

# Smart ITS kommt von der VENUS

Juraj Kotrik<sup>1</sup>, Gernot Pucher<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PRISMA solutions EDV-Dienstleistungen GmbH, Mödling · juraj.kotrik@prisma-solutions.at

<sup>2</sup>TraffiCon – Traffic Consultants GmbH, Salzburg

**Zusammenfassung:** PRISMA solutions hat gemeinsam mit TraffiCon (Österreich) für den neuen Forschungspark der Universität Žilina (Slowakei) ein **ITS für eine virtuelle Smart City** entwickelt. Das System **VENUS** bietet neben einem Netz- und Verortungs-Manager auch Infrastrukturmanagement (Sensoren, Ampeln, Wechselverkehrszeichen ...) sowie ein komplexes Meldungsmanagement (Sensorwerte, Wettermeldungen, Straßensperren ...) für die Smart City. Eine permanent laufende Online-Verkehrssimulation innerhalb der VENUS erlaubt es der ITS-Leitstelle durchgehend einen Gesamtüberblick über den Stand der Verkehrslage zu bewahren und durch Kurzfristprognosen die netzbezogenen Wirkungen zu evaluieren. So bereichert VENUS das ITS um smarte Elemente und ermöglicht schrittweise einen weiteren Einsatz und Ausbau der Smart City Konzepte in Žilina.

**Schlüsselwörter:** Smart City, Sensoren, Netzmanagement, Infrastrukturmanagement, Online-Mikrosimulation, Verkehrslage und Prognose

**Abstract:** PRISMA solutions together with TraffiCon (Austria) have developed an **ITS for a virtual smart city** for the new Research park of the University Žilina (Slovakia). Besides a network and location-reference manager **VENUS** also provides infrastructure management (sensors, traffic lights, variable message signs, ...) as well as complex traffic message management (sensor data, weather messages, road closures, ...) for the smart city. A permanently running online traffic simulation within VENUS allows the ITS-control centre to keep a holistic general overview on the traffic state and through short time traffic predictions to evaluate the net-related impacts. Thus VENUS enriches the ITS with smart elements and allows for a further stepwise application and development of smart city concepts in Žilina.

**Keywords:** Smart city, sensors, net administration, infrastructure management, online-microsimulation, traffic state and prediction

## 1 Einführung

Der Begriff „Smart City“ ist seit Jahren in aller Munde und steht für eine Reihe an Maßnahmen bei der digitalen Vernetzung von Städten. Auslöser für diesen „Trend“ sind wirtschaftliche, soziale und politische Herausforderungen wie Ressourcenknappheit, demographischer Wandel oder die Umweltverschmutzung. Zugleich ist starker Treiber der technologische Fortschritt, vor allem in Informations- und Kommunikationstechnik (IKT), welcher intelligente, vernetzte und integrierte Lösungen überhaupt erst ermöglicht. Als das Resultat von Anwendung solcher Technologien sollen Netzwerke von Menschen und Infrastrukturen in einer Smart City intelligent miteinander vernetzt werden und so zu Konkurrenz steigenden und nachhaltigen Verbesserungen führen (MANVILLE et al. 2014).

Der Verkehrsbereich (Smart Mobility) spielt hierbei neben der Verwaltung (Smart Governance), Wirtschaft (Smart Economy) und Umwelt (Smart Environment) eine wichtige Rolle, denn zunehmende Urbanisierung und Mobilität stellen die Stadtplaner (und in weiterer Folge die Verkehrsverwaltung) vor große Herausforderungen. Der intensive Landflächenverbrauch

der Straßen reduziert die Verfügbarkeit von Freiräumen, verringert die Biodiversität und erhöht räumliche Zersplitterung. Darüber hinaus können lange Wege in immer kürzeren Zeitabschnitten überbrückt werden, was dazu beiträgt, dass urbane Gebiete mit Einzelverwendung sowie Phänomene wie Zersiedelung entstehen oder sich verstärken und gefährden so traditionell gewachsene Arbeits- und Lebensräume. Die wahrscheinlich am direktesten mit motorisiertem Verkehr verbundenen Umweltauswirkungen sind Luftverschmutzung und Treibhausgasemissionen. Die Weltgesundheitsorganisation schätzt, dass die Luftverschmutzung die Ursache für etwa 2 Millionen vorzeitige Todesfälle pro Jahr ist (VAN WEE et al. 2013). Anhaltender Verkehrswachstum übersteigt häufig die Kapazitäten der Straßeninfrastruktur, vor allem in dicht besiedelten Gebieten. Nach den Angaben des Texas Transportation Institute Mobility Report 2012 (SCHRANK et al. 2012) hat sich der jährliche Zeitverlust pro Pkw-Pendler in den USA von 16 Stunden im Jahr 1982 auf 38 Stunden im Jahr 2011 erhöht. Da die Fahrzeuge im stockenden Verkehr bei einem „stop-and-go“-Fahrer für den Antrieb mehr Energie benötigen, erhöht sich damit auch die Emissionserzeugung aus der Verbrennung fossiler Energieträger (CAPIELLO et al. 2002).

Mit der Verbreitung von IKT und deren Nutzung im Straßenverkehr kamen neue Dienste zum Einsatz, die unter dem Begriff „Intelligente Verkehrssysteme“ (ITS) zusammengefasst werden. Eine Vielzahl solcher Dienste sind bereits im täglichen Einsatz, einschließlich Navigationssysteme, Routing-Anwendungen, dynamische Verkehrszeichen, elektronische Maut oder Mobiltelefon-gestützte Parkplatzsuche. Die Umsetzung von Strategien zur Bewältigung beschriebenen Herausforderungen, welche durch die steigende Mobilitätsnachfrage vor allem in dicht besiedelten Gebieten erzeugt werden, lässt sich durch Verwendung technologischer Innovationen erleichtern (BANISTER 2007). ITS-Anwendungen könnten zur Reduzierung der Verkehrsbehinderungen und Emissionen führen, z. B. durch eine bessere Steuerung der Nachfrage (dynamische elektronische Maut für Straßennutzung in urbanen Bereichen), durch die Bereitstellung von weiterführender Information direkt im Fahrzeug (z. B. multimodale Informationen zu Park-and-Ride Einrichtungen und ÖV) (EZELL 2010).

„Smart Mobility“ soll (energie)effizient, emissionsarm, sicher und kostengünstig sein. Dies kann mitunter durch Verbesserung der vorhandenen Infrastruktur sowie vor allem durch effizientere Nutzung der selbigen erreicht werden, indem Informations- und Kommunikationstechnologien eingesetzt werden. Ein Datenaustausch zwischen verschiedenen Zuständigkeiten und somit eine Kombination und Mehrfachnutzung bereits vorhandener Informationen ist ein unerlässlicher Schritt zur „Smart Mobility“.

Um solch einen Datenaustausch im Verkehrswesen zu ermöglichen, müssen die vielen, heterogenen (hinsichtlich Verortungssprache, Format, Netz etc.) Informationen homogenisiert, zusammengeführt bzw. integriert werden.

## 2 Zielsetzung

### 2.1 Motivation

Für die Universität Žilina, eine seit dem Jahr 1953 sich vor allem auf Verkehr und verwandte Bereiche fokussierende universitäre Einrichtung, war die Grundvision klar: der Mensch als wichtigster Entscheidungsträger soll auch heutzutage immer noch im Mittelpunkt eines intelligenten Verkehrssystems (ITS) stehen, er soll aber durch modernste Technologie unterstützt werden. Darunter gehört auch, dass er besser, schneller und genauer informiert wird,

wobei die Informationen idealerweise kombiniert und integriert (diverse Datenherkunft) und vernetzt (kooperative Systeme) – d. h. einfach „smart“ sind. Auf der Basis von Online-Daten der Stadt sollen Verkehrsmanagementstrategien aktiviert, deren Wirkungen auf die Stadt berechnet und prognostiziert werden.

Aus diesen Gründen ist im neuen Forschungspark der Universität ein ITS-Leitstand entstanden, welcher durch das dazugehörige Steuerungssystem (genannt MARS) gestützt wird. Doch dort sollte das ITS-Projekt keinesfalls Halt machen oder gar sich vor „smart“ Elementen schrecken. Diese bringen in das ITS in erster Linie die kooperativen Eigenschaften des Steuerungssystems, in zweiter Linie aber das Parallelsystem VENUS, welches eine komplette virtuelle Smart City simuliert. Darüber hinaus ist VENUS auch als das zentrale Netz- und Infrastrukturmanagementsystem des ITS zu verstehen.

## **2.2 Stand der Forschung und Ziel**

Für verschiedene Teilprozesse und Aufgaben des Verkehrsmanagements oder der Verkehrsplanung ist eine Vielzahl von ITS-Lösungen und Software-Lösungen vorhanden. Im Fall des für die Universität von Žilina entwickelten ITS-System umfassen diese Prozesse ein Verkehrsleitsystem, eine grafische Oberfläche für die Verwaltung der Verkehrsinfrastruktur sowie mikroskopische Verkehrssimulation. Für diese Komponenten sind gut etablierte Produkte bereits im Einsatz, jedoch ist ihre Verwendung oft stark begrenzt aufgrund mangelnder Integration mit anderen Systemen. Üblicherweise ist der Fokus der ITS-Systeme eher isoliert als integrativ. Zum Beispiel ist typischerweise ein Verkehrssimulationswerkzeug und die Software einer Verkehrsleitzentrale nicht in der Lage automatisch zu kommunizieren und Daten auszutauschen. Eine integrierte Informationsübersicht und ein konsistenter Kommunikationsaustausch fehlen. In immer komplexer werdenden IT-Architekturen für die Überwachung urbaner Systeme würde ein hohes Maß an Service-Integration von Vorteil sein, um eine bessere Straßennetzverwaltung und gut informierte politische Entscheidungen zu ermöglichen (IBM 2007). Vor allem die Bewertung von Verkehrskontrollstrategien mit den Mitteln der Verkehrssimulation ist meist nur bei der ersten Planungsphase durchgeführt.

Die in der Regel vorhandene sequenzielle Prozesskette des Verkehrsmanagements, wo eine Phase der Planung und Auswertung durch Überwachung und Controlling gefolgt wird, kann durch einen iterativeren Prozess ersetzt werden, und das durch ständige und kontinuierliche Kommunikation zwischen verschiedenen Systemen, was zu einem konstanten Fluss von Daten und Informationen zwischen den Software-Tools führt. Deshalb war die Herausforderung des Projektes und Ziel des eingeführten Systems Schnittstellen zu entwickeln um die verschiedene Subsysteme und Software-Tools in einer ITS-Umgebung zu integrieren. Die enge Kopplung dieser Systeme ermöglicht eine bessere und aktuellere Datenbasis für jeden Teil der Prozesskette, so wie es in einer Smart City-Umgebungen der Fall sein sollte.

## **3 ITS für eine Smart City**

### **3.1 Systemübersicht**

Die Hauptkomponenten des entwickelten ITS-System sind in Abbildung 1 dargestellt. Es besteht aus dem MARS-System, das das tatsächliche Verkehrsleitsystems ist. Es sendet und empfängt Verkehrsdaten über HTTP SOAP-Schnittstellen. Die andere Hauptkomponente ist

das VENUS-System, das sich unterteilt in einen Netzwerk-Client, mit dem ein Benutzer die Straßennetz-Infrastruktur anpassen kann, einen Management-Client, der verwendet wird, um Verkehrsmeldungen zu erstellen und zu verwalten, und eine mikroskopische Verkehrssimulation, die Daten von den anderen Untersystemen verarbeitet und simulierte Straßenabschnitt-basierte Verkehrsflusswerte zurücksendet, Querschnitte der Verkehrsströme sowie zusammenhängende Emissionswerte. Die beschriebenen Komponenten werden detaillierter in den folgenden Abschnitten erläutert.

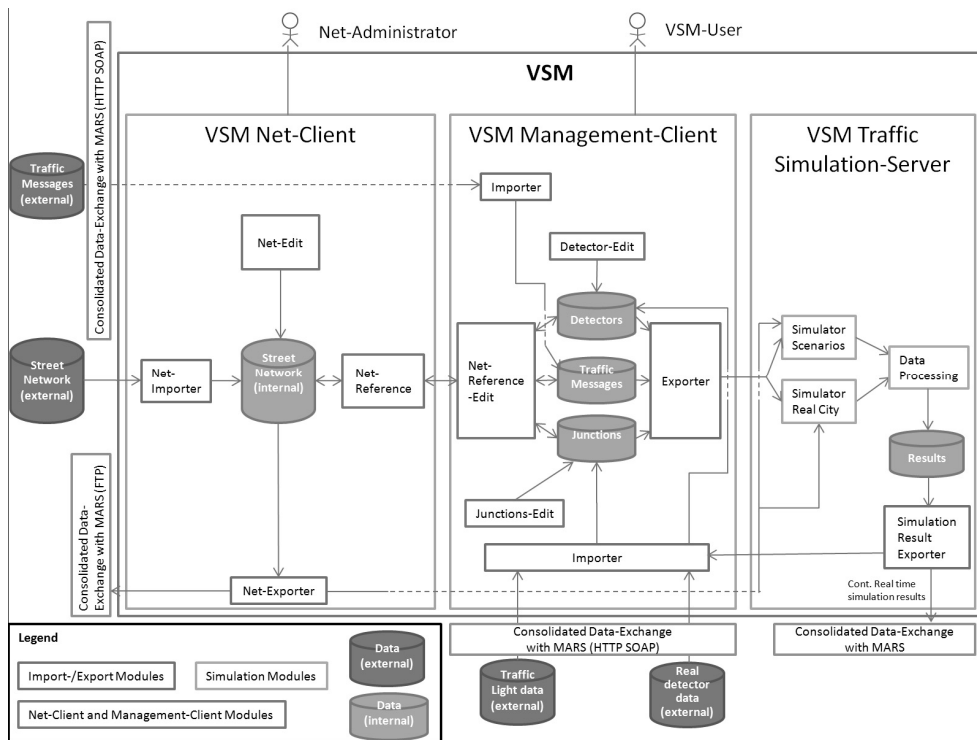


Abb. 1: Gesamtübersicht über das ITS – Smart Mobility System Žilina

### 3.2 MARS – Steuerungssystem und Messdaten von realen Sensoren

MARS ist das Steuerungssystem, das Messdaten von realen Sensoren zusammenführt, in einer Datenbank historisiert und durch Algorithmen diese „verständlich“ macht (durch Korrelation der Daten und erhaltener Verkehrsnachrichten – Beispiel: „Es gibt Stau, weil es schneit und Montag früh ist“). Das System ist somit imstande, anhand aktueller und historisierter Daten die Verkehrslage und deren Wirkungen zu prognostizieren.

Die Informationen werden in einer Leitstelle zusammengeführt und ein Operator kann notwendige Maßnahmen treffen („Standard Operations Procedures“ für Einsatzkräfte etc.). Kooperative Elemente (Chat-Funktionalität, automatisierter E-Mail- und SMS-Versand) ermöglichen es die notwendigen Maßnahmen besser vorzubereiten und zu kommunizieren.

### 3.3 VENUS – virtuelle Smart City und Messdaten von virtuellen Sensoren

VENUS (VSM) ist das zweite Subsystem des ITS. VENUS erstellt Mobilitätsdaten von virtuellen Sensoren einer Virtual Smart City, welche in einer integrierten permanent laufenden Simulationsanwendung erstellt werden. Erstellte Daten werden an MARS weitergeleitet. Mobilitätsaktivitäten innerhalb des Fokusbereiches, d. h. in und um die Stadt Žilina, werden als mikroskopisches Verkehrsmodell simuliert. Verkehrssimulation ist ein mathematischer Ansatz um Verkehrssysteme zu modellieren. Die Modellierung von Bewegungen eines jeden Verkehrsteilnehmer bei jeder Iteration der Simulation wird als mikroskopische Verkehrssimulation beschrieben. Die Mikrosimulation des Verkehrsgeschehens läuft permanent und mit realer Zeit synchronisiert. Auf diese Art können Verkehrsmeldungen realzeitlich dank spezieller Schnittstellen verarbeitet werden, ohne die Verkehrssimulation neu starten zu müssen. Als das Hauptwerkzeug der Verkehrssimulation wird das Open-Source-Simulationstool SUMO („Simulation of Urban Mobility“) eingesetzt. Dies wurde vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in 2001 entwickelt und wurde seitdem wesentlich erweitert. SUMO ist in C++ implementiert und ist stark adaptierbar durch den Einsatz von portablen Bibliotheken. Aus diesem Grund ist es in einer breiten Auswahl von Forschungsfeldern anwendbar und ist an vielen hochrangigen Forschungsinstituten weltweit im Einsatz (DLR 2016). Zu relevanten Referenzprojekten, in denen SUMO zum Einsatz kam, zählen AMITRAN (AMITRAN 2016), COLOMBO (COLOMBO 2016) oder DRIVE C2X (DRIVE C2X 2016).

Neben der Echtzeitsimulation von Mobilitätsaktivitäten im Straßennetz erlaubt VENUS auch Simulation von Szenarien. Auf diese Weise können Szenarien erstellt werden, durch die die Wirkung von Verkehrssteuerungsstrategien ausgewertet wird, was Verkehrsplaner bei der Planung und Betrieb von Verkehrssystemen unterstützt. Basierend auf eingebauten und einstellbaren Input-Parametern, z. B. Ampelsignalplänen, Wechselverkehrszeichen oder Unfallmeldungen, können die Auswirkungen verschiedener Ereignisse und Kontrollstrategien auf den Verkehr zusammen mit erzeugten Emissionen quantifiziert werden.

Dies ist selbstverständlich nur dann möglich, wenn durch robuste VENUS-Tools zur Netz- und Infrastrukturverwaltung die notwendige Basis erstellt und gewartet wird. Als Straßennetz wurde für das universitäre Projekt das OpenStreetMap-Netz ausgewählt und angepasst. VENUS ermöglicht eine separate Straßennetzverwaltung für Szenarien sowie für die permanent laufende virtuelle Smart City. Darüber hinaus kann der User Infrastrukturelemente wie Ampeln und Wechselverkehrszeichen verwalten und diese Infrastrukturelemente auf direkte Eingriffe des Steuerungssystems MARS vorbereiten. Das Steuerungssystem dient als ein Leitstand zur Zusammenführung der Verkehrsinformationen aus der echten Stadt und der virtuellen Smart City (z. B. echte vs. virtuelle Sensoren).

Da Quelle-Ziel Matrizen (O-D-Matrizen) oder andere Quellen der empirischen Verkehrsmessungen aus dem Fokusbereich derzeit fehlen, wird der Anfangssimulationszustand der Mobilitätsnachfrage stochastisch als Wahrscheinlichkeitsverteilung der Fahrzeuge und Fußgänger über das Straßennetz von Žilina verteilt. Diese Verteilung basiert auf der OSM-Straßenhierarchie. Straßen mit höherer Straßenhierarchie haben höhere Verkehrsaufkommen als Straßen mit niedrigeren Straßenhierarchien (z. B. Wohnstraßen). Auch die Tageszeit wirkt sich auf die probabilistische Verkehrsnachfrage, mit höherer Mobilitätsaktivität zu üblichen Stoßzeiten am Morgen und Abend und weniger Fahrzeuge während verkehrsberuhigten Zeiten. Die Kalibrierung kann jedoch jederzeit angepasst werden durch O-D-Matrizen in weit

verbreiteten Datenformaten. Auf diese Weise wird die Kompatibilität mit anderen Softwarepaketen und Systemen in Verkehrsmanagement sichergestellt, einschließlich der proprietären VISUM, VISSIM oder AMITRAN. Darüber hinaus können Reisen auch zur Laufzeit der Simulation angepasst werden. Dazu wurde das Java-basierte Schnittstellenprotokoll TraaS (Traci as a Service) verwendet und erweitert. Auf diese Weise kann ein Benutzer aus dem VENUS-Management-Clients oder direkt aus der MARS-Verkehrsleitstelle Verkehrsmeldungen erstellen, die über eine SOAP-Schnittstelle im DATEX II-Format übermittelt werden (EUROPEAN COMMISSION 2016). Simulierte Verkehrsflüsse werden dann neu berechnet und gemäß den erhaltenen Daten angepasst. Auf diese Weise werden die simulierten Fahrten dynamisch gehalten und reaktiv auf Veränderungen, die von den anderen entwickelten Systemen kommen. Die Möglichkeit, eine mikroskopische Verkehrssimulation in Form eines Webservice zu implementieren, wobei diese auch dynamisch neue Informationen über die Laufzeit verarbeiten kann, ist ein wichtiger Grund für die Entscheidung, das Open-Source-Framework SUMO zu verwenden.

In der VENUS ist es möglich, zwischen realweltlichen und virtuellen Sensoren zu unterscheiden, bzw. virtuelle Sensoren durch echte ersetzen zu lassen. Zu den Vorteilen dieses Lösungsweges gehört, dass er dem Operator ermöglicht, Verkehrsaufkommen auch in Teilen der Stadt, wo keine realen Sensoren aufgestellt sind, abzuschätzen. Diese Verkehrsschätzung ist hinterlegt durch Messwerte aus virtuellen Sensoren der laufenden Simulation. Der Datenaustausch und die Verortung von Verkehrsmeldungen der Simulation in VENUS sowie die Weitergabe an MARS basiert auch auf DATEX II. Die Nachrichten enthalten Daten über die gesamte Fahrzeuganzahl und deren Durchschnittsgeschwindigkeit in km/h an vordefinierten aber auch an durch Benutzer definierten Straßenquerschnitten innerhalb des beobachteten Straßennetzes. Die Daten werden in Intervallen von fünf Minuten zusammengefasst und über eine SOAP-Schnittstelle an das MARS-System gesendet. Hierdurch wird es erstmals möglich, verkehrsbezogene Daten sowohl aus den Realdaten als auch der Simulation in einer Leitstandsoftware zu integrieren und alle Ergebnisse zu visualisieren.

Neben diesen Ergebnissen für die Straßenquerschnitte werden auch kantenbasierte Ausgabedateien als flache Dateien erzeugt und auch auf einen 5-Minuten-Takt aggregiert. Dazu gehören die durchschnittliche Fahrzeuggeschwindigkeit (km/h), die durchschnittliche Belegung der Kante (%) und die absolute Fahrzeuganzahl. Außerdem werden für jede Kante Verkehrsemissionen berechnet, sowie der absolute Treibstoffverbrauch (ml).

In der Verkehrssimulation SUMO werden die Verkehrsmeldungen und realen Verkehrsdetektionen auf das Simulationsnetz referenziert. Je nach Verkehrsmeldungsart (z. B. Baustelle, Unfall, Streckensperrungen etc.) werden im Netz die Kantenwiderstände dynamisch angepasst. Dazu bildet die sogenannte DynamicTrafficBox die verkehrstechnischen Grundlagen (STEIGER et al. 2012). Das um Kantenwiderstände angepasste Netz bildet dann die Grundlage für die Online-Simulation mit SUMO.

Durch Zusammenführung der realen und virtuellen Sensordaten wird in Zukunft ein holistisches Gesamtbild über die Verkehrsabläufe in der Stadt erstellt und dem Leitstand übermittelt, womit der Leitstand bei der Entscheidungsfindung und Eingriffen unterstützt wird. Der Einsatz von virtuellen und realen Sensoren ist auch hilfreich z. B. bei Planung von zukünftigen „echten“ Sensoren – diese können zuerst als virtuelle angelegt werden und deren Nützlichkeit für den Leitstand kann getestet werden. Bei Zufriedenheit können sie nachträglich

durch echte ersetzt werden. Solcher Ansatz bietet somit sehr praktische Anwendungsmöglichkeiten. Die Integration zwischen dem VENUS Management-Client, dem Steuerungssystem MARS und der SUMO Verkehrssimulation und die Möglichkeit zum Austausch verkehrsbezogener Nachrichten über standardisierte Schnittstellen ist ein wesentlicher Beitrag zur Erleichterung eines integrativen Smart City-Ansatzes und ermöglicht einen effektiven Informationsfluss zwischen ansonsten monolithischen Systemen.

## 4 Aktueller Stand und Aussichten

VENUS wurde als Teil des Projektes „Technologien für Forschung im Bereich intelligenter Verkehrssysteme und progressiver Materialien“ des Forschungsparks der Universität Žilina in Slowakei in zweiter Jahreshälfte 2015 realisiert und wurde durch das Operationsprogramm Forschung und Entwicklung (ERDF) der Slowakischen Republik gefördert. Mehrere Bereiche können für weitere Entwicklung des Projekts in Betracht gezogen werden:

- Einbindung von O-D-Matrizen zur besseren Kalibrierung von VENUS.
- Einführung der VENUS Netzwerk- und Infrastruktur-Management-Web-Clients in die Prozesse der öffentlichen Verwaltung in der Žilina-Region (Gemeinden, Stadt, Regionalverwaltung etc.) für kooperatives E-Government. So würden die Behörden garantierte verkehrsrelevanten Informationen sowie kontinuierliche Updates derartiger Daten liefern und zugleich eigene Vorteile aus der Kooperation ziehen.
- Aufbau und Einbindung von weiteren realen Verkehrssensoren ins Gesamtsystem.
- Einbindung von Floating Car Data (FCD) – dies umfasst realweltliche FCD (Mobiltelefone oder Fahrzeugflotten) sowie FCD aus den simulierten Fahrzeugen in der SUMO-Simulation. Die FCD-Daten aus beiden Quellen könnten durch intelligente Algorithmen kombiniert werden und würden die Qualität der Verkehrsprognose deutlich erhöhen und dem Leitstand als zusätzliche Informationsschicht sehr nützlich sein und somit den Gesamtwert der Smart-ITS-Lösung erheblich steigern.
- die internationale Zusammenarbeit mit Partnern aus den benachbarten Regionen der Tschechischen Republik und Polen. Dies könnte durch eine Erweiterung des Fokusbereiches um diese Regionen erreicht werden, was direkt erfolgen könnte, d. h. durch geographische Ausdehnung, oder indirekt, durch Anbindung an ähnliche ITS und Anwendungen aus Projekten von Partnern aus diesen Regionen.

## Literatur

- AMITRAN – CO<sub>2</sub> Assessment Methodology for ICT in Transport (2016), [www.amitran.eu](http://www.amitran.eu).
- BANISTER, D. (2007), Cities, Mobility, and Climate Change. *Journal of Industrial Ecology*, 11 (2), 7-10. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1162/jie.2007.1271/abstract>.
- CAPIELLO, A. (2002), Modelling Traffic Flow Emissions. Ph. D. Dissertation, Massachusetts Institute of Technology, Boston, MA.
- COLOMBO – Cooperative Self-Organizing System for low Carbon Mobility at low Penetration Rates (2016), [www.colombo-fp7.eu](http://www.colombo-fp7.eu).
- DLR – Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (2016), SUMO – Simulation of Urban Mobility. [http://sumo.dlr.de/wiki/SUMO\\_User\\_Documentation](http://sumo.dlr.de/wiki/SUMO_User_Documentation).
- DRIVE C2X – Accelerate cooperative mobility (2016), [www.drive-c2x.eu](http://www.drive-c2x.eu).

- EUROPEAN COMMISSION – Directorate General for Transport and Energy (2016), Datex II. <http://www.datex2.eu/>.
- EZELL, S. (2010), Intelligent Transportation Systems. The Information & Technology Innovation Foundation, Washington DC, Technical Report.
- IBM (2007), Delivering Intelligent Transport Systems. Technical Report, London.
- MANVILLE, C., COCHRANE, G., CAVE, J., MILLARD, J., PEDERSON, J. K., THAARUP, R. K., LIEBE, A., WISSNER, M., MASSINK, R. & KOTTERINK, B. (2014), Mapping Smart Cities in the EU. Directorate General for internal policies, European Parliament, Study.
- SCHRANK, D., EISELE, B. & LOMAX, T. (2012), TTI's 2012 Urban Mobility Report. Powered by INRIX Traffic Data, Texas Transportation Institute, College Station, TX.
- STEIGER, E., JANK, R. & KRAMPE, S. (2012). DynamicTrafficBox (DTB) – Dynamisches Verkehrsmanagement auf Basis einer integrierten Verkehrsdatenplattform. Presented at AGIT 2012. [http://gispoint.de/fileadmin/user\\_upload/paper\\_gis\\_open/537520089.pdf](http://gispoint.de/fileadmin/user_upload/paper_gis_open/537520089.pdf).
- VAN WEE, B, ANNEMA, J. A. & BANISTER, D. (2013), The Transport System and Transport Policy. Edward Elgar Publishing, Cheltenham/Northampton, UK.