Neue Ansätze im Verkehrsmonitoring durch Floating Car Daten

Ralf-Peter Schäfer, Astrid Gühnemann, Kai-Uwe Thiessenhusen

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Institut für Verkehrsforschung
Rutherfordstrasse 2
12489 Berlin
ralf-p.schaefer@dlr.de

Kurzfassung

Um die vorhandene Verkehrsinfrastruktur effizienter zu nutzen und eine Entzerrung des Verkehrsaufkommens zu erreichen, werden in Zukunft neue Dienste auf der Basis hochwertiger Verkehrsinformationen die Grundlage für ein intelligentes, strategisches Verkehrsmanagement bilden. Das Ziel ist es, ein an die Bedürfnisse der Nutzer angepasstes und gleichzeitig dauerhaft umweltverträgliches und gesellschaftlich tragbares Verkehrssystem zu ermöglichen. In unserem Beitrag wird ein Ansatz vorgestellt, auf der Grundlage von Floating Car-Daten (FCD) eines Taxi-Dispositionssystems Informationen über den aktuellen Verkehrszustand zu generieren und für neue Dienste wie ein Echtzeit-Verkehrsmonitoring, dynamische Routensysteme oder ein Monitoring von Umweltwirkungen des Verkehrs zu nutzen.

Im ersten Teil des Beitrags wird ein neuer Ansatz zur Erfassung der Floating-Car-Daten aus Fahrzeugen vorgestellt, die bereits mit Navigationstechnik ausgerüstet sind. Das Kernstück dieser Systeme bildet ein in jedem Fahrzeug eingebauter GPS-Empfänger (Global Position System), der über einen Betriebsfunk- oder Mobilfunkkanal (GSM) die Positionsdaten zu einer Zentrale sendet. Aus den Positionsdaten lassen sich die fahrdynamischen Eigenschaften des Einzelfahrzeuges und über die Reisezeiten auch Informationen über die Verkehrsdichte extrahieren. Zur Publikation der gewonnenen Verkehrsdaten wird ein webgestütztes Informationssystem aufgebaut, das über die Standorte der Fahrzeuge und ggf. über Stausituationen informiert. Seit April 2001 wurden aus 2000 Taxis bereits mehr als 100 Millionen GPS-Positionsdaten aufgezeichnet. FCD-Systeme laufen bereits in Berlin, Wien, Stuttgart, München und Nürnberg. Diese Daten bilden eine exzellente Basis für ein Data Mining, mit welchem die täglichen Reisezeit-Variationen auf den städtischen Straßennetzen wiederberechnet werden können. Basierend auf diesen Daten wurde im DLR ein dynamischer Mobilitätsdienst entwickelt, der z.B. über das Internet verfügbar ist. Zukünftige kommerzielle Anwendungen wie ein Flottenmanagement können ebenfalls von diesen Daten profitieren.

Unter dem Aspekt eines umweltverträglichen, intelligenten Verkehrsmanagements widmet sich der zweite Teil unseres Beitrags der Nutzung der gewonnenen Daten für dynamische Emissionsmodelle als Grundlage eines Umweltmonitoring und –management des Straßenverkehrs. Konventionelle Emissionsmodelle basieren auf gemittelten Fahrzyklen für typische Verkehrszustände. Hier wird dagegen der Ansatz verfolgt, die aus den FCD rekonstruierbaren Fahrzustände für eine exaktere, dynamische Emissions-Modellierung zu nutzen. Das vorgeschlagenen Emissionsmodell ist in ein Geographisches Informationssystem eingebettet, das in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung den aktuellen Zustand der Umweltbelastung durch den Verkehr visualisiert.

Schlagworte: Datenerfassung mit Floating Car Daten, Datenprozessierung, Mobilitätsdienste, Dynamisches Routing und Navigation, Wirkungsmodelle

1. Taxi - Floating Car Daten

In den vergangenen Jahren wurden verschiedene Projekte zum Thema flächenbezogene Verkehrsdatenerfassung bearbeitet. Neben optischen Verfahren rückt die FCD-Technologie zunehmend in den Mittelpunkt der Forschung, wobei auch erste kommerzielle Aktivitäten begonnen wurden. Verkehrsdaten aus FCD sind deshalb sehr interessant, da sie ergänzend zu stationären Verkehrssensoren auch genaue Reisezeitinformationen liefern. Das ist insbesondere in städtischen Straßennetzen sehr wichtig, weil der Verkehrsfluss durch eine Vielzahl von Einflussfaktoren, wie Lichtsignalanlagen, Parkverkehre usw. geprägt ist. Eine hochgenaue Rekonstruktion der Reisezeiten aus Verkehrsstärkemessungen ist daher hinreichend schwierig bzw. im Hinblick auf die notwendigen Infrastrukturkosten kaum zu realisieren.

Als ein Alternativansatz erweist sich –neben modellgestützten Ansätzen die FCD-Technologie, bei welcher die Reisezeiten und die Routenwahl über im Verkehr "mitschwimmende" Fahrzeuge beispielsweise durch den Einsatz von Ortungstechnik ermittelt werden. Der Betrieb erster kommerzieller FCD-Pilotsysteme hat gezeigt, dass zum erfolgreichen Einsatz dieser Technologie eine hinreichend große Stichrobe an Referenzfahrzeugen verfügbar sein muss. Auch die zur Zeit noch sehr hohen Kommunikationskosten zur regelmäßigen Übertragung der Fahrzeugposition bzw. Geschwindigkeit an eine Leitstelle haben sich als Hemmnis für die schnelle Verbreitung dieser Technologie herausgestellt.

Ein weiteres wesentliches Hemmnis bei der Verbreitung von Telematiklösungen besteht in der mangelnden Akzeptanz der Nutzer, weil die Nutzerbedürfnisse unzureichend berücksichtigt wurden, sowie in fehlenden bzw. unzureichenden Geschäftsmodellen.

Zur Überwindung der angesprochenen Problemfelder wurde eine FCD-Technologie entwickelt, die speziell in Ballungsräumen eine qualitativ hochwertige und zeitnahe Sensorik der Verkehrslage erlaubt [1]. Als Meldefahrzeuge dienen Taxis, die in großer Anzahl in allen Städten verfügbar sind. Aufgrund der bereits vorhandenen Ortungs- und Kommunikationstechnik zur Flottendisposition sind keine Investitions- und Wartungskosten notwendig. Die zur Disposition zyklisch bis zu vier Mal pro Minute aufgezeichneten Positionsdaten werden über eine eigene Funkinfrastruktur zur Taxizentrale übertragen, wodurch keine zusätzlichen Kommunikationskosten entstehen. Die primär zur Online-Vermittlung von Kundenaufträgen verwerteten Ortungsdaten stellen eine sehr gute Datengrundlage bzw. Ergänzung zu den stationär gemessenen Verkehrsdaten dar. Bestehende Verkehrsinformations-, Routing- und Navigationsdienste können in bisher nicht erreichter Qualität mit den erforderlichen Reisezeitdaten und Routeninformationen in Echtzeit versorgt werden. Im Rahmen eines Pilotvorhaben wurden bereits 2000 Taxis in das FCD-System integriert, wodurch in Berlin, Wien, Stuttgart und München Echtzeit-FCD in einer bisher unerreichten zeitlichen und räumlichen Abdeckung zur Verfügung stehen.

2. Datenanalyse aus GPS-FCD von Taxis

Floating Car Daten enthalten a priori nur gemessene Geschwindigkeiten bzw. Reisezeiten. Verkehrsstärken (Flüsse) bzw. Verkehrsdichten sind nicht direkt in den Daten enthalten und müssen abgeleitet werden. Der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeiten und Flüssen bzw. Dichten ist für ungestörte Systeme (d.h. auf freier Strecke) gut erforscht. In einem weiten Gebiet (solange die Fahrzeuge sich nicht gegenseitig stören) ist die Geschwindigkeit in praktisch konstant und unabhängig von der Dichte. Bei höheren Dichten wachsen dagegen die Störungen; die Geschwindigkeit nimmt mit der Dichte ab bis hin zum Stau und völligem Verkehrszusammenbruch bei einer Maximaldichte.

Man kann so leicht aus Bestimmungen der Verkehrsdichte auf die Geschwindigkeit schließen; andersherum ist ein Schluss aus gemessenen Geschwindigkeiten auf Dichten bzw. Verkehrsstärken bei relativ niedrigen Dichten problematisch, da die Geschwindigkeiten zu

einem großen Dichtebereich passen; bzw. wenn sie aus irgendwelchen Gründen nur minimal unterhalb des typischen Wertes liegen, sie auf unrealistisch hohe Dichten (bzw. Verkehrsstärken) schließen lassen.

Im hier untersuchten Ballungsraumverkehr, d.h. in einem Netz mit vielen Knoten sieht die Lage jedoch etwas anders aus. Abbildung 1 zeigt den typischen werktäglichen Tagesgang der mittleren Geschwindigkeiten aus den Taxidaten im Berliner Stadtgebiet.

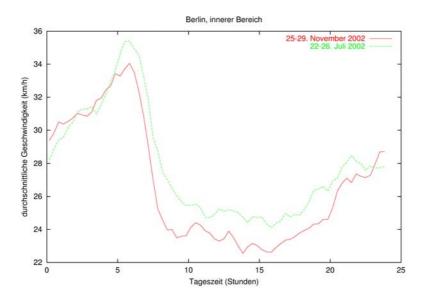


Abb. 1: Tagesgang der mittleren Geschwindigkeit aus den Taxi-FCD im inneren Berliner Bereich. Die mittlere werktägliche Geschwindigkeit ist als Funktion der Tageszeit gemittelt jeweils über eine Woche (Mo-Fr) im Herbst und Sommer dargestellt.

Der Tagesgang der Geschwindigkeit folgt prinzipiell dem gleichen Muster: Nachts ist es deutlich schneller als am Tage; das Geschwindigkeitsmaximum wird am frühen Morgen gegen 5 Uhr erreicht. Das globale Minimum der Geschwindigkeit liegt im Nachmittagsberufsverkehr. Generell ist das Geschwindigkeitsniveau tagsüber in den Ferien größer als in der Schulzeit. Auffällig ist aber, dass die Geschwindigkeiten abends und nachts, wenn kaum mit Staus gerechnet werden kann, keineswegs konstant sind, sondern sehr deutlich mit der Zeit variieren. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass anders als im Fall der freien Strecke, bereits bei relativ kleinen Dichten die Geschwindigkeit mit wachsender Dichte abnimmt. Damit ist prinzipiell eine Rückrechnung auf die Dichten (und damit auch auf die Verkehrsstärken) aus der Geschwindigkeit möglich. Jedoch hängt dieser Zusammenhang von vielen örtlich variablen Parametern (Netzgeometrie, Straßenquerschnitt, Wirtschafts- und Parksuchverkehr, Ampelschaltungen...) ab und kann letztlich nur empirisch für ein bestimmtes Gebiet betrachtet werden.

Der Unterschied zwischen Stadtverkehr und freier Strecke ist vor allem durch die vielfältigen Einflüsse bedingt, den die Knoten auf den Verkehrsfluss haben. So beeinflusst bereits relativ geringer Querverkehr den Verkehr auf einer kreuzenden Straße merklich. Auch hinsichtlich der Emissionsbilanz ist die Verkehrslage an solchen Knoten von entscheidender Bedeutung, da Anfahren und Beschleunigungen entscheidend zum Schadstoffausstoß beitragen. Welchen Einfluss die Knoten auf den Verkehrsfluss haben, ist in Abbildung 2 dargestellt.

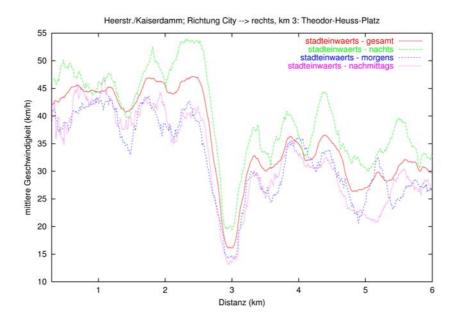


Abb. 2. Mittlere Geschwindigkeit aus den Taxi-FCD für den Straßenzug Heerstr. /Theodor-Heuß-Platz/Kaiserdamm in Berlin. Die mittlere Geschwindigkeit der stadteinwärts fahrenden Fahrzeug ist als Funktion des Ortes entlang dieses Straßenzuges dargestellt. Der Theodor-Heuß-Platz ist etwa bei Kilometer 3; davor (bei kleineren x-Werten) liegt die Heerstr., danach der Kaiserdamm stadteinwärts. Dargestellt sind die mittlere Geschwindigkeiten über den kompletten Tag gemittelt, sowie über jeweils zwei Stunden morgens, nachmittags und nachts. Es wurde nur der durchgehende Verkehr ohne abbiegende Fahrzeuge untersucht.

Die mittlere Geschwindigkeit variiert von Ort zu Ort. An den Kreuzungen sind deutliche Geschwindigkeitsabfälle zu sehen. Da die Taxi-FCD jeweils über 30s kumulierte Werte enthalten, sind die Geschwindigkeitsabfälle an den Kreuzungen in dieser Darstellung letztlich etwas breiter und weniger tief, als sie für einzelne Fahrzeuge sind. Die Reisezeit entlang dieser Strecke ergibt sich durch Integration der Geschwindigkeit über den Weg. Die mittleren Reisezeitverluste an den Knoten (und damit letztlich ein Maß dafür, im welchen Umfang Bremsen/Beschleunigen dort nötig ist) lassen sich dadurch erhalten, indem dort statt der realen Geschwindigkeit an den Knoten die Werte von Streckensegmenten entfernt von den Knoten angenommen werden.

Abbildung 3 zeigt diese Reisezeitverluste entlang dieser Strecke als Funktion der Tageszeit.

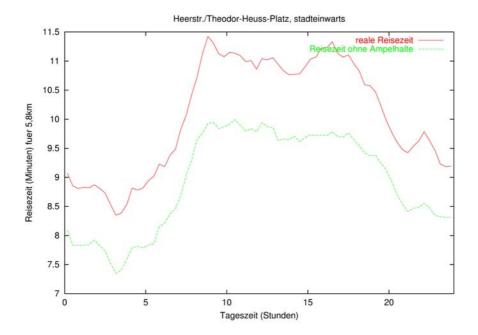


Abb 3: Reisezeit für einen 5,8 km langen Abschnittes Heerstr./Theodor-Heuß-Platz/Kaiserdamm in Berlin als Funktion der Tageszeit. Die rote Kurve stellt die reale Reisezeit, bestimmt aus den Taxi-FCD, dar. Die grüne Kurve ist eine fiktive Kurve, in der die Geschwindigkeiten in den Knotenbereichen durch die auf freier Strecke entlang der umliegenden Kanten ersetzt wurden.

Die Reisezeitverluste an den Knoten sind tags auch anteilig höher als nachts. Wie auch aus Abbildung 2 hervorgeht, sind die großen Knoten jedoch nicht die einzige Quelle von Geschwindigkeitsunterschieden in der Nacht verglichen mit dem Tagesverkehr. Auch dazwischen gibt es deutliche Unterschiede; Verkehr aus Nebenstraßen oder Parksuchverkehr sind mögliche Ursachen für die merkliche Abhängigkeit der Geschwindigkeit vom Verkehrsaufkommen in der Stadt.

3. Berechnung linkbezogener Reisezeiten aus Taxi-FCD

Wie bereits erwähnt wurde, bilden die GPS-Positionsmeldungen der angeschlossenen Taxis die Grundlage des Verfahrens zur Reisezeitberechnung. Dabei werden die Positionen bis zu vier Mal pro Minute gemeldet. Zur Datenkommunikation zwischen Fahrzeug und Leitstelle nutzen dabei traditionell die Taxibetriebe eigene Betriebsfunkfrequenzen, wodurch das viel diskutierte Problem der Kommunikationskosten entfällt. Die übertragenen Daten zur Leitstelle bestehen aus der Fahrzeug ID, der geografischen Position, dem Zeitstempel der Positionsaufzeichnung sowie einer Statusmeldung des Taxis (besetzt, frei, wartend etc.). Gerade die Statusmeldungen sind enorm wichtig, um die für den normalen Verkehr repräsentativen Fahrmuster aus den Fahrzeugtrajektorien zu extrahieren. In der Leitstelle werden die aufgelaufenen Positionsdaten primär zur Disposition der eingehenden Kundenaufträge verwendet, indem immer das zum Kundenstandort nächstgelegene Fahrzeug ermittelt wird. Als direkten Synergieeffekt können die GPS-Positionen auch für qualitativ hochwertige Verkehrslageinformationen verwendet werden. Dazu werden die Positionsdaten nachprozessiert und über ein Map-Matching Verfahren auf eine digitale Straßenkarte projiziert. Um den Fahrtverlauf zu rekonstruieren wird danach über ein Routingverfahren [2][3] der wahrscheinliche Wegepfad ermittelt, wobei zugleich mögliche GPS-Fehlortungen durch Multi-Path oder Verschattungseffekte eliminiert werden. Unter Berücksichtigung der Art des passierten Straßennetzes (Autobahn, Stadtstraße, Nebenstraße etc.) werden wird jedem passierten Straßensegment eine aus der Position und dem Zeitstempel rekonstruierte mittlere Geschwindigkeit zugeordnet. Aufgrund der hohen Anzahl von Meldefahrzeugen kann in sehr kurzer Zeit eine umfangreiche historische Datenbasis aufgebaut werden, die eine sehr zeitliche und räumliche Segmentierung der gefahrenen Geschwindigkeiten im Straßennetz zulässt. In Abbildung 4 und 5 sind die Positionen und abgeleiteten Linkgeschwindigkeiten für das Berliner und Wiener Testfeld gezeigt. Die Geschwindigkeiten wurden auf Basis der Positionsdaten von 132 angemeldeten Fahrzeugen (Berlin) und 212 angemeldeten Fahrzeugen in Wien berechnet.

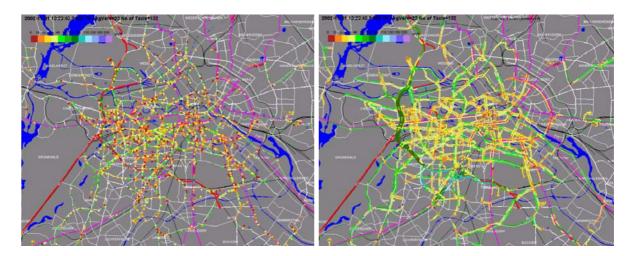


Abb. 4: Positionen und Linkgeschwindigkeiten aus FCD in Berlin (Zeithorizont 1 Stunde)

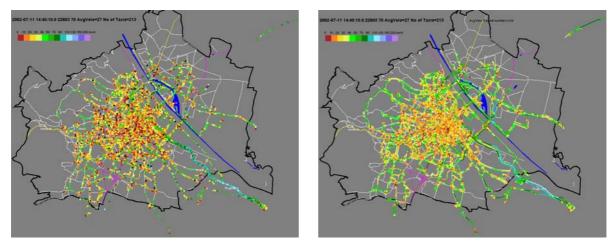


Abb. 5: Positionen und Linkgeschwindigkeiten aus FCD in Wien (Zeithorizont 1 Stunde)

Wochentags- und Tagesganglinien können auch für spezielle Determinanten der Reisezeitvarianz, wie Wettererscheinungen, Ferienzeiten oder Eventeinflüsse ermittelt werden. Damit steht sowohl für Routenplanung als auch für hochqualitative Echtzeit Mobilitätsdienste eine sehr gute Datenbasis zur Verfügung.

4. Verkehrsinformationsdienste auf Basis der Taxi-FCD

Zur Demonstration von Basisdiensten für Verkehrsteilnehmer wurde ein Vekehrslagemonitoringsystem aufgesetzt. Das internetbasierte System ermittelt auf Basis der in einem Zeitfenster von 30 bzw. 60 Minuten auflaufenden FCD die Level of Service Kenngrößen für die von den Fahrzeugen passierten Straßenabschnitte. Dabei werden verschiedene Referenzierungsmodelle angeboten. Das Standardverfahren bezieht sich auf die Maximalgeschwindigkeit des Straßenabschnitts. Alternativ kann auch die durchschnittliche Geschwindigkeit auf Basis der historischen Daten als Bezugssystem verwendet werden. Dabei werden dann nur Abweichungen (Verbesserung, Verschlechterung) vom Normalzustand angezeigt. In Abbildung 6 ist die Verkehrslage in Wien für den 03.06.2003 dargestellt. Die Vielzahl der aufgetretenen Staus im südlichen und westlichen Teil Wiens sind in einem Streik des ÖPNV-Systems begründet. Interessanterweise traten die Staus nur kurzzeitig in den Hauptverkehrszeiten am Morgen und Abend auf. Aufgrund der rechtzeitigen Streikankündigung im ÖPNV wurden vermutlich viele nicht unbedingt notwendige Fahrten in die Innenstadt vertagt.

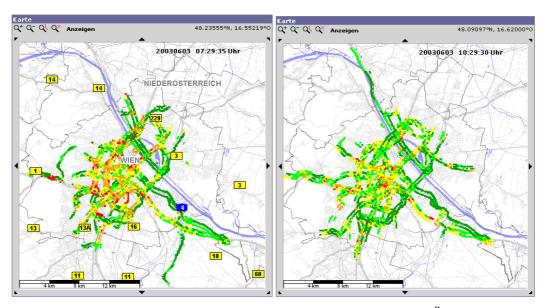


Abb. 6. Verkehrslage Wien am 3.6.03 um 7:29 und 10:29 (Streiktag im ÖPNV)

Die berechneten Geschwindigkeitswerte können auch für Staumelderdienste verwendet werden, wie z.B. RDS/TMC-Meldungen (soweit eine Location-Code Liste verfügbar ist), DAB-TPEG, SMS oder WAP-Services.

Weiterhin können Routenplanungs- und Navigationsdienste mit dynamischen Verkehrsdaten versorgt werden. Konventionelle Routenplaner arbeiten bisher auf straßentypebezogenen Linkgeschwindigkeiten. Dadurch besteht ein hohe Wahrscheinlichkeit, dass die berechneten Routenvorschläge auf Basis unrealistischer Reisezeitinformationen ermittelt wurden und die Reisezeitprognose sowie der Routenvorschlag stark von der Realität abweicht.

Um die Qualität der aus FCD berechneten Reisezeitinformationen zu überprüfen, wurde ein Echtzeit-Routenplaner entwickelt. Dieser City-Routenplaner kann in verschiedenen Betriebsmodi genutzt werden. Einerseits werden Routenoptimierungen (z.B. schneller oder kurzer Weg) über die Integration von Echtzeit-FCD ausgeführt, andererseits können Routenvorschläge auf Basis historischer FCD gegeben werden. Das System ist im Internet verfügbar und wurde inzwischen auch für Nutzung in mobilen Endgeräten erweitert. Neben einem WAP-Service zur Routeninformation steht ein Prototyp eines PDA-gestützten Off-board Na-

vigationsgerätes zur Verfügung. Mit Bezug auf die Philosophie der Off-board Navigation, indem die Routenoptimierung außerhalb des Fahrzeuges erfolgt, können aktuelle Daten direkt in die Routenoptimierung einfließen. Damit steht ein interessantes Steuerungsinstrument für den Individualverkehr zur Verfügung.

Gerade im Hinblick auf die hohe räumliche und zeitliche Abdeckung der o.g. Stadtgebiete mit FCD sind die Routeninformation qualitativ sehr hochwertig und aufgrund der Synergieeffekte mit der Taxidisposition auch sehr kostengünstig. In Abbildung 7 sind die Nutzerschnittstellen des Cityroutenplaners und des Off-board Navigationssystems gezeigt.



Abb. 7. Web-gestützter City-Routenplaner und PDA-gestütztes Off-board Navigationsgerät

Weitere Anwendungsgebiete können auch für andere Themengebiete erschlossen werden. So können die FCD auch als ein Baustein der Wirkungsanalyse des Individualverkehrs zum Beispiel bei der Berechnung dynamischer Schadstoffemissionsmodelle genutzt werden.

5. Emissionsmodellierung auf Basis von Taxi-FCD

Wie im zweiten Abschnitt beschrieben, lassen sich aus den Floating-Car-Daten Informationen über die Geschwindigkeitsprofile sowie die Verkehrsdichten auf den Netzen generieren. Diese Informationen können für ein dynamisches Umweltmonitoring des Straßenverkehrs genutzt werden, um z.B. Verkehrsmanagement-Strategien in Hinblick auf ihre Umweltverträglichkeit zu überprüfen. Mit diesem mittelfristigen Ziel wird zunächst ein dynamisches Emissionsmodell auf Grundlage der aus den FCD rekonstruierten Verkehrszustände erstellt und zur Visualisierung in ein geographisches Informationssystem eingebettet. Gegenüber konventionellen Modellen liegt der Vorteil liegt, dass lokale und zeitliche Spitzen aufgrund der hohen Auflösung der Daten und der vorliegenden Informationen über Fahrtzustände besser abgebildet werden können.

Basis der Emissionsberechnungen sind zunächst die über einen im Zeitraum eines Jahres (Juni 2002 bis Mai 2003) gesammelten Taxi-FCD für die Stadt Berlin und die daraus ermittelten durchschnittlichen Fahrzustände in einer stündlichen Auflösung differenziert nach Wochentagen.

Das generelle Ziel ist, die gesamten vom Verkehr auf dem Berliner Straßennetz erzeugten Emissionsmengen zu berechnen. Da die FCD jeweils über die Geschwindigkeiten einzelner Fahrzeuge mitteln, wäre zunächst nur eine Aussage über das Emissionsverhalten eines einzelnen durchschnittlichen Pkws unter Zugrundelegen des ermittelten typischen Geschwindigkeitsprofils möglich. Die Herausforderung für die Erstellung eines Gesamtemissionsbildes liegt nun darin, aus den Geschwindigkeiten auf die Verkehrsflüsse und anschließend auf die

gesamten Emissionen der Straßenabschnitte zu schließen. Damit liegt genau das reziproke Problem zur üblicherweise notwendigen Bestimmung von Geschwindigkeiten bzw. Reisezeiten aus Querschnittszählungen der Verkehrsflüsse vor. Wie bereits im Kapitel 2 beschrieben, beeinflussen jedoch im Stadtverkehr vielfältige Einflüsse die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten, so dass für die Ermittlung der Verkehrsflüsse ein iteratives Verfahren gewählt wird, das diese Einflüsse sukzessive abfängt.

Im ersten Ansatz werden vorhandene Verkehrsstärke-Geschwindigkeitsfunktionen aus Standardwerken der Verkehrsplanung angewendet. Erste Auswertungen wurden mit den Funktionen der EWS (Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen) [4] vorgenommen. Diese besitzen den Vorteil, dass die Geschwindigkeiten nur von definierten Straßentypen, der Längsneigung, Kurvigkeit und den Verkehrsstärken abhängen und so mit einer geringen Anzahl von Einflussparametern beschrieben werden können. Um den Kanten der von uns verwendeten digitalen Kartengrundlage der Firma Navtech Kapazitätsfunktionen zuordnen zu können, wurden diese über die Auswertung ihrer Kantenattribute (Typ, Geschwindigkeit, Anzahl Fahrspuren) den EWS-Streckentypen zugeordnet.

Dann wurden die Umkehrfunktionen der EWS-Geschwindigkeitsfunktionen auf die gemessenen Geschwindigkeiten entsprechend ihres Streckentyps angewendet. Da das Navtech-Netz sehr hoch aufgelöst ist und in Berlin Steigungen praktisch keine Rolle spielen, wurden die Kurvigkeit und die Längsneigung auf Null gesetzt. In anderen Regionen wäre hier eine Zuordnung dieser Attribute über ein GIS möglich.

Die EWS-Funktionen unterscheiden drei Bereiche namens "Empirie" (mit flüssigem Verkehr), "Übergang" (Zusammenbruch der Geschwindigkeiten) und "Stau" (minimale, konstante Geschwindigkeit). Damit wird grundsätzlich die Geschwindigkeit auf freien Strecken ermittelt, so dass innerorts die gemessenen Realgeschwindigkeiten durch Knotenpunkteinflüsse niedriger liegen. Bei der Auswertung der ersten Ergebnisse zeigte sich dieser Effekt in einer deutlichen Überschätzung der Verkehrsflüsse. Daher wurden in einem ersten Annäherungsschritt die gemessenen Geschwindigkeiten über einen Korrekturfaktor proportional zur maximal möglichen Geschwindigkeit nach EWS angepasst. Auf Basis dieser korrigierten Danten wurden anschließend die Flüsse neu bestimmt.

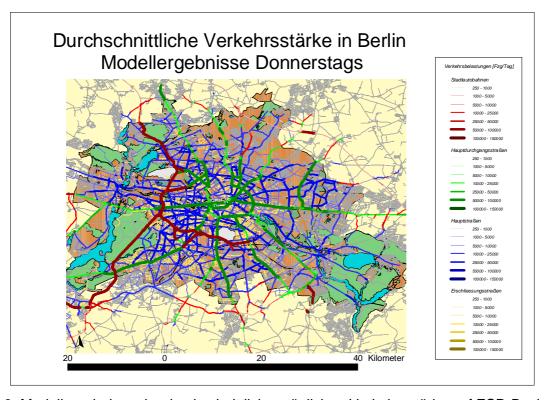


Abb. 8: Modellergebnisse der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke auf FCD-Basis

Die Auswertung zeigt, dass hiermit die Struktur der Flüsse, wie in Abbildung 8 zu erkennen, realitätsnah wiedergegeben wird. Letzteres wurde durch eine Messkampagne bestätigt, in welcher die Verkehrsflüsse für eine Hauptdurchgangsstraße in Berlin (Kantstraße) inklusive aller Zu- und Abflüsse gezählt wurden. In der absoluten Höhe der Belastungen konnte bei der Auswertung der realen Verkehrsflüsse ein Fehler der Modelldaten von bis zu 100% Überschätzung festgestellt werden. Daher ist geplant, im nächsten Schritt die Ergebnisse der Bestimmung der Tagesganglinien (siehe Kapitel 2) und durchschnittlichen Wartezeiten aus den Floating-Car-Daten in die Rekonstruktion einzubauen. Diese Untersuchungen haben jedoch auch gezeigt, dass die üblicherweise für die Bewertung Straßenverkehrsprojekten angewendeten Geschwindigkeitsfunktionen der EWS zu einer Überschätzung der erzielbaren Geschwindigkeiten und damit der bewerteten Zeitvorteile führen können.

Sofern die Verkehrsflüsse aus den FCD bestimmt sind, kann aus diesen ein Emissionskataster für Berlin erstellt werden, aus dem die Spitzenbelastungen sowohl in räumlicher als auch in zeitlicher Hinsicht erkennbar werden. Zur Emissionsmodellierung nach konventionellen Methoden liegen bereits Modelle vor [5], die für diesen Zweck leicht angepasst werden konnten. Diese fußen auf Funktionen von CERWENKA ET AL. [6], welche die Emissionen und den Kraftstoffverbrauch der Pkw in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit angeben. Aus Mangel an genaueren Daten wird als Dieselanteil an den Pkw-Fahrleistungen der bundesweite Durchschnitt von 18,3% für alle Straßentypen angenommen. Durch Anwendung von typisierten Geschwindigkeitsprofilen aus der Analyse der FCD können darüber hinaus die Einflüsse von Brems- und Beschleunigungsvorgängen einbezogen werden.

Zur regionalen Verteilung der Emissionen werden diese einem standardisierten Kataster über die Verschneidung des Netzes mit den Gitternetzelementen zugewiesen. Hierfür wird als Basis das Gitternetz des EMEP-Programms (Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe) verwendet, allerdings auf eine Gitterauflösung von 200m x 200m verfeinert, um den Anforderungen des städtischen Verkehrsmanagements gerecht zu werden (siehe Abbildung 9). Hierdurch erhält man eine flächendeckende räumliche und über die FCD auch zeitliche Verteilung der Emissionen, die lokale Spitzen verdeutlicht. Mittels geographischer Informationssysteme können diese Daten mit Bevölkerungsverteilungen überlagert und so Betroffenheiten dargestellt werden.

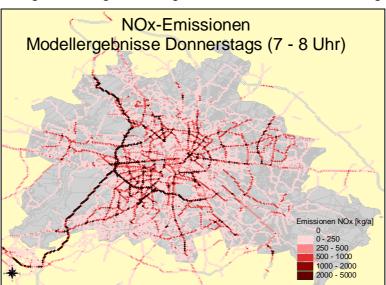


Abb. 9: Modellergebnisse der regionalen Verteilung von Emissionen

In gleicher Weise wie die Emissionen lassen sich aus den Floating-Car-Daten auch Lärmbelastungen berechnen. Zusammen mit noch zu entwickelnden Kriterien für die verkehrliche Qualität im Hinblick auf dessen Beitrag zur wirtschaftlichen Produktivität können diese Informationen als Grundlage für zukünftige intelligente Verkehrsmanagement- und informationsdienste dienen.

6. Zusammenfassung

Mit dem Beitrag wurden Möglichkeiten aufgezeigt, wie das Problem der Reisezeitsensorik in Ballungsgebieten besser gelöst werden kann. Auf Basis von Hunderten von FCD Meldefahrzeugen ist es heute möglich in Verbindung mit bereits vorhandener stationärer Messtechnik die Verkehrslage hochgenau und zeitnah zu erfassen. Routing- und Navigationsdienste können mit dynamischen Echtzeitdaten versorgt werden, und als ein Instrument der individuellen und kollektiven Verkehrssteuerung ausgebaut werden.

Literatur

- [1] Schäfer, R.-P., Thiessenhusen, K.-U., Brockfeld, E. and Wagner, P. (2002), Analysis of Travel Times and Routes on Urban Roads by Means of Floating-car Data, Proceedings of the ITS World Congress 2002, Chicago, USA.
- [2] Dijkstra, E.W. (1959), A Note on two Problems in Connections with Graphs, Numerische Mathematik, 1:269-271.
- [3] Zhan, F.B. (1997), Three Fastest Shortest Path Algorithms on Real Road Networks: Data Structures and Procedures, Journal of Geographic Information and Decision Analysis, vol. 1, no.1, pp. 69-82.
- [4] FGSV (1997), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Entwurf: Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen, "EWS", Aktualisierung der RAS-W ´86. Köln
- [[5] Gühnemann, A., Wagner, P., Eissfeldt, N.: Intelligent transport management by integrated dynamic traffic simulation and impact assessment; 9th World Conference on Transport Research (WCTR), Seoul 2001; Selected Proceedings (erscheint in Kürze)
- 6] Cerwenka, P., Dischinger, N., Klamer, M., Walther, C. (2002): Anwendungsorientierte Ermittlung von Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemissionen des Kraftfahrzeugverkehrs in Deutschland für die Neufassung der RAS-W (EWS): In: FGSV: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen Stand und Weiterentwicklungen der EWS, Köln, pp.15-23