

# Mit Datenfusion zur konsistenten Verkehrslage

## 1 Kontext und Zielsetzung

Das Ziel des Forschungsprojekts Dmotion („Düsseldorf in Motion“) ist die baulastträgerübergreifende strategische Steuerung von Verkehrsströmen anhand einer ballungsraumweiten Verkehrslagebestimmung. Die Kenntnis der Verkehrslage ist Voraussetzung für eine verlässliche Verkehrsinformation und für eine zielführende netzweite Steuerung des Verkehrs.

Aufbauend auf lokalen Erfassungsstellen, mit deren Hilfe im Wesentlichen Verkehrsstärken, Belegungsgrade und lokale Geschwindigkeiten gemessen werden können, kann es nur bedingt gelingen, eine über Zeit und Raum konsistente aktuelle Verkehrslage für großräumige Gebiete zu ermitteln. An lokalen Messstellen erfasste Kennwerte liefern insbesondere bei hohen Auslastungen keine Information über die eigentliche Verkehrslage sowie die Staulängen bzw. Wartezeiten.

Im Verkehr mitfahrende Fahrzeuge (FCD) können im Gegensatz zu lokalen Messwerten direkte Kennwerte für die Verkehrslage wie z.B. die Reisegeschwindigkeit auf bestimmten Abschnitten liefern. Jedoch muss eine hohe Penetrationsrate von 'Floating Cars' erreicht werden, um repräsentative Ergebnisse zu erhalten. Außerhalb hoch frequentierter, meist zentrumsnaher Streckenzüge ist diese für die Online-Verkehrslage erforderliche Durchdringung derzeit nicht gegeben.

Aufgrund der Nachteile der einzelnen Detektionsarten werden die verschiedenen Daten über ein Modell in ein über Raum und Zeit konsistentes Verkehrslagebild zusammengeführt (fusioniert). Diese Herausforderungen der Zusammenführung verschiedener Datenquellen mit unterschiedlichen Kennwerten wurden in Dmotion angegangen. Als Basis für die Online-Modellierung der Verkehrslage wurde das im Forschungsprojekt MOBINET entwickelte Verfahren DINO (Dynamischer NetzMonitor) (1) aufgegriffen und um neue Datenfusionstechniken erweitert.

## 2 Datenfusion im Projekt Dmotion

### 2.1 Verfahrensansatz

Der grundlegende Gedanke zur Datenfusion im Projekt Dmotion ist folgender: Die Daten von Messstellen und spezialisierten Verkehrsmodellen sollen nicht „verschnitten“, also mit unterschiedlicher Gewichtung gemittelt, sondern „veredelt“ werden. Dazu werden sie einem übergeordneten Verkehrsmodell direkt als Eingangsdaten für die Algorithmen zur Verfügung gestellt. Ein besonderer Schwerpunkt liegt in der Berücksichtigung der Reisezeiten von Floating Cars in der bisher nur auf Verkehrsstärke-Informationen aufbauenden Quelle-Ziel-Schätzung nach van Zuylen. Daneben ist ein wichtiges Element die ständige Berechnung von Güteangaben für die Ergebnisdaten (also die Eingangsdaten für DINO) durch die spezialisierten Modelle. Diese Güteangaben finden einerseits Eingang in den veränderten Informationsminimierungsalgorithmus für die QZ-Matrix-Anpassung. Andererseits werden mit Hilfe dieser Gütedaten durch DINO Vertrauensbereiche festgelegt, welche wiederum Grundlage für das Abbruchkriterium des Verfahrens sind.

## 2.2 Ballungsraum Düsseldorf - Straßennetz und Netzversorgung

Zu Beginn des Forschungsprojekts wurde das strategische Netz für das Forschungsprojekt definiert. Es besteht aus den Haupt- und Durchgangsstraßen des städtischen Netzgraphen sowie den umliegenden Autobahnen und wichtigen Bundes- und Landstraßen, die für Umgehungsverkehre in Betracht kommen. Insgesamt wurden dabei 7.000 richtungsgetrennte Straßenkanten und 625 Lichtsignalanlagen mit den angeschlossenen Detektionseinrichtungen und den Meldepunkten des ÖV sowie allen Abbiegemöglichkeiten eingepflegt.

Aus dem städtischen Stadtplanungsamt wurden auch die dort gepflegten Quelle-Ziel-Matrizen der Verkehrsbelastungen übernommen, die für Dmotion stundenfein umgerechnet wurden. Die insgesamt vorhandenen 554 Verkehrszellen für Düsseldorf und die weiträumige Umgebung wurden für das Verkehrsmodell DINO aus Rechenzeitgründen auf 145 reduziert.

## 2.3 Verfügbare Datenquellen

In Düsseldorf wurden im Rahmen des Projekts Verkehrssystemmanagement in Düsseldorf (ViD) seit dem Jahr 2004 ca. 50 Messquerschnitte mit Videokameras oder Infrarotdetektoren eingerichtet. Zusätzlich stehen noch ca. 360 an OCIT-LSA angeschlossene Detektorschleifen zentral bereit (Abbildung 1). Der Anschluss an den Datenverteiler der Verkehrsrechenzentrale Leverkusen ermöglicht den Zugriff auf 481 Messquerschnitte der umliegenden Autobahnabschnitte.



Abbildung 1: Ballungsraum Düsseldorf

Für die Ermittlung der Reisezeiten durch mit dem Verkehr mitfahrende Fahrzeuge werden die Fahrzeuge der Taxi-Flotte der größten Düsseldorfer Taxizentrale Taxi-Düsseldorf eG genutzt. Von dort aus werden insgesamt 1.300 Fahrzeuge disponiert, deren aktuelle Positionen zentral erfasst sind. Zur Berechnung der Reisezeiten aus den online übermittelten Positionen der Fahrzeuge wird ein Verfahren eingesetzt, das seit 2004 in der Stadt Wien mit gutem Erfolg zur Online-Visualisierung der Verkehrslage genutzt wird (2). Ergebnis dieser Berechnung sind die Durchschnittsgeschwindigkeiten auf allen Streckenkanten des strategischen Netzes. Zusätzlich wurde eine kleinere Taxizentrale angeschlossen, die ihre Taxi-Positionen 15-Sekunden-fein überträgt.

Die An- und Abmeldeinformationen von priorisierten ÖV-Fahrzeugen an den Lichtsignalanlagen stellen eine weitere Datenquelle dar. Aus den Reisezeiten der Straßenbahnen und Busse, die sich die Fahrbahn mit dem MIV teilen, wird dabei mit einem eigens für das Projekt Dmotion entwickelten ÖV-FCD-Verfahren auf den allgemeinen Verkehrszustand geschlossen.

Zur Verbesserung der Informationen der halteliniennahen Schleifen an den über OCIT angeschlossenen Lichtsignalanlagen wird der im Forschungsprojekt MOBINET entwickelte Rückstauschätzer (3) eingesetzt, der anhand von Detektorflanken und Signalisierungszuständen auf die Staulänge vor der Haltelinie schließt. Er ermöglicht es, Rückstaulängen bis zu 250 m mit hoher Genauigkeit zu erkennen.

Zur Schätzung der Verkehrslage bei signalisierten Abfahrten der Autobahnen wurde in Dmotion ein eigenes Verkehrsmodell („Übergangsmoell“) entwickelt. Aus den minütlich aggregierten Verkehrsstärken der Detektoren und den Grünzeiten der Signalgruppen wird mithilfe der Formel von Kimber/Hollis (4) auf die Rückstaulänge und die Reisezeiten auf signalisierten Ausfahrrampen der Autobahnen geschlossen.

Als weitere Datenquelle finden schließlich noch Verkehrszustandsinformationen von privaten Anbietern (XFCD der Firma BMW und OBN-FCD der Firma PTV) Berücksichtigung. Beide Verfahren geben Stauhinweise in Form von Level-of-Service-Informationen sowie Reisezeiten aus.

Ergänzend wurde für einige Netzabschnitte eine Datenbank mit statischen Ganglinien aus den regelmäßigen Verkehrszählungen der Stadt Düsseldorf aufgebaut.

## **2.4 Datenvervollständigung und -fusion**

Diese oben angeführten Detektoren und Verkehrsmodelle geben qualitativ sehr verschiedenartige Daten aus: Verkehrsstärken, Geschwindigkeiten, Reisezeiten, Rückstaulängen, Stauereignisse und Level-of-Service-Informationen. Um sie alle geeignet in den Datenfusionsprozess einbringen zu können, wurde als wichtiges Element das Konzept der Güte eingeführt: Jedes Verkehrsmodell muss seine eigenen Ausgabedaten mit einem Wert zwischen 0 (sehr unsichere Information) und 1 (völlig sichere Information) bewerten.

Aufbauend auf den beschriebenen unterschiedlichen Verkehrsdaten wird mit Hilfe des Datenvervollständigungsmoduls DINO ein aktueller plausibler Verkehrszustand (LOS, Reisezeiten, Verkehrsstärke) für das gesamte strategische Verkehrsnetz der Region Düsseldorf berechnet. Hierbei werden die beiden Ziele Datenvervollständigung (Berechnung einer Verkehrslage in undetektierten Netzabschnitten) und Datenfusion (Verwendung aller zur Verfügung stehender Daten) verfolgt.

### **Dynamische Umlegung mit dem 3DAS-Algorithmus (5)**

Wie in Abbildung 2 zu sehen, werden in der ersten Phase von DINO aktuelle QZ-Matrizen auf das Netz mit Hilfe des 3DAS-Algorithmus umgelegt.

Innerhalb dieses Umlegungsverfahrens werden Lichtsignalanlagen durch online gemeldete Freigabezeitanteile dargestellt. Mit Hilfe dieser dynamischen Modellierung ist es in Düsseldorf gelungen, zeitnah Änderungen der Kapazitäten von LSA in das Modell zu integrieren.

Zusätzlich wurde durch die Integration des Rückstauschätzers eine dynamische Anpassung des Parameters Kapazität realisiert. Das Modul Rückstauschätzer liefert bei erkannten Abflussstörungen an LSA eine reduzierte Kapazität für die zugehörigen Kanten, welche dann bei der Berechnung des aktuellen Verkehrszustandes herangezogen wird.

### **Modifiziertes Informationsminimierungsmodell (nach 6)**

Die Schätzung der realen aktuellen Verkehrslage wird durch die Anpassung der QZ-Matrizen unter Verwendung von aktuellen Messwerten mit Hilfe eines modifizierten Informationsminimierungsmodells (IM) erreicht.

Aufgrund einiger Erfassungslücken im System der stationären Detektion innerhalb des Untersuchungsraumes und den damit verbundenen Schwierigkeiten bei der Abschätzung des aktuellen Verkehrszustands in diesen Gebieten wurde der IM hinsichtlich einer Verwendung der Kenngröße Reisezeit erweitert. Analog zu der Verwendung von Reisezeitdaten werden weiterhin Daten des Moduls ÖV-FCD verwendet.

Unterstützend zu den Detektor- und FCD-Daten wird insbesondere an den Netzrändern eine zusätzlich aufgebaute Gangliniendatenbank herangezogen.

### **Terminierung**

Aufgrund der während der Umlegung als Kantenwiderstände ermittelten Daten und der Verfügbarkeit von zusätzlichen gemessenen Daten, die den aktuellen Verkehrszustand im Netz repräsentieren, ist es möglich, das Ergebnis jeder Umlegung zu bewerten. Aufbauend auf dieser Bewertung wird das Terminieren von DINO gesteuert.

Abbildung 2 zeigt das Flussdiagramm mit den Bausteinen von DINO.

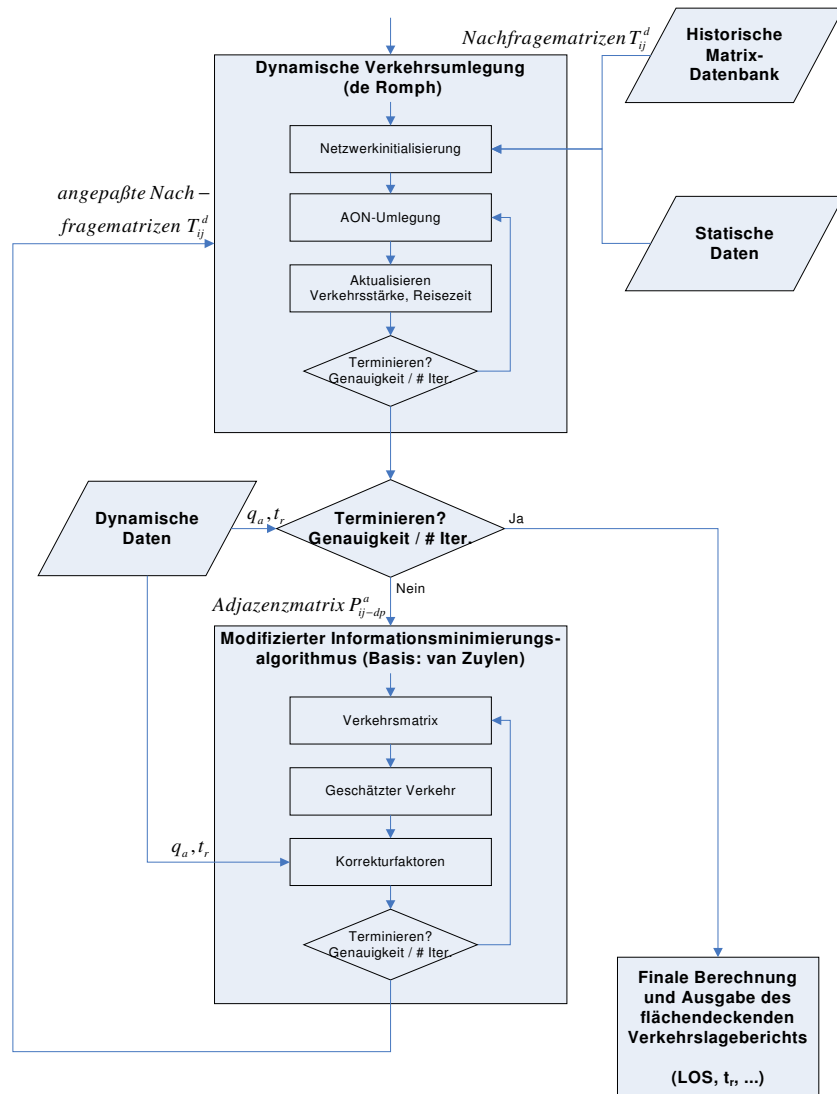


Abbildung 2: Flussdiagramm von DINO

### 3 Kalibrierung und Evaluierung

Erst der Vergleich der mit DINO modellierten Ergebnisdaten mit den tatsächlich gemessenen Ergebnisdaten bei gleichen Eingangsdaten wird eine objektive Beurteilung der Modellgenauigkeit ermöglichen. Deshalb ist die Kalibrierung und die Evaluierung der Verkehrslageberechnung ein weiterer wesentlicher Teil des Forschungsprojekts Dmotion.

Zu diesen Zwecken werden Datensätze mit Verkehrsstärken an detektierten Straßenkanten (finden Eingang in die Berechnungen), Verkehrsstärken an zusätzlich detektierten Straßenkanten (finden keinen Eingang in die Berechnungen) und aus GPS- und Taxi-FCD ermittelte Geschwindigkeits- und Rückstauprofile stichprobenartig aufgenommen und systematisch mit den Berechnungsergebnissen verglichen. Durch eine nachhaltige Einstellung von globalen und lokalen Parametern mit Hilfe der Kalibrierungsdatensätze und einer anschließenden Validierung mit einem gesonderten Datensatz sind Aussagen möglich, wie viele Stauereignisse richtig erkannt werden, wie viele nicht erkannt werden, und – was für den Betreiber von hoher Wichtigkeit ist – wie viele falsche Staumeldungen ausgegeben werden.

## 4 Zusammenfassung

Für die in Dmotion angestrebte baulasträgerübergreifende strategische Steuerung von Verkehrsströmen im Ballungsraum Düsseldorf ist ein zuverlässiges und umfassendes Bild der Verkehrslage eine grundlegende Voraussetzung. Um ein solches Bild zu erzeugen, werden mit Hilfe einer Erweiterung des bereits in MOBINET zur Verkehrslagemodellierung entwickelten Verfahrens DINO unterschiedliche Verkehrsdaten zu einem konsistenten Verkehrslagebild fusioniert. Die Fusion basiert dabei nicht auf einer einfachen Linearkombination von Daten, sondern die Eingangsdaten werden direkt in das Umlegungs- und das QZ-Matrix-Anpassungsverfahren innerhalb von DINO integriert.

## Literaturverzeichnis

- (1) LOGI, F., ULLRICH, M und KELLER, H. (2001). Traffic Estimation in Munich: Practical Problems and Pragmatic Solutions. Fourth International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Oakland (CA), USA
- (2) LINAUER, M, et al. (2006). FUSION - Floating Car Daten und Sensordaten intelligent fusionieren. Arsenal Research
- (3) MÜCK, J. (2002), Schätzverfahren für den Verkehrszustand an Lichtsignalanlagen unter Verwendung halteliniennaher Detektoren. Straßenverkehrstechnik 11/2002
- (4) KIMBER, R. M. und HOLLIS, E. M. (1978). Traffic Queues and Delays at Road Junctions. TRRL Laboratory Report 909
- (5) DE ROMPH, E. (1994). A dynamic traffic assignment model: theory and applications! Technische Universität Delft
- (6) VAN ZUYLEN, J. H. und Willumsen, L. G. (1980). The most likely trip matrix estimated from traffic counts, Transportation Research 14B, pp. 281-293