

Untersuchungsgebiet mit Straßennetz und farblich differenzierten Location Areas.

# MOBILFUNKDATEN FÜR DEN ROLLENDEN VERKEHR

**Mobilfunkdaten haben ein sehr großes Potenzial als Datenquelle für die Planung und den Betrieb von Verkehrsanlagen. Ein wesentlicher Vorteil von Mobilfunkdaten ist die flächenhafte Verfügbarkeit von Verkehrsdaten auf Autobahnen, vielen Bundesstraßen und je nach Mobilfunknetzstruktur auch in innerstädtischen Netzen. Die Daten erlauben eine Vielzahl von Anwendungen, so dass davon ausgegangen werden kann, dass Mobilfunkdaten bereits in naher Zukunft eine wichtige Rolle in der Erfassung von Verkehrsdaten einnehmen werden.**

Die Erfassung von Verkehrsdaten ist eine wesentliche Grundlage für die Planung und den Betrieb von Verkehrsanlagen. Neben bekannten und erprobten lokalen Detektoren wie etwa Induktionsschleifen und Infrarot- oder Radardetektoren werden heute vermehrt mobile Detektoren erforscht und auch bereits eingesetzt. Diese mobilen Detektoren fließen im Verkehr mit und können dadurch Daten für die gesamte Route eines Verkehrsteilnehmers liefern. Bereits heute gibt es mit GPS-Geräten und Datenübertragungseinheiten ausgestattete Fahrzeuge, die ereignisorientiert Meldungen über die aktuelle Geschwindigkeit an eine Zentrale senden (Floating Car Data, FCD). Allerdings ist es aufgrund von hohen fahrzeugseitigen Aufrüstungskosten problematisch, einen ausreichenden Ausstattungsgrad zu erreichen. Zudem entstehen durch den Datenverkehr zwischen Fahrzeug und Zentrale hohe Übertragungskosten.

Diese Probleme treten bei der Nutzung von Mobilfunkdaten (Floating Phone Data, FPD) als Quelle für Verkehrsdaten nicht oder nur in viel geringerem Maße auf. Unter Mobilfunkdaten werden dabei die Verwaltungsdaten verstanden, die im normalen Betrieb des Mobilfunknetzes anfallen und somit keinen zusätzlichen Datenverkehr im Mobilfunknetz erzeugen. Der Ausstattungsgrad der Fahrzeuge mit Mobilfunkgeräten ist sehr hoch, da sich Mobilfunktelefone in den letzten Jahren in Deutschland und weltweit zu einem ständigen Begleiter der Menschen entwickelt haben. Zudem werden Mobilfunk-Module verstärkt in technischen Systemen wie etwa Navigationssystemen oder Onboard-Units zur Mauterfassung verbaut.

Eine Untersuchung der Datenquelle Mobilfunkdaten wurde in dem Forschungsprojekt „Do-iT“ (Datenoptimierung für integrierte Telematik) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert und durch die Projektpartner DDG (Gesellschaft für Verkehrsdaten), Stadt Karlsruhe, Landeshauptstadt Stuttgart, Innenministerium Baden-Württemberg und Universität Stuttgart (Institut für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen und Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik) bearbeitet. Ausgewählte Ergebnisse des Lehrstuhls für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik, die auf Mobilfunkdaten von T-Mobile Deutschland basieren, werden im Folgenden vorgestellt.

## SYSTEMARCHITEKTUR VON MOBILFUNKNETZEN

In Deutschland wird der Großteil des Mobilfunkverkehrs über GSM-Netze abgewickelt. GSM steht dabei für „Global System for Mobile Communications“ und ist eine detailliert spezifizierte Technologie, auf die ungefähr 80 Prozent der weltweiten Mobilfunkkommunikation aufbaut. Der für die mobile Kommunikation zuständige Teil eines GSM-Netzes besteht aus den folgenden Komponenten:

- ▶ Mobile Stations (MS), oder Mobilfunkgeräte: Dazu gehören neben Mobilfunktelefonen auch andere Geräte mit eingebauten SIM-Karten wie etwa On-Board-Units des deutschen Lkw-Mautsystems.
- ▶ Base Transceiver Station (BTS): Eine BTS besteht meistens aus drei Sektor-Antennen mit einem Strahlwinkel von 120 Grad, seltener aus zwei oder vier An-

tennen. Der von einer Antenne abgedeckte Bereich ist die kleinste Zell-Einheit im Mobilfunknetz.

- ▶ Base Station Controller (BSC): Ein BSC verwaltet mehrere BTS. Daten zwischen der BTS und dem BSC werden über das sogenannte Abis-Interface übertragen.
- ▶ Mobile Switching Center (MSC): Ein MSC ist eine Mobile Vermittlungsstelle, die für mehrere BSC zuständig ist. Der Datenaustausch zwischen BSC und MSC erfolgt über das sogenannte A-Interface.

Mehrere Funkzellen werden zu einer Location Area zusammengefasst. Die obige Abbildung zeigt die Größe der Location Areas von T-Mobile sowie das Straßennetz im Untersuchungsgebiet, welches das Autobahnviereck zwischen Walldorf, Karlsruhe, Heilbronn und Stuttgart abdeckt. Der Aufenthaltsort eines eingeschalteten Mobilfunkgerätes ist netzseitig nur auf der Ebene von Location Areas bekannt. Erst bei einem Verbindungsaufbau wird die aktive Funkzelle (Serving Cell) ermittelt, über die dann die weitere Kommunikation abläuft. Dieses zweistufige Vorgehen minimiert den Aufwand an Verwaltungsdaten im Netz sowie den Energieverbrauch im Endgerät.

Die Verwaltungsdaten im Mobilfunknetz können an den Schnittstellen zu diesen Komponenten protokolliert werden, wenn dort sogenannte Network Probes installiert werden. Dabei handelt es sich um spezielle Rechner, die den Datenverkehr zwischen BTS und BSC (Abis-Interface) oder BSC und MSC (A-Interface) protokollieren.

Art und Umfang der Verwaltungsdaten variieren, je nachdem ob ein Mobiltelefon lediglich im Netz eingebucht ist (Standby-Mode) oder ob gerade eine aktive Gesprächs- oder Datenverbindung besteht (Dedicated-Mode).

Beim Standby-Mode wird der Wechsel zwischen zwei Location Areas („Location Area Update“) erfasst. Darüber hinaus gibt es Updates in regelmäßigen Abständen von mehreren Stunden („periodic location update“). Bei beiden Arten von Updates wird die aktuelle Funkzelle aufgezeichnet. Dies kann sowohl am A- als auch am Abis-Interface protokolliert werden.

Im Dedicated-Mode sendet das Endgerät alle 480ms unter anderem die Funkstärken zur aktuell verwendeten und bis zu sechs benachbarten Funkzellen und die Signallaufzeiten. Diese Daten können nur am Abis-Interface

protokolliert werden. A-Interface kann im Dedicated-Mode der Wechsel von einer in eine andere Funkzelle („Handover“) erfasst werden.

## GENERIERUNG VON TRAJEKTORIEN

Die Location Area Updates werden unabhängig von eventuellen Telefonaten von allen Mobilfunkgeräten durchgeführt und eignen sich daher für eine kontinuierliche Beobachtung von Verkehrsteilnehmern und damit für die Generierung von Trajektorien, dem räumlich-zeitlichen Verlauf einer Fahrt. Die wesentliche Idee hinter den hier vorgestellten Verfahren zur Generierung von Trajektorien ist es, Location Area Code Folgen aus Mobilfunkdaten des A-Interface („A-Daten-LAC-Folgen“) mit „Netz-LAC-Folgen“ zu vergleichen, die aus dem Straßen- und Schienennetz erzeugt werden.

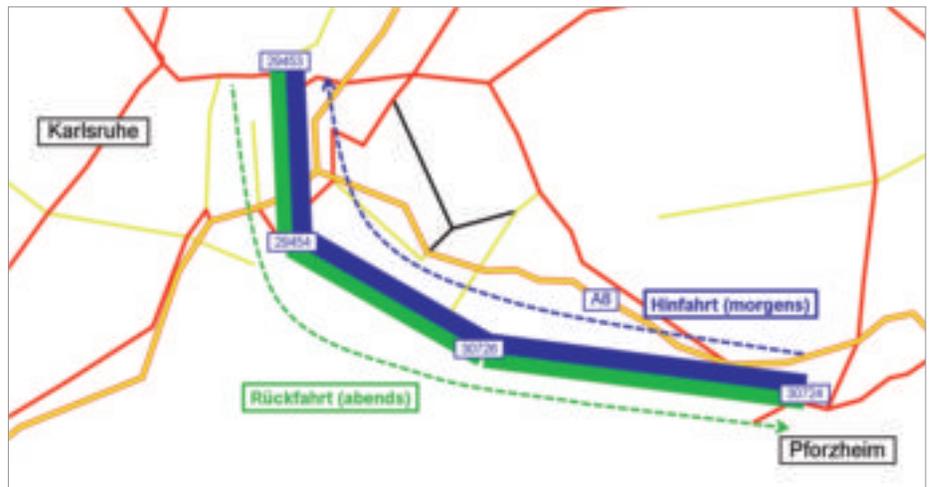
Mit dieser LAC-basierten Generierung von Trajektorien können nur längere Fahrten erfasst werden, für die mindestens drei verschiedene LACs protokolliert werden. Auf den Autobahnen findet durchschnittlich alle 8 Kilometer ein Location Area Update statt, so dass Fahrten ab einer Länge von rund 20 Kilometer erfasst werden können.

## A-DATEN-LAC-FOLGEN

Basis für die Generierung der A-Daten-LAC-Folgen sind die Location Area Updates, so dass alle weiteren Einträge in den A-Daten, die durch Telefonate, Datenverbindungen und SMS entstehen, gelöscht werden können. Zudem können alle Mobilfunkteilnehmer mit weniger als drei unterschiedlichen Location Areas gelöscht werden, da für diese keine Trajektorien generiert werden können. Dadurch können von den 40 Millionen Datensätzen, die an einem durchschnittlichen Werktag im Untersuchungsgebiet anfallen, fast 35 Millionen Datensätze gelöscht werden. Die verbleibenden fünf Millionen Datensätze verteilen sich auf ungefähr 700.000 Mobilfunkteilnehmer.

In einem weiteren Schritt werden die Daten eines Mobilfunkteilnehmers dahingehend analysiert, ob keine, eine oder mehrere Fahrten während der Datenaufzeichnung durchgeführt worden sind. So hat ein Mobilfunkteilnehmer, der sehr häufig zwischen drei Location Areas hin und her wechselt, meistens keine Fahrt gemacht, sondern befindet sich im Grenzbereich der Location ▷

Areas und wechselt aufgrund von Abschattungen, kleinräumigen Bewegungen und anderen technischen Gründen zwischen diesen hin und her. Dagegen kann bei einem Mobilfunkteilnehmer, der nach regelmäßigen Location Area Updates in nacheinander liegenden Location Areas einen längeren Zeitraum kein Update mehr durchführt, davon ausgegangen werden, dass eine Fahrt beendet worden ist. Die Abbildung unten zeigt ein typisches Beispiel für einen Mobilfunkteilnehmer, der morgens von Pforzheim nach Karlsruhe und abends dieselbe Strecke zurück fährt. Für dieses Beispiel ergeben sich die zwei A-Daten-LAC-Folgen „30724 – 30726 – 29454 – 29453“ und „29453 – 29454 – 30726 – 30724“.



Aufteilung der Fahrten eines Mobilfunkteilnehmers.

## NETZ-LAC-FOLGEN

Als Referenz für die A-Daten-LAC-Folgen werden Netz-LAC-Folgen aus dem Straßen- und Schienennetz generiert. Dazu werden zuerst in den beiden Netzen alle sinnvollen Routen zwischen den Knoten des Verkehrsnetzes erzeugt. Diese Routen sind Folgen von Strecken im Verkehrsnetz und müssen anschließend in Netz-LAC-Folgen umgewandelt werden. Dafür werden die Flächen der Location Areas mit dem Verkehrsnetz verschnitten und die auf der Route durchfahrenen Location Areas aneinander gereiht.

## MATCHING VON LAC-FOLGEN

Nachdem nun sowohl aus den A-Daten als auch aus den Verkehrsnetzen LAC-Folgen generiert worden sind, werden diese miteinander verglichen. Dafür werden in einem ersten Schritt LAC-Folgen mit kompletter Übereinstimmung identifiziert. Dies ist allerdings nicht ausreichend, da zum einen die Berechnungen der räumlichen Ausdehnung der Location Areas nur eine Näherung der Realität darstellen und zum anderen sich ein Mobilfunkgerät aufgrund etwa von Abschattungen nicht immer bei der theoretisch stärksten Funkzelle anmeldet. Daher wird für die A-Daten-LAC-Folgen, die nicht im ersten Schritt identifiziert werden konnten, die ähnlichste Netz-LAC-Folge gesucht und dieser bei ausreichender Ähnlichkeit zugeordnet.

Auf diese Weise können für rund 80 Prozent der potentiell als Fahrten identifizierten A-Daten-LAC-Folgen zugehörige Netz-LAC-Folgen gefunden werden. Jede Netz-LAC-Folge entspricht einer oder mehreren

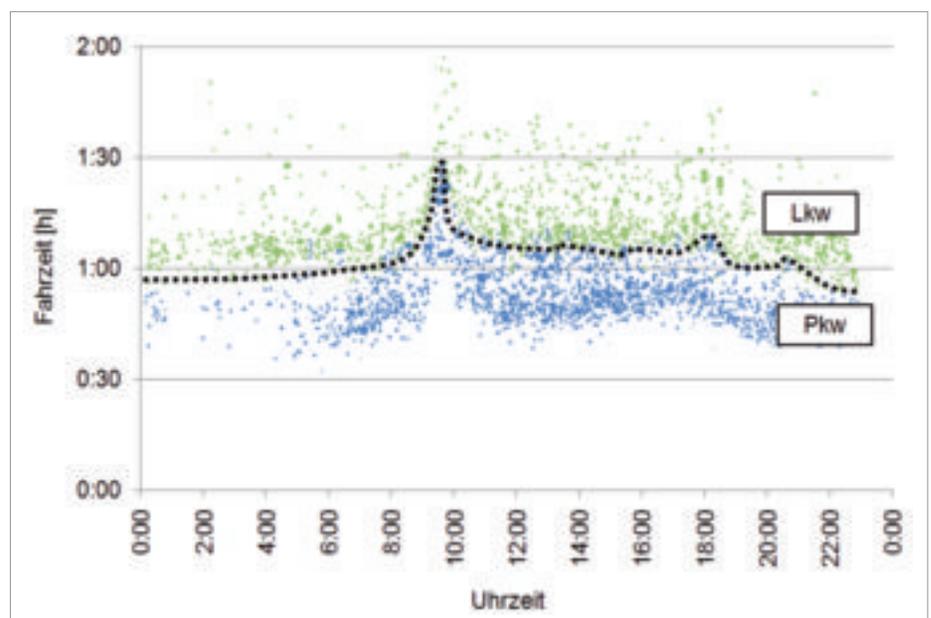
Routen im Verkehrsnetz. Bei Mehrdeutigkeiten, die vor allem im feinmaschigen untergeordneten Netz stattfinden, werden die Fahrten mit in der Verkehrsplanung üblichen Modellen auf die verschiedenen Routen aufgeteilt. Für jeden Knoten einer Route kann abschließend aus den zeitlichen Informationen der A-Daten eine Durchfahrtszeit ermittelt werden.

## ERGEBNISSE

Für das Untersuchungsgebiet können an einem durchschnittlichen Werktag insgesamt 500.000 Fahrten identifiziert werden, von denen 400.000 Fahrten im Straßen- und 100.000 Fahrten im Schienennetz durchge-

führt werden. Die Belastungen aus den Trajektorien liegen auf den Autobahnen bei rund 40 bis 50 Prozent der Werte von lokalen Detektoren. Der Wert liegt deutlich unter 100 Prozent, da nicht in allen Fahrzeugen ein Mobilfunkgerät im T-Mobile-Netz vorhanden ist. Dass die Werte etwas über dem Marktanteil von T-Mobile liegen, lässt sich unter anderem auf die überdurchschnittliche Ausstattung mit T-Mobile-SIM-Karten in Lkw zurückführen, da die On-Board-Units der Mauterfassung eine solche SIM-Karte enthalten.

Die Analysen von Fahrzeiten auf längeren Streckenabschnitten zeigen sehr gute Ergebnisse. Die ermittelten Fahrzeiten sind sehr realistisch und ermöglichen eine grobe



Fahrzeiten von Stuttgart über Karlsruhe zum Kreuz Walldorf (A8 und A5), ca. 90 Kilometer.

Trennung von Pkw und Lkw. Bei Störungen (in dem unten gezeigten Beispiel gegen 10 Uhr) gleichen sich die Fahrzeiten von Pkw und Lkw an, da die Pkw ihre schnellere Geschwindigkeit im Stau nicht nutzen können. Nachts nimmt die Anzahl der Lkw etwa um die Hälfte ab, während kaum noch Pkw fahren.

## ROUTENWAHLANALYSEN

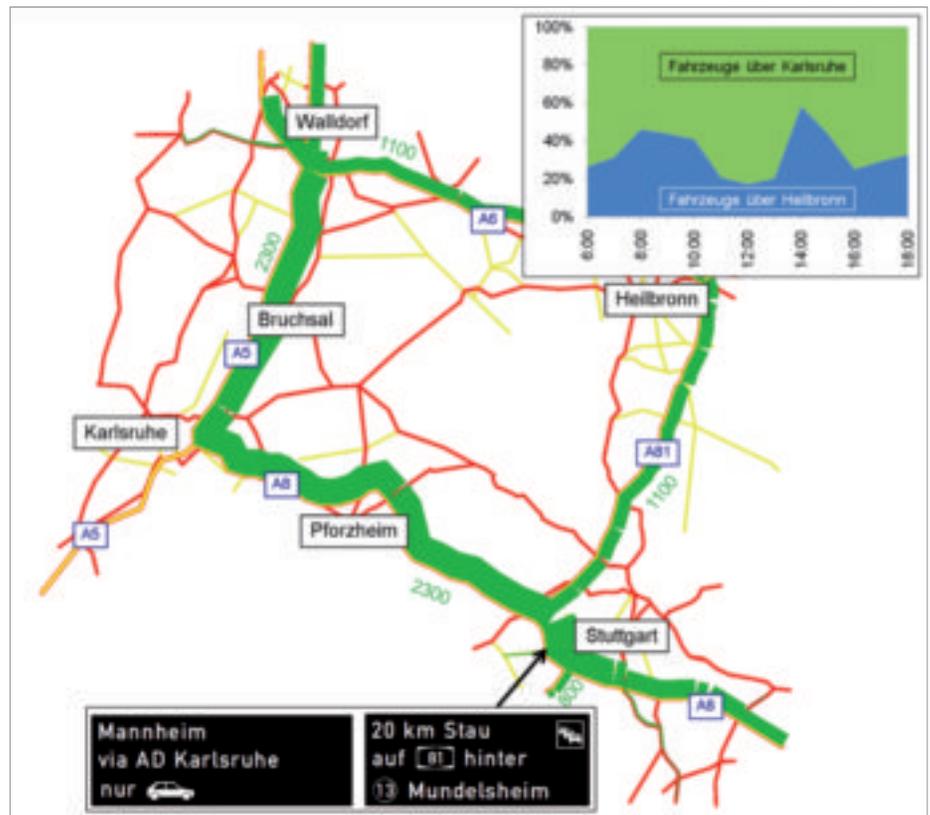
Im Folgenden soll mit der Analyse der Routenwahl eine der möglichen Anwendungen der Trajektorien aus Mobilfunkdaten präsentiert werden.

Bei nahezu allen Fahrten haben die Verkehrsteilnehmer verschiedene Routen zur Auswahl. Während einige Verkehrsteilnehmer immer dieselbe Route nehmen, lassen sich andere Verkehrsteilnehmer von Informationen über die aktuelle Verkehrslage in ihrer Entscheidung beeinflussen. Die kann entweder vor Fahrtantritt (pre-trip) etwa über das Internet erfolgen oder während der Fahrt (on-trip) unter anderem durch Verkehrsmeldungen im Radio oder im Navigationssystem.

Eine optimale Beeinflussung der Routenwahl der Verkehrsteilnehmer ermöglicht es, vorhandene Kapazitäten im Verkehrsnetz so zu nutzen, dass Staus verhindert werden können oder zumindest die Anzahl der Fahrzeuge im Stau so gering wie möglich gehalten werden kann. Eine optimierte Lenkung kann nicht nur die Fahrzeiten der Verkehrsteilnehmer, sondern auch die umweltschädlichen Wirkungen von Staus (etwa Kohlendioxid-Emissionen) verringern.

Die verantwortlichen Behörden haben dieses Potenzial seit längerem erkannt und investieren in die Bereitstellung von Verkehrsmeldungen und in die Errichtung von Wechselwegweisungen, die abhängig von der Verkehrslage Routenempfehlungen geben. So wurden allein im Programm zur Verkehrsbeeinflussung auf Bundesautobahnen (2002–2007) ungefähr 100 Millionen Euro durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen für den Bau von Wechselwegweisungen bereitgestellt.

Mit den Trajektorien aus Mobilfunkdaten ist es erstmals möglich, die Reaktionen der Verkehrsteilnehmer auf diese dynamischen Informationen in einer großen Stichprobe direkt zu beobachten und anschließend auszuwerten. Die Abbildung unten zeigt die Fahrzeuge im Verkehrsnetz, die



Anzahl Trajektorien von Stuttgart nach Walldorf.

vom Dreieck Leonberg (bei Stuttgart) bis zum Autobahnkreuz Walldorf fahren. Rund 70 Prozent der Fahrzeuge fahren die etwas kürzere Route über Karlsruhe, die Restlichen fahren über Heilbronn. Dieser Anteil schwankt über den Tag zwischen 60 und 80 Prozent.

Diese Schwankungen gehen teilweise auf natürliche Schwankungen zurück. Ausführliche statistische Analysen über einen Beobachtungszeitraum von 80 Tagen zeigen allerdings auch, dass die Verkehrsteilnehmer auf die dynamischen Informationen der Verkehrsmeldungen und der Wechselwegweisung vor dem Dreieck Leonberg reagieren. So wechseln ungefähr 30 Prozent des Durchgangsverkehrs auf der durch statische Schilder angezeigten Route bei aktiver Wechselwegweisung auf die von der Wechselwegweisung empfohlene Route. Eine ähnliche Wirkung hat eine Verkehrsmeldung im Radio über sieben Kilometer Stau, wobei Meldungen zu Beginn einer Route stärker bewertet werden als Meldungen gegen Ende der Route.

Die Kenntnis dieser Werte ermöglicht den Betreibern von Wechselwegweisungen, die Schaltstrategien zu optimieren und somit den Nutzen der hohen Investitionen in diese Anlagen zu erhöhen.

### Projekt Do-iT:

[www.vm2010.de/web/projekte/do-it.html](http://www.vm2010.de/web/projekte/do-it.html)

### Weitere Veröffentlichungen aus dem Projekt Do-iT:

[www.uni-stuttgart.de/iagb/publikation/publik\\_index.htm](http://www.uni-stuttgart.de/iagb/publikation/publik_index.htm)  
[www.isv.uni-stuttgart.de/vuv/publication/](http://www.isv.uni-stuttgart.de/vuv/publication/)

### Präsentationen zum dem Projekt Do-iT:

[telematik.niedersachsen.de/fileadmin/user\\_upload/pdf/Ulrich\\_Fastenrath\\_1\\_Do-it-Verkehrsdatenerfassung.pdf](http://telematik.niedersachsen.de/fileadmin/user_upload/pdf/Ulrich_Fastenrath_1_Do-it-Verkehrsdatenerfassung.pdf)  
[www.vm2010.de/web/fileadmin/feUploads/20A%202%20V.Schwieger.pdf](http://www.vm2010.de/web/fileadmin/feUploads/20A%202%20V.Schwieger.pdf)

### AUTOR:

Dipl.-Ing. Johannes Schlaich MBA (USQ)  
 Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik  
 Pfaffenwaldring 7, 70569 Stuttgart

T: +49 (0)711-685-82482

E: [johannes.schlaich@isv.uni-stuttgart.de](mailto:johannes.schlaich@isv.uni-stuttgart.de)

E: [markus.friedrich@isv.uni-stuttgart.de](mailto:markus.friedrich@isv.uni-stuttgart.de)