

## **Integration mobil erfasster Verkehrsdaten (FCD) in die Steuerungsverfahren der kollektiven Verkehrsbeeinflussung**

FA 3.341

Forschungsstellen: RWTH Aachen, Institut für Straßenwesen (Prof. Dr.-Ing. habil. B. Steinauer) / HB-Verkehrsconsult GmbH, Aachen / Spiekermann GmbH, Düsseldorf

Bearbeiter: Brake, M. / Baier, M. / Kathmann, T. / Offermann, F. / Feldges, M.

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

Abschluss: September 2004

### **1. Aufgabenstellung**

Anlagen zur kollektiven Verkehrsbeeinflussung stellen im Bundesautobahnnetz ein maßgebendes Instrumentarium zur Verkehrsinformation und -steuerung dar. Eine effiziente Beeinflussung des Verkehrs setzt sowohl bei Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) als auch bei Netzbeeinflussungsanlagen (NBA) eine exakte Analyse des Verkehrsgeschehens voraus. Grundvoraussetzung hierfür ist eine zuverlässige Datenerfassung. Im Rahmen der kollektiven Verkehrsbeeinflussung basiert diese im Wesentlichen auf der Erhebung lokaler Verkehrskenngrößen. Ein wesentlicher Nachteil hierbei ist, dass diese streng genommen nur für die Stelle der Datenerfassung Gültigkeit besitzen. Die Übertragung dieser Größen auf den Streckenabschnitt unter Annahme einer räumlichen und zeitlichen Stationarität des Verkehrsablaufs stellt stets einen kritischen Punkt und somit eine Quelle für größere Unschärfen in der Verkehrsflussanalyse dar. Diesem Problem kann in der Regel nur durch ein verdichtetes Netz zur lokalen Verkehrsdatenerfassung oder den Einsatz quasi-streckenbezogener Analyseverfahren entgegnet werden. Einer uneingeschränkten Verdichtung der Infrastruktur zur lokalen Verkehrsdatenerhebung stehen wirtschaftliche Aspekte entgegen, quasi-streckenbezogene Analyseverfahren stellen sich als aufwändig in der Parametrierung dar und konnten bisher nur teilweise für den Praxiseinsatz zufriedenstellende Analyse- und Detektionsqualitäten gewährleisten.

Seit Mitte der 80-er Jahre wurden deshalb in mehreren Feldversuchen die Einsatzmöglichkeiten einer fahrzeuggenerierten Verkehrsdatenerfassung, so genannter Floating Car Data (FCD), untersucht. Als ein wesentliches Ergebnis hieraus kann die Sinnhaftigkeit einer kombinierten Betrachtung lokaler und mobiler Verkehrsdaten zur Verkehrszustandsklassifikation gesehen werden, insbesondere solange keine ausreichenden Datenmengen an FCD gewährleistet werden können. Bei ausreichenden Ausstattungsraten werden FCD zur aktuellen und vollständigen Erfassung der Verkehrslage sogar als uneingeschränkt geeignet angesehen. Aus den durchgeführten Feldversuchen geht somit ein großes Potenzial der FCD in der Erfassung und Bereitstellung streckenbezogener Verkehrsdaten hervor.

Vor diesem Hintergrund lag das Ziel des Forschungsvorhabens in der Konzeption und Evaluierung von Integrationsansätzen für FCD in die Steuerungsverfahren der kollektiven Verkehrsbeeinflussung. Hierbei wurden organisatorische, verkehrstechnische und wirtschaftliche Aspekte betrachtet.

### **2. Untersuchungsmethodik und -ergebnisse**

Zunächst erfolgte eine Analyse der organisatorischen Integrationsmöglichkeiten von FCD in die konventionelle Verkehrsbeeinflussung. In einem zweiten Schritt wurden, als Kern des Forschungsvorhabens, Konzepte zur verkehrstechnischen Integration von FCD in verschiedene Steuerungsmodelle entwickelt. Diese wurden auf Basis realer Verkehrsdaten (lokal sowie fahrzeuggeneriert) aus einer Felduntersuchung mit einem hierzu erstellten Simulationstool validiert und bewertet.

Abschließend erfolgte eine sowohl betriebs- als auch volkswirtschaftliche Analyse der Einsparpotenziale durch die Integration mobiler Verkehrsdaten in die Steuerungsverfahren der kollektiven Verkehrsbeeinflussung.

#### **2.1 Modelle zur organisatorischen Integration**

Zur Entwicklung organisatorischer Modelle für eine Integration von FCD in die konventionelle Verkehrsbeeinflussung wurden vorhandene Datenüberlassungs- und Service-Level-Vereinbarungen bei der Datenüberlassung zwischen öffentlichen und privaten Betreibern analysiert. Zusätzlich wurden die bestehenden Organisationsmodelle bei der Beschaffung und Aufbereitung von FCD näher beleuchtet. Derzeit gibt es mit der DDG nur einen deutschlandweit agierenden, kommerziellen Anbieter von FCD, der vertraglich eng mit den Mobilfunknetzbetreibern T-Mobile und Vodafone, deren Service Providern Tegarom und Passo sowie mehreren Fahrzeugherstellern verbunden ist. Eine Patentrecherche verdeutlichte aber auch, dass unter Beachtung der derzeitigen Lizenzen auf die verwendeten Kommunikations- und Aufbereitungsverfahren für andere Anbieter durchaus Möglichkeiten bestehen, FCD nach dem GAT-Standard zu erfassen, aufzubereiten und zu vertreiben.

Auf dieser Basis wurden mehrere alternative Organisations-szenarien mit mehr oder minder starkem Einfluss der öffentlichen Hand sowie zentraler (bundesweiter) bzw. dezentraler (länderspezifischer) Ausrichtung entworfen. Diese Modelle zur Regelung des Austauschs verkehrsbezogener Daten (insbesondere FCD) zur Nutzung in konventionellen verkehrstechnischen Anwendungen basieren auf PPB-Ansätzen und der Umgehung der bisherigen Akteure wie DDG, T-Mobile und Vodafone.

Vorgeschlagen wird die Gründung einer bundesweiten Verkehrstelematik Deutschland GmbH (VTD GmbH), welche mehrheitlich privat organisiert ist, um der Industrie einen Anreiz zu Beteiligung zu geben, und generell für Verkehrsinformation und -prognose im Autobahn- und im überregionalen Straßennetz zuständig sein sollte.

#### **2.2 Ansätze zur verkehrstechnischen Integration**

Mit lokalen und fahrzeuggenerierten Verkehrsdaten stehen sich zwei grundsätzlich verschiedene Datenarten gegenüber. Lokale Daten basieren stets auf dem gesamten Fahrzeugkollektiv, besitzen streng genommen aber nur für den jeweiligen Messquerschnitt Gültigkeit. Die fahrzeuggenerierte Verkehrsdatenerfassung liefert hingegen direkt streckenbezogene Kenngrößen des Verkehrsablaufs, diese jedoch als beschränkte Stichprobe, solange keine Vollausstattung aller Kraftfahrzeuge mit entsprechenden On-Board-Units zur Generierung von FCD vorliegt.

Die Fragestellung der verkehrstechnischen Integration fahrzeuggenerierter Verkehrsdaten in Steuerungsverfahren der kollektiven Verkehrsbeeinflussung ist stets gemeinsam mit statistischen und technischen Qualitätsanforderungen an die mobil erfassten Daten zu führen. Zur Untersuchung der Repräsentativität der FCD-Stichprobe für das Gesamtkollektiv wurden deshalb sowohl statistische Auswertungen für unterschiedliche Anwendungsfälle (z. B. Stauwarnung im Rahmen von SBA, Reisezeitermittlung im Rahmen von NBA usw.) als auch für verschiedene fahrleistungsbezogene Ausstattungsszenarien durchgeführt. Diese Analysen zeigten, dass FCD zur Schätzung von Reisezeiten nur als ergänzende Parameter zur lokalen Verkehrsdatenerfassung in entsprechende Modellverfahren einfließen können. Die Begründung hierfür ist, dass eine nur auf FCD basierende Reisezeitschätzung in Abhängigkeit von den Ausprägungen der Geschwindigkeitsverteilung der Grundgesamtheit sehr hohe Ausstattungsraten erfordert, welche weit über den heutigen Werten von deutlich unter 1 % aller Kraftfahrzeuge liegen.

Demnach stellt sich das Einsatzpotenzial von FCD als Ergänzung zu lokalen Verkehrsdaten bei der Reisezeitabschätzung gerade für den zähen und gestauten Verkehrszustand dar, da sich hier der notwendige Stichprobenumfang und somit die notwendige Ausstattungsrate signifikant verringern. Zur Störfalldetektion sind deutlich geringere Ausstattungsraten notwendig; ein deutliches Potenzial zeigt sich auch hier bei hohen Verkehrsbelastungen (über 3.000 Kfz/h). Demgegenüber bietet bei geringen Verkehrsstärken die Störfalldetektion auf Basis lokaler Verkehrsdatenerfassung Vorteile, so dass ein hybrides Störfallerkennungsverfahren mit Fusionierung lokaler und mobiler Verkehrsdaten in diesem Zusammenhang die konsistenteste Lösung darstellt.

Die statistischen Analysen stellen jedoch nur Abschätzungen dar, die mit Unsicherheiten behaftet sind. Im Rahmen einer algorithmischen Verarbeitung der FCD sind diese durch entsprechende Zutrauensfaktoren oder Verfahren zur Verarbeitung unsicheren Wissens zu berücksichtigen. Als Kern des Forschungsvorhabens wurden deshalb Ansätze für verkehrstechnische Integrationsmöglichkeiten von FCD in unterschiedliche Systemebenen der Steuerungsverfahren zur kollektiven Verkehrsbeeinflussung entwickelt.

Bei der Störfallerkennung erfolgt hierbei ein Abgleich der Ergebnisse aus dem konventionellen, auf der lokalen Verkehrsdatenerfassung basierenden Verfahren sowie der In-Jam- bzw. Out-Jam-Meldungen der Floating Cars (d. h. Einfahrt in den Stau bzw. Ausfahrt aus dem Stau). Hierzu ist gemäß den statistischen Analysen – auf Grund des geforderten geringen Signifikanzniveaus der Ankunfts wahrscheinlichkeiten – in vielen Fällen bereits eine Meldung je Intervall und Abschnitt ausreichend. Analog erfolgt die Integration von Staumeldungen in Verkehrsinformationszentralen (VIZ), nur dass dort die FCD mit der Staudetektion aus stationärer Verkehrsdatenerfassung und zusätzlich den Meldungen aus anderen Quellen (z. B. Landesmeldestellen) fusioniert werden. Alle anderen Integrationsansätze, z. B. für die Verkehrsflussanalyse, die Reisezeitprognose und die Abschätzung des Umlenkanteils bei NBA, basieren auf dem Ansatz von Gewichtungsszenarien, mit denen in Abhängigkeit der geforderten Anzahl FCD je Intervall und Sektor deren Gewicht in einem integrierten Ergebnis zwischen 0 % und 100 % festgelegt wird.

Die entwickelten Integrationsansätze wurden auf Basis realer Verkehrsdaten aus einer Felduntersuchung auf der BAB A 9 im Norden Münchens mittels eines neu entwickelten Simulationstools validiert und, im Hinblick auf den nur sehr eingeschränkten Untersuchungszeitraum und -rahmen dieser Felduntersuchung, im Wesentlichen qualitativ bewertet. Die Bewertung bezog sich dabei auf die Möglichkeiten einer verkehrstechni-

schen Integration von FCD in die ausgewählten herkömmlichen Standardsteuerungsverfahren zur Verkehrszustandanalyse, Reisezeitprognose und Störfalldetektion im Vergleich mit der alleinigen Nutzung dieser konventionellen Verfahren. Zur Analyse der Sensitivität der Integrationsverfahren und um Aussagen über sinnvolle Einsatzbedingungen machen zu können, wurden verschiedenen Integrations-szenarien in Abhängigkeit der Gewichtung der FCD in den Integrationsprozess, des Analyseintervalls und des Abstands zwischen zwei Messquerschnitten definiert.

Es zeigte sich, dass die Integration von FCD bei der Verkehrszustandklassifikation unabhängig von Sektorenlänge und Analyseintervall deutliche Vorteile ergibt. So werden die Verkehrszustände diskreter abgebildet als mit dem konventionellen, ausschließlich auf lokaler Verkehrsdatenerfassung basierenden Verfahren.

Auch bei der Reisezeitprognose stellte sich heraus, dass das konventionelle, ausschließlich auf lokaler Verkehrsdatenerfassung basierende Verfahren (mit zu Grunde gelegten empirischen Reisezeit-Dichte-Funktionen) gerade bei großen Abständen zwischen den Messquerschnitten die realen Reisezeiten kaum wiedergeben kann. Hingegen treffen die FCD auf Grund ihres direkten streckenbezogenen Messverfahrens die realen Reisezeiten deutlich besser. Gerade bei großen Sektorenlängen ergeben sich hier unabhängig vom Gewichtungsszenario deutliche Verbesserungen der Ergebnisse bei einer Integration von FCD. Da gerade die Reisezeit das wichtigste Steuerungskriterium bei NBA ist, sollten FCD insbesondere in Netzen mit NBA mit großen Sektorenlängen eingesetzt werden. FCD können hier die in der lokalen Verkehrsdatenerfassung begründeten Unzulänglichkeiten der Reisezeitprognose deutlich verbessern. Der Einsatz von FCD ist dabei insbesondere bei hohen Verkehrsbelastungen sinnvoll, zumal in diesen Fällen die Reisezeiten gegenüber dem Normalfall stark ansteigen und größeren Schwankungen unterworfen sind.

Maßgebend für die Qualität der Störfallerkennung mittels einer Integration von FCD ist die Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen eines Floating Car am Stauende, welche prinzipiell von der Verkehrsbelastung abhängt. Daneben ist auch die Länge des Analyseintervalls im Steuerungsverfahren von Bedeutung. Geringe Verkehrsbelastungen und kurze Analyseintervalle erfordern große Ausstattungsraten, die in absehbarer Zeit nicht erreicht werden, so dass das Potenzial einer FCD-Integration im Rahmen der Störfallerkennung vorerst beschränkt ist. Andererseits kann die konventionelle Verkehrsdatenerfassung Störfälle bei größeren Analyseintervallen und in langen Sektoren erst mit großer Zeitverzögerung oder gar nicht detektieren, so dass sich in diesen Fällen (z. B. bei NBA in Ballungsräumen) die Integration von FCD in die Störfallerkennung Verbesserungen erwarten lässt.

### 2.3 Betriebswirtschaftliche Bewertung

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse konnte schließlich eine Kostenschätzung des Einsparpotenzials durch eine Integration von FCD bei gleichzeitiger Ausdünnung der lokalen Verkehrsdatenerfassung (und Beibehaltung der Erfassungs- und Analysequalität) erfolgen. Hierfür wurden, ausgehend von den Überlegungen zur verkehrstechnischen Integration, mehrere Reduktionsszenarien für SBA- und NBA-Anwendungen aufgestellt und die einzusparenden Kosten bei der konventionellen Verkehrsdatenerfassung je 100 km Richtungsfahrbahn und Jahr errechnet. Demgegenüber wurde die Anzahl der notwendigen FCD bestimmt, die zum Ersatz der lokalen Verkehrsdatenerfassung bei Einhaltung der ursprünglichen Datenqualität erforderlich sind. Als maximale Kosten wurden je nach Szenario zwischen 0,55 €/ct/FCD und 3,00 €/ct/FCD errechnet, wobei

die Werte für NBA bei geringer Anzahl erforderlicher FCD (große Analyseintervalle und Sektorenlängen) tendenziell günstiger sind als bei SBA mit hoher Anzahl erforderlicher FCD (kleine Analyseintervalle und Sektorenlängen).

Für die Kommunikation von FCD vom Fahrzeug an den Content Provider fallen Kosten in Form von SMS-Gebühren der GSM-Netzbetreiber an. Ausgehend von den heutigen Kommunikationspreisen für SMS im Consumer-Markt von etwa 19 €ct/SMS, würde der abgeschätzte Kostenrahmen für FCD nicht annähernd die Kommunikationskosten, geschweige denn die Aufbereitungskosten für FCD decken. Hierbei ist jedoch zu bedenken, dass die netzinternen Kommunikationskosten für SMS in der Regel deutlich niedriger sind und im Zuge der Einführung von UMTS in Zukunft die Kommunikationskosten über eine monatliche Flatrate abgerechnet werden.

Ob und inwieweit unter diesen Randbedingungen mindestens kostendeckende oder sogar gewinnbringende Ansätze mit den aufgezeigten Geschäftsmodellen realisierbar sind, kann im Rahmen dieser Untersuchung nicht geklärt werden. Es besteht jedoch durchaus eine Chance, dass dies realistisch möglich ist, sodass in Zukunft auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht eine Integration von FCD in die konventionelle Verkehrsbeeinflussung im Sinne eines Ersatzes von stationären Messquerschnitten zur Verkehrsdatenerfassung insbesondere bei der Reisezeitermittlung in großen Netzen (Anwendungsfall NBA), aber in etwas weniger deutlicher Ausprägung auch zur Unterstützung der Verkehrslagegenerierung und Störfalldetektion in NBA und SBA, Sinn macht.

### 3. Folgerungen für die Praxis

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens zeigen, dass die verkehrstechnische Integration von FCD in die Steuerungsverfahren der kollektiven Verkehrsbeeinflussung möglich ist und Verbesserungspotenziale mit sich bringt. Insbesondere bei Steuerungsverfahren mit größeren Analyseintervallen (fünf Minuten) wird hierdurch eine bessere Abbildung des realen Verkehrszustands ermöglicht als auf Basis einer rein lokalen Datenanalyse. Bei der Reisezeitermittlung erscheint die Integration mobil erfasster Verkehrsdaten insbesondere bei hohen Verkehrsbelastungen (größeren Schwankungen, starker Anstieg der

Reisezeiten) und großen Abschnittslängen sinnvoll. Das Potenzial einer FCD-Integration im Rahmen der Störfalldetektion ist dagegen wegen der notwendigen Aktualität (1-Minuten-Intervalle) und der somit notwendigen hohen Ausstattungsraten vorerst beschränkt. FCD sind hier aber durchaus zur Unterstützung der Störfalldetektion bei hohen Belastungen, einem Analyseintervall von fünf Minuten und größeren Sektorenlängen einzusetzen, d. h. beispielsweise in einer NBA in Ballungsräumen.

Voraussetzung ist in allen Fällen eine entsprechende Möglichkeit zur organisatorischen Integration von FCD in die konventionelle Verkehrsbeeinflussung. Empfohlen wird hierzu die Gründung einer bundesweiten Verkehrstelematik Deutschland GmbH (VTD GmbH), die mehrheitlich privat organisiert ist und generell für Verkehrsinformation und -prognose im Autobahn- und im überregionalen Straßennetz zuständig sein sollte. Die Verkehrsinformationen z. B. für Ballungsräume würden weiterhin von den regionalen Verkehrsmanagement- oder -informationszentralen zur Verfügung gestellt. Diese VTD GmbH könnte – muss aber nicht – zusätzlich hoheitliche Aufgaben in der konventionellen Verkehrslenkung und -information (z. B. Landesmeldestelle) ohne Profit erfüllen, für die sie eine entsprechende Aufwandsentschädigung vom Bund bzw. von den Ländern erhält. Wichtig erscheint, dass die öffentliche Seite sich kurzfristig auf ein – wie auch immer gestaltetes – neues Organisationsmodell zur Integration von FCD in die konventionelle Verkehrsbeeinflussung festlegt, da ansonsten der derzeitige Status mit den geringen Einflussmöglichkeiten der öffentlichen Hand für lange Zeit festgeschrieben wird.

Die Kosten für Erfassung, Aufbereitung und Integration der FCD in die konventionelle Verkehrsbeeinflussung lassen sich derzeit nicht schätzen, werden aber zum Teil mit den Kommunikationskosten oder über den Service-Preis der Informationen und Dienste abgedeckt sein.

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht besteht durchaus eine Chance, dass in Zukunft eine Integration von FCD in die konventionelle Verkehrsbeeinflussung im Sinne eines Ersatzes von stationären Messquerschnitten zur Verkehrsdatenerfassung realisierbar sein kann. □