

# Effiziente Bewertung verkehrlicher Maßnahmen auf Basis von Floating-Car-Daten

Anita GRASER, Hannes KOLLER, Wolfgang PONWEISER,  
Melitta DRAGASCHNIG und Franz POHL

*Dieser Beitrag wurde nach Begutachtung durch das Programmkomitee als „reviewed paper“ angenommen.*

## Zusammenfassung

Die Bewertung verkehrlicher Maßnahmen ist ein wichtiger Aufgabenbereich in der Verkehrsplanung. Für eine systematische Evaluierung sind umfangreiche Daten notwendig, deren Beschaffung oft mit beträchtlichem Aufwand sowie Kosten verbunden ist. In dieser Arbeit wird eine kostengünstige Methode zur qualitativen und quantitativen Bewertung von verkehrlichen Maßnahmen auf Basis von Floating-Car-Daten (FCD) vorgestellt. Die eingesetzten Techniken werden am Anwendungsbeispiel der Evaluierung einer Netzoptimierung an einem urbanen Verkehrsknoten demonstriert.

## 1 Einleitung

Informationen über den Verkehrszustand sind von großer Bedeutung für eine ganze Reihe von Aufgaben in der Verkehrsplanung, wie beispielsweise die Bewertung verkehrlicher Maßnahmen. Die Erhebung einer ausreichenden Datengrundlage für eine systematische Evaluierung von verkehrlichen Maßnahmen wie Änderungen der Spurführung, oder Optimierung der Steuerungen von Lichtsignalanlagen, stellt oft eine Herausforderung dar und kann mit beträchtlichem Aufwand sowie Kosten verbunden sein.

Im folgenden Abschnitt werden gängige Ansätze zur Erhebung von Daten für Evaluierungsaufgaben angeführt. Danach folgt eine Einführung in FCD-Systeme. In Abschnitt 2 wird eine kostengünstige Methode zur qualitativen und quantitativen Bewertung von verkehrlichen Maßnahmen auf Basis von FCD vorgestellt. In Abschnitt 3 wird der Einsatz dieser Methode am Anwendungsbeispiel der Evaluierung einer Netzoptimierung an einem urbanen Verkehrsknoten demonstriert.

### 1.1 Bewertung verkehrlicher Maßnahmen

Bei der Bewertung von verkehrlichen Maßnahmen, wie beispielsweise Änderungen der Spurführung, oder Optimierung der Steuerungen von Lichtsignalanlagen, werden unterschiedliche Strategien zur Erhebung der notwendigen Daten verfolgt. So werden unter anderem Schleifensensoren, Systeme zur automatischen Nummernschilderkennung (ANPR) oder auch dedizierte GPS-Messfahrten zur Datenerfassung genutzt.

Schleifensensoren zur Bestimmung des Verkehrszustandes (MÜCK 2002) haben den Nachteil, dass sie nicht überall verfügbar sind und nur lokale Messwerte liefern können. Je nach Position der Sensoren (Nähe zur Haltelinie) sind die Messwerte unterschiedlich zu interpretieren.

Im Gegensatz zu Schleifensensoren liefern ANPR-Systeme streckenbezogene Messungen. Allerdings sind diese Systeme wartungsintensiv und witterungsabhängig. Dementsprechend fallen hohe Kosten an, wenn ANPR-Daten zur Bewertung verwendet werden sollen.

Dedizierte GPS-Messfahrten sind unabhängig von stationärer Sensorik und können daher auf beliebigen Strecken durchgeführt werden. Allerdings gehen Messfahrten mit beträchtlichem Planungs- und Koordinationsaufwand einher. Vor allem wenn eine aussagekräftige Stichprobengröße erreicht werden soll, muss diese Technik als aufwendig und kostenintensiv betrachtet werden.

## 1.2 Floating-Car-Systeme

FCD-Systeme, in denen eine Fahrzeugflotte als mobile Sensoren im Verkehrsfluss genutzt wird, sind eine kostengünstige Quelle für Verkehrsinformationen. FCD-Systeme werden auf Basis unterschiedlicher Fahrzeugflotten aus Taxis, Lieferfahrzeugen oder auch öffentlichen Verkehrsmitteln betrieben. Die am weitesten verbreitete Form sind Taxi-FCD-Systeme, wie beispielsweise jene in Berlin mit 4.000 (KUHNS 2011), Peking mit 10.000 (LI 2009), oder Wien mit ca. 3.000 Taxis.

Das FCD-System des AIT in Wien („FLEET“) analysiert GPS-Positionen von Taxiflotten und berechnet daraus Verkehrszustände bzw. Reisezeiten. Die Meldehäufigkeit der gemessenen Fahrzeuge richtet sich nach dem Best-Effort-Prinzip und hängt von zahlreichen technischen Faktoren des darunterliegenden Taxivermittlungssystems ab. Das typische Berichtsintervall beträgt etwa 40 bis 80 Sekunden.

Das FCD-System berechnet standardmäßig alle 15 Minuten einen Reisezeit- bzw. Geschwindigkeitswert für jeden einzelnen Link des zugrunde liegenden Graphenintegrationsplattform (GIP) Straßengraphen. Die Reisezeit einer Route wird durch Aggregation der einzelnen Link-Reisezeiten errechnet. Somit steht alle 15 Minuten ein Reisezeitwert für jede betrachtete Route zur Verfügung (LINAUER 2004).

Die Aussagekraft der geschätzten Reisezeiten des FCD-Systems, im Vergleich zu Reisezeiten aus dedizierten GPS-Messfahrten und ANPR-Systemen, wurde in (FIBY 2011, MARCINEK 2011) umfassend untersucht. Abbildung 1 zeigt einen Vergleich von Reisezeiten aus ANPR-Messungen mit Reisezeiten des FCD-Systems auf einer urbanen Hauptverkehrsader in Wien. Erwartungsgemäß steigt die Genauigkeit der Reisezeitvorhersage mit höherer Stichprobengröße. Reisezeitspitzen in Stausituationen konnten mit FCD verlässlich erkannt werden, auch wenn sehr hohe Spitzen nicht in ihrem kompletten Ausmaß abgebildet wurden. Die Untersuchung ergab eine durchschnittliche Abweichung der Reisezeiten zwischen FCD und ANPR von 2,5 Prozent mit einer Standardabweichung von 15 Prozent (MARCINEK 2011).

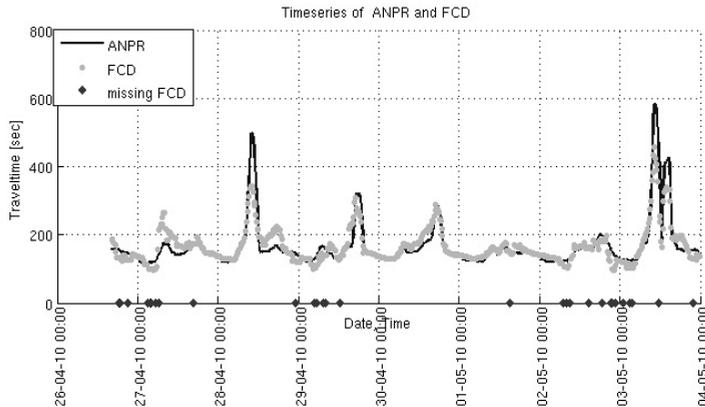


Abb. 1: Vergleich von FCD-Reisezeiten mit ANPR-Messungen (MARCINEK 2011)

## 2 Bewertungsmethode für verkehrliche Maßnahmen

Die vorgeschlagene Bewertungsmethode basiert auf einem Vorher-Nachher Vergleich von FCD-Routenreisezeiten. Die Effekte der verkehrlichen Maßnahme werden bewertet, indem die typischen Reisezeitverläufe bei aktivierter Maßnahme („*Test-Cluster*“) mit den Reisezeitverläufen eines Referenzzeitraumes bei deaktivierter Maßnahme („*Referenz-Cluster*“) verglichen werden (vgl. Abbildung 2).

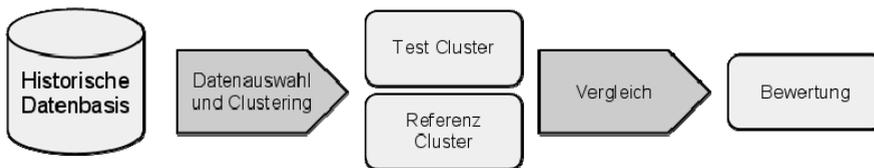


Abb. 2: Ablauf der Bewertung

### 2.1 Datenauswahl und Clusterbildung

Um einen effektiven Vergleich des Verkehrszustandes vor und nach der Aktivierung der verkehrlichen Maßnahme zuzulassen, müssen Tage bestimmt werden, an denen das grundsätzliche Verkehrsgeschehen im Testgebiet vergleichbar sind. Die Clusterbildung der Reisezeit-Tagesgänge spielt eine essenzielle Rolle für die Effektivität der Bewertungsmethode, da sichergestellt werden muss, dass vergleichbare Tage für die Bewertung herangezogen werden. Eine einfache Einteilung anhand von *Metainformation* wie Wochentag, Schul-/Ferienzeit, Jahreszeit oder Wettereinflüssen kann zur Kategorisierung verwendet werden und dazu dienen, Gruppen von vergleichbaren Tagen zu identifizieren. Ist im Zulauf zum betrachteten Gebiet Sensorik zur Verkehrsdetektion vorhanden, sollte besser eine *Clusterbildung anhand der regionalen Verkehrsnachfrage* vorgenommen werden. Diese Methode führt zu homogeneren Clustern.

Da Evaluierungen einer Maßnahme typischerweise kurz nach deren Aktivierung stattfinden, hat sich in der Praxis das Vorgehen bewährt, zunächst die Zusammensetzung des *Test-Clusters* zu bestimmen und anhand der Beschaffenheit dieses Clusters einen passenden *Referenz-Zeitraum* aus der historischen Datenbasis zu bestimmen.

## 2.2 Vergleich

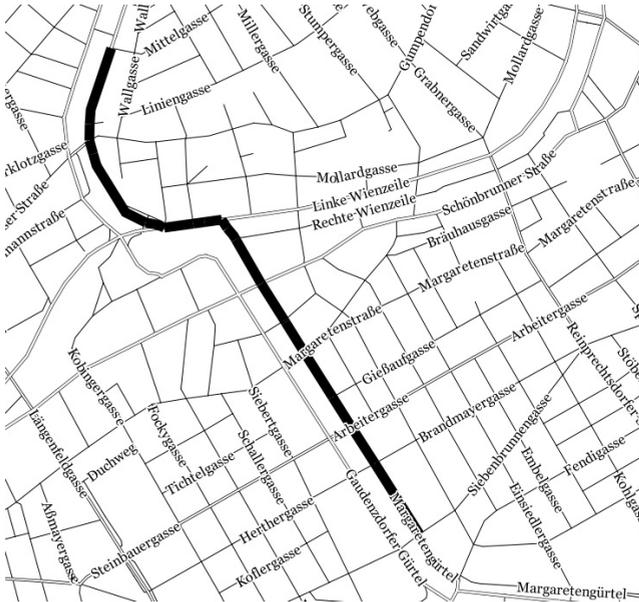
Für den Testcluster und den Referenzcluster wird je ein *Repräsentant* errechnet, welcher den typischen Reisezeitverlauf der Tage innerhalb des Clusters widerspiegelt. Dazu wird in diesem Verfahren der Mittelwert geschätzt. Die beiden Clusterrepräsentanten werden zunächst visuell miteinander verglichen und *Abweichungen* festgestellt. Da es sich bei den mit FCD gemessenen Fahrzeugen um eine kleine Stichprobe des Gesamtverkehrs handelt, müssen geringe Abweichungen zwischen Mittelwerten mit Vorsicht betrachtet werden. Messungenauigkeiten und Ausreißer können leicht zu großen Schwankungen des Mittelwerts führen, obwohl in der Gesamtheit aller Fahrzeuge keine signifikante Veränderung des Verkehrszustandes stattgefunden hat.

Neben einer Visualisierung der Verteilung, wird in den Fällen, wo deutliche Änderungen im Reisezeitverlauf erkennbar sind, mithilfe statistischer Tests geprüft, ob diese Abweichungen als signifikant zu werten sind. Die FCD-Reisezeitmessungen, vor und nach der verkehrlichen Maßnahme, werden als zwei Stichproben betrachtet, die mit dem Kruskal-Wallis-Test (Kruskal & Wallis 1952) geprüft werden. Das Ergebnis dieses statistischen Tests trifft keine explizite Aussage darüber, ob sich der Verkehrszustand verbessert oder verschlechtert hat und sagt auch nichts über die Größe der Veränderung aus. Aber er berechnet die Wahrscheinlichkeit, dass derselbe Verkehrszustand zugrunde liegt, wenn diese beiden FCD-Stichproben gemessen werden. Unterschreitet der resultierende p-Wert das Signifikanzniveau von 0,05, wird von einer Änderung der Verkehrssituation ausgegangen.

## 3 Ergebnisse

Das Bewertungssystem wurde am Beispiel der Netzoptimierung (Koordinierung zusammenhängender Verkehrslichtsignalanlagen) für mehrere Routen an einem urbanen Knotenpunkt untersucht. Wir präsentieren beispielhaft die Ergebnisse einer 1576 Meter lange Route in Wien (Gürtel in Süd-Nord Richtung von der Kreuzung Gürtel/Siebenbrunnengasse bis zur Kreuzung Gürtel/Mittelgasse, vgl. Abbildung 3). Für die Bestimmung der Verkehrsnachfrage wurden die Verkehrsstärkeganglinien im Zulauf zum Testgebiet, unter Verwendung des Traffic Count Management (TCM) Tools der Firma PTV, nach folgenden Vorgaben analysiert:

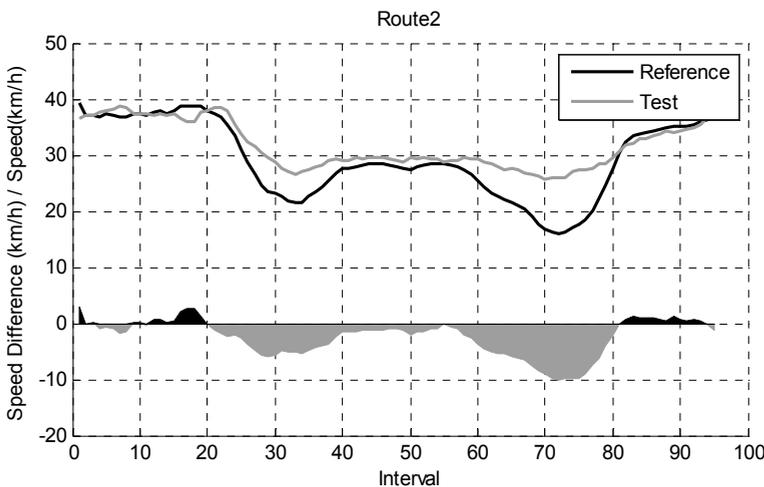
- **Test-Cluster:** Beinhaltet Tage mit aktiver Netzoptimierung im Mai 2011. Basierend auf den TCM-Verkehrsstärkeganglinien im Zulauf zum Testgebiet wurden jene Tage identifiziert, welche ein vergleichbares Verkehrsaufkommen aufweisen.
- **Referenz-Cluster:** Beinhaltet Tage ohne Netzoptimierung aus dem Zeitbereich September bis Dezember 2010. Basierend auf den TCM-Verkehrsstärkeganglinien im Zulauf zum Testgebiet wurden Tage ausgewählt, welche ein vergleichbares Verkehrsaufkommen aufweisen wie die Tage aus dem Test-Cluster.



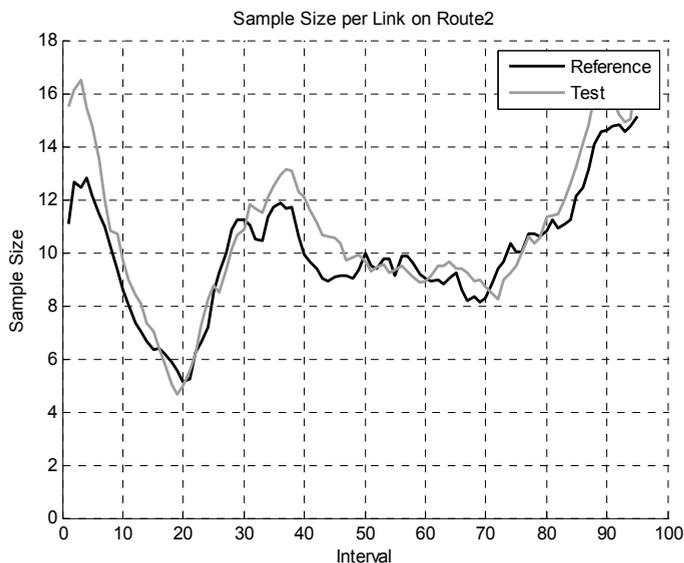
**Abb. 3:**  
Testgebiet  
und -route

Der Vergleich der mittleren Geschwindigkeitsverläufe in Abbildung 4 zeigt teilweise starke Verbesserungen des Verkehrszustands durch die Netzoptimierung. Während der Morgenspitze und vor allem gegen Abend zeigen sich mittlere Verbesserungen von bis zu 10 km/h. Während der Nachtstunden, sowie zu Mittag zeigen sich nur sehr geringe Abweichungen. Zu diesen Zeiten gab es keine nachweisbaren Veränderungen.

Die FCD-Stichprobengröße bewegt sich im Mittel zwischen 16 Messungen pro Link und 15-Minuten-Intervall in der Nacht und ca. 8 bis 10 Messungen pro Link und 15-Minuten-Intervall tagsüber (siehe Abbildung 5). Das entspricht im Mittel einer Messung alle 1,5 bis 2 Minuten auf jedem Link der Route.



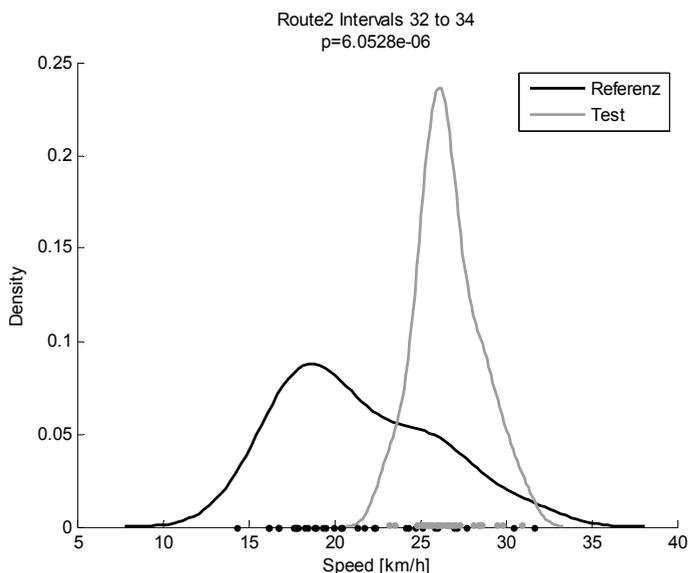
**Abb. 4:** Mittlere FCD-Geschwindigkeit mit und ohne Netzoptimierung



**Abb. 5:**  
Mittlere FCD-  
Stichprobengröße  
pro Link

### 3.1 Detailanalyse Morgenspitze

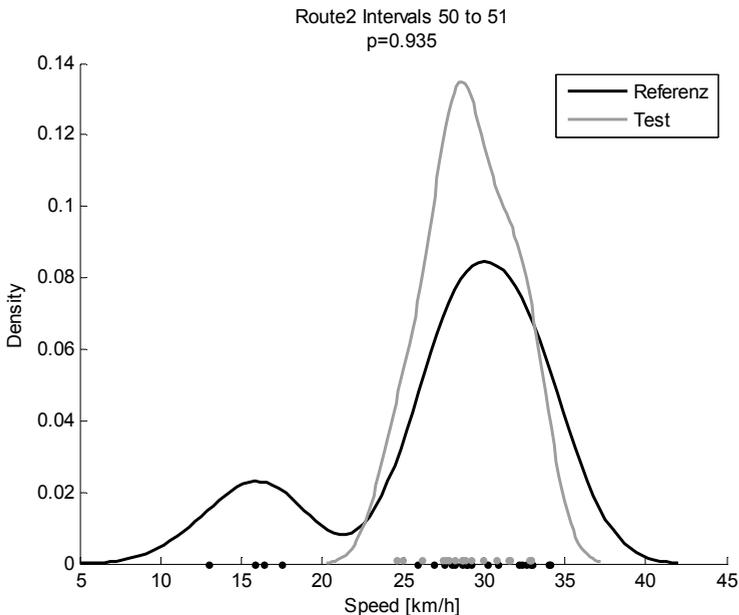
Der Vergleich der Geschwindigkeitsverteilungen während der Morgenspitze (von 8:00 bis 8:30 Uhr) in Abbildung 6 zeigt eine deutliche Veränderung bei aktivierter Netzoptimierung: Der Mittelwert verschiebt sich in Richtung einer höheren Geschwindigkeit und die Streuung der Messwerte nimmt sichtbar ab, was auf einen gleichmäßigeren Verkehrsfluss hinweist. Der statistische Test weist eine hohe Wahrscheinlichkeit für eine Verbesserung des Gesamtverkehrszustandes aus (p-Wert kleiner 0,05).



**Abb. 6:**  
Geschwindigkeits-  
verteilung zwischen  
8:00 und 8:30 Uhr

### 3.2 Detailanalyse Mittag

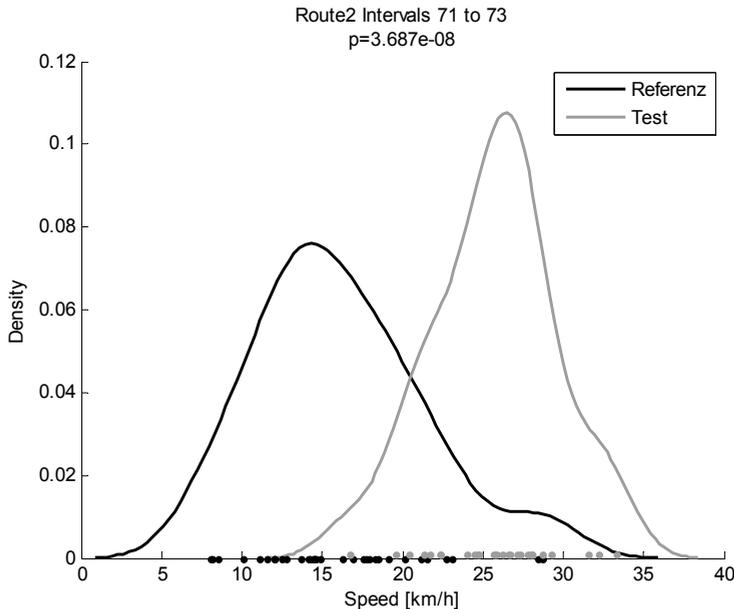
Der Verlauf in Abbildung 4 lässt neben den ausgeprägten Verbesserungen am Morgen und Abend auch die Vermutung zu, dass sich die Verkehrssituation in den Mittagsstunden leicht verbessert hat. Abbildung 7 zeigt die dazugehörigen FCD-Geschwindigkeitsverteilungen im Zeitraum zwischen 12:30 und 12:45 Uhr, wo die Verbesserung am ausgeprägtesten erscheint. Auf den ersten Blick scheinen sich die Verteilungen deutlich zu unterscheiden, da die Geschwindigkeitsverteilung im Referenzzeitraum bimodale Eigenschaften aufweist. Bei näherer Betrachtung fällt jedoch auf, dass ein Großteil der Messwerte starke Ähnlichkeiten aufweist und die Bimodalität der Referenzkurve nur durch einige wenige Messwerte verursacht wird, die höchstwahrscheinlich als Ausreißer zu werten sind. Dieser Verdacht wird durch den hohen p-Wert des statistischen Tests erhärtet. Es handelt sich hier lediglich um eine Messungenauigkeit und keine nachweisbare Änderung im Verkehrszustand.



**Abb. 7:** Geschwindigkeitsverteilung zwischen 12:30 und 12:45 Uhr

### 3.3 Detailanalyse Abendspitze

Die deutlichste Verbesserung dieser Auswertung zeigt sich während der Abendspitze. In Abbildung 8 ist bei aktivierter Netzoptimierung eine deutlich geänderte Geschwindigkeitsverteilung erkennbar. Es sind sowohl eine Verschiebung der Messwerte in den Bereich höherer Geschwindigkeiten als auch eine Reduktion der Streuung zu beobachten. Aufgrund des Vergleichs mit FCD-Messungen kann somit davon ausgegangen werden, dass sich die Verkehrssituation auf dieser Route während der Abendspitze durch die verkehrliche Maßnahme deutlich verbessert hat.



**Abb. 8:** Geschwindigkeitsverteilung zwischen 17:45 und 18:15 Uhr

## 4 Fazit

Am Beispiel einer Netzoptimierung an einem urbanen Verkehrsknotenpunkt konnte gezeigt werden, wie auf Basis von FCD sowohl quantitative Aussagen (z. B. Veränderung der gemessenen Durchschnittsgeschwindigkeit), als auch qualitative Aussagen (statistische Signifikanz der Veränderungen) über die Auswirkungen einer verkehrlicher Maßnahme gemacht werden können. So im Untersuchungsgebiet FCD-Systeme vorhanden sind, sind FCD-basierte Evaluierungsmethoden eine kostengünstige und stets verfügbare Technologie. Wie diese Untersuchung gezeigt hat, können damit Evaluierungen verkehrlicher Maßnahmen, die sich über einen längeren Zeitraum erstreckenden, effizient durchgeführt werden. Daten, die normalerweise zur Ermittlung des aktuellen Verkehrszustandes herangezogen werden, können so ein weiteres Mal genutzt werden.

## Literatur

- FIBY, H. et al. (2011), Qualitätsmanagement für Intelligente Transportmanagement Systeme. Endbericht Projekt-Nr. 820685, IV2Splus – Intelligente Verkehrssysteme und Services plus, I2V – 2. Ausschreibung, Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG).
- KRUSKAL, W. H. & WALLIS, W. A. (1952), Use of ranks in one-criterion variance analysis. In: Journal of the American Statistical Association, 47 (260), 583-621. JSTOR. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/2280779>.

- KUHNS, G., EBENDT, R., WAGNER, P., SOHR, A. & BROCKFELD, E. (2011), Self Evaluation of Floating Car Data based on Travel Times from actual Vehicle Trajectories. 2011 IEEE Forum on Integrated and Sustainable Transportation Systems, 29. Jun. – 01. Jul. 2011, Wien.
- LI, M., ZHANG, Y. & WANG, W. (2009), Analysis of congestion points based on probe car data. Intelligent Transportation Systems, 2009. ITSC '09. 12th International IEEE Conference on, 1-5.
- LINAUER, M. (2004). FLEET Project report – Fleet Logistics Service Enhancement with Egnos & Galileo Satellite Technology, Vienna: arsenal research.
- MARCINEK, M.-S. (2011), Untersuchung der Eignung von unterschiedlichen Verkehrsdatenerfassungssystemen zur Reisezeitermittlung auf einem Streckenabschnitt. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- MÜCK, J. (2002), Schätzverfahren für den Verkehrszustand an Lichtsignalanlagen unter Verwendung halteliniennaher Detektoren. In: Straßenverkehrstechnik, 11/2002, 613-618.