

Dispositionssysteme als FCD-Quellen für eine verbesserte Verkehrslagerekonstruktion in Städten

Fritz Busch, Florian Glas und Elke Bergmann

Wichtige Grundlage der in Städten und Ballungsräumen vermehrt eingesetzten Verkehrstelematik-Lösungen ist eine qualitativ hochwertige online Rekonstruktion der aktuellen Verkehrslage im Straßennetz. Diese basiert bislang im Wesentlichen auf der verkehrstechnischen Verarbeitung stationär erfasster Detektordaten mit unterschiedlichen regel- oder modellbasierten Verfahren. Ergänzend hierzu gewinnen fahrzeuggenerierte Daten (Floating Car Data – FCD) zunehmend an Bedeutung, da aus diesen netzweit flächendeckende Informationen ermittelt werden können. FCD aus Systemen wie z. B. Taxi-Dispositionszentralen oder Rechnergestützten Betriebsleitsystemen (RBL) können verkehrstechnisch nutzbar gemacht werden und durch Datenfusion in Verkehrszentralen einen wertvollen Beitrag zur Qualitätssicherung der Verkehrsinformationen leisten.

An important basis for modern ITS-solutions in cities and big conurbations is a high-quality online reconstruction of the current traffic situation in the road network. Up to now, this is mainly based on the traffic engineering processing of measurements from stationary traffic detectors by means of various rule-based or model-based algorithms. In addition to this, vehicle generated data (Floating Car Data – FCD) become more important. They enable the systems to generate information, which covers the whole network, area-wide. Floating Car Data of systems such as scheduling and operating centers for taxi or public transport fleets can be harnessed in traffic engineering, and in combination with data fusion at traffic centres they make a useful contribution to quality assurance of traffic information.

1. Hintergrund

Die Verkehrsbelastung auf dem deutschen Straßennetz hat in den vergangenen Jahren sehr stark zugenommen und wird weiter ansteigen. Die Ursachen hierfür sind vielfältig und sind u. a. zu sehen in der zunehmenden Flexibilisierung der Arbeitsmärkte, Veränderungen im Freizeitverhalten der Bevölkerung und generell im Entstehen mobilitätserzeugender Siedlungsstrukturen. Äußeres Anzeichen ist neben der Zunahme der Verkehrsleistungen, für die insbesondere im Straßengüterverkehr hohe Zuwächse zu erwarten sind, auch der immer noch steigende Motorisierungsgrad. Angebotsseitig verhindern bauliche, wirtschaftliche und ökologische Randbedingungen häufig eine Anpassung der Infrastruktur, was besonders die Verkehrsprobleme der Ballungsräume verschärft. Als ein geeignetes Gegenmittel wird vermehrt der Einsatz der Verkehrstelematik mit ihren unterschiedlichen Instrumentarien der Steuerung und Information gefordert und von den Verkehrsverantwortlichen betrieben.

Die Grundlage für diese Anwendungen bildet eine ausreichend genaue Kenntnis des aktuellen und historischen Verkehrs-

geschehens im Straßennetz, um daraus Entscheidungen für routenbezogene Informationen und eine optimale Steuerung des Verkehrs abzuleiten. Wichtig für konsistente, d. h. widerspruchsfreie und einander ergänzende Informations- und Steuerungsmaßnahmen ist dabei, dass idealerweise alle Verkehrssysteme des Ballungsraums auf die selbe Informationsbasis zugreifen. Gerade in diesem Punkt stößt die praktische Realisierung noch auf verschiedenste Hürden.

Die Erfassung des Verkehrsablaufs basiert nach heutiger Technik auf stationären, querschnittsbezogenen Detektionseinrichtungen, wie zum Beispiel Induktionsschleifen, Magnetfeldsensoren, Radar-, Infrarot- oder Laserdetektoren und Videodetektion, mit denen im Wesentlichen Anzahl und Geschwindigkeit der Fahrzeuge ermittelt werden. Über verschiedene verkehrstechnische Modelle können daraus strecken- und auch netzbezogene Verkehrskenngrößen wie Verkehrsdichte, Reisezeit oder Routenbelastungen in grober Näherung abgeleitet werden. Die erreichbare Qualität der Schätzungen ist dabei in hohem Maße von Anzahl, Lage und Güte der verwendeten Detektoren abhängig. Da die Investitions- und Unterhaltskosten für derartige Detektionseinrichtungen nicht unerheblich sind, ist ihr Einsatz jedoch begrenzt. Außerorts werden solche Systeme vor allem bei Verkehrsbeeinflussungsanlagen und innerorts meist nur an

wichtigen Verkehrsknotenpunkten bzw. in hochbelasteten Netzbereichen eingesetzt, wodurch das verfügbare Potential der Steuerungs- und Informationssysteme deutlich eingeschränkt wird.

2. FCD-Systeme – Ein Überblick

Als Alternative und wertvolle Ergänzung zur stationären Verkehrsdatenerfassung tritt zunehmend die Nutzung fahrzeuggenerierter Daten (Floating Car Data – FCD) in den Vordergrund. Dabei dienen Fahrzeuge, die im Verkehrsstrom mitschwimmen, als mobile Datenquellen und übermitteln ihre Informationen an zentrale Systeme zur Weiterverarbeitung. Prinzipiell ergänzen diese zwar nur in geringer Stichprobe, aber über den Weg vollständigen Daten die nur punktuellen, aber über das Fahrzeug-Kollektiv vollständigen Detektordaten in idealer Weise; eine Fusionierung zur Erzielung einer verbesserten Verkehrslagerekonstruktion ist daher naheliegend. Dies wird durch die schnellen Entwicklungen auf dem Gebiet der Fahrzeug- und Kommunikationstechnik unterstützt.

Die Art der Datengewinnung ist bei FCD höchst unterschiedlich: Zunächst sind hier die v. a. im Außerortsbereich einsetzbaren „klassischen“ FCD nach dem GATS¹ zu nennen, bei denen Fahrzeuge mit Positio-

Verfasseranschriften: Univ.-Prof. Dr.-Ing. F. Busch, Dipl.-Ing. F. Glas, Dipl.-Ing. E. Bergmann, Technische Universität München, Lehrstuhl für Verkehrstechnik, Arcisstr. 21, 80333 München

¹ Global Automotive Telematics Standard

nierungssystemen (z. B. GPS-Empfänger) ausgestattet sind und ihre Daten zur weiteren Veredelung (Georeferenzierung, Datenfusion) via Mobilfunk (bislang im GSM-Netz) an eine Verkehrsmanagement-Zentrale senden. Neben der Übertragung reiner Geokoordinaten kann hierbei auch eine Vorverarbeitung im Fahrzeug stattfinden, bei der für die zurückgelegte Wegstrecke und Geschwindigkeit zusätzlich Signale des Tachometers und anderer Sensoren herangezogen werden. Aus Kostengründen werden die Daten meist ereignisorientiert versendet, d. h. nur, wenn sich die Verkehrssituation signifikant geändert hat oder das Fahrzeug auf eine andere Straßenkategorie wechselt. Solche Systeme werden heute im Wesentlichen von der DDG Gesellschaft für Verkehrsdaten mbH und von einigen Automobil-Herstellern eingesetzt.

Die BMW Group forscht derzeit intensiv an einer Erweiterung der FCD, den sogenannten XFCD² [1]. Diese erfassen zusätzlich zu den Verkehrsdaten auch Umfeld-einflüsse. Aus fahrzeugeigenen Signalen wie Wischertätigkeit, Nebelscheinwerfer, Radschlupf-Sensorik oder Warnblinkanlage werden Rückschlüsse auf den Verkehrskontext (Nässe, Sichtbehinderung, Glätte usw.) gezogen. Solche Informationen sind wertvolle Ergänzungen für Verkehrssteuerungssysteme und können z. B. bei Gefahrenwarnanlagen herangezogen werden.

Innerstädtisch wurde im Rahmen des BMBF-Forschungsprojektes WAYflow das City-FCD-Verfahren [2] erprobt, dem eine segmentbezogene Betrachtungsweise zu Grunde liegt. Die Meldungsübertragung erfolgt hierbei an definierten Segment-Grenzen und somit kontinuierlich; aus der mittleren Geschwindigkeit und deren Standardabweichung wird anschließend auf den Verkehrszustand innerhalb dieses Segmentes rückgeschlossen.

Im Münchener Leitprojekt zur Mobilität in Ballungsräumen MOBINET [3] wurden weitere Quellen für fahrzeuggenerierte Daten untersucht. Die Taxi-Dispositionszentrale IsarFunk vermittelt Fahrtwünsche an ca. 200 Fahrzeuge, deren Position (GPS-Koordinaten), Zeitstempel und Fahrzeugzustand (besetzt oder frei) zyklisch über Betriebsfunk abgerufen werden. Aus diesen verfügbaren Einzelmeldungen können Wegeketten und Fahrtrouten rekonstruiert werden, woraus sich

anschließend die mittleren Reisegeschwindigkeiten ableiten lassen. Neben der hohen innerstädtischen Fahrleistung von Taxis und der damit verbundenen hohen Meldungsdichte, mit der weite Teile des Straßennetzes abgedeckt werden, haben solche Systeme den Vorteil, dass sie anstelle des kostenintensiven Mobilfunks die eigene Betriebsfunk-Frequenz nutzen können; allerdings sind sie dadurch nur regional begrenzt verfügbar. Auch andere Flottenmanagementsysteme (z. B. für Frachtgut-Logistik) kommen als FCD-Quellen in Frage, bieten jedoch aufgrund der stark eingeschränkten Routen (meist Fernverkehrsstraßen) und der eher geringen Meldungsdichte keine ausreichende Aussagekraft für verkehrstelematische Anwendungen.

Völlig neue Möglichkeiten und Ansätze zur Gewinnung von FCD bietet die Mobilfunk-Ortung [4]. Für die Dauer einer Sprachverbindung sendet das Handy Funksignale an stationäre Basisstationen und kann anhand dieser Signale vom Mobilfunk-Provider anonymisiert lokalisiert werden. Im Falle einer Fortbewegung des Handys während des Gesprächs erfolgt eine Weitergabe (Handover) der Verbindung von einer Mobilfunkzelle zur nächsten. Aus den Zeitstempeln dieser Weitergabe können im Zusammenhang mit den bekannten Zell-Grenzen und dem vorhandenen Straßennetz die Routenwahl rekonstruiert und die Reisezeiten ermittelt werden. Im Außenbereich ist die Georeferenzierung auf Grund eines weniger dichten und verzweigten Straßennetzes relativ gut möglich, obwohl die Mobilfunkzellen deutlich größer sind als im Innenstadtbereich. Da die Größen der Mobilfunkzellen im reziproken Verhältnis zur Kundendichte stehen, sind sie im Innenstadtbereich nur wenige hundert Meter breit und stellen somit auch hier eine ausreichende Datenbasis bereit. Der Vorteil dieser Technologie liegt einerseits in der sehr hohen Verbreitung, die die Penetrationsraten heutiger FCD-Systeme bei weitem übertrifft, und andererseits in der kostengünstigen Datengewinnung, da diese Informationen den Mobilfunkbetreibern technologisch bedingt ohnehin vorliegen.

Weitere Untersuchungen gibt es hinsichtlich des Einsatzes von Pagern zur Gewinnung von FCD [5]. Verwendet werden hierbei ausschließlich sogenannte „Two-Way Pager“. Diese können nicht nur Meldungen empfangen, sondern auch selbst Signale senden. Voraussetzung für eine zuverlässige Meldung ist jedoch, dass zum Meldezeitpunkt eine Verbindung zu mindestens drei Empfangsstationen auf-

gebaut werden kann. Dann kann durch Triangulation aus der Meldung des Pagers seine Position berechnet werden. Zusammen mit dem Zeitstempel kann aus den einzelnen Positionen die Reisezeit und die zurückgelegte Wegstrecke abgeschätzt werden. Die Qualität der Lokalisierung ist dabei abhängig von der Häufigkeit des Verbindungsaufbaus zu den Empfangsstationen. Soweit der Pager über eine derartige Funktion verfügt, kann der Meldezyklus am Endgerät vor eingestellt werden. Der Verbindungsaufbau kann jedoch durch die Erreichbarkeit der Empfangsstationen bzw. durch Abschattungseffekte beeinflusst werden. Solange eine Positionsermittlung minutlich möglich ist, wird außerorts eine ausreichend genaue Lokalisierung erreicht, um die Reisezeiten der ausgerüsteten Verkehrsteilnehmer abzuschätzen. Bei genügend hoher Ausstattungsquote ist so eine Abschätzung der Verkehrsqualität und die Erkennung von Verkehrsstörungen über Geschwindigkeitseinbrüche möglich. Innerorts sind auf Grund der Netz-dichte wesentlich häufigere Meldungen der Pager erforderlich, um eindeutige Positionierungen und damit die Ableitung von Verkehrskenngrößen zu ermöglichen.

Auch Öffentliche Verkehrsbetriebe nutzen zur Disposition ihrer Fahrzeuge ein ähnliches System, das Rechnergestützte Betriebsleitsystem (RBL). Hierbei werden für einzelne, vom ÖV genutzte Streckenabschnitte Daten mit einer sehr hohen Meldungsdichte generiert. Von Interesse sind hier vor allem Busse und Straßenbahnen, die bündig im Verkehrsstrom mitschwimmen (straßengebundener ÖPNV ohne eigenen Fahrstreifen). Die Positionierung eines ÖV-Fahrzeugs erfolgt durch eine Entfernungsmessung zur letzten Haltestelle auf der festgelegten Wegstrecke. Anhand des Zeitstempels können die Fahrplanlage (Verspätung, Verfrühung) errechnet und daraus Rückschlüsse auf das aktuelle lokale Verkehrsgeschehen gezogen werden. Durch den verstärkten Fahrzeugeinsatz zu Hauptverkehrszeiten ist gerade in dieser auch für die Verkehrslagerekonstruktion wichtigen Phase die Meldungsdichte noch höher und erlaubt entsprechend höhere Datenqualitäten.

3. Dispositionssysteme von Taxi-Flotten

Um Taxiflotten wirtschaftlich betreiben zu können, muss eine möglichst hohe Auslastung der Fahrzeuge angestrebt werden. Dazu ist es notwendig, die aktuellen

² eXtended Floating Car Data; Ein Beitrag hierzu wird im Heft 10/2004 dieser Zeitschrift erscheinen

Fahrtwünsche den freien Kapazitäten möglichst orts- und dadurch zeitnah zuordnen zu können, wobei durch kurze Anfahrtswege gleichzeitig auch die Attraktivität der Dienstleistung gesteigert werden kann. Um dies zu erreichen wurden computergestützte Dispositionssysteme geschaffen, die jederzeit die aktuellen geografischen Positionen freier Fahrzeuge kennen und den Kundenanfragen zuordnen können. Die Taxis sind dazu mit GPS-Empfängern ausgestattet, um den aktuellen Standort und den exakten Zeitstempel ermitteln zu können. Außerdem sind die Taxameter an das System angebunden, damit der Betriebszustand des Taxis (besetzt oder frei) übertragen werden kann. Die Informationen werden der Dispositionszentrale über die Betriebsfunk-Frequenz zyklisch bekannt gegeben, wobei das Aktualisierungsintervall von der verfügbaren Bandbreite abhängt und sich entsprechend nach dem Betriebszustand jedes Taxis richtet. So melden frei verfügbare Fahrzeuge z.B. alle 40 Sekunden ihre Position, während besetzte Taxis, die für eine Disposition nicht zur Verfügung stehen, nur alle 180 Sekunden eine Meldung absetzen. Falls das Fahrtziel bekannt ist (z.B. Flughafen), wird auch diese Information im System verarbeitet.

Aus den Positionsmeldungen und Zeitstempeln kann in Verbindung mit der anonymisierten Fahrzeug-ID (Identifikations-Nr.) eine Wegekette gebildet werden. Dazu müssen die Geokoordinaten der Positionsmeldungen zunächst auf das Straßennetz referenziert werden. Hierfür gibt es mehrere Möglichkeiten. Das Bild 1 zeigt ein schematisiertes Straßennetz, das aus Straßenknoten und dazwischen liegenden gerichteten Straßenkanten besteht, und stellt Möglichkeiten der Georeferenzierung von Positionsmeldungen dar.

In einem ersten Schritt kann jede Positionsmeldung dem nächstliegenden Knotenpunkt des Straßennetzes zugeordnet werden. Anhand der chronologischen Abfolge der so ermittelten Netzpunkte können durch die gerichteten Verknüpfungen der Straßenkanten mittels eines Routensuch-Algorithmuses (z.B. [6]) Wegeketten gebildet werden, wobei es meist mehrere Möglichkeiten der Wegekettengbildung gibt, deren jeweilige Zutreffenswahrscheinlichkeit nicht nur von der Weglänge, sondern auch von Faktoren wie z.B. Straßenkategorie, zulässiger Geschwindigkeit, Anzahl der passierten Lichtsignalanlagen o.ä. abhängig ist. In weitmaschigen Netzbereichen führt diese Knotenpunkt-Referenzierung jedoch zu

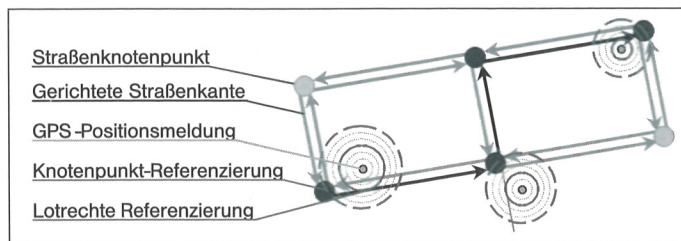


Bild 1: Möglichkeiten der Referenzierung von GPS-Positionsmeldungen auf ein Straßennetz

größeren Abweichungen bei der Berechnung der tatsächlich zurückgelegten Weglänge.

Eine höhere Genauigkeit bzgl. des tatsächlich zurückgelegten Weges zwischen zwei Positionsmeldungen kann erreicht werden, indem eine lotrechte Referenzierung auf die jeweilige Straßenkante durchgeführt wird. Als Referenzpunkt für die Positionsmeldung wird dabei der lotrechte Fußpunkt auf der virtuellen Geraden, die durch die Straßenkante verläuft, verwendet. Diese Methode ist jedoch nur sinnvoll, solange der lotrechte Fußpunkt innerhalb der Straßenkante liegt, andernfalls entstehen Fehler bei der Bildung der zurückgelegten Weglänge.

Aus den zurückgelegten Weglängen zwischen zwei Meldepunkten und der übertragenen Zeitdifferenz kann die mittlere Reisegeschwindigkeit errechnet werden. Bei dieser Berechnung muss berücksichtigt werden, dass Taxis teilweise berechtigt sind, Strecken zu nutzen, die für andere Fahrzeuge nicht freigegeben sind. Das Bild 2 zeigt die referenzierten Positionsmeldungen zweier Taxis bei einer Rundfahrt im Raum München am Donnerstag, dem 9.10.2003 zwischen 11:30 und 13:00 Uhr. Aus den von der Taxi-Dispositionszentrale IsarFunk bereitgestellten

FCD wurden Weg-Geschwindigkeits- und Weg-Zeit-Diagramme erstellt. Die Fahrt führte sowohl über innerstädtische Bereiche als auch Autobahnabschnitte, die anhand der unterschiedlichen Geschwindigkeit und räumlichen Meldungsdichte gut erkennbar sind.

Die durchschnittliche Verkehrsqualität LOS_{FCD} für die gesamte Weglänge zwischen zwei referenzierten Meldepunkten kann aus dem Verhältnis der übermittelten Zeitdifferenz (diese entspricht der real gemessenen Reisezeit) und der Summe aller idealen Teil-Reisezeiten auf den Straßenkanten ermittelt werden (Bild 3):

$$LOS_{FCD} = f_{LOS} \left(\frac{t_{FCD}}{\sum \frac{x_i}{v_i}} \right) = f_{LOS} \left(\frac{t_{FCD}}{t_{ideal}} \right)$$

Die Funktion f_{LOS} wandelt das Reisezeit-Verhältnis in eine LOS-Stufe um. In Anlehnung an das HCM können die LOS-Stufen wie folgt zugeordnet werden:

Stufe der Verkehrsqualität	Reisezeit-Verhältnis t_{FCD}/t_{ideal}
A	$\leq 1,1$
B	$1,1 < t_{FCD}/t_{ideal} \leq 1,4$
C	$1,4 < t_{FCD}/t_{ideal} \leq 2,0$
D	$2,0 < t_{FCD}/t_{ideal} \leq 2,5$
E	$2,5 < t_{FCD}/t_{ideal} \leq 3,33$
F	$> 3,33$

Taxi-FCD von IsarFunk in München am 9.10.03



Bild 2: Taxi-FCD der Dispositionszentrale IsarFunk in München am Do, 9.10.2003, 11:30 - 13:00 Uhr

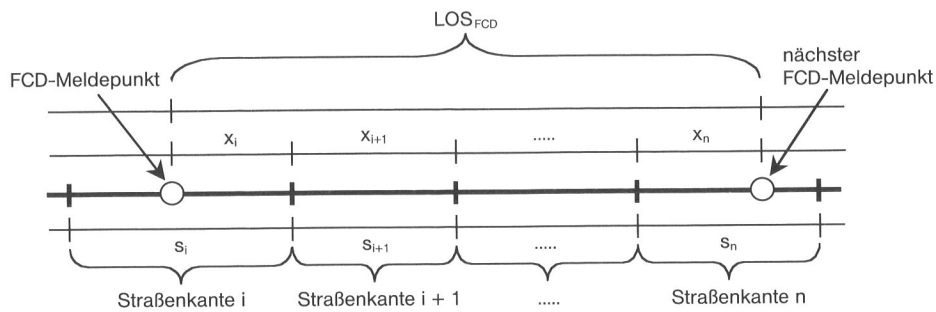


Bild 3: Schematische Darstellung der während einer FCD-Fahrt befahrenen Straßenkanten

- mit LOS_{FCD} = durchschnittliche Verkehrsqualität aus FCD für die gesamte Weglänge
- t_{FCD} = Reisezeit aus FCD für die gesamte Weglänge
- t_{ideal} = ideale Reisezeit für die gesamte Weglänge
- x_i = Teil-Weglänge der FCD-Fahrt auf der Straßenkante i
- v_i = ideale Reisegeschwindigkeit auf der Straßenkante i (z. B. zulässige Höchstgeschwindigkeit)
- i = laufender Index der bei der FCD-Fahrt befahrenen n Straßenkanten mit $1 \leq i \leq n$.

Anschließend kann diese Verkehrsqualität LOS_{FCD} entsprechend ihres Längensanteils x_i auf der einzelnen Straßenkante i zur Berechnung der jeweiligen Verkehrsqualität LOS_i berücksichtigt werden:

$$LOS_i(T) = \begin{cases} \frac{(s_i - x_i) \cdot LOS_i(T-1) + x_i \cdot LOS_{FCD}}{s_i} & \text{für } i=1 \text{ oder } i=n \\ LOS_{FCD} & \text{für } 1 < i < n \end{cases}$$

- mit $LOS_i(T)$ = Verkehrsqualität auf der Straßenkante i zum Zeitpunkt T
- s_i = Gesamtlänge der Straßenkante i .

4. Rechnergestützte Betriebsleistungssysteme des ÖPNV

In vielen Großstädten werden die Fahrzeuge des Öffentlichen Verkehrs online durch ein rechnergestütztes Betriebsleistungssystem (RBL) überwacht und disponiert. Für die Generierung von FCD sind vor al-

lem die straßengebundenen Fahrzeuge wie Busse oder Straßenbahnen relevant. Wichtige Fahrzeugdaten wie z. B. die Entfernung zur letzten Haltestelle oder der Belegungsgrad werden über Betriebsfunk zyklisch an das RBL übertragen. Das Übertragungsintervall ist von der Kapazität des Betriebsfunks abhängig und liegt zwischen 20 und 30 Sekunden. Die seit der letzten Haltestelle zurückgelegte Distanz wird in den Fahrzeugen direkt durch Radumlauf-Zähler gemessen. Gegenüber der satellitengestützten GPS-Ortung bietet diese Technologie den Vorteil, dass sie auch in engen Häuserschluchten und Unterführungen verfügbar ist, in denen GPS-Signale i. d. R. auf Grund der Abschattung kaum empfangen werden können. Die Zuordnung auf die entsprechenden Straßenkanten erfolgt anhand der festgelegten Fahrtroute der ÖV-Linie. Dabei ist zu beachten, dass ÖV-Fahrzeuge teilweise separate Fahrstreifen nutzen können und somit in diesen Bereichen nicht im direkten Zusammenhang mit dem Verkehrsgeschehen stehen. Vom RBL wird auch die aktuelle Fahrplanlage ermittelt, indem ein Vergleich durchgeführt wird zwischen der Soll-Zeit, die durch lineare Propagation entlang der Fahrtroute entsteht, und der gemessenen Ist-Zeit des ÖV-Fahrzeugs.

Für die Ableitung verkehrstechnischer Kenngrößen des Individualverkehrs wie

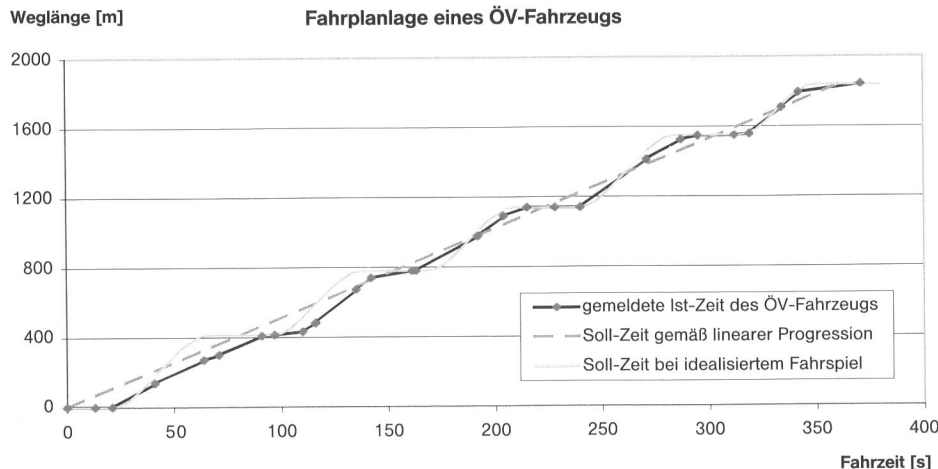


Bild 4: Fahrplanlage eines ÖV-Fahrzeugs gegenüber linearer Progression bzw. bei idealisiertem Fahrspiel zur Berücksichtigung der Fahrdynamik

Reisezeit oder Qualität des Verkehrsablaufes, ist diese Fahrplanlage allerdings nur bedingt geeignet, da sie neben den fahrdynamischen Anteilen auf der Strecke zwischen zwei Haltestellen auch die Haltezeiten selbst beinhaltet. Eine Alternative, die dieses Problem umgeht und realistischere Aussagen ermöglicht, ist die Gegenüberstellung der vom ÖV-Fahrzeug gemeldeten Positionsangaben mit einem idealisierten Fahrspiel, das auch den Beschleunigungs-, Verzögerungs- und Haltevorgang abbildet.

Das Bild 4 zeigt, wie sich die gemeldeten Ist-Zeiten eines ÖV-Fahrzeugs gegenüber der linearen Progression des RBL bzw. einer Abfolge idealisierter Fahrspiele darstellen.

Zur Ableitung einer Aussage über den aktuellen Verkehrszustand auf einer Strecke zwischen zwei Haltestellen können folgende Schritte durchgeführt werden: Zunächst muss eine Definition des idealen Fahrspiels zwischen diesen Haltestellen geschaffen werden. In vereinfachter Form besteht dieses aus der Beschleunigungsphase mit einer Beschleunigung von z. B. 1 m/s^2 , einer konstanten Geschwindigkeit von z. B. 45 km/h und einer Verzögerungsphase mit z. B. -1 m/s^2 . Die Haltezeit wird bei der Betrachtung der fahrdynamischen Anteile nicht herangezogen:

$$t(x) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2 \cdot x}{a_A}} & \text{für } 0 < x < \frac{v}{2 \cdot a_A} \\ \frac{v}{2 \cdot a_A} + \frac{x}{v} & \text{für } \frac{v}{2 \cdot a_A} \leq x \leq d - \frac{v}{2 \cdot |a_R|} \\ \frac{v}{2 \cdot a_A} + \frac{d}{v} + \frac{v}{2 \cdot |a_R|} - \sqrt{\frac{2 \cdot (d-x)}{|a_R|}} & \text{für } d - \frac{v}{2 \cdot |a_R|} < x < d \end{cases}$$

- mit $t(x)$ = Soll-Zeit in Abhängigkeit der zurückgelegten Wegstrecke x
- a_A = konstante Beschleunigung des ÖV-Fahrzeugs
- a_R = konstante Verzögerung des ÖV-Fahrzeugs
- v = konstante Geschwindigkeit während der Fahrt
- d = Entfernung der beiden Haltestellen.

Diesen idealisierten Soll-Zeiten können die Differenzen der Zeitstempel der RBL-FCD gegenübergestellt werden. Als Bezugspunkt wird hierbei die jeweils erste Meldung mit einer Entfernung $x > 0$ verwendet. Um eine Vergleichbarkeit herzustellen, werden die ermittelten Abweichungen normiert auf $[s/100m]$.

Die Menge der so generierten Datenpunkte bildet eine schiefe, unsymmetrische Verteilung der Abweichungen, die als Maß für die zum Zeitpunkt der jeweiligen Meldungsgenerierung vorhandene Verkehrsqualität herangezogen werden kann. Um bei der Beurteilung systematische externe Einflüsse wie z. B. Unstetigkeitsstellen durch Lichtsignalanlagen zu

Abweich



Bild 5

berü
gen
Schl
kann
größ
nete
dest
auf
zum
Im E
Stre
stelle
Ben

RBL-FCD (Fr, 13.2.04):

Tram 27, Pinakotheken -> Schellingstr. (360 m)

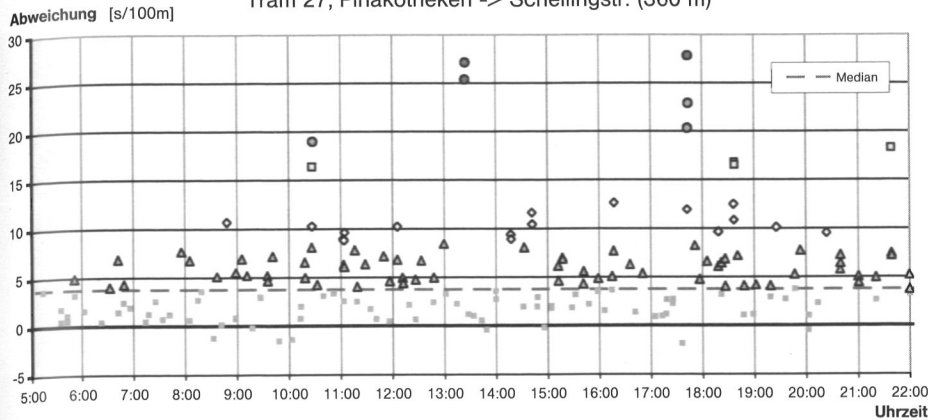


Bild 5: Tagesverteilung der normierten Abweichung vom idealisierten Fahrspiel auf einer Strecke zwischen zwei Haltestellen

berücksichtigen, werden die Abweichungen anhand des Medianwertes kalibriert. Schließt man andere Störquellen aus, so kann dann angenommen werden: Je größer die Differenz zwischen der errechneten Abweichung und dem Medianwert, desto schlechter ist die Verkehrsqualität auf dem betrachteten Streckenabschnitt zum Zeitpunkt der Meldungserzeugung. Im Bild 5 ist für einen 360 m langen Streckenabschnitt zwischen zwei Haltestellen einer Straßenbahnlinie mit straßenbündigem Gleiskörper die Verteilung

der normierten Abweichungen über einen Tag dargestellt. Am Vormittag und am frühen Abend traten verstärkt größere Abweichungen auf, was auf ein erhöhtes Verkehrsaufkommen in diesen Zeiträumen und dadurch verursachte Abweichungen schließen lässt.

Eine direkte Zuordnung der Abweichungen zu LOS-Stufen des MIV ist nicht oder nur in Grenzen möglich, da die ermittelten Abweichungen von den Fahrplanvorgaben des ÖV-Unternehmens abhängen. Das hier gezeigte Prinzip kann aber eine

unterstützende Methode zur Qualitätssicherung im ÖV darstellen.

5. Verknüpfung in Verkehrszentralen

Zur Rekonstruktion der aktuellen Verkehrslage auf dem Straßennetz werden die unterschiedlichen Informationen in einer Verkehrszentrale zusammengeführt und können dort durch Datenfusion veredelt werden. Voraussetzung für eine effiziente Anbindung aller Datenquellen und -senken ist dabei ein generisch gestalteter Datenverbund, der sowohl die Implementierung verkehrstechnischer Standard-Datenmodelle wie TLS³ oder OCIT⁴ ermöglicht, als auch spezifische Aspekte der einzelnen Systeme berücksichtigt. Entsprechende Lösungen sind derzeit in Entwicklung. Langzeit-Stabilität, Robustheit und Fehlertoleranz gegenüber Hardware-Ausfällen spielen im praktischen Einsatz eine entscheidende Rolle. Die Datenfusion selbst basiert im Grund-

³ Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen

⁴ Open Communication Interface for Road Traffic Control Systems

Es lebe modernes Design!

AKUSTIK | Made by RTB | +49 (0) 52 52/9706-0 | www.rtb-bl.de

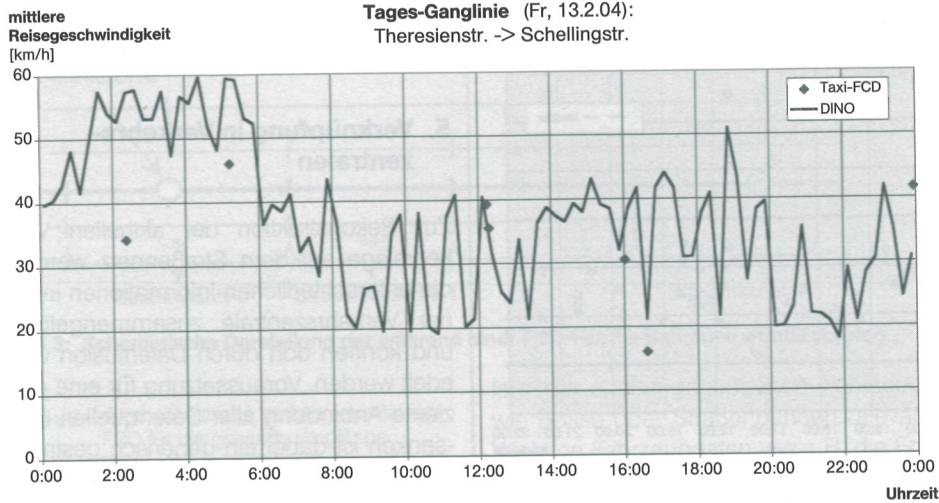


Bild 6: Gegenüberstellung einer Tages-Ganglinie der mittleren Reisegeschwindigkeit auf einem innerstädtischen Streckenabschnitt, die durch DINO (noch in der Erprobungsphase) errechnet wurde, mit der ermittelten realen Reisegeschwindigkeiten aus Taxi-FCD

satz auf einer komplementären Nutzung der spezifischen Informationsgehalte der vorliegenden Daten. Jedes Datum trägt dabei in unterschiedlicher Weise zur Vervollständigung eines zu Grunde gelegten allgemeinen, mehrdimensionalen Verkehrsmodells bei; die Dimensionen dieses Modells müssen neben Raum und Zeit, beide in unterschiedlicher Auflösung, die verschiedenen inhaltlichen Bezüge abbilden können (z.B. fahrzeugbezogen/verkehrsstrombezogen, verkehrsbezogen/umfeldbezogen). Zu beachten ist auch, dass die Daten mit unterschiedlicher, ggf. permanent schwankender Qualität vorliegen, also mit entsprechenden Vertrauensbereichen in die Fusionierung eingehen müssen.

Im Wesentlichen arbeitet die Fusionierung mit den inhaltlichen Ebenen

- statische Daten (z.B. Quelle-Ziel-Matrizen, Ganglinien, Netzstruktur)
- dynamische Querschnittsdaten von stationären Detektoren (z.B. Verkehrsstärke, Belegungsgrad)

- dynamische Streckendaten aus FCD von Flottensystemen (z.B. Reisezeiten, LOS_{FCD})

und erzeugt hieraus eine aktuelle Verkehrslageabbildung für das Gesamtnetz, sowie zusätzliche netzbezogene Verkehrsinformationen. Die heute in einigen Forschungsprojekten sowie von der Industrie entwickelten Netzmodelle sehen die Fusionierung in der einen oder anderen Form bereits vor. Die Netzmodelle selbst rekonstruieren die Verkehrslage im Wesentlichen nach vier Prinzipien:

- durch eine (quasi-)dynamische Umlegung auf Basis gegebener Quelle-Ziel-Matrizen, bei der die errechneten kanten- bzw. routenbezogenen Verkehrskenngrößen anhand der realen Daten (lokal und/oder strecken-/routenbezogen) korrigiert werden, indem das zu Grunde liegende Verkehrsmodell kalibriert wird [8]
- durch den Einsatz von Simulationsverfahren, hier zurzeit primär Zellulardaten, die durch die Messdaten

Bild 7: Daten der Taxi-Dispositionszentrale Taxi 878 aus Graz als Beispiel, welches Streckennetz durch 115 Fahrzeuge innerhalb von 10 Minuten abgedeckt wird (Sa, 24.5.03 22:55 - 23:05 Uhr)



als Input getrieben und anhand innen liegender Messstellen justiert werden [9]

- durch (iterative) Aufteilung der gemessenen Verkehrsstärken auf das die Messstelle umgebende Netz (sogenannte Messwertpropagierung [10])
- durch Verfahren der künstlichen Intelligenz, z.B. Neuronale Netze, die datenbasiert die Verkehrsmodellstruktur lernen und diese anhand weiterer Daten kontinuierlich adaptieren [11].

Die Integration der unterschiedlichen Informationsquellen kann auf verschiedenen Stufen des Prozesses erfolgen, vor der eigentlichen Verkehrslagemodellierung (stufenweiser Ansatz), innerhalb des Modells (geschlossener Ansatz), nach der Modellierung (paralleler Ansatz). Als Methoden der Fusionierung werden ebenfalls Verfahren der künstlichen Intelligenz wie Fuzzy-Systeme oder selbstlernende neuronale Netze, aber auch einfache Überlagerungen erprobt. Einen guten Überblick hierzu gibt das Merkblatt der FGSV zur Datenvervollständigung [12].

Das Bild 6 zeigt für einen Streckenabschnitt in München die vom dynamischen Netzmonitor DINO⁵ [8] (zu diesem Zeitpunkt noch in der Erprobungsphase) modellierten mittleren Reisegeschwindigkeiten. Diesen sind die durch Taxi-FCD von IsarFunk ermittelten realen Reisegeschwindigkeiten gegenübergestellt. Obwohl die Abweichungen in den Nachtstunden größer sind, zeigt sich tagsüber eine recht gute Übereinstimmung der Werte - Potenzial wie auch Problematik der Datenfusionierung werden offensichtlich.

Im Bild 7 ist am Beispiel der Stadt Graz gezeigt, welches Gebiet durch Taxis innerhalb von 10 Minuten abgedeckt wird. Dabei waren 115 Fahrzeuge (kleine Quadrate) gleichzeitig unterwegs. Entsprechend der mittleren Geschwindigkeiten sind nur die befahrenen Straßenkanten eingefärbt von rot (sehr langsam) bis dunkelgrün (sehr schnell).

Die netzweite Kenntnis der Verkehrslage und insbesondere von Störungsstellen des Verkehrsablaufes kann in einem integrativen Verkehrsmanagement strategisch genutzt werden. So können z.B. die LSA-Steuergeräte kritischer Knotenpunkte durch zusätzliche Steuerungsinformationen oder Schalt-Empfehlungen externer adaptiver Steuerungsverfahren beeinflusst werden. Konsistente Informationen über aktuelle Verkehrsstörungen können im Sinne einer Ausweichempfehlung

⁵ Dynamischer Netzmonitor

durch Anzeigetafeln oder andere Medien an die Verkehrsteilnehmer kommuniziert werden. Umgekehrt können die in der Verkehrszentrale veredelten Daten auch von den Betreibern von Dispositions- und Flottenmanagement-Systemen zur Optimierung genutzt werden, um z.B. Fahrzeuge auf weniger belastete Netzbereiche umlenken zu können.

6. Ausblick

Dispositionssysteme unterschiedlichster Art sind bereits in vielen Städten und Ballungsräumen vorhanden und technisch in der Lage, wertvolle ergänzende Informationen für das strategische Verkehrsmanagement bereitstellen zu können. Gleichzeitig befinden sich derzeit zahlreiche städtische Verkehrsmanagement-Zentralen im Aufbau, die zur Entfaltung ihrer Potentiale auf eine umfassende Information zum Verkehrsgeschehen angewiesen sind. Durch die Fusion zwischen stationär erfassten Daten und FCD entsteht ein beachtlicher Mehrwert, da beide Informationsquellen komplementär sind. Während die stationäre Detektion eine kontinuierliche punktuelle Versorgung mit Verkehrsdaten sicherstellt, können FCD großflächig diskrete Informationen z.B. über Störfälle liefern. Für die technische und operative Vernetzung all dieser Systeme ist eine integrative Beteiligung aller Partner erforderlich. Die Prinzipien der Fusionierung von stationärer Datenerfassung und mobilen Informationsquellen können mittels moderner Flottenmanagement- oder Maut-Systeme auch auf den überregionalen Verkehr übertragen werden.

Verbesserungs- und Optimierungspotenzial besteht in vielen Bereichen der Thematik. So können die Zuordnung der GPS-Positionsmeldungen zu den richtigen Kanten des Straßennetzes und die Routensuche selbst durch die Betrachtung historischer Daten verfeinert werden. Berechnete Routen können so zum Beispiel im Nachhinein modifiziert werden, wenn eine neue Meldung des Fahrzeugs eine andere Routenwahl nahe legt. Für

die Nutzung von RBL-FCD in der gezeigten Form ist eine nähere Betrachtung des Zusammenhangs zwischen der normierten Abweichung von der Fahrplanlage und dem Verkehrszustand auf dem Streckenabschnitt notwendig. Der Ansatz über ein idealisiertes Fahrspiel bietet hier noch vielversprechende Möglichkeiten zum Beispiel im Zusammenspiel mit der Lichtsignalsteuerung. Durch den Aufbau historischer Datenbanken mit real erfassten Daten und einer rückgekoppelten Verknüpfung mit externen Informationen, wie z.B. Großereignissen (Fußballspiel) oder Wetter (Schneefall), können sowohl Rückfallebenen für einen temporären Ausfall von Datenquellen als auch Modellierung und räumlich-zeitliche Prognose deutlich verbessert werden.

In systemtechnischer Hinsicht ist festzustellen, dass der Verarbeitung von Online-Daten heute in vielen Fällen noch technologische Grenzen gesetzt sind. Die Schaffung eines umfassenden Datenverbundes, an den alle beteiligten Systeme angebunden werden sollen, gestaltet sich meist schwierig, da bestehende Systeme nur eingeschränkte Schnittstellen bereitstellen und das real auftretende Datenaufkommen oft unterschätzt wird. Durch die Datenübertragung entstehen teilweise erhebliche Zeitverluste, so dass dadurch unter Umständen eine Online-Verarbeitung scheitert.

Die fortschreitende Entwicklung im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnik wird jedoch zu einer Vereinfachung der genannten Aspekte führen. Dynamische Navigationssysteme und Routing-Dienste, genauere Positionsbestimmung mittels Galileo und die nach wie vor steigende Verkehrsbelastung lassen eine weitere Verbreitung von Dispositionssystemen erwarten. Zusammen mit den neuesten Entwicklungen im Bereich der Mobilfunk-Ortung eröffnen sich für die Verkehrstechnik damit ausgezeichnete Möglichkeiten, dem Ziel einer hochqualitativen netzweiten Verkehrslagerekonstruktion und -prognose als Basis für Verkehrsinfos, -steuerung und -management deutlich näher zu kommen.

Literaturverzeichnis

- 1 Huber, W.: Fahrzeuggenerierte Daten zur Gewinnung von Verkehrsinfos, SchR Fachgebiet Verkehrstechnik, Technische Universität München, 2001
- 2 Lehmann, H.; Willenbrock, R.; Zemplin, F.; Paulsen, R.; Schönewolf, W.: Verkehrsmusteranalyse innerörtlicher Netze mittels Floating Car Data (FCD), Straßenverkehrstechnik 9/2001
- 3 Keller, H.; Fakler, O.; Gnatz, C.; Glas, F.: MOBINET Mofada, Nutzung fahzeuggenerierter Daten zur Abschätzung der Verkehrslage, Bericht zum MOBINET-Teilprojekt, 2002
- 4 Alger, M.; Quartier, F.; Gerasimon, N.: Road Traffic Information from GSM Signaling Data, Results and Applications, ITS Europe, Budapest, 5/2004
- 5 Bermann, E.: ASAP - FCD-Pilot, Nicht-öffentlicher Untersuchungsbericht für callmax, PTV 2003
- 6 Rose, M.: Kritische Analyse von Routensuchverfahren, SchR Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau, Universität Hannover, 1996
- 7 Highway Capacity Manual, HCM 2000, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C. 2000
- 8 Logi, F.; Ullrich, M.; Keller, H.: Traffic Estimation in Munich: Practical Problems and Pragmatic Solutions, Fourth International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Oakland/CA 2001
- 9 Schreckenber, M.; Eser, J.: Microscopic Simulation of Urban Traffic based on Cellular Automata, Int. Journal of Mod. Physics, 1997
- 10 Vortisch, P.: Umlegungs-basierte Messwertpropagierung zur Verkehrszustandsberechnung, Heureka, Karlsruhe 2002
- 11 Mathias, P.: Statische und dynamische Verkehrsumlegung mit Rekurrenten Neuronalen Netzen, Shaker Verlag (ISBN 3-8265-6720-X), Herzogenrath 1999
- 12 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Hinweise zur Datenvollständigung und Datenaufbereitung in verkehrstechnischen Anwendungen, Köln 2003

GRI

GRI

GRI

GRI

GRI

- Verkehrsplanung
- Objektplanung
- Verkehrstechnik

- Projektmanagement
- Umwelt
- Moderation

Gesellschaft für Gesamtverkehrsplanung, Regionalisierung und Infrastrukturplanung mbH

Geisbergstraße 38 - 10777 Berlin - Telefon: 030 / 214 59 09 0 - Fax: 030 / 214 59 09 20 - E-Mail: gri@gri-berlin.de - http://www.gri-berlin.de