnischen Realisierungen möglich.

### 3. Untersuchungsergebnisse

#### 3.1 Theoretische Grundlagen

Die verschiedenen Verfahren werden bezüglich des Modellansatzes, der numerischen Realisierung und der darstellbaren Verkehrsphänomene vergleichend beurteilt.

#### Modellansatz

Die untersuchten Modellansätze der makroskopischen Verkehrsdynamik besitzen eine sehr ähnliche Struktur. Sie werden durch die Kontinuitätsgleichung für den Massenerhalt und die Bewegungsgleichung für die Beschleunigung beschrieben. Sie unterscheiden sich lediglich durch Terme in der Bewegungsgleichung (Anpassung, Druck, Viskosität). Der Ansatz von Helbing/Treiber basiert auf der Analogie zur Dynamik von Gasen, während die Ansätze der übrigen Verfahren auf der Analogie zur Dynamik von Flüssigkeiten basieren.

#### Numerische Realisierung

Die numerischen Realisierungen der verschiedenen Verfahren sind auf die entsprechenden Modellansätze abgestimmt und lassen sich als Differenzenverfahren zur Lösung partieller Differenzialgleichungen interpretieren. Die örtliche und zeitliche Diskretisierung ist für die verschiedenen Verfahren sehr unterschiedlich. Während die Verfahren nach Cremer/Papageorgiou und Hilliges auf Grund einer ausreichenden numerischen Diffusion eine grobe örtliche Diskretisierung erfordern, erlauben die Verfahren nach Helbing/Treiber und Kühne/Kerner/Konhäuser eine feine örtliche Diskretisierung. Der Rechenaufwand der verschiedenen Verfahren ist proportional zur Anzahl der örtlichen Intervalle und der Anzahl der Zeitschritte.

#### Beurteilung

Um die verschiedenen Verfahren vergleichend beurteilen zu können, werden Vergleichsrechnungen für Verkehrsabläufe auf einer Ringstrecke mit möglichst einheitlichen Parametern durchgeführt. Sie führen zu folgender Beurteilung:

- Qualitativ führen die Verfahren nach Cremer/Papageorgiou, Hilliges, Helbing/Treiber und Kühne/Kerner/Konhäuser zu gleichartigen Ergebnissen. Sie sind in der Lage, die Verkehrsphänomene bewegte Staus, Stop-and-Go-Wellen und breite Staus bei ähnlichen mittleren Dichten wiederzugeben. Diese qualitative Übereinstimmung der verschiedenen Verfahren ist den bisherigen Veröffentlichungen nicht zu entnehmen.
- Quantitativ lassen sich jedoch signifikante Unterschiede bei der Simulation der Verkehrsphänomene erkennen. So sind beispielsweise die Stauwellengeschwindigkeiten, die Stauwellenhöhen und die Stauwellenbreiten sowie die Anzahl der Stop-and-Go-Wellen bei einer vorgegebenen mittleren Anfangsdichte verschieden. Die quantitativen Ausprägungen der Verkehrsphänomene können bereits durch Änderungen der Orts- und Zeitdiskretisierung wesentlich beeinflusst werden.

– Das Fundamentaldiagramm hat als treibende Kraft für die Verkehrsabläufe eine grundlegende Bedeutung. Während die übrigen Parameter in einem Verfahren für die quantitative Ausprägung eines eventuell auftretenden Verkehrsphänomens wichtig sind, kann mit dem Fundamentaldiagramm und der Anpassungszeit das Auftreten der Verkehrsphänomene selbst beeinflusst werden.

### 3.2 Praktische Anwendung

Um Ergebnisse von Verkehrssimulationen mit Ergebnissen von Verkehrsmessungen vergleichend beurteilen zu können, ist eine Verkehrsstrecke mit Messeinrichtungen zu wählen, die eine möglichst hohe Auflösung des räumlichen und zeitlichen Verkehrsablaufs erlaubt. Eine geeignete Verkehrsstrecke befindet sich auf der Bundesautobahn A5 nordwestlich von Frankfurt. Mit Genehmigung des Hessischen Landesamts für Straßen- und Verkehrswesen hat die Verkehrsleitzentrale Rüsselsheim umfassende Messdaten (1-Minuten-Daten) dieser Verkehrsstrecke zur Verfügung gestellt, aus der drei verschiedene Verkehrsszenarien ausgewählt wurden. Ein Vergleich von Verkehrssimulationen mit lokalen Verkehrsmessungen ist prinzipiell nur dann möglich, wenn die Anfangs- und Randbedingungen sowie die Zu- und Abflüsse aus den entsprechenden Verkehrsmessungen übernommen werden.

### Datenauswertung und -aufbereitung

Die Berechnungsmethoden zur Datenauswertung und -aufbereitung für Vergleichsrechnungen mit makroskopischen Verkehrsmodellen sind im Bericht detailliert dargestellt. Bei lokalen Messungen sind die Detektoren in der Lage, die Anzahl der Fahrzeuge und die mittlere Geschwindigkeit zuverlässig zu bestimmen. Für dichten Verkehr mit Geschwindigkeiten unter 20 km/h sind die Detektordaten nicht zuverlässig. Teilweise sind die Detektoren an den Zu- und Abfahrten so angeordnet, dass die Zu- und Abflüsse aus den Messdaten nicht zuverlässig ermittelt werden können. Dies führt insbesondere bei Stausituationen dazu, dass die aus den Messdaten berechneten Verkehrsdichten stark schwanken, teilweise unrealistisch sind und den Massenerhalt im Verkehrsablauf nicht erfüllen. Da die aufbereiteten Messdaten als Anfangs- und Randbedingungen in die makroskopischen Verkehrssimulationen eingehen, können sich daraus unrealistische Simulationsergebnisse ergeben.

### Verkehrsszenarien

Zur Beurteilung der verschiedenen Verfahren der makroskopischen Verkehrsmodellierung werden drei Verkehrsszenarien untersucht. Die Parameter werden für jedes Verfahren über den gesamten Untersuchungsraum konstant angenommen und per Inspektion so gewählt, dass die identifizierbaren Verkehrsphänomene möglichst gut wieder gegeben werden. Die Untersuchungsergebnisse sind im Bericht ausführlich dokumentiert und lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Im ersten Verkehrsszenario wird die Bildung und Auflösung eines ortsfesten Staus nach einem Unfall betrachtet. Der Staubereich im Untersuchungsraum wird von allen Simulationsverfahren mit geringfügigen Abweichungen sehr gut wieder gegeben.
- Im zweiten Verkehrsszenario wird ein einfacher bewegter Stau betrachtet, der innerhalb einer komplexen Verkehrssituation nach mehreren Unfällen aufgetreten ist. Die durchgehende Stauwelle kann von allen Simulationsverfahren mit fast gleicher Stauwellengeschwindigkeit bei unterschiedlichen Staubreiten recht gut wieder gegeben werden. Die Simulationsergebnisse zeigen dabei deutlich Effekte auf, die sich aus einer unrealistischen Anfangsbedingung für die Verkehrsdichte ergeben haben.

- Im dritten Verkehrsszenario werden mehrere Stauwellen betrachtet, die aus Unfällen resultieren und mehrere Zu- und Abfahrten an Autobahnkreuzen durchlaufen. Sie werden von den Simulationsverfahren nur teilweise zutreffend wieder gegeben. Dieses ist insbesondere auf die Auswirkungen von Zu- und Abfahrten zurückzuführen. Realistischere Simulationen könnten erreicht werden, indem für die Bereiche der Zu- und Abfahrten und die durchgehenden Verkehrsstrecken unterschiedliche Parametersätze gewählt werden.

### Beurteilung

Die Untersuchung der verschiedenen Verkehrsszenarien hat gezeigt, dass grundsätzlich alle Simulationsverfahren für praktische Anwendungen einsetzbar sind. Sie besitzen jedoch unterschiedliche Eigenschaften, die sich aus den Modellansätzen und der numerischen Realisierung ergeben und bei ihrem Einsatz zu berücksichtigen sind.

Bei allen Verfahren hängen die Simulationsergebnisse maßgebend von den Parametern des Anpassungsterms (Fundamentaldiagramm, Anpassungszeit) ab. Die maximale mittlere Geschwindigkeit und die maximale Verkehrsdichte für das Fundamentaldiagramm sind einfach festzulegen. Die übrigen Parameter sind anschaulich schwer interpretierbar und daher auch schwer festzulegen. Verfahren zur systematischen Bestimmung dieser Parameter aus Verkehrsmessungen stehen nicht zur Verfügung, sodass geeignete Parameterwerte nur per Inspektion über Parametervariationen festgelegt werden können.

Die Untersuchungen haben ferner gezeigt, dass die Festlegung der Ränder einer offenen Verkehrsstrecke für ein Verkehrsszenario von wesentlicher Bedeutung ist. Die Simulationsverläufe im Untersuchungsraum müssen mit den Randbedingungen aus Verkehrsmessungen verträglich sein. Ist dies nicht der Fall, so wird die Simulation abgebrochen oder führt zu unbrauchbaren Ergebnissen.

## 4. Schlussfolgerungen

Auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen und der dabei gewonnenen Erfahrungen ergeben sich Folgerungen für weitere Entwicklungsarbeiten in den Bereichen der Verkehrsmessung, der Verkehrssimulation und der Verkehrsbeeinflussung.

### Verkehrsmessung

Um makroskopische Verkehrssimulationen mit lokalen Verkehrsmessungen vergleichen zu können, sind die Messdaten für die betrachtete Verkehrsstrecke mit ihren Zu- und Abfahrten aufzubereiten. Die aufbereiteten Messdaten gehen als Anfangs- und Randbedingungen sowie als Zu- und Abflüsse in die Verkehrssimulationen ein und müssen zuverlässig ermittelt werden. Die üblichen Methoden der Datenaufbereitung führen insbesondere bei Stausituationen dazu, dass die aus den Messdaten berechneten Verkehrsdichten stark schwanken, teilweise unrealistisch sind und den Massenerhalt im Verkehrsablauf nicht erfüllen. Es sind daher geeignete Methoden zur Glättung von Messdaten zu entwickeln, die den Massenerhalt unter besonderer Berücksichtigung von Zu- und Abflüssen bestmöglich gewährleisten.

### Verkehrssimulation

Die untersuchten Verfahren der makroskopischen Verkehrsmodellierung sind in der Lage, Verkehrsszenarien mit ausgeprägten Verkehrsphänomenen, die durch Verkehrsmessungen identifizierbar sind, qualitativ richtig wieder zu geben. Eine bestmög-

che quantitative Wiedergabe dieser Verkehrsszenarien erfordert für jede Verkehrssimulation eine Anpassung aller maßgebenden Parameter. Von grundlegender Bedeutung sind dabei die Parameter des Anpassungsterms (Fundamentaldiagramm, Anpassungszeit). Außer theoretisch abschätzbaren Gültigkeitsbereichen und Erfahrungswerten stehen keine Verfahren zur Bestimmung dieser Parameter aus Verkehrsmessungen zur Verfügung. Eine systematische Untersuchung des quantitativen Einflusses der maßgebenden Parameter an nachvollziehbaren einfachen Beispielen und die Entwicklung von Vorgehensweisen zur Bestimmung dieser Parameter aus Verkehrsmessungen sind erforderlich. Dabei sollten durchgehende Verkehrsstrecken und Knotenpunktbereiche in Verkehrsnetzen gesondert behandelt werden.

### Verkehrsbeeinflussung

Grundsätzlich sind sowohl mikroskopische als auch makroskopische Verkehrsmodelle geeignet, um die Steuerung von Verkehrsabläufen auf Autobahnen zu simulieren. Die Auswirkungen verschiedener Maßnahmen zur Beeinflussung des Verkehrsablaufs können nach geeigneten Kriterien für die Verkehrshomoge-

nisierung vergleichend beurteilt werden. Die Untersuchung der Auswirkungen von Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen ist nicht Gegenstand der durchgeführten Vergleichsrechnungen gewesen. Vergleiche von Simulations- und Messergebnissen deuten jedoch auf Auswirkungen von Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen hin. Die verschiedenen Simulationsverfahren sind daher für Verkehrsszenarien unter besonderer Berücksichtigung verschiedener Maßnahmen zur Beeinflussung des Verkehrsablaufs im Vergleich mit vorliegenden Verkehrsmessungen systematisch zu untersuchen.

### Dynamische Verkehrsprognose

Für die weiteren Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich der dynamischen Verkehrsprognosen wird die Entwicklung eines Programmsystems vorgeschlagen, das eine vergleichende Beurteilung und eine Kopplung von Verkehrsmessungen, Verkehrsbeeinflussungen und Verkehrssimulationen ermöglicht. Die Programmentwicklung sollte auf objekt- und komponentenorientierter Grundlage erfolgen, sodass eine einfache Erweiterbarkeit der Funktionalität und eine einfache Einbindung verschiedenartiger Simulationsverfahren möglich ist. □