

# Automatische vektorbezogene Generierung von Straßennetzabbildern auf Basis von Floating Car Data

Matthias Körner, Jürgen Krimmling und Robert Oertel

Straßen-Knoten-Netze als modelliertes Abbild der Straßeninfrastruktur bilden die Grundlage für eine Vielzahl von Diensten und Anwendungen. Die Verortung von Fahrzeugen, aber auch die Verkehrsumlegung, basieren darauf. Die Ermittlung optimaler Routen und die Visualisierung der Verkehrslage werden ermöglicht. Die resultierenden Anforderungen an das Netzabbild sind vielfältig und deren Bewältigung mit nicht unerheblichem Aufwand verbunden. Kernpunkte sind Genauigkeit, Aktualität und Flächendeckung. Ferner werden geringe Kosten bei dessen Erstellung angestrebt. Als Ergänzung zu manueller Digitalisierung und der Erfassung durch Messfahrzeuge mit hochpräziser Ortung stellt die Nutzbarmachung von Mehrwerten aus Floating Car Systemen einen viel versprechenden Ansatz dar. Vorgestellt wird ein Verfahren, welches mittels eines vektorbasierten Ansatzes Straßen-Knoten-Netze aus Floating Car Daten ermittelt.

Node-edge-networks representing road infrastructure are base for various applications and services. Georeferencing of vehicles as well as traffic assignment are based on. Routing and traffic conditions visualisation become possible. Requirements concerning precision, topicality and area coverage of road network image are caused by. Low costs are aspired as well. Utilisation of additional benefits from floating car systems is a promising approach, supplementing common technologies like manual digitalisation or capturing road trajectories by special equipped probe vehicle. A vector based method aggregating positions information of floating car to process road infrastructure images will be presented.

Verfasseranschriften:  
Dipl.-Ing. M. Körner,  
Matthias.Koerner@tu-dresden.de,  
Prof. Dr.-Ing. J. Krimmling,  
Juergen.Krimmling@tu-dresden.de,  
R. Oertel,  
Robert.Oertel@mailbox.tu-dresden.de,  
Technische Universität  
Dresden, Fakultät Verkehrs-  
wissenschaften „Friedrich  
List“, Institut für Verkehrs-  
telematik, 01062 Dresden

## 1 Einleitung

Die gezielte Beeinflussung des Verkehrsgeschehens durch Verkehrsinformations- und Verkehrssteuerungsmaßnahmen basiert auf einer Vielzahl von Grundlagendaten sowie spezifischen Algorithmen. Aus Rohdaten werden Informationen über die aktuelle und die absehbare Verkehrslage abgeleitet. Weitere Algorithmen dienen

der Auswahl bzw. Generierung der an dieses Lagebild angepassten Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen.

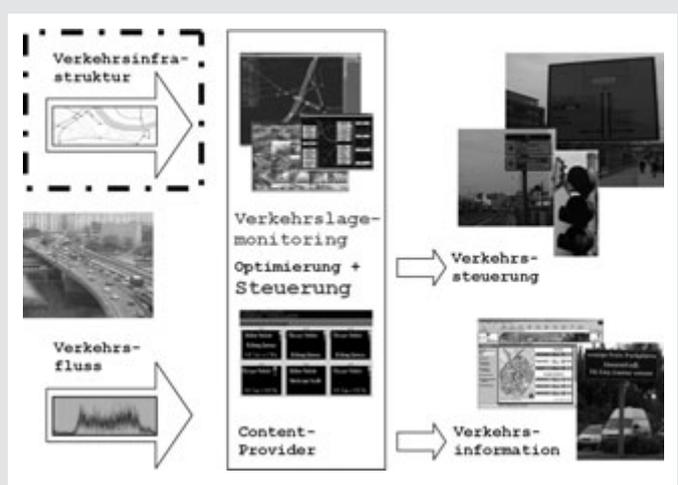
Bei den angesprochenen Rohdaten handelt es sich einerseits um Daten, welche den Verkehrsfluss beschreiben. Quellen sind querschnitts- sowie streckenbezogene Detektoren. Andererseits müssen Daten zugänglich gemacht werden, welche die infrastrukturellen Gegebenheiten beschrei-

ben (Bild 1). Hierbei spielt das Straßennetzabbild eine herausragende Rolle. Die Verortung von Fahrzeugen durch Mapping, aber auch die Verkehrsumlegung basieren darauf. Die Ermittlung optimaler Routen und die Visualisierung der Verkehrslage werden ermöglicht.

Die Gewinnung von digitalen Straßenkarten auf Grundlage der Positionsdaten von Testfahrzeugen mit Positionserfassungstechnik stellt eine zeitgemäße Erfassungsmethode dar. Um bei Einzelbefahrungen die gewünschte Präzision zu erlangen, wird eine Positionserfassung mit sehr hoher Genauigkeit benötigt. Die Aktualität des Netzabbilds ist abhängig von der Befahrungshäufigkeit.

Ein fortführender Ansatz basiert auf der Erschließung von Mehrwerten aus Floating Car Systemen. Statt auf die Positionsdaten einzelner Fahrzeuge, wird auf Datenmaterial einer ganzen Fahrzeugflotte zurückgegriffen. Die Erfassung erfolgt mit herkömmlicher Präzision. Die gewünschte Genauigkeit wird durch die Bündelung einer großen Anzahl von Positionsdaten erreicht. Die Funktionalität eines solchen

Bild 1: Bedarf an Infrastrukturdaten



Verfahrens, dessen Umsetzung sowie Testergebnisse werden in den folgenden Kapiteln beschrieben.

Einleitend wird auf die Struktur von Knoten-Kanten-Netzen und den Entwicklungsstand bei der Erstellung von digitalen Straßenkarten eingegangen. Ansätze für Weiterentwicklungen werden aufgezeigt. Im dritten Kapitel wird ein Verfahren zur vektorbezogenen Generierung von Straßennetzabbildern auf Basis von Floating Car Daten vorgestellt. Das vierte Kapitel reflektiert die Umsetzung des Verfahrens. Eine Fallstudie wird vorgestellt. Abschließend wird eine Zusammenfassung gegeben.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Knoten-Kanten-Netze

Digitale Straßenkarten werden in der Regel durch Knoten-Kanten-Netze abgebildet. Diese bestehen aus Knoten, welche die Eigenschaften des Verkehrsflusses im Knotenbereich repräsentieren, und den Kanten, welche den Bezug zu den Straßenabschnitten herstellen. Die Modellierung erfolgt mittels Datencontainern, welche die beschreibenden Attribute enthalten. Inhaltliche Verbindungen zwischen diesen werden durch logische Verknüpfungen realisiert. Dieses Herangehen ist im internationalen Standard ISO 14825 (2004) fixiert. Hauptanwendungsgebiet ist das Routing. Für Visualisierungszwecke wird diese Modellierung gewöhnlich um zusätzliche, den Straßenverlauf beschreibende, Attribute ergänzt. Dies ist in der Regel mit Vereinfachungen verbunden.

Wird eine sehr realitätsnahe und hoch detaillierte Visualisierung, z. B. in Verkehrsmanagementzentralen, gewünscht, ist es erforderlich, zwischen der Modellierung des Verkehrsflusses und der Modellierung der infrastrukturellen Gegebenheiten zu differenzieren. Infrastrukturelemente, d.h. Fahrstreifen und Abbiegespuren, sind unabhängig von den Elementen zur Beschreibung des Verkehrsflusses abzubilden und wiederum durch logische Verknüpfungen miteinander zu verbinden. Ein derartiger Ansatz wird durch Franke et al. (2005) beschrieben. Unabhängig vom Modellierungsansatz sind die Modelle natürlich auf Grundlage entsprechender Rohdaten zu versorgen. Dabei handelt es sich in erster Linie um Angaben zur Georeferenzierung und einer Fülle beschreibender Attribute.

### 2.2 Infrastrukturdatenanbieter und Erfassungstechnologien

Private Unternehmen und die öffentlichen Vermessungsämter sind die vorrangigen Anbieter von Infrastrukturdaten. Abhängig von ihren Hauptaufgaben bzw. den Hauptanwendungsgebieten für das Datenmaterial sind, wie von Schraut (2000) beschrieben, unterschiedliche Genauigkeitsgrade zu verzeichnen. Diese Unterschiede rühren von unterschiedlichen Methoden der Datenerfassung und -aufbereitung her. Die händische Digitalisierung auf Grundlage von Satelliten- oder Luftbildern besitzt immer noch einen bedeutenden Anteil am gesamten Datenaufbereitungsprozess, auch wenn mittlerweile verschiedene Tools zur Vorverarbeitung des Datenmaterials zur Verfügung stehen (vgl. Baumgartner, 2002 und Wiedemann, 2001). Trotzdem fallen bei dieser Art der Datenerfassung verhältnismäßig hohe Kosten an.

Vorteil einer manuellen Digitalisierung ist, dass eine vollständige Flächendeckung der Datenerfassung erreicht werden kann. Andererseits ist, bedingt durch den hohen Erfassungsaufwand, in der Regel nur eine geringe Aktualisierungsrate zu realisieren. Eine kontinuierliche Pflege eines solchen Datenbestands anhand von Informationen zu Um- und Ausbaumaßnahmen stellt einen Ansatz zur Gewährleistung hoher Genauigkeit dar. Dabei muss sichergestellt werden, dass der Zeitversatz zwischen erster Verkehrswirksamkeit einer Maßnahme und der Repräsentation im Netzabbild minimal ist. Weiterhin muss Sorge getragen werden, dass zwischen Planung und Realisierung keine Diskrepanzen vorliegen. Beides stellt eine große Herausforderung dar. Nichtsdestotrotz sind hohe Genauigkeit und Aktualität Anforderungen der eingangs genannten Dienste und Anwendungen.

So wurden mit dem Anspruch zur Senkung der Kosten als auch der Erhöhung der Genauigkeit neue Ansätze zur Generierung von digitalen Straßenkarten entwickelt. Mittel zum Zweck bilden u. a. Testfahrzeuge, welche kontinuierlich Positionsdaten befahrener Netzelemente aufnehmen. Beschreibungen dazu findet man z. B. in den Publikationen von Eckstein et al. (2000), Möring (2004) und Helman (1996). Anwendung findet dieser Ansatz insbesondere bei den privaten Anbietern von Infrastrukturdaten. Mit hochgenauer kostenintensiver Positionserfassungstechnik ausgerüstete Fahrzeuge

befinden sich im Einsatz. Ein hoher Grad der Flächendeckung bei der Erfassung und häufige Befahrungen zur Gewährleistung der Aktualität sind gewünscht, jedoch von der Anzahl der verfügbaren mobilen Detektoren abhängig. Betriebswirtschaftliche Abwägungen müssen getroffen werden. Ein Kompromiss zwischen Aufwand und Aktualität muss gefunden werden. In der Regel wird die Befahrungshäufigkeit der Netzelemente von der Straßenkategorie und weiteren Wichtungskriterien abhängig gemacht.

### 2.3 Datenaufbereitung

Es gibt zwei grundlegende Ansätze zur Interpretation der von den Fahrzeugen ermittelten Positionsdaten. In Frage kommt einerseits die Auswertung der räumlichen Verteilung der Positionsdaten, aber auch die Ableitung von Netzelementen aus den Trajektorien der Messfahrzeuge kann zum Einsatz kommen. Für die Interpretation der Positionsverteilungen können ähnliche Ansätze wie bei der Auswertung digitaler Satelliten- und Luftbilder genutzt werden (vgl. Lorkowski et al., 2003). Auch zu einer vektorbasierten Auswertung sind Ansätze verfügbar (vgl. Hamerslag und Taale, 2001, Schroedl et al., 2004 sowie Schraut, 2000). Häufig wird vereinfachend von einem geraden Verlauf der Netzelemente ausgegangen. Dies ist einschränkend, stellt aber keinen maßgeblichen Hinderungsgrund für einen Einsatz dar.

Ein typischer Verarbeitungsablauf zur vektorbasierten Ermittlung von Straßen-Knoten-Netzen, wie er u. a. bei Ito et al. (2006) beschrieben wird, besteht aus folgenden Modulen:

- Datenerfassung
- Plausibilitätsprüfungen
- Vektorverarbeitung
- Identifikation der Netzelemente
- Nachbereitungsschritten.

## 3 Systemspezifikation

### 3.1 Zielstellung

Seitens der Verkehrsteilnehmer, insbesondere für Routinganwendungen, besteht bezüglich der infrastrukturellen Grundlagendaten der Wunsch nach hoher Flächendeckung, da ihre individuellen Quellen und Ziele weiträumig verteilt sind. Aktualität und Genauigkeit werden genau so erwartet. Natürlich ist es den Verkehrsteilnehmern auch klar, dass die

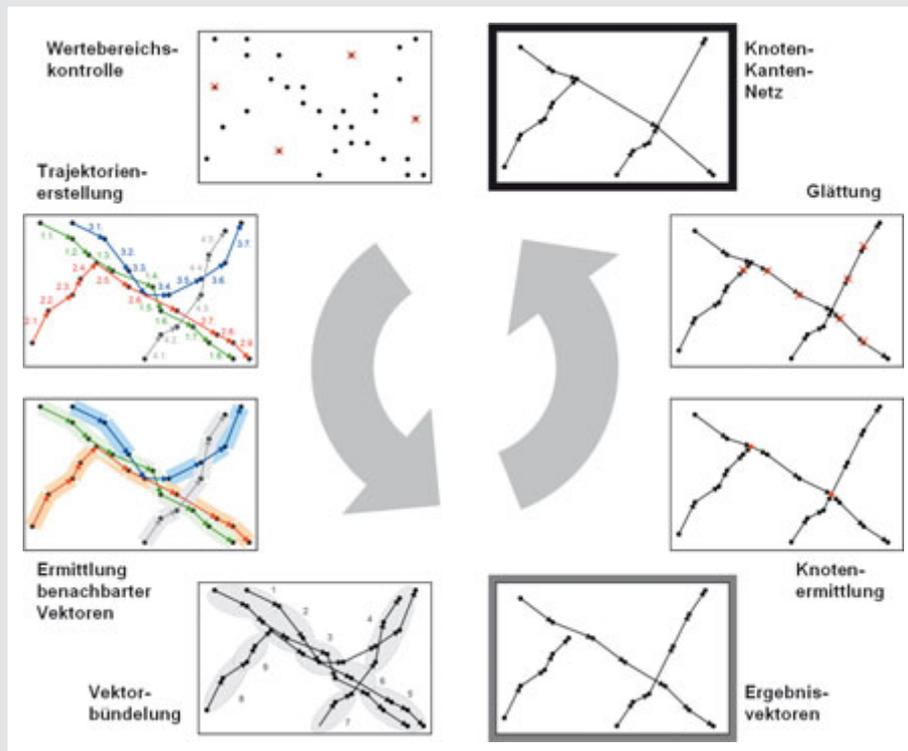


Bild 2: Ablaufschema für die Datenaufbereitung

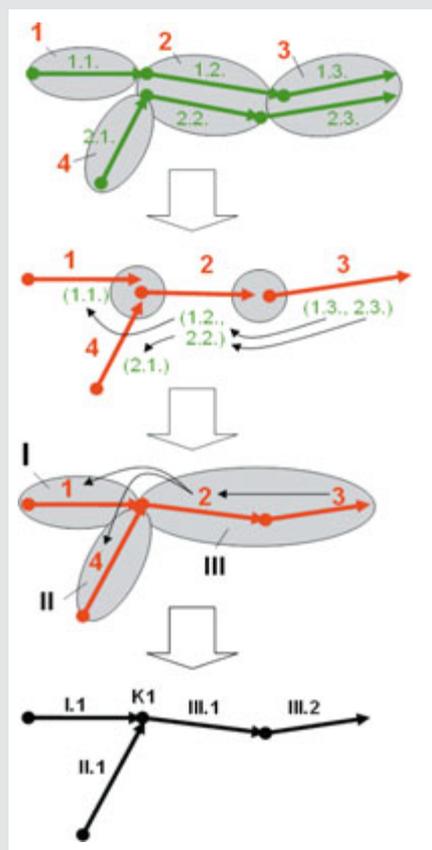


Bild 3: Ansätze für Bündelung und Verknüpfung

gestellten Anforderungen aus Aufwandsgründen beim jetzigen Stand der Technik nicht vollständig zu realisieren sind. Dagegen ist das Hauptaugenmerk von Operatoren, z. B. von Verkehrsmanage-

mentzentralen, auf das Hauptstraßennetz fokussiert.

Eine sehr hohe Aktualität wird gefordert. Ein neues Infrastrukturelement oder eine Änderung im Netzwerk sollten so schnell wie möglich nach Verkehrsfreigabe bekannt und in die Netzmodellierung eingepflegt sein, d. h., heutige Aktualisierungsraten werden dieser Forderung nicht gerecht.

Möglichst niedrige Kosten werden sowohl von den privaten als auch den professionellen Anwendern erwartet, auch wenn es sich bei den Infrastrukturdaten um ein ausgesprochen hochwertiges Gut handelt. Handlungsbedarf besteht also insbesondere darin, Ansätze zu finden, die unter Beibehaltung des erreichten hohen Levels von Genauigkeit und Flächendeckung mit möglichst geringem Aufwand Infrastrukturabbilder mit sehr hoher Aktualität erstellen bzw. Änderungen feststellen.

### 3.2 Nutzung von Floating Car Flotten zur Positionserfassung

Grundsätzlich könnte die gewünschte Aktualität von Netzabbildern mit oben genannter mobiler Erfassungstechnologie realisiert werden. Dazu müsste eine entsprechend große Messfahrzeugflotte zum Einsatz gebracht werden. Der Aufwand wäre immens. So liegt es nahe, nach Systemen zu suchen, die ein ähnliches Erfassungsprofil besitzen, aber deutlich kosten-

günstiger zu etablieren und zu betreiben wären. Eine Erschließung von Mehrwerten aus bestehenden Systemen würde diesem Anspruch am besten gerecht werden. Mögliche Nachteile müssten aufwandsarm mit geeigneten Ansätzen kompensiert werden.

Optimale Voraussetzungen für einen solchen Mehrwertdienst bieten Floating Car Systeme. Sie besitzen Positionsbestimmungstechnik mit guter Präzision. Weiterer Vorteil ist, dass sie mit Kommunikationsmitteln ausgerüstet sind, um Daten zum Fahrtverlauf – insbesondere erfasste Positionsdaten – an eine Zentrale senden zu können. Kurze Meldeintervalle bis hin zum Online-Betrieb sind möglich, sodass die Positionsdaten zeitnah für aufsetzende Anwendungen zur Verfügung stehen. Dies stellt ein wichtiges Kriterium für eine hohe Aktualität der abzuleitenden Daten dar. Die vergleichsweise geringere Präzision muss durch spezifische Ansätze bei der Datenaufbereitung berücksichtigt werden. Mittel zum Zweck ist die Bündelung der Messergebnisse mehrerer Fahrzeuge unter Nutzung stochastischer Verfahren. Flächendeckung wird in Abhängigkeit der flotten- bzw. fahrzeugspezifischen Fahrthäufigkeit, Fahrleistungen und Zielverteilung erreicht. Optimale Voraussetzungen mit hohen Fahrleistungen und einer breiten Verteilung der Ziele sind bei Floating Car Systemen anzutreffen, welche auf Taxiflotten oder Flotten von Lieferdiensten aufsetzen. Vielfach werden hier die erfassten Positionsdaten ausschließlich für das Mapmatching genutzt. Diese Datensätze könnten jedoch auch zur Generierung von Straßennetzabbildern herangezogen werden. Diesen Mehrwert gilt es zu erschließen.

### 3.3 Vektorbasiertes Verfahren zur Auswertung von Floating Car-Positionsdatensätzen

Ein geeigneter, flexibel einsetzbarer Ansatz zur Erstellung eines Netzabbilds (Bild 2) wurde von Oertel (2008) entwickelt. Ein spurgenaues Netzabbild ist, bedingt durch die derzeitige Genauigkeit der Positionserfassung, bei den Floating Car Flotten mittels GPS nicht möglich. Ziel ist deshalb die Erstellung eines Knoten-Kanten-Netzes, wobei die Kanten durch die Straßenmittellachse repräsentiert werden.

Grundlage des Verfahrens sind Positionsdatensätze, welche nach Herkunftsfahrzeug und Erfassungszeitpunkt zu ordnen sind. Folgend sind diese Rohdatensätze in

Hinblick auf sinnfällige Wertebereiche zu prüfen und fehlerbehaftete Datensätze zu verwerfen. Danach müssen die Positionsdaten zu Trajektorien zusammengefasst werden. D. h. für jede zusammenhängende Fahrt wird eine bezüglich des Fahrtverlaufs geordnete Liste von Vektoren, die jeweils zwei Positionsdatensätze verbinden, gebildet. Dem schließt sich die Zusammenfassung benachbarter Vektoren an. Folgend ist zu ermitteln, wo sich Netzknoten befinden. Abgeschlossen wird die Erstellung eines Knoten-Kanten-Netzes durch Beseitigung von redundanten Stützpunkten.

Kern des Verfahrens bildet der Ansatz zur Bündelung benachbarter Vektoren. Dazu erfolgt die Aufteilung der Vektoren in sehr kurze Teilvektoren (Bild 3, Vektoren grün 1.1 – 2.3). Dies ist erforderlich, um bei der später stattfindenden Aggregation Teilvektoren vergleichbarer Länge zusammenfassen zu können. Dadurch kann eine annähernd gleiche Repräsentation gewährleistet werden. Die Nachbarschaftsbeziehungen der Teilvektoren werden auf Basis von Fangräumen, welche um sie herum aufgespannt werden, ermittelt. In absteigender Reihenfolge der Nachbarschaftsanzahl werden die Teilvektoren als Referenz herangezogen. Ihre Anfangs- und Endpunkte werden mit denen benachbarter Teilvektoren zusammengefasst. Sowohl einmal als Referenz herangezogene als auch integrierte Teilvektoren werden nicht mehr betrachtet.

Diesem Herangehen liegen die Annahmen zugrunde, dass alle Positionsdatensätze eine vergleichbare Genauigkeit besitzen und die Abweichungen der ermittelten Positionen von der exakten Lage des Infrastrukturelements einer Normalverteilung angenähert sind. Der der Straßenmittellachse nächste Teilvektor sollte in der Regel die höchste Anzahl an benachbarten Teilvektoren besitzen. Mögliche Spezifika von Verkehrsfluss und Infrastruktur, welche die Positionsverteilung beeinflussen könnten, werden vernachlässigt.

Die nun verfügbaren resultierenden Vektoren (Bild 3, Vektoren rot 1 – 4) müssen nochmals modifiziert werden, da sich durch die Zusammenfassungen der Teilvektoren Lücken bzw. Überschneidungen der resultierenden Vektoren ausgebildet haben können. Dies geschieht gleichzeitig mit der Zusammenfassung der resultierenden Vektoren zu Ergebnistrajektorien. Dazu wird das Wissen genutzt, welche Teilvektoren in einem resultierenden Vektor integriert sind und welche Vorgänger sie



Bild 4: Positionsdatensätze (Auszug) und Referenzgebiet

besitzen. Damit besteht die Möglichkeit, die Anfangsposition des gerade zu betrachtenden resultierenden Vektors und die Endpositionen der resultierenden Vektoren, in denen die eben genannten Vorgänger enthalten sind, zu verschneiden.

Die gespeicherten Angaben zu benachbarten resultierenden Vektoren ermöglichen weiterhin die Ordnung der resultierenden Vektoren (Bild 3, Vektoren schwarz I–III) sowie die Identifikation erster Knotenpunkte (Bild 3, Punkt schwarz K1). Sind genau zwei resultierende Vektoren benachbart, so handelt es sich um einen Zwischenknoten einer Ergebnistrajektorie. Mehr als zwei in einem Punkt zusammenlaufende Vektoren lassen auf einen Knoten schließen. Die nun vorliegenden Ergebnistrajektorien werden folgend für die oben genannten Schritte zur Erstellung eines Straßennetz-Knoten-Netzes herangezogen.

## 4 Umsetzung und Test

### 4.1 Voraussetzungen und Referenz

Das operative Straßenverkehrsmanagementsystem VAMOS, welches als Entwicklungs- und Testumfeld für das eben beschriebene Verfahren zur automatischen vektorbezogenen Generierung von Straßennetzabbildern gewählt wurde, dient der Verbesserung des Verkehrsablaufs in der Landeshauptstadt Dresden. Es basiert sowohl auf aktuellen Daten zum Verkehrs-

fluss als auch einer präzisen und aktuellen Modellierung des Straßennetzes (vgl. Krimling et al., 2008).

Als Entwicklungsgrundlage bietet sich VAMOS besonders deshalb an, weil einerseits mit einem Taxi-FCD-System eine ausgezeichnete Quelle für Positionsdaten zur Verfügung steht und andererseits ein Straßennetzabbild aufwandsarm als Referenz herangezogen werden kann. Um in VAMOS kontinuierlich eine hohe Qualität des Netzabbilds zu gewährleisten, ist es erforderlich, auf Änderungen und Erweiterungen der Straßeninfrastruktur zeitnah zu reagieren. Deshalb besteht ein großes Interesse, eine ergänzende Quelle für ein hochaktuelles Netzabbild zu erschließen.

Durch das Straßen- und Tiefbauamt der Landeshauptstadt Dresden wurde zur Verdichtung der Datengrundlagen für das Straßenverkehrsmanagementsystem der Aufbau eines streckenbezogenen Detektionssystems in Auftrag gegeben. Dazu wurde eine Kooperation mit der Dresdner Taxigenossenschaft e. G. eingegangen. Die über 500 Fahrzeuge von Funktaxi Dresden zeichnen sich durch hohe Fahrleistungen und häufige Fahrzeugnutzung aus, woraus eine sehr gute Netzabdeckung resultiert. Weitere günstige Voraussetzungen stellen die Ausrüstung der Fahrzeuge mit GPS-Positionsbestimmungstechnik und Betriebsfunk dar.

Um die mit einem Zeitstempel versehenen Positionsmeldungen aufzeichnen und übertragen zu können, wurde sowohl die

**Pharos, das neue High Light**





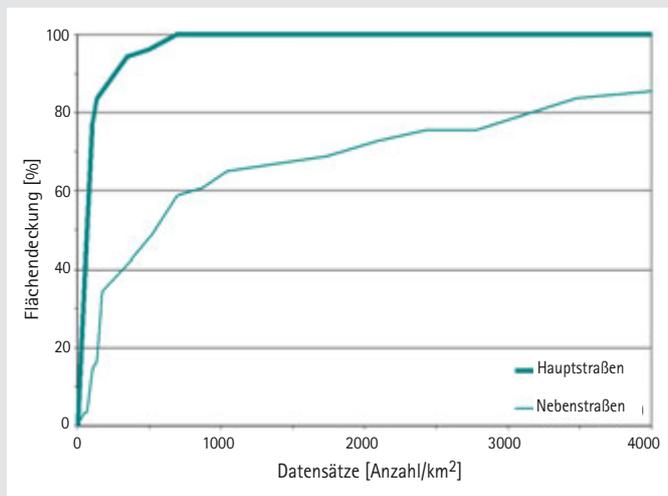



Besuchen Sie uns auf [www.nissen.de](http://www.nissen.de) ADOLF NISSEN ELEKTROBAU GmbH + Co. KG

Bild 5: Ergebnisvektoren für das Referenzgebiet



Bild 6: Flächendeckung



Software der Funkmodule in den Fahrzeugen als auch der Dispositionszentrale durch die Fa. GefoS Gesellschaft für offene Systeme mbH Schwerte entsprechend modifiziert. Hervorzuheben ist insbesondere die hohe Erfassungsdichte des Dresdner Taxi-FCD-Systems. Die Fahrzeugpositionen werden alle fünf Sekunden aufgezeichnet. Dies erlaubt ein sehr genaues Nachvollziehen des Fahrtverlaufs (Bild 4) und stellt somit eine ausgezeichnete Grundlage für Verfahren zur Generierung von Netzabbildern dar.

Um quantitative Aussagen zur Abbildungsqualität des am Institut für Verkehrstelematik an der Technischen Universität Dresden umgesetzten Verfahrens zu erlangen, wurde ein Referenzgebiet ausgewählt (Bild 4). Es handelt sich um zwei benachbarte innenstadtnahe Maschen im Hauptstraßennetz mit einer Fläche von ca. 2,5 km<sup>2</sup>. Es wurde besonderes Augenmerk darauf gelegt, die Abbildung einer Vielzahl von Infrastrukturbedingungen überprüfen zu können. Einerseits besitzt das Referenzgebiet klassische Erschließungsstrukturen, andererseits beinhaltet es sowohl Haupt- als auch Nebenstraßen, unterschiedliche

Blockgrößen und demzufolge unterschiedliche Längen der Netzkanten, geradlinige als auch kurvige Straßenverläufe bis hin zu komplexen Strukturen, wie Kreisverkehrsplätze.

#### 4.2 Verfahrenstest und Ergebnisse

Beim umgesetzten Verfahren zur automatischen vektorbezogenen Generierung von Straßennetzabbildern auf Basis von FCD wurden zuerst verschiedene programmierte Parameter optimiert. Die Gesamtheit der zur Verfügung stehenden Positionsdatensätze wurde herangezogen. Beim Test des Verfahrens konnten gute Ergebnisse bezüglich der Abbildungsgenauigkeit erreicht werden (Bild 5). Ermittelt wurde eine mittlere Abweichung von unter 10 m zu den als Referenz genutzten Straßenmittellachsen der Netzelemente im Referenzgebiet. Abweichungen von bis zu 20 m ergeben sich lediglich im Bereich von Knotenpunkten. Dies ist sowohl durch die Erfassungs- als auch die Auswertungscharakteristik bedingt. Sehr kleinteilige Strukturen, wie Kreisverkehrsplätze mit geringen Radien, werden verschliffen. Klas-

sische Netzmaschen dagegen werden ausgezeichnet erkannt. Ersichtlich ist aus Bild 5 weiterhin, dass Nachbereitschritte (Bild 2) erforderlich sind. Dies betrifft insbesondere eine Glättung der Kanten.

Das beschriebene Vorgehen ist in der Regel zielführend, wenn eine große Anzahl von Datensätzen zur Verfügung steht und der zeitliche Aspekt bei der Auswertung keine Rolle spielt. Als Anforderung an das Verfahren wurden aber auch zeitnahe Reaktionen auf Änderungen im Straßennetz benannt. Ebenso sollte das Verfahren nutzbringende Ergebnisse liefern, wenn Fahrzeugflotten mit geringerem Datenaufkommen genutzt werden sollen. Deshalb wurde weiterhin die Qualität des Verfahrens hinsichtlich Flächendeckung, Aktualität und inhaltlicher Aussage in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Anzahl von Positionsdaten betrachtet. Als Bezugsgröße wurde die Datensatzanzahl pro Quadratkilometer gewählt. So wird bei der Darstellung der Ergebnisse eine größtmögliche Unabhängigkeit von der Charakteristik der Erfassungsflotte, wie Erfassungsintervall, Fahrthäufigkeit, Fahrtlänge und Verteilung der Fahrtverläufe, erreicht.

Das Verfahren wurde jeweils mit einer unterschiedlichen Anzahl von Positionsdatensätzen beschickt. Bezüglich der Flächendeckung wurde dann – differenziert nach Haupt- und Nebenstraßen – ermittelt, wie viele Netzelemente im Referenzgebiet erkannt wurden (Bild 6). Es zeigte sich, dass schon mit ca. 700 Datensätzen pro Quadratkilometer eine vollständige Abdeckung des Hauptstraßennetzes, d. h. mindestens eine Befahrung für jedes der entsprechenden Netzelemente, realisiert werden konnte. Eine Befahrung aller Netzkanten wurde erst mit über 12 000 Datensätzen pro Quadratkilometer erreicht. Dies bedeutet, dass systembedingt für Haupt- und Nebenstraßennetz deutliche Unterschiede bei der Aktualisierungsrate zu erwarten sind. So liegen z.B. bei 50-prozentiger Flächendeckung für die Nebenstraßen für das Hauptstraßennetz bis zu neunfache Mehrfachbefahrungen vor. Die Abbildungsgenauigkeit wird aber durch die Mehrfachbefahrungen kaum beeinflusst.

Abschließend wurde geprüft, wie sich das Erfassungsintervall der FCD-Flotte auf die Abbildungsqualität auswirkt. Dazu wurde der Gesamtdatenbestand herangezogen und in Abhängigkeit der gewünschten Intervalllänge ausgedünnt. Es zeigt sich, dass

bei Erfassungsintervallen über 10 s kaum noch Kurvigkeiten im Straßenverlauf erkannt werden. Knotenpunkte können nicht mehr eindeutig identifiziert werden. Dies stellt eine deutliche Verschlechterung dar und untermauert, dass vektorbasierte Verfahren hier eine ansatzspezifische Einsatzgrenze besitzen. Unabhängig davon haben aber die Anfangs- und Endpositionen der Vektoren eine hohe Genauigkeit. Das heißt, bei Betrachtung von Einzelpositionen wären nun die exakteren Aussagen möglich. Die Interpretation der Häufigkeitsverteilung von Positionsdatensätzen erscheint hier als zielführender Ansatz (Bild 4). Umsetzung und Test eines solchen Verfahrens stellt aber eine eigenständige Thematik dar.

## 5 Zusammenfassung

Die als Mehrwert von Floating Car Systemen über die klassische Ermittlung von streckenbezogenen Verkehrsdaten hinausgehende Auswertung erfasster Positionsdaten stellt einen geeigneten Ansatz zur Erstellung und Aktualisierung von Straßen-Knoten-Netzen dar und wird durch den Jahr für Jahr steigenden Bedarf an Straßenkarten immer mehr an Bedeutung gewinnen. Geeignet ausgerüstete Fahrzeugflotten als Datenquelle sind Voraussetzung für ein solches Vorgehen. Leider sind diese noch relativ selten anzutreffen. Eine bessere Verfügbarkeit ist aber durch die Vielzahl und Qualität der möglichen Anwendungen absehbar.

Zur Auswertung der erfassten Positionsdaten bietet sich bei Erfassungsintervallen von bis zu 10 s das beschriebene vektorbasierte Verfahren an. Die Kanten im Netz werden durch die Straßenmittellachse repräsentiert. Erreicht werden können sehr hohe Abbildungsgenauigkeiten. Ein spurgegenaues Netzabbild ist aber nicht möglich. Verbesserungen sind hier durch umfassende Nutzung von DGPS als auch Galileo zu erwarten. Flächendeckung und Aktualität hängen maßgeblich vom Datenaufkommen ab. Eine Aktualisierungsrate nahe dem Onlinebetrieb erscheint insbesondere für das Hauptstraßennetz möglich. So stellt das vorgestellte Verfahren zur vektorbezogenen Generierung von Straßennetzabbildern auf Basis von Floating Car Data einen Beitrag für qualitativ hochwertige Verkehrsinformationsdienste und zielführende Verkehrssteuerungsmaßnahmen dar.

## Literaturverzeichnis

ISO 14825: Overall data specification Geographic Data Files, Internationaler Standard; 2004

Baumgartner, A.: Automatische Extraktion von Straßen aus digitalen Luftbildern, Dissertation an der Universität der Bundeswehr München, München, 2002

Eckstein, F. et al.: Verfahren zur Aktualisierung einer Verkehrswegenetzkarte und kartengestütztes Verfahren zur Fahrzeugführungsinformationserzeugung, Patent EP 1045224A3, 2000

Franke, R. et al.: Verfahren zur Modellierung von Verkehrsabläufen, Patent DE 10359037A1, 2005

Hamerslag, R.; Taale, H.: Deriving Road Networks from Floating Car Data, 9<sup>th</sup> World Conference on Transport research, Seoul, 2001

Helman, J.: Verfahren und System zur Aktualisierung von digitalen Straßenkarten, Patent EP 0752692A1, 1996

Ito, H. et al.: Generating a Road Map Based on Location Positioning Data of Probe Vehicles, 11<sup>th</sup> IFAC Symposium on Control in Transportation Systems, Delft, 2006

Krimmling, J. et al.: Verkehrsdatenerfassung, -modellierung und -fusion und ihre Anwendung in Verkehrsmanagementsystemen, 11. Wissenschaftstage des Fraunhofer-Instituts für Fabrikbetrieb und -automatisierung „Logistik – Effiziente und sichere Warenketten in Industrie und Handel“, Magdeburg, 2008

Lorkowski, S. et al.: Erste Mobilitätsdienste auf Basis von „Floating Car Data“, 4. Aachener Kolloquium „Mobilität und Stadt“, Aachen, 2003

Möring, A.: Verfahren zur Aktualisierung von digitalen Straßenkarten eines Offboard-Navigationssystems, Patent DE 10230104A1, 2004

Oertel, R.: Konzipierung und Umsetzung eines vektorbasierten Verfahrens zur Erstellung von Straßennetzmodellen auf Basis von Floating Car-Datensätzen, Essay Verkehrssteuerung und Prozessautomatisierung an der Technischen Universität Dresden, Dresden, 2008

Oertel, R.: Algorithmische Verbesserung und optimale Kalibrierung eines vektorbasierten Verfahrens zur Erstellung eines Straßennetzabbilds auf Basis von Floating Car-Datensätzen, Essay Hauptseminar Verkehrstelematik an der Technischen Universität Dresden, Dresden, 2008

Schraut, M.: Umgebungserfassung auf Basis lernender digitaler Karten zur vorausschauenden Konditionierung von Fahrerassistenzsystemen, Dissertation an der Technischen Universität München, München, 2000

Schroedl, S. et al.: Mining GPS Traces for Map Refinement, in Data Mining and Knowledge Discovery, 2004, Nr. 9, Seite 59-87

Wiedemann, C.: Extraktion von Straßennetzen aus optischen Satellitenbilddaten, Dissertation an der Technischen Universität München, München, 2001

**parken**

**17. – 18. Juni 2009**  
Wiesbaden, Rhein-Main-Hallen

**Fachausstellung und Fachtagung für  
Planung, Bau und Betrieb von  
Einrichtungen des ruhenden Verkehrs**

**Veranstalter**  
Messe Frankfurt Ausstellungen GmbH  
Tanusstr. 7a  
65183 Wiesbaden, Germany  
Tel. +49 (0) 611-951 66 56  
Fax +49 (0) 611-951 66 24

**Ideeller Träger**  
 Bundesverband Parken e. V.

 messe frankfurt

**parken@mfa.messefrankfurt.com**  
**www.parken-messe.de**