

Verkehrsmonitoring unter Verwendung von Location based Services

C. Menard, J. Scholz, M. Diener
Carinthia University of Applied Sciences, School of Geoinformation

1 Einleitung

In vielen Bereichen bilden mobile Anwendungen einen wichtigen integralen Bestandteil in der Navigation bis hin zur Planung von Entscheidungsprozessen. Mobile Geräte werden in der Anschaffung immer günstiger, wobei die Funktionalität ständig steigt.

Speziell im Bereich Verkehr wird es immer wichtiger aktuelle Informationen über Staus, Umfahrungen oder Baustellen zur Verfügung zu stellen, um Entscheidungen für gewisse verkehrsrelevante Fragestellungen treffen zu können. In dieser Arbeit wird eine Methode beschrieben, die es ermöglicht eine aktuelle Übersicht über die Verkehrssituation zu bekommen und in einer Karte darzustellen. Dabei spielt die Möglichkeit der Online Datenerfassung mit Hilfe von Verkehrssensoren, die Bestimmung des aktuellen Verkehrs und die Visualisierung der Ergebnisse eine entscheidende Rolle.

1.1 Problemstellung und Motivation

In vielen Städten gibt es Probleme mit dem Verkehr, der ständig zunimmt und zu frequentierten Zeiten für viele Berufstätige zu einem wirklichen Problem werden kann. Baustellen, Großereignisse und Wetterbedingungen können den Verkehr stark beeinflussen. Durch den ständig anwachsenden Verkehr nimmt auch die Feinstaubbelastung zu. Verkehr, Industrie und die Verbrennung fester Brennstoffe durch Haushalte sind die wichtigsten Verursacher der Feinstaubbelastung. In vielen Städten Österreichs werden die von der EU festgesetzten Grenzwerte sehr oft überschritten. Unter den Maßnahmen zur Reduktion des Feinstaubes ist unter anderem auch der Verkehr ein wichtiger Faktor.

Der Verkehr innerhalb einer Stadt ist nur dann planbar, wenn neben anderen Faktoren auch die aktuelle Verkehrssituation bekannt ist oder aufgrund statistischer Werte die Verkehrsbelastung abgeschätzt werden kann [2]. Um aktuelle Stauwarnungen rechtzeitig ausschicken zu können müssen Stauzonen sofort erkannt und an eine Zentrale weitergeleitet werden. Die Zentrale wiederum könnte dann sofort die Information an die in Fahrzeugen befindlichen Navigationssysteme weiterleiten. Dazu ist es aber wichtig die aktuelle Verkehrssituation zu kennen, um sofort darauf reagieren zu können [3,4].

Um in weiterer Folge eine Verkehrsplanung realisieren zu können, ist es unabdingbar die aktuelle Verkehrssituation für ein Gebiet zu kennen. Beispielsweise können Großereignisse wie Fußballspiele oder Konzerte mit geplant werden und festgestellt werden wie die Verkehrssituation dadurch beeinflusst wird [5]. Bei Überschreitung der Feinstaubbelastung beispielsweise könnte simuliert werden was für Auswirkungen die Sperre einer Strasse oder eine Umleitung für einzelne Stadtgebiete bedeuten würde.

Um den aktuellen Verkehr einer Stadt messen zu können sind Sensoren notwendig, die periodisch für gewisse Bereiche das Verkehrsaufkommen messen. Diese Sensoren sind meistens stationär und an den Hauptverkehrswegen vorhanden [9]. Die Anschaffung dieser Technologie für jede Kreuzung in einem Stadtgebiet würde aber hohe Kosten ergeben. In dieser Arbeit wird eine Methode vorgestellt, die es ermöglicht mit Standard Telefonen (Smartphones) mobile Verkehrssensoren zu simulieren. Die aktuelle Verkehrssituation wird auf Anfrage durch ein zentrales Modell berechnet und visualisiert.

1.2 Location based Services

Location-based Services (LBS) bezeichnen jede Art von mobilen Diensten, die den Standort eines Benutzers verwenden, um ortsspezifische Informationen bereitzustellen [8]. Um LBS gut einsetzen zu können werden mobile Geräte benötigt um Informationen zur aktuellen Position sofort wiedergeben zu können. Am Markt gibt es derzeit eine Vielfalt von mobilen Geräten, angefangen von Tablet-PC's über Pocket PC's bis hin zu mobilen Telefonen (Smartphones). Auf diesen mobilen Geräten können die Informationen abhängig zur aktuellen Position abgerufen werden. Navigationssysteme zum Beispiel können zusätzlich zur vorgeschriebenen Fahrtroute für den Benutzer interessante Informationen wie Baustellen, Staus oder Gasthäuser anzeigen. Abhängig von der Auflösung können auch Karten und Zusatzinformation dargestellt werden [1]. Eine große Herausforderung stellt der Entwurf eines geeigneten Benutzerinterfaces für mobile Anwendungen dar, da nicht alle Geräte aufgrund ihrer reduzierten Auflösung und Tastatur für die Eingabe von Benutzerinformation geeignet sind.



Abbildung 1: Mobiles Gerät in Verbindung mit möglichen GPS.

Für ein Verkehrsmonitoring steht aber das Benutzerinterface nicht unbedingt im Vordergrund, da ein mobiles Gerät für eine Verkehrsüberwachung nur die Position und die Geschwindigkeit in periodischen Abständen an eine Zentrale übermitteln soll. Das Gerät soll bei der Initialisierung eingeschaltet werden und danach sind keine Benutzerinteraktionen notwendig. Das Konzept für den Einsatz von mobilen Geräten für ein Verkehrsmonitoring wird im nächsten Kapitel näher beschrieben.

2 Verkehrsmonitoring

2.1 Tracking

Um LBS für mobile Telefone einsetzen zu können, muss das Telefon in der Lage sein die aktuelle Position bestimmen zu können. Dazu benötigt man ein Handy mit integriertem GPS oder ein Zusatzgerät wie eine GPS Maus (siehe Abbildung 1)[7].

Wenn ein solches Gerät über eine gewisse Periode alle Informationen aufzeichnet, erhält man einen Weg (Track). Der Begriff Tracking beschäftigt sich daher mit der Verfolgung und Aufzeichnung von bewegten Objekten und derer Eigenschaften [6]. In dieser Arbeit wird ein mobiles Gerät als Verkehrssensor (Tracking Client) eingesetzt. Ein mobiler Tracking Client soll in der Lage sein alle wichtigen Informationen in gewissen Abständen an eine Zentrale senden zu können. Jeder Tracking Client leitet die aktuellen Informationen wie Datum, Position, Geschwindigkeit und Höhe an die Zentrale weiter. Um den gesamten Verkehr einer Stadt überwachen zu können müssen mehrere solcher Sensoren eingesetzt werden.

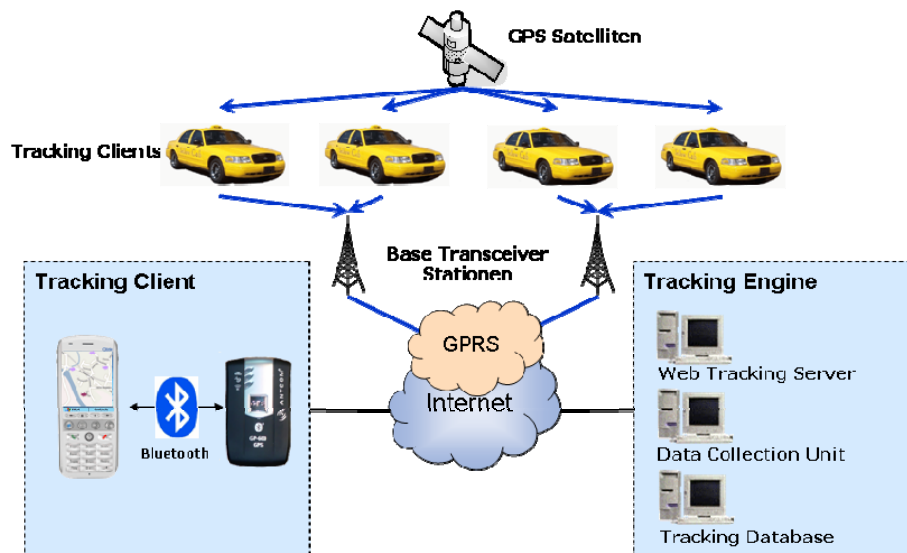


Abbildung 2: Spatial Tracking Service

Die Tracking Daten werden vom Tracking Client an die Tracking Engine weitergeleitet. Die Tracking Engine besteht aus einem

- *Web Tracking Server (WTS)*, einer
- *Data Collection Unit (DCU)* und einer
- *Tracking Database (TB)*.

Der schematische Zusammenhang ist in Abbildung 2 veranschaulicht. Der *WTS* stellt Web-Services für das Eintragen von Tracking Information zur Verfügung. Die *DCU* ist verantwortlich für das sammeln und überprüfen der Daten die dann anschließend in die *TB* geschrieben werden. Als Standard RDBMS wird PostgreSQL mit PostGIS Aufsatz verwendet, um auch zeitlich räumliche Zusammenhänge abbilden zu können.

2.2 Floating Cars Konzept

Wenn sich mehrere dieser Tracking Clients in der Stadt bewegen und Daten an die Tracking Engine übermitteln, bekommt man für ein Straßensegment über eine gewisse Zeit genügend Information um Aussagen über den Verkehr treffen zu können. Durch die aktuelle Geschwindigkeit des Tracking Clients auf dem jeweiligen Straßensegment kann bestimmt werden ob ein Auto die mögliche Geschwindigkeit fährt oder nicht. Die mögliche Geschwindigkeit pro Straßensegment steht beispielsweise in den Tele-Atlas Daten als Attribute zur Verfügung [10]. Wenn ein Auto mit einem Tracking Client in einem Stau unterwegs ist, wird die aktuelle Geschwindigkeit an die Tracking Engine gesendet. Durch die Abweichung der aktuellen Geschwindigkeit von der möglichen Geschwindigkeit des aktuellen Straßensegmentes kann auf einen Stau geschlossen werden. Über eine gewisse Zeit werden pro Straßensegment mehrere Informationen gesammelt die danach in einem Verkehrsmodell ausgewertet werden können (siehe Abbildung 3). Dadurch wird kontinuierliches Verkehrsmonitoring auf den zu beobachtenden Straßensegmenten möglich. Durch die zeitlich-räumliche Speicherung der Tracking Daten in der *TB* können, für jedes Straßensegment individuelle Geschwindigkeitsprofile erstellt werden, die für eine detaillierte Auswertung von Bedeutung sind. Ein Beispiel ist in Abbildung 4 dargestellt.

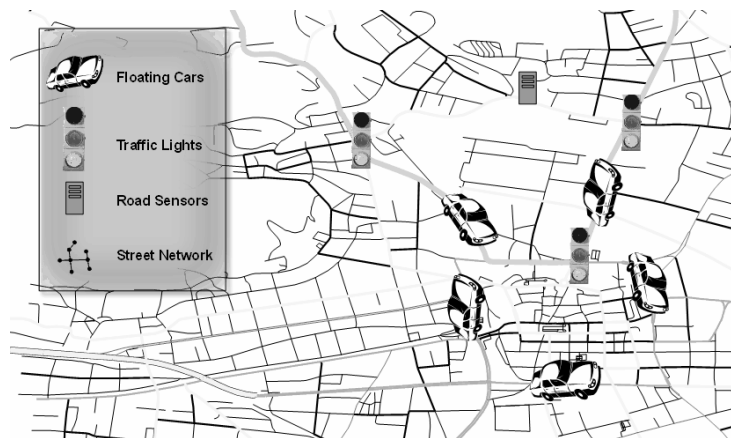


Abbildung 3: Floating Cars Konzept: Verkehrsdaten werden mit den Tracking Clients innerhalb des Stadtgebietes erfasst.

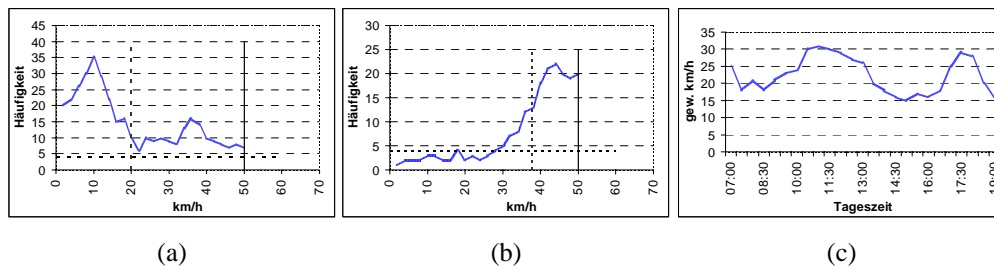


Abbildung 4: Verkehrsdaten eines Straßensegments (a) Histogramm über die Geschwindigkeit der *TP* in der Zeit von 7:00-9:00 Uhr für eine Stausituation; (b) Histogramm der *TP* in der Zeit von 11:00-12:00 Uhr bei flüssigem Verkehr (c) Profil der gewichteten Geschwindigkeit im Tagesverlauf.

2.3 Modell zur Bestimmung der Verkehrsbelastung

Die Tracking Punkte (*TP*) dienen gemeinsam mit den Daten der Straßensegmente als Basis für das Modell zur Berechnung der Verkehrsbelastung. Als zusätzliche Datenbasis werden die Tele-Atlas Daten verwendet. In diesen Daten stehen neben der Geometrie, der durchschnittlichen möglichen Geschwindigkeit auf den Straßensegmenten auch die Kreuzungspunkte zur Verfügung. Von den *TP* werden die Position, die Geschwindigkeit, die Seehöhe und der Zeitstempel für die Modellierung herangezogen.

Um das Modell an regionale Bedingungen anzupassen zu können, stehen folgende Modellparameter zur Verfügung:

- **Zeitslot (t_{start} , t_{ende}):** Der Parameter dient dazu Berechnungen in einer bestimmten Zeitspanne durchzuführen. So können Tages-, Halbtages- oder Monatswerte berechnet werden.
- **Distanz zu Straßenkreuzungspunkten (d_x):** Da die Tracking Clients beim Einparken oder vor Kreuzungen Wartezeiten haben, werden viele Punkte erzeugt, die eine geringe oder keine Geschwindigkeit aufweisen. Diese *TP* beeinflussen das Ergebnis des Modells und werden durch Selektion aufgrund von räumlichen Parametern und Attributen in der Modellberechnung nicht verwendet. Der räumliche Filter basiert auf den Straßenkreuzungspunkten und d_x . Punkte, die innerhalb dieser Distanz zu den Straßenkreuzungspunkten liegen, werden für das Modell nicht berücksichtigt (siehe Abbildung 5 (b)).

Durch den attributiven Filter werden nur jene *TP* berücksichtigt, die innerhalb eines zulässigen Geschwindigkeitsbereichs (v_{min} und v_{max}) liegen.

- minimale Anzahl von *TP* pro Meter Straßensegment (TP_{min}).
- **maximale Distanz zu den Straßensegmenten (d_{seg}):** Der Parameter maximale Distanz zu Straßensegmenten dient dazu, um die gespeicherten Punkte den Straßensegmenten zuzuordnen. Für jedes Straßensegment wird ein Buffer bestimmt, und jeder Punkt der innerhalb des Buffers liegt wird in der Modellberechnung weiter verwendet (siehe Abbildung 5 (a)). Da diese Zuordnung der Punkte zu Straßensegmenten zu

fälschlich klassifizierten Segmenten führen kann, wird die Punktdichte auf jedem Segment ($S_i \text{ Norm } TP_{dens}$) wie folgt normalisiert: $TP / \text{Länge Straßensegment}$.

Liegt die Punktdichte auf dem Straßensegment über TP_{min} , wird das Straßensegment in der Modellberechnung weiter verwendet.

- zulässiger Geschwindigkeitsbereich (v_{max} , v_{min})

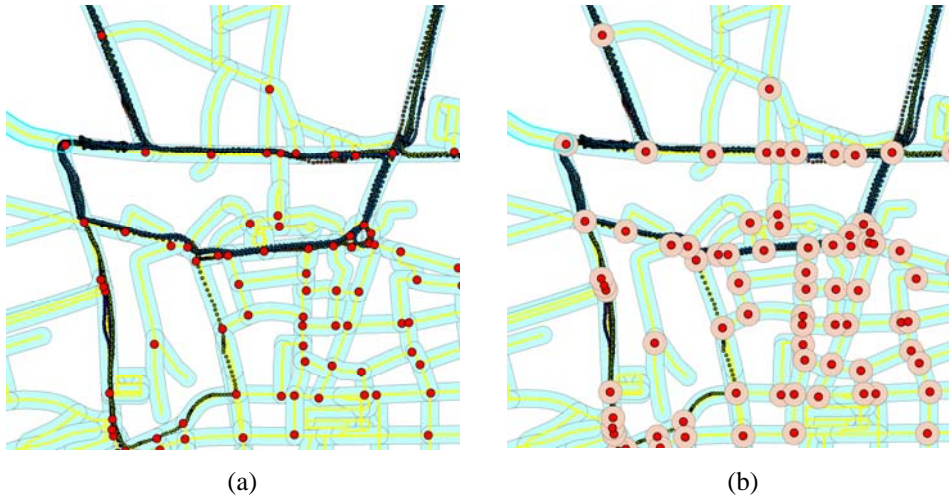


Abbildung 5: Selektion zulässiger TP (a) zulässige TP durch Einsatz des Buffers um das Straßennetzwerk (b) zulässige TP aus (a) ohne jene Punkte die innerhalb der zulässigen Distanz um die Kreuzungspunkte zu liegen kommen.

Das Modell zur Berechnung der Verkehrsbelastung ist wie folgt definiert:

1. für alle Straßensegmente S_i im Untersuchungsgebiet

- 1.1. für alle TP_i die

innerhalb t_{start} und t_{ende} liegen und

innerhalb d_{seg} liegen und

außerhalb d_x liegen und

innerhalb v_{min} und v_{max} liegen

- 1.2. Berechne $S_i \text{ Norm } TP_{dens}$

Wenn der $S_i \text{ Norm } TP_{dens} > TP_{min}$ liegt, dann setze die Modellberechnung für S_i fort.

Berechne das gewichtete Mittel der Geschwindigkeit ($S_i v_{wAvg}$) der TP auf dem Straßensegment je nach dem normierten euklidischen Abstand des TP vom S_i .

2. Berechne Abweichung $S_i v_{wAvg}$ von der möglichen Geschwindigkeit des Straßensegmentes ($S_i v_{moegl}$), das aus den Tele-Atlas Daten extrahiert werden kann. Der Quotient aus $S_i v_{wAvg} / S_i v_{moegl}$ wird für jedes S_i gespeichert ($S_i Norm$).

Die Klassifikation der Straßensegmente nach $S_i Norm$ erfolgt in einer getrennten Berechnung, die folgende Parameter übergeben werden können:

- Verwende berechnete S_i mit $S_i Norm$
- Definiere Anzahl der gewünschten Klassen ($\#Kl$)
- Klassifizierung: $S_i Class \# = \begin{cases} \text{Class 0} & \text{'kein Stau'} & > 50\% \\ \text{Class 1} & \text{'Stau'} & \leq 50\% \end{cases}$

Die klassifizierte Ergebnisse aus der Modellberechnung können in einem Geographischen Informationssystem (GIS) dargestellt werden.

In diesem Projekt werden die Ergebnisse der Modellberechnung in einer Spatial Decision Support System Engine (SDSS Engine) durch ein OGC-konformes Web Mapping Service (WMS) den Usern bereitgestellt (siehe Abbildung 6). Die SDSS Engine besteht aus folgenden Teilen:

- Webserver
- Verkehrsmonitoring
- Stauklassifikation

Alle Parameter des Verkehrsmodells können dem WMS zusätzlich übermittelt werden, um individuelle Anforderungen anpassen zu können. Die Ausgabe erfolgt direkt in jedem HTTP-Client, wie z.B.: Microsoft Internet Explorer.

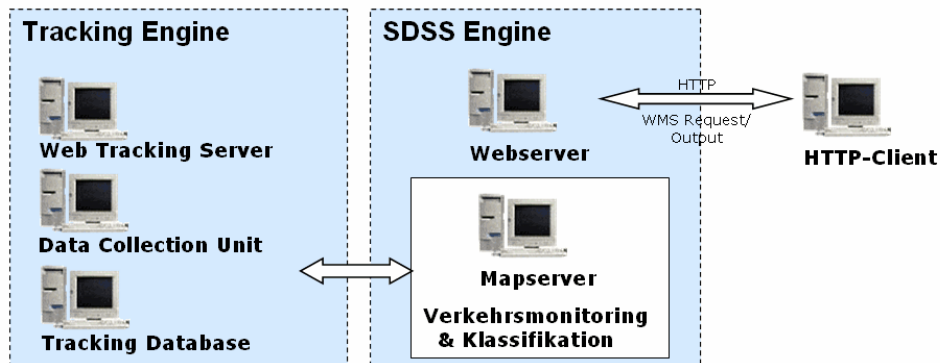


Abbildung 6: Verkehrsmonitoring Systemarchitektur: Bereitstellung der Ergebnisse des Verkehrsmodells in Form eines OGC konformen WMS. Die Parameter des Verkehrsmodells können dem WMS als zusätzliche Parameter übergeben.

3 Ergebnisse

Die Validierung des Konzeptes erfolgte durch mehrere Testfahrten mit Tracking Clients in der Stadt Klagenfurt.

3.1 Testfahrten

Die Testfahrten wurden in der Stadt Klagenfurt im Zeitraum August bis Dezember 2006 durchgeführt. Bei jeder Testfahrt wurden zehn Fahrzeuge als Tracking Clients verwendet, wobei die Fahrten jeweils rund zwei Stunden dauerten. Das Testgebiet beginnt im Norden der Stadt Klagenfurt und reicht bis in die Innenstadt. Es schließt stark befahrene Einfahrtsrouten sowie innerstädtische Bereiche ein.

Die Testumgebung zur Ausführung der Testfahrten des umfasst folgende Hard- und Software Komponenten:

- Tracking Client, bestehend aus
 - Smartphone Qtek 8100
 - Anycom GP-600 GPS Mouse
 - Software: STS Client 05.9
- Tracking Engine
 - Webserver IIS
 - PostgreSQL RDBMS 8.1 mit PostGIS Aufsatz
- SDSS Engine
 - Verkehrsmodellberechnung
 - Klassifikation
 - Visualisierung
- HTTP-Client: Microsoft Internet Explorer 6.0

3.2 Modellrechnung

Folgende Parameter Werte wurden für die Berechnung der Verkehrsbelastung herangezogen. Alle TP aus den Testfahrten sind durch die Online Übertragung in der **TB** gespeichert.

Tabelle 1: Gewählte Parameter der Modellrechnungen Mod 1 - Mod 8.

Parameter/Wert	d_{seg}	d_x	TP_{min}	$t_{start} - t_{ende}$	Parameter/Wert	d_{seg}	d_x	TP_{min}	$t_{start} - t_{ende}$
Mod 1	10	10	0,8	8:40 – 10:40	Mod 5	30	50	0,8	8:40 – 10:40
Mod 2	20	10	0,8	8:40 – 10:40	Mod 6	20	20	0,1	8:40 – 10:40
Mod 3	30	10	0,8	8:40 – 10:40	Mod 7	20	20	0,8	8:40 – 10:40
Mod 4	30	30	0,8	8:40 – 10:40	Mod 8	20	20	1,5	8:40 – 10:40

Für alle Testfahrten wurden Modellrechnungen durchgeführt, wobei jede Berechnung auf unterschiedlichen Werten der Modellparameter, d_x , d_{seg} , t_{start} , t_{ende} , und TP_{min} beruht. Diese Parameter werden in Form eines Parametersets an das Modell übergeben.

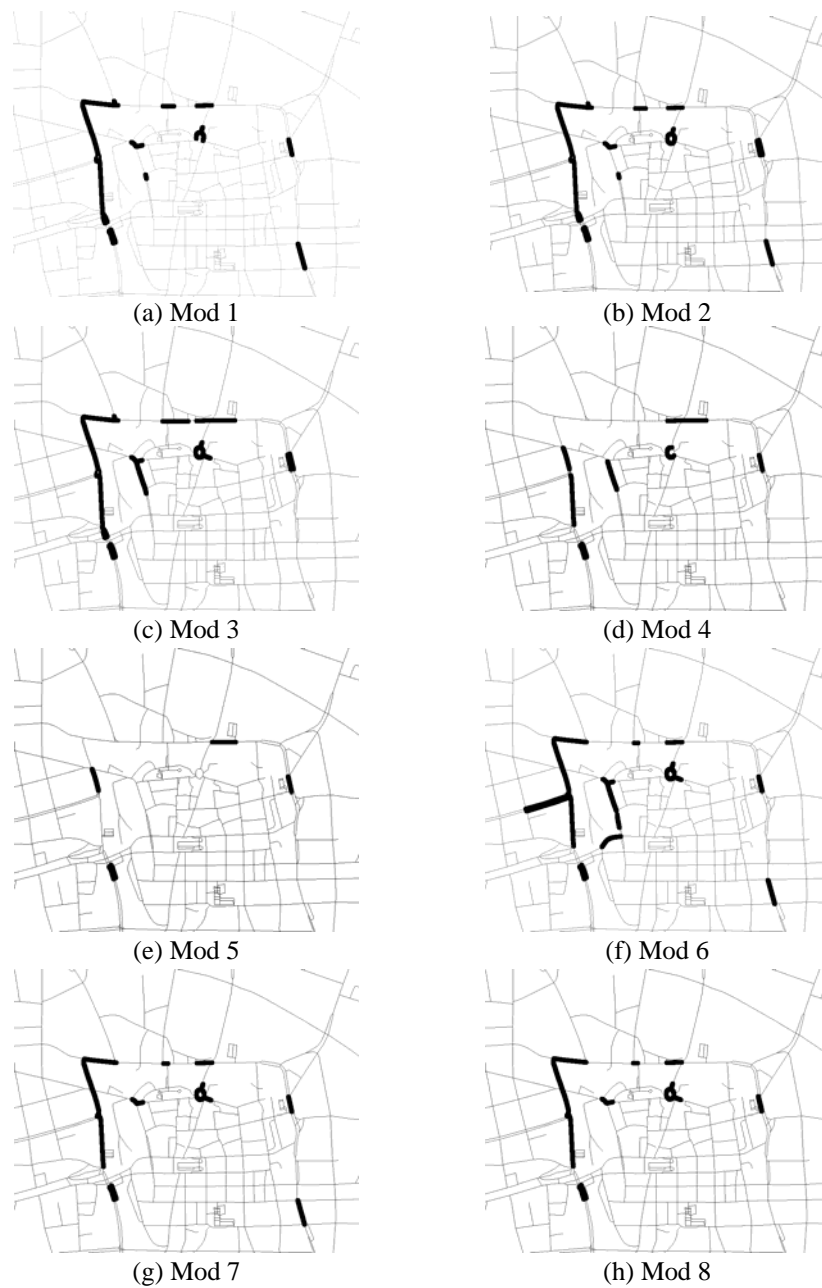


Abbildung 7: Testergebnisse für verschiedene Parameter Sets Mod 1 – Mod 8

In Abbildung 7 werden die Ergebnisse aus den Modellrechnungen Mod 1 - Mod 8 gegenübergestellt. Dabei wird der Einfluss von d_{seg} zum Straßensegment ersichtlich. In Abbildung 7 (c)(d) und (e) sieht man die variierende Distanz d_x zum Kreuzungsmittelpunkt.

Die Ergebnisse bezogen auf den Parameter Punkte pro m Straßensegment TP_{min} werden in Abbildung 7 (f)(g) und (h) verdeutlicht. Um eine Evaluierung des Modells durchzuführen zu können, wurde während den Testfahrten mit Hilfe des Tracking Clients eine manuelle Klassifikation bezüglich Stauzonen durchgeführt. Jeder Tracking Client übermittelt auch diese Zusatzinformation an die Tracking Engine. Dazu wurden 3 Klassen definiert:

- Class 0: Stau
- Class 1: zähflüssiger Verkehr
- Class 2: kein Stau

Das Modell wird nun dahingehend kalibriert, dass die Ergebnisse aus den Modellberechnungen denen der Klassifikation der Testfahrten am ehesten entsprechen. Aus der Kalibrierung des Verkehrsmodells ging hervor dass das Parameterset **Mod 2** für das Testgebiet in Klagenfurt das beste Ergebnis lieferte.

3.3 Diskussion

Die Ergebnisse der Tests zeigen, dass ein Verkehrsmonitoring unter Verwendung von LBS möglich ist, und eine sinnvolle und kostengünstige Ergänzung der aktuellen Sensorik- und Telematiksysteme im Straßenverkehr ist. Besonders sinnvoll ist diese Variante in Städten mit einer großen Anzahl an öffentlichen Verkehrsmitteln, wie Bus und Taxi, die permanent als Tracking Clients Verkehrsdaten aufnehmen können.

Die Tests mit dem Verkehrsmodell, basierend auf den Daten der Testfahrten, haben gezeigt, dass die Wahl der Parameter das Ergebnis wesentlich beeinflusst. Wie in Abbildung 7 zu sehen ist, nimmt mit steigenden d_{seg} die Anzahl an fehlklassifizierten Straßensegmenten zu. Wird der Parameter zu klein gewählt, wird eine Vielzahl befahrender Segmente nicht klassifiziert, da zuwenig TP innerhalb der maximalen Distanz zu liegen kommen. Besonders in innerstädtischen Gebieten können kleine Werte des Parameters problematisch sein, besonders bei qualitativ schlechtem GPS-Signal und einer daraus resultierenden Lageungenauigkeit der TP . Veränderungen im Parameter Distanz zu Kreuzungsmittelpunkten beeinflussen die Anzahl der TP , die im Modell weiter betrachtet werden. Dieser Parameter ist wichtig, um die Anzahl der fehlklassifizierten Straßensegmente zu reduzieren, da es in Kreuzungsbereichen Überlappungen bei der Zuordnung der TP zu den Straßensegmenten gibt (siehe Abbildung 7). Je größer der Parameter Distanz zu Kreuzungsmittelpunkte d_x gewählt wird, desto weniger Punkte werden im Modell verwendet. Auch im innerstädtischen Bereich mit dichter Bebauung und geringen Distanzen zwischen den Kreuzungen, und somit kurzen Straßensegmenten, kann es auftreten, dass viele Segmente nicht klassifiziert werden.

Der Parameter Punkte pro m Straßensegment TP_{min} ist bei der Identifizierung von fehlklassifizierten Segmenten von Bedeutung, da Segmente mit einer geringen Anzahl an TP aus dem Modell ausgefiltert werden (siehe Abbildung 7). Je kleiner der Wert gewählt ist desto weniger restriktiv arbeitet der Filter, und umgekehrt.

4 Ausblick

Weitere Entwicklungen sind in Richtung Verkehrsprognose geplant. Anhand aller berechneten Verkehrsdaten soll bestimmt werden, ob für gewisse typische Tage ein ähnliches

Verkehrsaufkommen zu beobachten ist. Durch die Verwendung eines Kalenders in Kombination mit Typtagen wie Feiertag, Werktage oder besondere Ereignisse könnten Verkehrsprofile für verschiedene Straßensegmente erstellt werden. Diese Prognoseprofile zusammen mit aktuellen Ereignissen können dann verwendet werden, um für Bereiche den Verkehr für gewisse Typtage prognostizieren zu können. Dabei sollen die Profile für gewisse Typtage durch aktuelle Daten immer wieder verbessert und angepasst werden.

Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen eines Interreg IIIc, Enable Projektes (3NW28) durchgeführt. Weiters möchten wir uns beim Magistrat der Stadt Klagenfurt, insbesondere bei Herrn DI Günther Koren und Herrn DI Alexander Sadila für die Unterstützung und Bereitstellung von Daten sehr herzlich bedanken.

Literatur

- [1] Adams P, Ashwell G and Baxter R, Location-based services – an overview of the standards. *BT Technology Journal* 21(1): 34-43, 2003
- [2] Chisalita I., Shahmehri N., A peer-to-peer approach to vehicular communication for the support of traffic safety applications, 5th IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, pp. 336–341, Singapore, Sept. 2002.
- [3] Dashtinezhad S., Nadeem T., Dorohonceanu B., Borcea C., Kang P., and Iftode L., TrafficView: A Driver Assistant Device for Traffic Monitoring based on Car-to-Car Communication, in IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), Milan, Italy, May 2004.
- [4] Friedrich, B. (2004): Traffic Monitoring and Control in Metropolitan Areas. Proc. of the 2nd International Symposium "Networks for Mobility", Stuttgart Germany, September 29 - October 1, 2004.
- [5] Kell, J.H., and I.J. Fullerton. *Manual of Traffic Signal Design*. Institute of Transportation Engineers, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1991.
- [6] Menard C., Wöllik H., Real Time Tracking based on SVG Technology, GI Tage, Münster, Germany, June 2005.
- [7] Parkinson, B. W., Spilker Jr., J. J. (ed.), *Global Positioning System: Theory and Applications*, Vol. 2, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 370 L'Enfant Promenade, SW, Washington, DC 20024-2518, 1996.
- [8] Rao, B., Minakakis, L., Evolution of Mobile Location-based Services. *Communications of the ACM*. Vol. 46, No. 12. December 2003.
- [9] Sing Yiu Cheung, Sinem C. Ergen, and Pravin Varaiya. Traffic surveillance with wireless magnetic sensors. In *Proceedings of the 12th World Congress on Intelligent Transport Systems*, San Francisco, California, USA, November 2005.
- [10] Tele Atlas: Homepage Tele Atlas, <http://www.teleatlas.com>, letzter Besuch 18.07.2006.