

# Forschungsprojekt

## UR:BAN – Vernetztes Verkehrssystem

### Schlussbericht

**Beitrag des  
Zwendungsempfängers:**

**Lehrstuhl für Verkehrstechnik  
Technische Universität München  
Arcisstraße 21  
80333 München**

**zu den Teilprojekten:**

**US – Urbane Straßen  
KI – Kooperative Infrastruktur**

**Laufzeit:**

**01.01.2012 – 31.12.2015**

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 19 P 1107N gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**München, 24.06.2016**

Dieses Dokument wurde erstellt von Technische Universität München, Lehrstuhl für Verkehrstechnik (Univ.-Prof. Dr.-Ing. Fritz Busch).

Die Beiträge wurden verfasst von

Kaths, Jakob  
Geßenhardt, Judith  
Papapanagiotou, Eftychios  
Busch, Fritz

---

**Inhalt**

---

Einführung .....	4
Aufgabenstellung .....	4
Projektstruktur .....	5
Projektvoraussetzungen .....	6
Projektplanung und Ablauf .....	6
Zusammenarbeit mit anderen Stellen .....	8
Wissenschaftlicher und technischer Stand .....	9
Erzielte Ergebnisse .....	10
Infrastrukturapplikation Lkw-Pulkmanagement (US-5) .....	10
Systemarchitekturen und Schnittstellen kommunaler kooperativer Systeme (KI 2000) .....	17
Bestehende Standards und Datenmodelle (AP 2200) .....	17
Vorgaben aus dem ITS Action Plan und weiteren ITS Aktivitäten (AP2400) .....	20
Erarbeitung von Referenzarchitekturen (AP2600) .....	21
Kommunale Teilsysteme für einen kooperativen Systemverbund (KI 3000) .....	23
Test- und Prüffeldmanagement (AP5000) .....	24
Leitfaden für die Einrichtung kooperativer Systeme auf öffentlicher Seite (AP6000) .....	24
Evaluierung und Bewertung (AP7000) .....	26
Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse .....	45
Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen .....	45
Berichte und Veröffentlichungen .....	46
Abbildungsverzeichnis .....	47
Tabellenverzeichnis .....	48
Literaturverzeichnis .....	49

---

## Einführung

---

Intelligente Verkehrssysteme (IVS) können dazu dienen, die bestehende Verkehrsinfrastruktur besser auszunutzen. Neben einer Steigerung der Verkehrseffizienz kann auch die Verkehrssicherheit durch IVS positiv beeinflusst werden. Durch die Entwicklungen im Bereich der Kommunikationstechnologie rückt die Vernetzung von Fahrzeugen und Verkehrsinfrastruktur stärker in den Fokus. Der durch die Vernetzung mögliche Datenaustausch kann zum verbesserten Betrieb bestehender IVS, aber auch zur Umsetzung neuartiger Funktionen genutzt werden. Derartige im Rahmen des Vorhabens „Vernetztes Verkehrssystem“ (UR:BAN-VV) entwickelten Systeme zielen speziell auf urbane Räume ab. Dies ist der fortschreitenden Urbanisierung geschuldet, die zu einer Erhöhung der Verkehrsnachfrage in Kernstädten und Ballungsräumen führt, was zunehmend die negativen Auswirkungen des Verkehrs in Städten steigert. Gemeinsames Ziel der Projektpartner des Vorhabens „Vernetztes Verkehrssystem“ war daher die Steigerung von Verkehrseffizienz und -sicherheit bei gleichzeitiger Senkung verkehrsbedingter Emissionen.

## Aufgabenstellung

---

Aus dieser allgemeinen Zielsetzung lassen sich vier Aufgabenbereiche für UR:BAN-VV identifizieren, die sich auch in der unten beschriebenen Projektstruktur widerspiegeln. Es galt, vernetzte Verkehrssysteme zu entwickeln, deren Wirkung sich jeweils spezifisch auf drei Ebenen der Verkehrsinfrastruktur entfaltet. So wurden Applikationen für den städtischen Knotenpunkt, urbane Streckenzüge und das regionale Netz entwickelt. Als vierter Aufgabenbereich ist die Entwicklung der kooperativen Infrastruktur zu nennen, welche als begleitende Aufgabenstellung für die drei zuvor genannten Tätigkeitsfelder angesehen werden kann und insbesondere die Weiterentwicklung städtischer Zentralen im Hinblick auf die Anforderungen aus den oben beschriebenen Systemen zum Ziel hat.

Für den Lehrstuhl für Verkehrstechnik der Technischen Universität München (TUM-VT) stellte sich die Aufgabe der Entwicklung eines Lkw-Pulkmanagements zur gesonderten Berücksichtigung von Lkw auf städtischen Streckenzügen. Ziel dieses Systems ist die Vermeidung der Pulkauflösung und damit die Reduktion der Anzahl der Haltevorgänge von Lkw. Hierdurch soll eine Reduktion der Emissionen des Gesamtverkehrs erreicht werden, da sich Haltevorgänge des Schwerverkehrs überproportional auf die Gesamtemissionen auswirken. Als Beeinflussungsmöglichkeiten stehen zum einen die Veränderung der Schaltzeitpunkte der Lichtsignalanlagen zur Verfügung, zum anderen die Informationsübermittlung an Lkw-Fahrer und damit die Beeinflussung des Fahrzeugverhaltens selbst.

Neben dem maßgeblich von TUM-VT entwickelten Lkw-Pulkmanagement wurden zahlreiche weitere Applikationen im Rahmen von UR:BAN-VV erforscht. Zwar wurde bei der Entwicklung der Applikationen auf Konformität mit bestehenden Standards und damit eine mögliche flächendeckende Einführungsmöglichkeit geachtet, jedoch ist die Durchdringungsrate von vernetzten Fahrzeugen weiterhin sehr gering. Aus diesem Grund sind gesamtverkehrliche Wirkungsermittlungen der entwickelten Systeme nur schwerlich in Feldversuchen umsetzbar, weshalb die Bewertung und

Hochrechnung der entwickelten Applikationen mittels Verkehrssimulationen durchgeführt wurde. Diese Aufgabe wurde in weiten Teilen von TUM-VT übernommen. Konkret mussten Straßennetze und Applikationen nachgebildet werden, um Simulationen und Wirkungsermittlungen durchzuführen. Für die anschließende Hochrechnung der verkehrlichen Wirkungen war eine Hochrechnungsgrundlage auf Basis des deutschen Straßennetzes zu erstellen.

Im Rahmen der kooperativen Infrastruktur ergaben sich für TUM-VT darüber hinaus weitere Aufgabenstellungen, die begleitend zur Entwicklung der UR:BAN-VV Applikationen zu bearbeiten waren. Hierzu zählt die Aufbereitung von Informationen zu den zahlreichen existierenden Kommunikationsstandards und Datenmodellen, genauso wie die Aufbereitung der Vorgaben aus dem IVS Aktionsplan und weiteren IVS Aktivitäten. Weiterhin galt es, eine Referenzarchitektur zu erarbeiten, welche unter anderem die Inhalte der vorgenannten Aufgabenpakete konsolidiert und die notwendigen Anpassungen der Verkehrsinfrastruktur zur Einführung vernetzter Verkehrssysteme vereinheitlicht darstellen soll.

Zur flächendeckenden Verbreitung vernetzter Verkehrssysteme in Deutschland ist neben einer ausreichenden Zahl vernetzter Fahrzeuge auch eine entsprechende Anpassung der Verkehrsinfrastruktur von Nöten. Um dies voranzutreiben und die in UR:BAN-VV gesammelten Erfahrungen der öffentlichen Hand zur Verfügung zu stellen, galt die Erstellung eines Leitfadens zur Einrichtung kooperativer Verkehrssysteme als weitere Aufgabe von TUM-VT.

## Projektstruktur

---

Wie zuvor erwähnt, lassen sich vier Aufgabenbereiche von UR:BAN-VV identifizieren. Aus diesem Grund untergliedert sich das Vorhaben in vier Teilprojekte, „Kooperative Infrastruktur“ (KI), „Regionales Netz“ (RN), „Urbane Straßen“ (US) und „Smarte Kreuzung“ (SK). Während im Rahmen der drei letztgenannten Teilprojekten Applikationen mit unterschiedlichen Wirkungsbereichen entwickelt wurden, wurden im Teilprojekt KI begleitende Tätigkeiten durchgeführt. Bei diesen steht die Infrastruktur vernetzter Verkehrssysteme im Vordergrund und es besteht eine Verbindung zu den drei anderen Teilprojekten. Die folgende Abbildung zeigt die Struktur von UR:BAN-VV mit den einzelnen Teilprojekten und ihren jeweiligen typischen zeitlichen und räumlichen Einsatzbereichen.

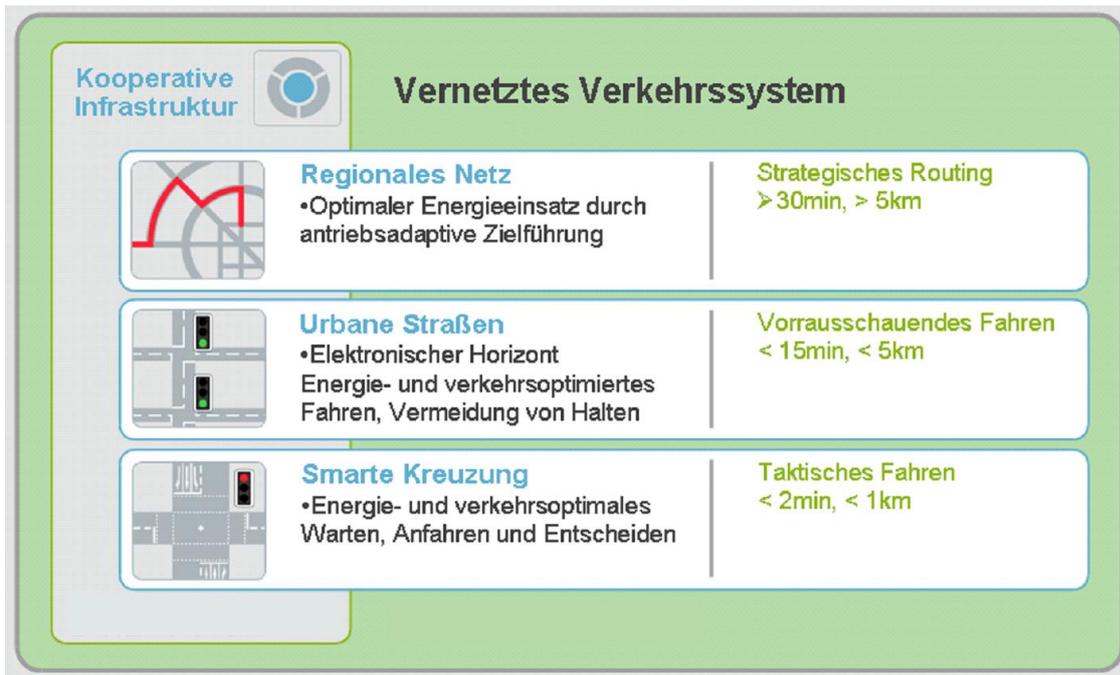


Abbildung 1: Übergreifendes Konzept des Vorhabens

## Projektvoraussetzungen

Grundlage für die übertragbare Entwicklung der UR:BAN-VV Applikationen bilden das Testfeld Düsseldorf sowie die Prüffelder Kassel und Braunschweig. Im urbanen Raum bilden Lichtsignalanlagen das maßgebliche Element der Verkehrssteuerung, weshalb viele der entwickelten Applikationen in Zusammenhang mit der Lichtsignalsteuerung stehen. Durch die unterschiedlichen Steuerungsverfahren in Düsseldorf (weitgehend Festzeitsteuerung mit geringen verkehrabhängigen Anpassungen) und Kassel (regelbasierte verkehrabhängige Steuerung) werden fast 80% der in Deutschland betriebenen Lichtsignalanlagen repräsentiert. Durch den Einbezug der wichtigsten Stakeholder in die Partnerauswahl von UR:BAN-VV wurde sichergestellt, dass die jeweiligen Kernkompetenzen und Interessen der einzelnen Gruppen in das Projekt eingehen. Zu den wichtigsten Stakeholdern im Bereich der vernetzten Verkehrssysteme zählen Automobilhersteller und -zulieferer, Baulastträger, Forschungsinstitute und Anbieter von Verkehrsmanagementsystemen und -lösungen.

## Projektplanung und Ablauf

Das Projekt UR:BAN-VV startete am 01.01.2012 und endete am 31.12.2015. Die folgenden Meilensteine wurden erreicht:

- MS1 – Anwendungsfälle & Spezifikation (April 2013)
- MS2 – Integration und Aufbau Versuchsträger (Dezember 2013)
- MS3 – Testfeldaufbau und Versuchsplanung (Dezember 2014)
- MS4 – Bewertung (März 2016)

Die Arbeiten von TUM-VT beschränkten sich auf Arbeitspakete in den Teilprojekten KI und US. Daher wird lediglich auf diese Teilprojekte im Folgenden näher eingegangen.

Das Teilprojekt KI gliedert sich in sieben übergeordnete Arbeitspakete, welche jeweils in weitere Arbeitspakete unterteilt sind. Untenstehende Abbildung zeigt die Projektstruktur des Teilprojekts KI mit den übergeordneten Arbeitspaketen.

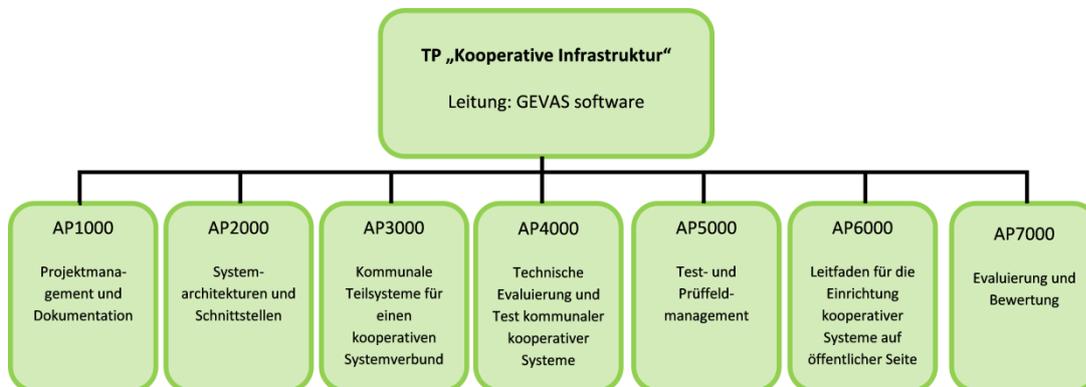


Abbildung 2: Projektstruktur „Kooperative Infrastruktur“

In AP2000 fand eine Analyse des Ausbauzustandes der verkehrstelematischen Infrastruktur unter dem Fokus der Einführung kooperativer Systeme statt. Diese Betrachtungen stellten die Grundlage für die Erarbeitung der Systemarchitekturen kommunaler kooperativer Systeme dar. TUM-VT war im Rahmen des AP2000 insbesondere im Bereich der „Bestehenden Standards und Datenmodelle“ (AP2200), der „Vorgaben aus dem ITS Action Plan und weiteren ITS Aktivitäten“ (AP2400) sowie der „Erarbeitung von Referenzarchitekturen“ (AP2600) tätig.

In AP3000 erfolgte in enger Abstimmung mit den anderen drei Teilprojekten die Spezifikation der in UR:BAN-VV entwickelten infrastrukturseitigen Applikationen. TUM-VT wirkte an dieser Stelle bei der „Spezifikation der kommunalen Teilsysteme“ (AP3100) mit, indem die Leitung der systemtechnischen Spezifikationserstellung zu dem Teilsystem Lkw-Pulkmanagement übernommen wurde.

In AP5000 erfolgte die Koordination der Test- und Prüffelder. Im AP5330 „Laufende Betriebsuntersuchungen“ wirkte TUM-VT durch die Durchführung von Datenerhebungen im Feld zum Lkw-Pulkmanagement mit.

In AP6000 wurde ein Leitfaden für die Einführung kooperativer Systeme bei kommunalen und regionalen Verwaltungen erarbeitet. TUM-VT gestaltete die inhaltliche Struktur und koordinierte die Arbeiten im Rahmen der Arbeitspaketleitung.

In AP7000 findet die verkehrliche Bewertung und Hochrechnung der im Projekt UR:BAN-VV entwickelten Systeme statt. Maßgebliche Anteile dieser Arbeiten wurden durch TUM-VT geleistet.

Das Teilprojekt US gliedert sich für die entwickelten Applikationen jeweils in die in untenstehender Abbildung dargestellten vier Arbeitspakete. Die entwickelten Applikationen sind:

- Verzögerungsassistent,
- Grüne Welle Assistent,
- Online-Prognose von Schaltzeitpunkten verkehrsabhängig gesteuerter Lichtsignalanlagen,
- Online-Analyse von Grünen Wellen,
- Prognose der Haltepunkte und Haltedauern für den motorisierten Individualverkehr im Zulauf vor Lichtsignalanlagen und
- Lkw-Pulkmanagement.



Abbildung 3: Projektstruktur „Urbane Straßen“

Im AP2000 wurden die sechs für das Teilprojekt Urbane Straßen zu entwickelnden Funktionen spezifiziert und festgelegt. TUM-VT übernahm dabei die Leitung dieser Arbeiten für die infrastrukturseitig zu implementierende Funktion Lkw-Pulkmanagement.

Die in AP 2000 spezifizierten Fahrzeug- und Infrastrukturfunktionen wurden in AP3000 realisiert und in Versuchsträgern und Verkehrsmanagementsystemen der Städte umgesetzt. Für die Infrastrukturapplikation des Lkw-Pulkmanagements leitete TUM-VT die Arbeiten der „Implementierung“.

Im AP 4000 Demonstration und Tests werden umfassende Tests für die Funktionsüberprüfung der Fahrzeugfunktionen sowie der in der Infrastruktur ergänzten Applikationen durchgeführt. Auch hier oblag die Leitung der das Lkw-Pulkmanagement betreffenden Arbeiten TUM-VT.

Gleiches gilt für die Arbeiten in AP5000, welches der technischen Bewertung auf der einen sowie der verkehrlichen und energetischen Bewertung auf der anderen Seite dient. Die Ergebnisse der verkehrlichen Bewertung der neu entwickelten Funktionen dienen dabei als Basis für die gesamtheitliche Bewertung des AP7000 des Teilprojekts KI.

### Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des Projekts arbeitete der Lehrstuhl für Verkehrstechnik der Technischen Universität München mit den am Projekt UR:BAN-VV teilnehmenden Partnern BMW AG, Continental, Daimler AG, DLR, Gevas Software GmbH, Heusch/Boesefeldt GmbH, Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, ifak e.V. Magdeburg, MAN, Adam Opel AG, Stadt Düsseldorf, Stadt Kassel, TomTom Development Germany GmbH, TRANSVER, TU Braunschweig, Uni Duisburg, Uni Kassel, Volkswagen AG zusammen.

Über die Zusammenarbeit mit Projektpartnern hinaus, bestand außerdem intensiver Austausch mit der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) im Rahmen der Erarbeitung des Leitfadens, sowie informeller Austausch mit dem Komitee TC 2.1 des Weltstraßenverbandes PIARC. Über die Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes bestand außerdem Kontakt zum Projekt CONVERGE, was insbesondere für die Arbeiten zur Standardisierung hilfreich war. Mit dem Lieferanten verschiedener Komponenten der Verkehrsinfrastruktur der Stadt Düsseldorf (SIEMENS AG) wurde zusammengearbeitet, um eine dynamische Beeinflussung der Schaltzeitpunkte der Lichtsignalanlagen für das Lkw-Pulkmanagement zu ermöglichen.

Zur Erhebung von Daten mittels Umfragen wurde außerdem mit zahlreichen deutschen Städten zusammengearbeitet, um die Grundlage für die Hochrechnung der in UR:BAN-VV entwickelten Applikationen zu bilden.

---

## Wissenschaftlicher und technischer Stand

---

Im Folgenden wird der wissenschaftliche und technische Stand derjenigen Arbeitsschwerpunkte von TUM-VT beschrieben, welche einen innovativen Charakter aufweisen, um die jeweilige Ausgangslage darzustellen.

Vernetzte Fahrzeuge können gegenüber konventioneller stationärer Detektion eine erweiterte Datenbasis zur Beschreibung des Verkehrszustands liefern. Neben Positions- und Geschwindigkeitsdaten können auch Informationen zum Fahrzeugtyp, der Antriebsart oder des Fahrzeugzustands übermittelt werden. Diese Informationen können genutzt werden, um flexiblere und spezifischere Steuerungsentscheidungen der Lichtsignalanlagen zu erreichen. Dadurch sind individuelle Anforderungsmechanismen mit verschiedenen Prioritätsstufen für verschiedene Fahrzeuge möglich. Derartige Ansätze werden unter dem Stichwort „Balanced Priority“ zusammengefasst. So können beispielsweise Sondereinsatzfahrzeuge oder ÖPNV-Fahrzeuge Vorrang erhalten, was wiederum abhängig von der jeweiligen Dringlichkeit (Vorhandensein eines Notfalleinsatzes, derzeitige Abweichung vom Fahrplan, Belegungsgrad, usw.) geschehen kann. Derartige Datencontainer zur Übermittlung fahrzeugspezifischer Informationen sind in den Beschreibungen der CAM-Standards des ETSI [ETSI, 2011] bereits vorgesehen. Solche Techniken können auch für Lkw eingesetzt werden, um Haltevorgänge zu vermeiden und so den Emissionsausstoß des Gesamtverkehrs zu reduzieren. Dies soll im Rahmen von UR:BAN-VV geschehen, indem Schaltzeitpunkte koordinierter Lichtsignalanlagen so angepasst werden, dass eine Pulkauflösung von Lkw vermieden wird. Spezielle Berücksichtigung von Lkw wurde beispielsweise im Projekt eCoMove bereits untersucht, allerdings wurde hier ein knotenpunktbasierter Ansatz gewählt [SANTA ET AL., 2014]. Im Gegensatz dazu wird in UR:BAN-VV ein zentralenbasierter Ansatz gewählt, bei dem Steuerungsentscheidungen für mehrere Knotenpunkte getroffen werden und von der Zentrale an die Lichtsignalanlagen übertragen werden.

Eines der Ergebnisse des Teilprojekts KI ist eine Referenzarchitektur, die im Abstraktionsgrad eine Ebene höher anzusiedeln ist, als die tatsächlichen in UR:BAN vorgenommenen Implementierungen. In Deutschland bestehen mit MARZ [BAST, 1999], TLS [BAST, 2012], VDV 453 [VDV, 2013] verschiedene Referenzarchitekturen [FGSV, 2012]. Bisher besteht aber keine übergeordnete Rahmenarchitektur, wenngleich derartige Anstrengungen mit den europäischen FRAME Projekten [FRAME, 2015] bereits bestehen. Zur Zeit des Verfassens dieses Schlussberichts findet außerdem eine von der BAST koordinierte Entwicklung einer Rahmenarchitektur für Deutschland mit verschiedenen Referenzarchitekturen statt. Durch das Fehlen einer derartigen Rahmenarchitektur während der Projektlaufzeit von UR:BAN konnten entsprechende Vorgaben bei der Entwicklung der Referenzarchitektur nicht berücksichtigt werden. Um derartiges Wissen, wie auch solches zu Datenstandards und Erfahrungen bei der Einrichtung der UR:BAN Applikationen, der öffentlichen Hand zugänglich zu machen, fließen diese Arbeiten in den „Leitfaden für die Einrichtung kooperativer Systeme auf öffentlicher Seite“ ein.

Da Feldversuche nur begrenzt zur Ermittlung von gesamtverkehrlichen Wirkungen kooperativer Systeme eingesetzt werden können, dienen Mikrosimulationen dazu, Bewertungen für verschiedene Szenarien vornehmen zu können. Im Bereich der Bewertung kooperativer Systeme stehen verschiedene etablierte

Mikrosimulationsumgebungen wie VISSIM der PTV AG, SUMO des DLR und AIMSUN von TSS zur Verfügung. Die Herausforderung besteht in der korrekten Anwendung dieser Werkzeuge zur Abbildung von Verkehrsnetzen und kooperativen Applikationen und der anschließenden statistischen Auswertung der erzeugten Datensätze. Derartige Untersuchungen bilden den Standard in der verkehrstechnischen Bewertung kooperativer Systeme und kamen in einer Vielzahl relevanter Forschungsprojekte (SAFESPOT, eCoMove, simTD, aktiv, usw.) zum Einsatz. Das im Rahmen von simTD am Lehrstuhl für Verkehrstechnik entwickelte Simulationslabor vtSIM [BAUR ET AL., 2014] bietet unter anderem Möglichkeiten zur statistischen Auswertung, Ergebnisaufbereitung und -darstellung. vtSIM dient als Grundlage für die Wirkungsermittlung der in UR:BAN entwickelten Applikationen.

Um eine detaillierte Hochrechnung der verkehrlichen Wirkungen von kooperativen Systemen vornehmen zu können, bedarf es einer Datengrundlage. Da die Wirkungen kooperativer Systeme stark von den vorliegenden Charakteristika des betrachteten Straßennetzes wie Zufahrtsgeometrie, eingesetztem Steuerungsverfahren, Knotenpunktstand usw. abhängen, müssen derartige Daten als Basis für die Hochrechnung erhoben werden. Für Deutschland bestand zu Beginn des Projekts UR:BAN-VV keine derartige Datengrundlage.

## Erzielte Ergebnisse

---

### Infrastrukturapplikation Lkw-Pulkmanagement (US-5)

---

Wegen möglicherweise niedriger Fahrgeschwindigkeiten bzw. niedrigerem Beschleunigungsvermögen bei großer Beladung können sich Lkw-Pulks in einem für Pkw optimierten Grüne-Welle-Band auflösen. In der Folge ergeben sich aufgrund des im Vergleich zu Pkw höheren Gesamtgewichts überproportionale Emissionen sowie Leistungsfähigkeitseinbußen durch die Anhalte- und Anfahrvorgänge. Außerdem nimmt die Beschädigung der Fahrbahnoberfläche durch häufiges Anhalten und erneutes Anfahren von Lkw zu. Das Lkw-Pulkmanagement soll diesen negativen Effekten entgegenwirken und basiert auf einer Lkw-Pulk Erfassung und der zentralen Optimierung der LSA Schaltung, um Lkw-Pulks möglichst optimal durch ein Grüne-Welle-Band führen zu können. Als zweite Beeinflussungsmöglichkeit steht die Weitergabe von Informationen an die Lkw-Fahrer zur Verfügung, wodurch diese ihre Fahrgeschwindigkeit anpassen und somit Haltevorgänge vermeiden können. Abbildung 4 zeigt beispielhaft den Eingriff in die Steuerung durch das Lkw-Pulkmanagement zur Vermeidung der Pulkauflösung von Lkw und der damit verbundenen Haltevorgänge.

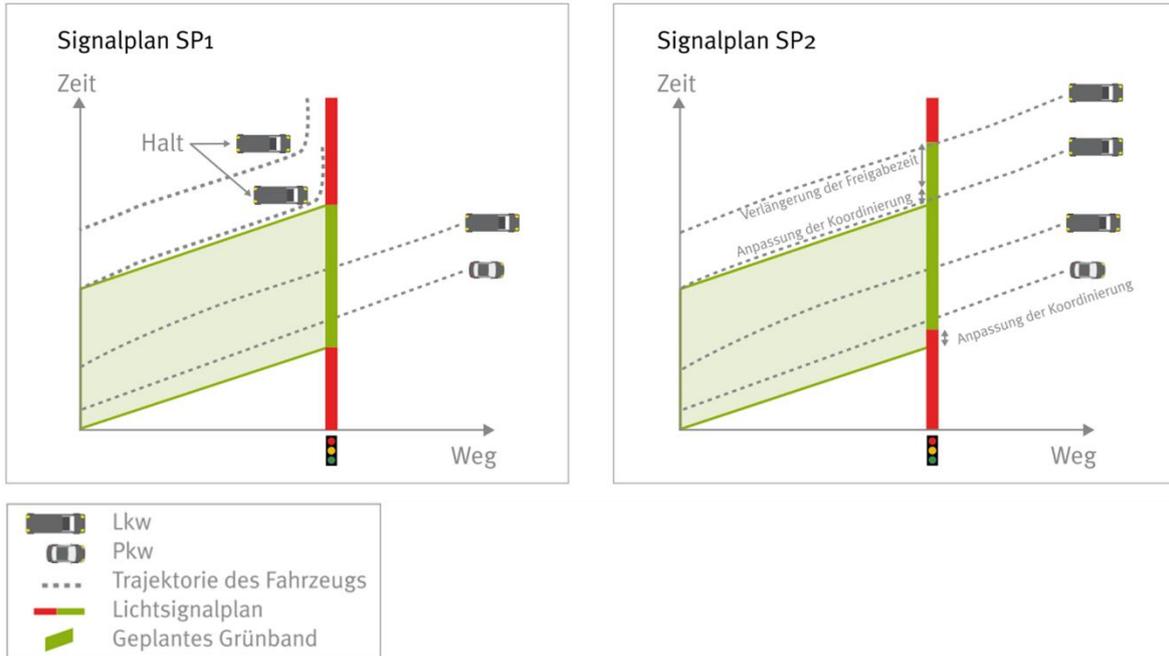


Abbildung 4: Beispiel zur Beeinflussung einer Lichtsignalanlage durch das Lkw-Pulkmanagement

Zur Beeinflussung der LSA-Steuerung werden online Informationen von Fahrzeugen (Lkw und Pkw) benötigt. Diese umfassen mikroskopische Daten wie z.B. Position, Geschwindigkeit oder Fahrzeugklasse aber auch makroskopische Informationen wie Verkehrsstärke und Abbiegeraten. Diese Informationen können entweder durch stationäre Detektion oder die Vernetzung von Fahrzeugen und Infrastruktur gewonnen werden. Zudem müssen statische Informationen über die verkehrstechnische Planung der betrachteten Knotenpunkte sowie zur Netztopologie vorhanden sein. Die zentralenseitige Steuerung sammelt, verarbeitet und analysiert diese Daten, um einen Optimierungsvorschlag zu erzeugen. Die finale Entscheidung, ob dieser Vorschlag angenommen wird, wird unter Berücksichtigung anderer Verkehrsteilnehmer wie z.B. ÖPNV oder Fußgänger auf lokaler Ebene getroffen. Untenstehende Abbildung zeigt die Systemarchitektur, die für die Umsetzung des Lkw-Pulkmanagements gewählt wurde.

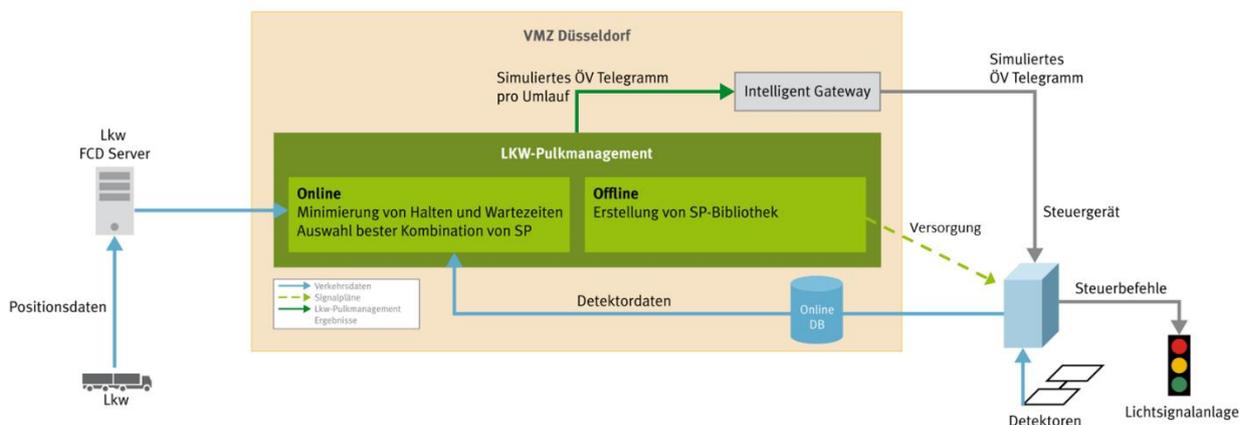


Abbildung 5: Systemarchitektur des Lkw-Pulkmanagements

Die Lkw senden Daten über Position und Geschwindigkeit via Mobilfunk an einen FCD-Server. Im Falle des Feldversuchs ist dieser FCD-Server in der Verkehrsmanagementzentrale (VMZ) der Stadt Düsseldorf verortet. In Abbildung 5 wird der Server aber außerhalb der VMZ dargestellt, da er im Dauerbetrieb prinzipiell auch von privaten Drittanbietern betrieben werden könnte. Der FCD-Server steht über ein Java Servlet zur Verfügung und die Daten der Lkw werden über das Aufrufen einer entsprechend kodierten Webadresse übertragen. Von diesem Server kann die Applikation „Lkw-Pulkmanagement“ die Daten abrufen. Zusätzlich sind zur Ermittlung der Steuereingriffe auch Verkehrsdaten, also Daten der stationären Detektion erforderlich. Diese werden mittels einer OCIT-I/OTS1 Schnittstelle von der Online Datenbank der Verkehrszentrale abgerufen. Größte Herausforderung bei der Umsetzung des Lkw-Pulkmanagements war die zentralenseitige online Beeinflussung der LSA-Steuergeräte, da ein derartiger Übertragungsweg standardmäßig nicht vorgesehen ist. Als technisch machbar erwies sich die Erzeugung von simulierten ÖV-Telegrammen, welche an das Intelligent Gateway übertragen und von dort an die lokalen Steuergeräte weitergeleitet werden. Die ÖV-Telegramme werden nach dem Standard R09 des VDV generiert. Diese ÖV-Telegramme dienen normalerweise der dezentralen Priorisierung des öffentlichen Verkehrs, wurden im Falle des Lkw-Pulkmanagements aber zentral erzeugt und versendet. Durch diese Systemarchitektur ist es notwendig, Meldepunkte im Steuergerät zu versorgen, welche bei der Anforderung durch das Pulkmanagement aktiviert werden und einen speziell versorgten Signalplan auslösen. Da die Anforderung von ÖV-Meldepunkten im Rahmen der „US-3 - Infrastrukturapplikation Prognose der LSA-Schaltzeitpunkte“ berücksichtigt werden kann, können mit dem gewählten Vorgehen – unter der Voraussetzung eines ausreichend großen Lerndatensatzes – weiterhin Schaltzeitprognosen vorgenommen werden. Hierdurch besteht auch bei aktivem Lkw-Pulkmanagement die Möglichkeit, die Lkw-Fahrer zu beeinflussen. So können weiterhin die Funktionen „US-1 - Fahrzeugfunktion Verzögerungsassistent“ und „US-2 - Fahrzeugfunktion Grüne-Welle-Assistent“ genutzt werden.

Die Implementierung des Lkw-Pulkmanagements umfasst ein Verkehrsflussmodell, um den Verkehrszustand mit und ohne Eingriffe in die Steuerung abbilden und vorhersagen zu können. Da mikroskopische Daten der Lkw vorliegen, gleichzeitig aber der Gesamtverkehr berücksichtigt werden muss, wurde ein Modellierungsansatz verfolgt, der mikroskopische wie auch makroskopische Informationen vereint. Hierzu wurde das Cell Transmission Modell nach Daganzo [DAGANZO, 1994] mit einem Zellularautomaten [NAGEL & SCHRECKENBERG, 1992] kombiniert. Während das Cell Transmission Modell makroskopischen Charakters ist und sich somit für die Berücksichtigung der Detektordaten eignet, dienen die Eigenschaften des mikroskopischen Zellularautomaten der speziellen Berücksichtigung von Lkw. Das Straßennetz muss entsprechend dieser Modellierung nachgebildet werden und wird in Zellen unterteilt. Die Verkehrsmodelle erlauben eine Bewertung unterschiedlicher Steuerungsentscheidungen hinsichtlich verschiedener Kenngrößen wie Wartezeit und Anzahl der Halte getrennt für den Gesamtverkehr und Lkw. Abbildung 6 zeigt das nachgebildete Straßennetz in Düsseldorf, welches aufgrund der Verbindung von Hafen und Autobahn einen hohen Schwerverkehrsanteil aufweist.

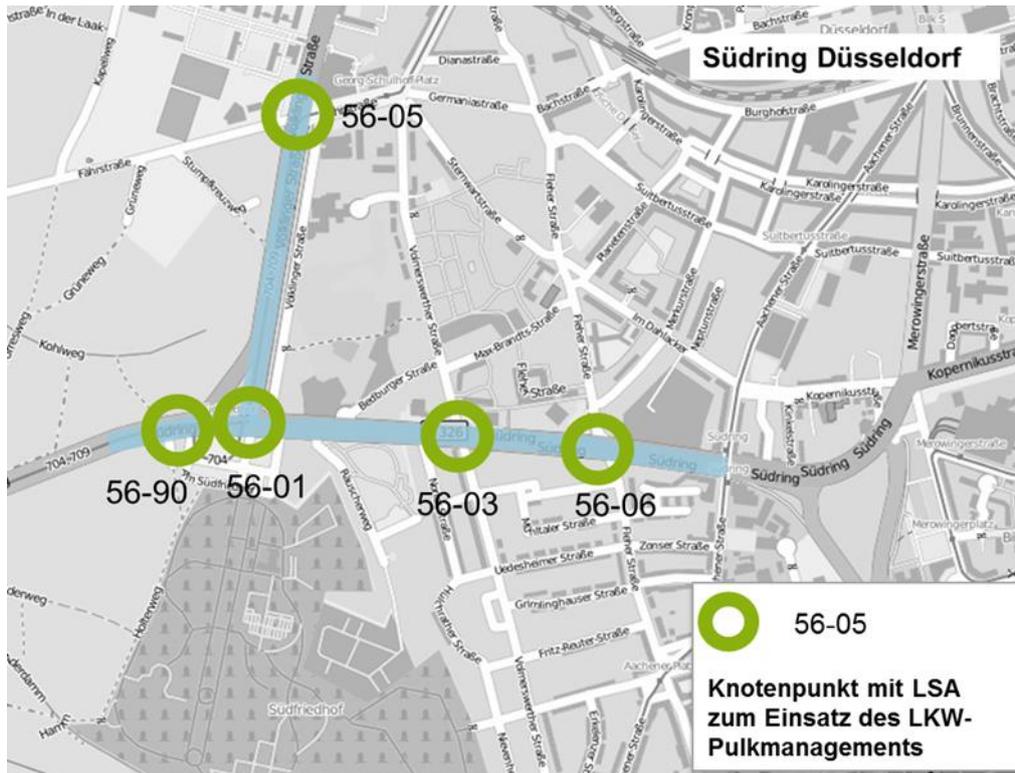


Abbildung 6: Knotenpunkte mit LSA zum Einsatz des Lkw-Pulkmanagements

Aufbauend auf der Möglichkeit, die Verkehrswirkung mit Hilfe des modellierten Verkehrsnetzes und des Verkehrsflussmodells abschätzen zu können, sollen optimale Steuerungsentscheidungen getroffen werden. Hierzu kommt ein genetischer Algorithmus zum Einsatz. Dieses heuristische Optimierungsverfahren wurde gewählt, da es eine vergleichsweise schnelle Auswahl von Signalplankombinationen aus einer a priori erstellten Bibliothek von Signalplänen ermöglicht. Auf eine geschlossene mathematische Formulierung von Steuerungseingriffen und Modell kann verzichtet werden, stattdessen findet ein systematisches „Ausprobieren“ der unterschiedlichen Signalplankombinationen statt. Die Steuereingriffe, welche zum besten Fitnesswert (Ergebniswert einer Optimierungsfunktion, die die verkehrlichen Wirkungen des Steuerungseingriffs verknüpft) führen, werden ausgewählt und an die LSA-Steuergeräte versandt. Die Bibliothek der Signalpläne sollte alle in den Steuergeräten versorgten Signalpläne enthalten, welche durch Anforderung mittels Aktivierung von ÖV-Meldepunkten aktiviert werden können. Von Signalplankombinationen ist an dieser Stelle deshalb die Rede, da die Signalplanauswahl nicht separat für einzelne Knotenpunkte, sondern kombiniert für den gesamten betrachteten Netzausschnitt erfolgt. Abbildung 7 zeigt schematisch das Optimierungsverfahren des Lkw-Pulkmanagements.

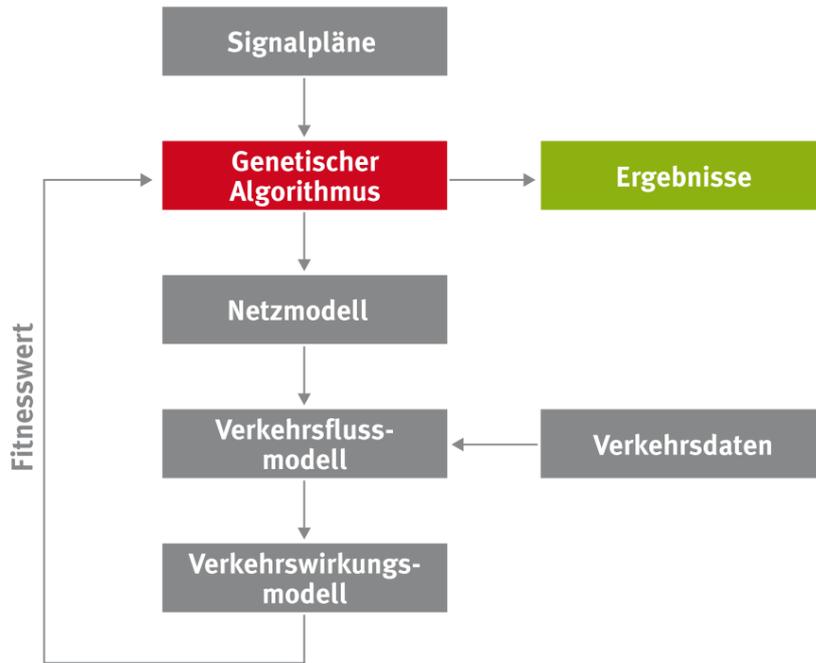


Abbildung 7: Optimierungsverfahren des Lkw-Pulkmanagements

Demonstration und Test des Lkw-Pulkmanagements teilen sich auf einen Feldtest und einen Test innerhalb der Simulationsumgebung VISSIM auf.

Im Rahmen des Feldtests konnte aufgrund der wenigen ausgestatteten Lkw und der Rechenintensität des Optimierungsverfahrens lediglich Teile des Lkw-Pulkmanagements getestet werden. Im Rahmen des Feldtests wurden

- Detektorpositionen für notwendige zusätzliche stationäre Detektion in Absprache mit der Stadt Düsseldorf festgelegt,
- Signalprogramme in Absprache mit der Stadt Düsseldorf entworfen und
- in Absprache mit der SIEMENS AG lokal versorgt,
- die zum Empfang und Verarbeitung von Daten der ausgestatteten Lkw notwendige Schnittstelle erfolgreich in Betrieb genommen und getestet,
- eine Möglichkeit zum Versand von virtuellen ÖV-Telegrammen implementiert und erfolgreich getestet,
- Meldepunkte mit Hilfe der ÖV-Telegramme aktiviert und die online Beeinflussung der Steuerung überprüft,
- die notwendige Schnittstelle zur Verarbeitung der Detektordaten getestet.

Am Beispiel des Knotenpunkts 56-01 (siehe Abbildung 6) wird die Beeinflussung mittels ÖV-Telegrammen im Feldtest aufgezeigt. Zunächst wurden im Steuergerät Anforderungen für das Lkw-Pulkmanagement versorgt. Abbildung 8 zeigt den Signalzeitenplan der Signalgruppe CL des Knotenpunkts 56-01 in Düsseldorf, der für den Feldtest um die Anforderungen A21 und A22 für das Lkw-Pulkmanagement ergänzt wurde.

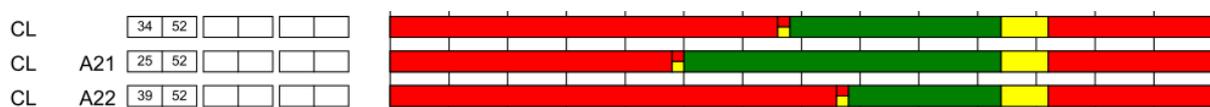


Abbildung 8: Signalzeitenplan der Signalgruppe CL am Knotenpunkt 56-01 mit Anforderungen

Durch das Lkw-Pulkmanagement wird der Meldepunkt A21 aktiviert, der Grünzeitbeginn der Signalgruppe CL also um 9 s vorgezogen. Der Meldepunkt A21 wird über das R09 Telegramm mit der Meldepunktnummer 10002 aktiviert, eine entsprechende Log-Meldung des SIEMENS Scala Systems zeigt untenstehende Abbildung.

DATUM	UHRZEIT	TX	SSE	HK	UK	MP-Nr	LiN	KuN	RoN	Pr	ZL	R	FaLag	Res1	Res2	Res3
13.11.15	15:33:09	011	036	09	07	18037	709	003	005	00	01	0	00000	00000	00000	00000
13.11.15	15:33:11	013	034	09	07	18041	709	003	005	00	01	0	00000	00000	00000	00000
13.11.15	15:33:18	020	016	09	16	10002	000	000	000	00	00	0	00000	00000	00000	00000
13.11.15	15:33:27	023	007	09	07	21577	709	003	005	00	01	0	00000	00000	00000	00000
13.11.15	15:33:28	030	039	09	07	18042	709	003	005	00	01	0	00000	00000	00000	00000
13.11.15	15:35:22	005	090	09	07	25386	719	011	016	00	00	0	00000	00000	00000	00000

Abbildung 9: Auszug aus der Log-Datei mit Bestätigung des Empfangs des ÖV Telegramms zur Aktivierung des Meldepunkts 10002 (A21)

Die Aufzeichnung der tatsächlich angezeigten Signalisierung ohne (Abbildung 10) und mit (Abbildung 11) Steuereingriff zeigt die resultierende Grünzeitverlängerung um 9 s.

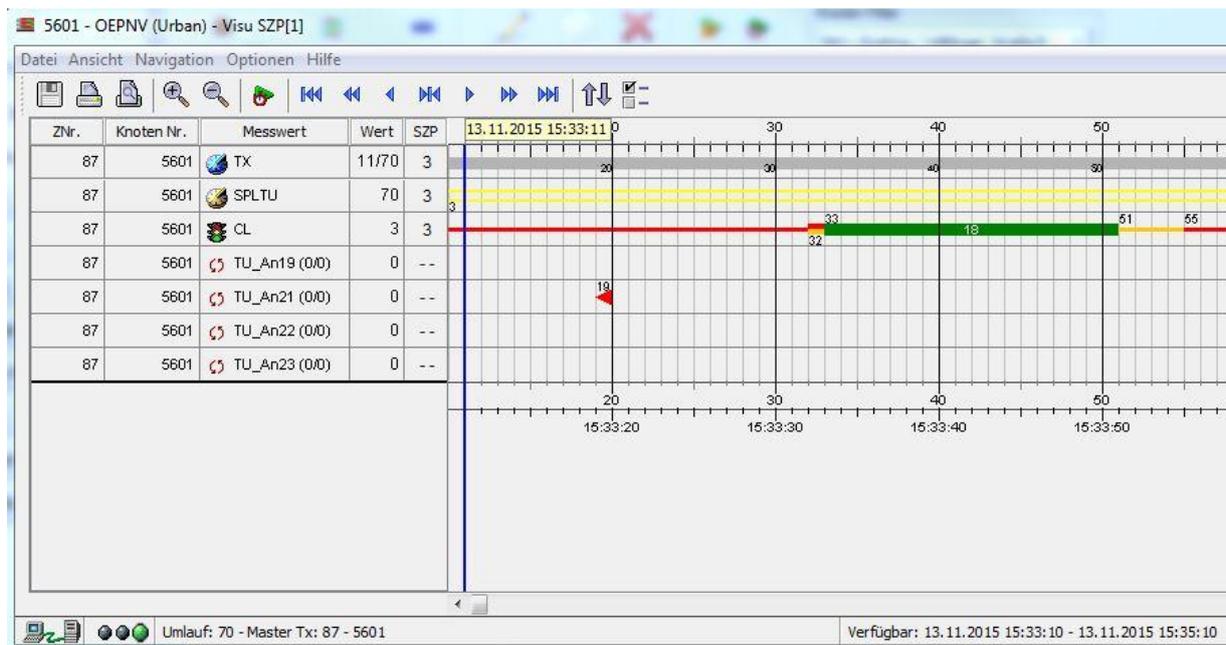
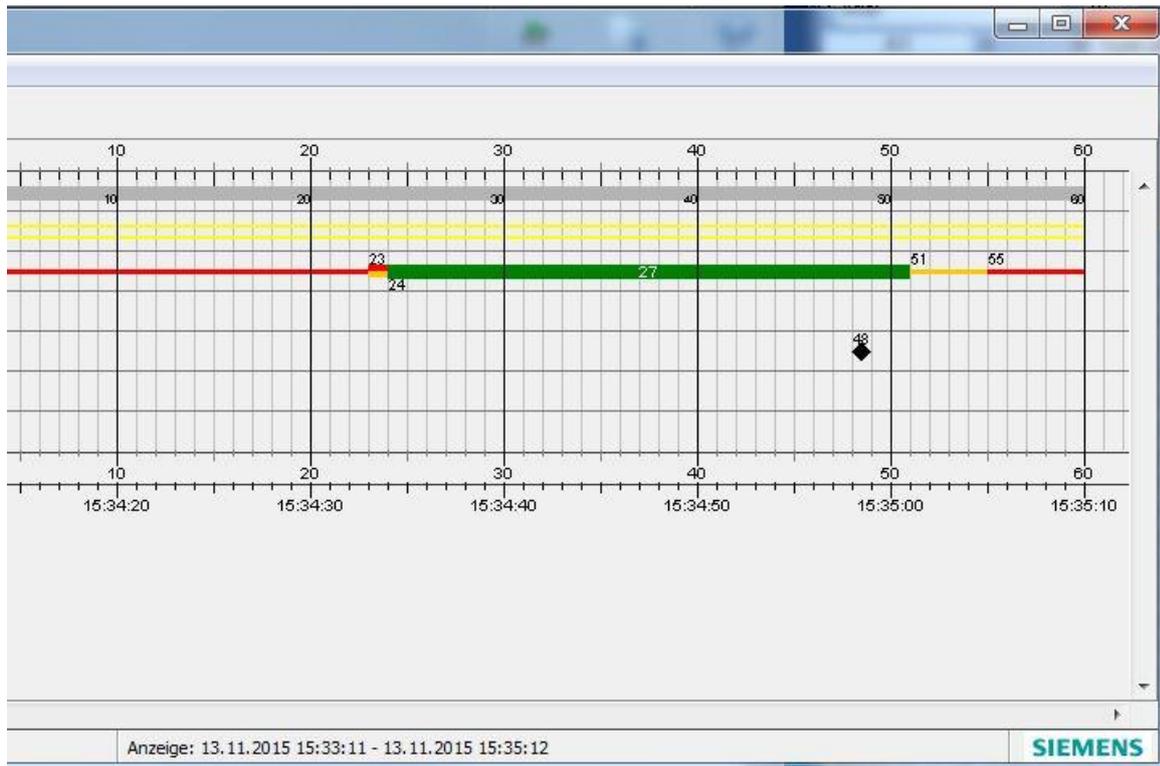


Abbildung 10: Aufgezeichneter Signalzustand der Signalgruppe CL am Knotenpunkt 56-01 ohne Anforderung durch das Lkw-Pulkmanagement



**Abbildung 11: Aufgezeichneter Signalzustand der Signalgruppe CL am Knotenpunkt 56-01 mit Anforderung durch das Lkw-Pulkmanagement**

Im Rahmen der Simulation wurde das Lkw-Pulkmanagement in Betrieb genommen, wobei hier der Ablauf aus Datenerfassung, Ableitung einer Steuerungsentscheidung und anschließender Beeinflussung der Steuerung durchgängig umgesetzt wurde. Da eine verkehrliche Bewertung aufgrund der wenigen ausgestatteten Lkw nicht möglich war, wurde diese im Rahmen einer Simulation durchgeführt. Mit Hilfe der Felddtests konnte die technische Machbarkeit, insbesondere die Nutzung aller notwendigen Schnittstellen, nachgewiesen werden.

Zur verkehrlichen Bewertung wurde die Applikation hinsichtlich ihres Potenzials zur Reduzierung der Anzahl der Halte von Lkw unter Berücksichtigung der Wartezeit des Gesamtverkehrs untersucht. Die Bewertung basiert an dieser Stelle auf der Simulation des Knotenpunkts 56-05 (Völklinger Straße - Fährstraße) unter Berücksichtigung einer Anpassung der lokalen Steuerung. Die Pulkbildung an den benachbarten Lichtsignalanlagen wurde durch die Ergänzung der entsprechenden Signalgruppen der benachbarten LSA simuliert.

Für die Bewertung der Applikation wurden vier unterschiedliche Anteile von Lkw simuliert (Anteil von Lkw am Gesamtverkehr 5, 10, 15 und 20%). Dabei wird angenommen, dass alle Lkw ihre Positionsdaten bereitstellen. Diese verschiedenen Schwerverkehrsanteile wurden jeweils mit aktivierter Applikation und deaktivierter Applikation simuliert.

Die tatsächlich im Feld versorgte, verkehrsabhängige Steuerung (z.B. Verlängerung der Freigabezeit bei Staudetektoren und ÖV-Anforderung), wurde in der Simulation mit der Hilfe von Ablaufdiagrammen in der Programmiersprache VisVAP nachgebildet.

Die Simulationsstudie zeigte, dass die Applikation zu einer Reduzierung der Halte von Lkw für alle betrachteten Lkw-Anteile führt. Einschränkend ist allerdings

anzumerken, dass sich die Reduzierung nur für einen Lkw-Anteil von 20% als statistisch signifikant erweist und in diesem Fall -11,36% beträgt. Es ist aber hervorzuheben, dass die eingeschränkten Anpassungsmöglichkeiten der bestehenden Signalprogramme maßgebend für die beobachtete relativ geringe Reduzierung sind. So konnten im vorliegenden Fall nur geringe Anpassungen an der bestehenden Planung vorgenommen werden, was lediglich in geringen Verschiebungen oder Verlängerungen der Freigabezeit resultiert. Dies ist zum einen auf die Bestandsplanung zurückzuführen. Zum anderen musste aus technischen Gründen auf die Verwendung von ÖV-Telegrammen zurückgegriffen werden, womit jede Programmanpassung separat versorgt werden muss. Im Falle einer vollständigen automatischen Signalprogrammbildung (also einer verkehrsunabhängigen Lichtsignalsteuerung mit größtmöglicher Variabilität) kann mit mehr Flexibilität und damit auch mit einer stärkeren Reduktion der Anzahl der Halte gerechnet werden. Weiterhin zeigte die Simulationsstudie, dass der Gesamtverkehr auf der Hauptrichtung durch die Aktivierung der Applikation geringe Effizienzsteigerungen erfährt, welche je nach Lkw-Anteil auch statistische Signifikanz aufweisen. Dies liegt darin begründet, dass durch die Anpassungen der Koordinierung und Verlängerungen der Grünzeit nicht nur die Halte von Lkw, sondern auch die Reisezeiten des Gesamtverkehrs reduziert werden können. Entsprechend sind aber Beeinträchtigungen der Nebenrichtungen zu erwarten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass vernetzte Verkehrssysteme einen Beitrag zu einer flexibleren und spezifischeren Lichtsignalsteuerung leisten können. Während solche Ansätze zur „Balanced Priority“ meist knotenpunktbasierend umgesetzt werden, wurde mit dem Lkw-Pulkmanagement ein zentralbasierter Ansatz erarbeitet. Als Herausforderung zeigte sich dabei die Beeinflussung der Lichtsignalsteuerung, welche technisch mittels simulierter ÖV-Telegramme nach dem VDV Standard R09 gelöst werden konnte. Einschränkend ist zu sagen, dass je nach Bestandsplanung durch die ÖV-Telegramme nur geringe Veränderungen der Schaltzeiten hervorgerufen werden können. Außerdem geht mit der verkehrstechnischen Planung der Anforderungen sowie deren Versorgung ein großer personeller Aufwand einher. Als weitergehender Forschungsansatz bietet sich daher beispielsweise die Entwicklung eines Verfahrens mit freier Signalprogrammbildung an. Außerdem ist der Algorithmus hinsichtlich der Übertragbarkeit auf weitere Straßennetze sowie der Robustheit und des Rechenaufwands weiterzuentwickeln.

## Systemarchitekturen und Schnittstellen kommunaler kooperativer Systeme (KI 2000)

### Bestehende Standards und Datenmodelle (AP 2200)

Eine Vielzahl von IVS-Anwendungen und damit auch von Technologien, die im Rahmen von UR:BAN-VV entwickelt werden, greift auf Daten unterschiedlicher Quellen zurück. Diese werden häufig vom jeweiligen Betreiber erhoben und in proprietärer Form vorgehalten, wodurch ein Austausch und eine übergreifende Nutzung der Daten schwerfällt. Um dem entgegenzuwirken, werden neue Standards entwickelt und der Einsatz bereits bestehender Standards weiter vorangetrieben. Im Arbeitspaket 2200 wurde unter der Leitung von TUM-VT ein Bericht erstellt, der zum Ziel hat, relevante Standards und Schnittstellendefinitionen in einer allgemeinen Analyse zusammenzufassen. Zur Beschreibung der Standards wurde ein einheitliches Schema festgelegt. Die folgenden Analyse Kriterien geben je

untersuchtem Standard/Schnittstelle einen Überblick über deren Eigenschaften und ermöglichen eine Beurteilung hinsichtlich ihrer Verwendung in kooperativen Systemen. Zunächst erfolgt eine Kurzbeschreibung der Standards mit anschließender Einordnung und Charakterisierung. In der folgenden fachlichen Analyse findet eine Aufbereitung der betrachteten Standards unter den Gesichtspunkten der Datenmodellierung, des verwendeten Austauschprotokolls, der Unterstützung von dienstorientierter Architektur und der Informationssicherheit statt. Der fachlichen Analyse schließt sich eine Betrachtung des Aufwands an, in der die unterschiedlichen Faktoren, welche bei der Einführung und dem Betrieb des Standards entstehen können, analysiert werden. Unterschieden werden die Aspekte Entwicklung und Einführung, Unterstützung und betriebliche Kosten. Schließlich wird auf die Zukunftssicherheit und Übertragbarkeit des betrachteten Standards eingegangen, wobei hier vor allem die Einbettung in die Informations- und Kommunikationstechnik, die Berücksichtigung in entsprechenden Standardisierungsgremien und die Verbreitung des Standards eine Rolle spielen. Einen knappen Überblick über die behandelten Standards liefert die untenstehende Tabelle 1.

**Tabelle 1: Übersichtstabelle Standards und Datenmodelle**

<b>Standard</b>	<b>Charakterisierung</b>
OTS 1 (OCIT-I)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Austausch von dynamischen Verkehrsdaten und Steuerungsbefehlen, insbesondere für innerstädtische Anwendungen</li> <li>• Unterscheidung in „Schnittstellen &amp; Protokoll“ sowie Datenmodell</li> </ul>
OTS 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weiterentwicklung des OTS 1 für höhere Flexibilität und erleichterte Erweiterbarkeit</li> <li>• ohne eigenes Datenmodell, stattdessen Integration der Datenmodelle von OTS1 und DATEX II</li> </ul>
OCIT-C (SZVD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwicklung aus OTS1 sowie den Siemens-Protokollen Concert/OCPI heraus für die Kommunikation zwischen zentralen Verkehrssteuerungs- und Verkehrslenkungssystemen</li> </ul>
OCIT-O	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protokoll zur herstellerunabhängigen Anbindung von LSA-Steuergeräten an Zentralen-Software</li> </ul>
Mobilitäts-Daten-Marktplatz (MDM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nationale Datenplattform für Verkehrsdaten, die zur Vermittlung zwischen Anbietern und Abnehmern von Daten (v.a. Verkehrsmeldungen, aggregierte Verkehrsdaten, Parkdaten und Strategieinformationen mit Routenempfehlungen) dient</li> <li>• Datenmodell aus DATEX II wird eingesetzt</li> </ul>
DATEX II	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maschine-Maschine-Schnittstelle für den Austausch dynamischer Verkehrs- und Reisedaten zwischen unabhängigen verkehrstelematischen Systemen</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umfassendes, erweiterbares Datenmodell</li> </ul>
TPEG	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umfasst mehrere Teilstandards zur Übermittlung von Verkehrsinformationen für Dienste (z.B. dynamische Geschwindigkeitsbegrenzungen, Benzinpreise, Wetter)</li> <li>• Datenmodellierung erfolgt dreigeteilt (Meta-Information, Inhaltliche Information, Ortsreferenz)</li> </ul>
TMC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verkehrsmeldungen in kodierter Form im Radio Data System (RDS), Übertragung über UKW-Rundfunk</li> <li>• Traveller Information Services Association (TISA) pflegt die Spezifikationen und schreibt sie nach Bedarf fort</li> <li>• sechs Bestandteile zur Beschreibung des eigentlichen Inhalts der Meldung (Ereignis, Standort, Ausmaß, Richtung, Geltungsdauer, Umfahrungsempfehlung)</li> </ul>
Fahrzeug-zu-X-Kommunikation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Familie von Protokollen sowohl für die Kommunikation aus Zentralen heraus, als auch zwischen Fahrzeugen</li> <li>• Konkrete Standards bestehen zurzeit nur auf der Fahrzeugseite, laufende Standardisierung zur Kommunikation zur Zentraleseite</li> <li>• Einsatz bisher nur in Forschungsprojekten</li> </ul>
VDV 453/454	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnittstelle zum Austausch von Daten des Öffentlichen Verkehrs zwischen Intermodal Traffic Control Systems (ITCS)</li> <li>• Derzeit dynamische Fahrgastinformationen, Daten zur Anschlussicherung, Daten zur Visualisierung der ÖV-Fahrzeuge in der Leitstelle, allgemeiner Nachrichtendienst, Auskunftsdienst zum Austausch von Fahrplänen</li> </ul>
VDV R09	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dient vorrangig dazu, eine Priorisierung des öffentlichen Verkehrs durch die Beeinflussung von Lichtsignalanlagen (LSA) zu ermöglichen</li> <li>• Die Übertragung erfolgt mittels Funk</li> </ul>
SIRI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Europäischer Standard zum Austausch von dynamischen Daten des ÖV</li> <li>• Entstehung aus nationalen Standards wie VDV 453/454</li> </ul>
OpenLR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standard zur dynamischen Georeferenzierung</li> <li>• OpenSource-Projekt</li> <li>• Kann innerhalb von DATEX II genutzt werden</li> </ul>

Während der Projektlaufzeit stellte sich heraus, dass die Standards und Datenmodelle von besonderem Interesse für die öffentliche Hand sind und eine Sammlung von Beschreibungen, wie sie in AP2200 erstellt wurde, eine wertvolle Informationsquelle darstellt. Aus diesem Grund wurde der Bericht aus AP2200 verkürzt in den Leitfaden (AP6000) eingearbeitet und im vollen Umfang in den Anhang übernommen.

## Vorgaben aus dem ITS Action Plan und weiteren ITS Aktivitäten (AP2400)

---

Da der Einsatz von Intelligenten Verkehrssystemen (IVS) (engl.: Intelligent Transport Systems (ITS)) derzeit große Unterschiede zwischen den einzelnen europäischen Ländern aufweist, wurde die Richtlinie 2010/40/EU für die Einführung intelligenter Verkehrssysteme durch das Europäische Parlament verabschiedet. Diese Richtlinie, die aus dem IVS Aktionsplan von 2008 entstand, hat eine Vereinheitlichung von IVS in Europa zum Ziel und wird in nächster Zukunft einen starken Einfluss auf die Gestaltung der Referenzarchitekturen von IVS und deren Schnittstellen haben. Da dieser Einfluss auf die Entwicklung von IVS auch im städtischen Umfeld gegeben ist, wurde die Richtlinie 2010/40/EU und weitere IVS Aktivitäten im Arbeitspaket 2400 genauer untersucht und beleuchtet.

Zur strukturierten Förderung und Harmonisierung der intelligenten Verkehrssysteme wurden vier vorrangige Anwendungsbereiche in der Richtlinie benannt. Innerhalb dieser Bereiche wurden sechs Maßnahmen identifiziert, die den Handlungsschwerpunkt der Richtlinie bilden. Im Einzelnen sind als vorrangige Bereiche zu nennen:

- Optimale Nutzung von Straßen-, Verkehrs- und Reisedaten;
- Kontinuität der IVS-Dienste in den Bereichen Verkehrs- und Frachtmanagement;
- IVS-Anwendungen für die Straßenverkehrssicherheit;
- Verbindung zwischen Fahrzeug und Verkehrsinfrastruktur.

Durch Inkrafttreten der Richtlinie sind Deutschland bzw. die deutschen Bundesländer dazu aufgefordert worden, einen Aktionsplan zur Einführung intelligenter Verkehrssysteme aufzustellen und sich gleichzeitig konstruktiv in den europäischen Prozess einzubringen. Infolgedessen wurde durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) bereits ein nationaler Rahmenplan für IVS im Straßenverkehr aufgestellt. Zwischen den Bundesländern existieren momentan deutliche Unterschiede hinsichtlich der Umsetzung der Anforderungen aus dem EU-Aktionsplan. Hervorzuheben sind hier die Länder Hessen, Bayern und Sachsen-Anhalt, in denen bereits länderspezifische Rahmenpläne erstellt wurden. Durch die Gesellschaft für Verkehrstelematik Deutschland - ITS Network Germany werden die Vorhaben der einzelnen Bundesländer zusammengefügt.

Neben dem IVS Aktionsplan, welcher den Aufbau einer Kommunikations-Plattform zur Förderung von IVS Initiativen im Bereich der städtischen Mobilität vorsieht, dient der „Action Plan for URBAN Mobility“ in Form eines Leitfadens als Ergänzung zum IVS Aktionsplan zur Unterstützung von IVS Anwendungen für urbane Mobilität. Für die Entwicklung eines Leitfadens für die IVS Entwicklung im städtischen Umfeld hat die Europäische Kommission 2010 für einen Zeitraum von 24 Monaten die „Expert Group on ITS for urban areas“ gegründet. Diese Expertengruppe erarbeitete Empfehlungen zu den städtischen IVS-Kernanwendungsfeldern (Multimodale Reiseinformationen, Verkehrsmanagement und städtische Logistik, Smart-Ticketing). Ebenso werden Defizite der europäischen IVS-Standardisierung in Bezug auf städtische Belange von der Urban ITS Expert Group aufgezeigt.

Neben UR:BAN wurden in den letzten Jahren weitere deutsche Forschungsprojekte angestoßen. Zum Zeitpunkt der Bearbeitung dieses Arbeitspakets waren die relevantesten Forschungsprojekte in Deutschland neben UR:BAN die im Folgenden kurz beschrieben:

Das Projekt simTD „Sichere Intelligente Mobilität – Testfeld Deutschland“ startete 2008 und wurde Mitte 2013 abgeschlossen. Durch simTD wurden wesentliche Voraussetzungen für die Einführung kooperativer Systeme im Straßenverkehr durch Fahrzeug-Fahrzeug- und Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation geschaffen. Der Fokus lag dabei auf der Steigerung der Verkehrseffizienz sowie Verkehrssicherheit. Das Projekt CONVERGE „Communication Network Vehicle Road Global Extension“ hat eine Laufzeit von drei Jahren und startete Mitte 2012. CONVERGE zielt auf die Entwicklung und Erprobung eines Systemverbunds für Fahrzeug-Fahrzeug- und Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation ab und baut auf den Erkenntnissen der Vorgängerprojekte AKTIV und simTD sowie weiteren europäischen Projekten auf. Als Referenzarchitektur soll der Systemverbund die Einführung der auf der Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation basierenden kooperativen Systeme unterstützen. Die Erkenntnisse fließen an entsprechenden Stellen (AP 2500) direkt in die Arbeiten von UR:BAN-KI ein. Das Projekt KOLINE „Kooperative und optimierte Lichtsignalsteuerung in städtischen Netzen“ startete im Juni 2009 mit einer drei jährigen Laufzeit. Durch KOLINE wurde erstmals durch eine Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur eine gegenseitige Optimierung von Lichtsignalsteuerung und Fahrverlauf der Fahrzeuge verwirklicht.

#### Erarbeitung von Referenzarchitekturen (AP2600)

Unter der Leitung von TUM-VT wurde eine Referenzarchitektur für UR:BAN-VV erarbeitet. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass während des Projektverlaufs keine übergeordnete Rahmenarchitektur für Deutschland bestand. Eine entsprechende Ausschreibung der BAST fand während der Projektlaufzeit zwar statt, mit Ergebnissen konnte aber nicht vor Projektende gerechnet werden. Die Referenzarchitektur soll kommunalen Verwaltungen die Möglichkeit geben, den eigenen, derzeitigen Ausbauzustand zu beurteilen und darauf aufbauend die nötigen Anpassungen zur Einrichtung kooperativer Systeme abschätzen zu können. Die Referenzarchitektur beschreibt zunächst verschiedene Rollenmodelle. So obliegt das kooperative Verkehrsmanagement in seiner Umsetzung nicht mehr ausschließlich dem Baulastträger, sondern es werden mehrere Akteure (Automobilhersteller, und -zulieferer, Service Provider etc.) in den Prozess des Verkehrsmanagements eingebunden. Hieraus resultiert ein erweitertes organisatorisches Modell, in dem Rollen und damit auch die Verantwortlichkeiten definiert werden müssen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit für den Baulastträger, seine eigene Rolle im kooperativen Verkehrsmanagement eindeutig zu definieren. Im Anschluss an die Beschreibung verschiedener Rollenszenarien wird aus funktionaler Sicht die Strategie der kooperativen UR:BAN-VV Systeme beschrieben. Zwar wird im Rahmen des Forschungsvorhabens eine Vielzahl von kooperativen Applikationen entwickelt, im Fokus stehen aber drei übergeordnete Anwendungsfälle, die die Strategie der Systeme bestimmen:

- Nutzen der dynamischen Informationen von Lichtsignalanlagen, um die Fahrer ausgestatteter Fahrzeuge gezielt zu unterstützen.
- Nutzen der Positions- und Geschwindigkeitsdaten von ausgestatteten Fahrzeugen, um die Steuerung von Lichtsignalanlagen und das Strategiemangement gezielt zu verbessern, wozu insbesondere eine Verbesserung der Verkehrslageschätzung durch kooperative Systeme herangezogen wird.

- Verbesserung des Routings durch Abstimmung von individuellen und kollektiven Verkehrsinformationen sowie der Verwendung von Informationen über die Antriebsart der Fahrzeuge.

Nach der Beschreibung der funktionalen Strategie, wird die technisch-organisatorische Sichtweise berücksichtigt. Um es dem Anwender zu erleichtern, den Ausbauzustand eines städtischen Systems einzuordnen, werden die schematischen Darstellungen in verschiedene Cluster eingeteilt und entsprechend heruntergebrochen. Insgesamt wurden drei Cluster identifiziert:

- Cluster 1 – vorhandenes zentrales Verkehrsmanagementsystem,
- Cluster 2 – vorhandenener zentraler Verkehrsrechner ohne Verkehrsmanagementfunktion,
- Cluster 3 – kein Verkehrsrechner vorhanden.

Die geclusterten Darstellungen verdeutlichen dabei insbesondere die organisatorische und technische Sichtweise, wie die Systemübersicht in Abbildung 12 zeigt. So werden technische Systeme dargestellt und je nach organisatorischer Zugehörigkeit farblich hinterlegt. Die Darstellungen der technisch-organisatorischen Schemata für die verschiedenen Cluster wurden aus Abbildung 12 abgeleitet.

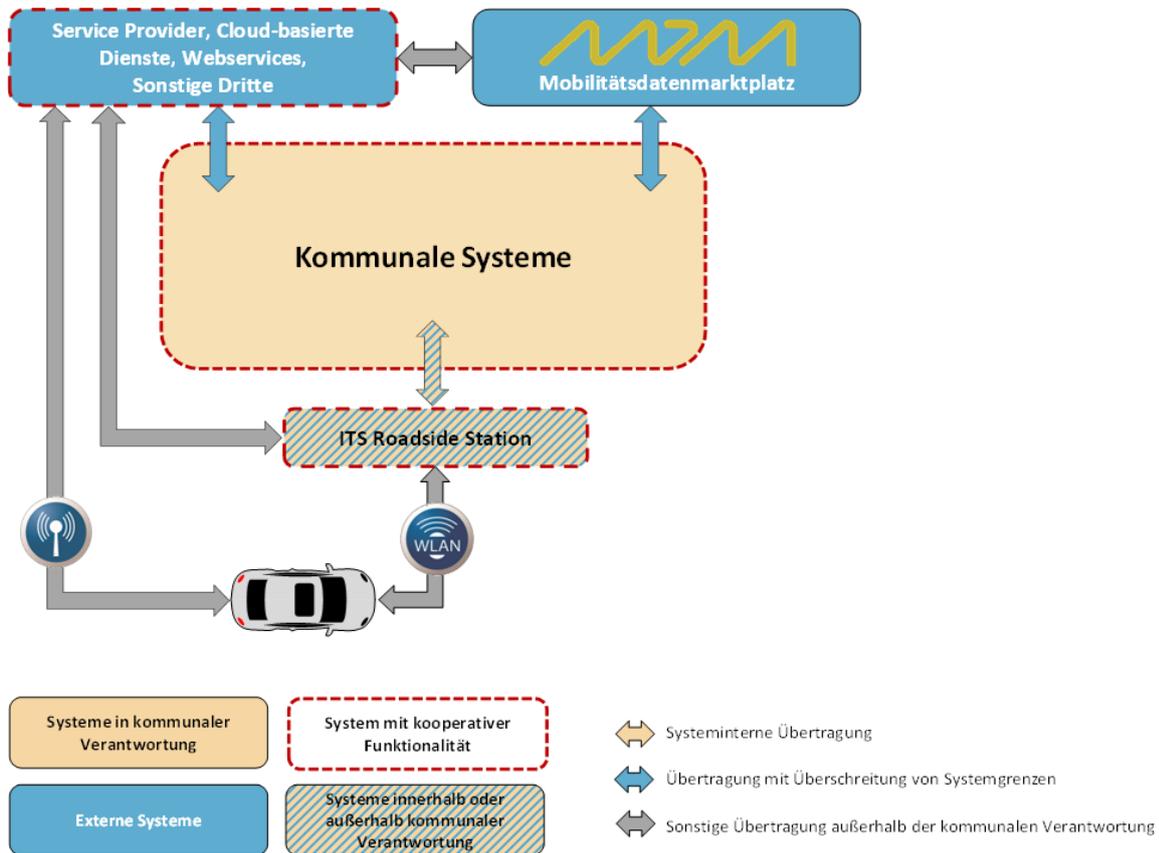


Abbildung 12: Technisch-organisatorische Systemübersicht

Abschließend wird wiederum die funktionale Sichtweise im Rahmen der Entwicklung der Referenzarchitektur eingenommen. Hierzu wurden zunächst Basisfunktionen des städtischen Verkehrssystems identifiziert und den jeweiligen Clustern zugeordnet. Daraufhin werden die in UR:BAN-VV entwickelten kooperativen Systeme beschrieben, die auf städtischer Seite betrieben werden. Diese Beschreibungen beinhalten unter anderem die zuvor genannten Basisfunktionen, die als

Voraussetzung zum Betrieb der jeweiligen kooperativen Applikation bereitgestellt werden müssen. Tabelle 2 zeigt anhand der Schaltzeitprognose beispielhaft eine solche Beschreibung.

**Tabelle 2: Beschreibung der kooperativen Applikation "Schaltzeitprognose"**

Schaltzeitprognose	
Die Schaltzeitprognose berechnet die bevorstehenden Schaltzeitpunkte von festzeitgesteuerten und verkehrsabhängig gesteuerten LSA in Form einer Prognose. Dabei wird die Information über die prognostizierten Schaltzeitpunkte mit der zugehörigen Eintrittswahrscheinlichkeit gekoppelt. Für die Berechnung werden das aktuelle Signalprogramm, Signalisierungszustände, aggregierte Detektorwerte und Anforderungsdetektoren (IV, ÖV und Fußgänger) verwendet.	
Basisfunktionen	
Georeferenzierungssystem	Referenzierung von Signalgruppeninformationen (Idealfall direkte Anbindung an das Planungstool)
Pflege eines Netzgraphen	Netzgraph mit Knotenpunkttopologien notwendig
Betrieb eines Versorgungsdatenservers	Basisdaten der LSA Planung
Bereitstellung von online Prozessdaten der angebotenen LSA	Bereitstellung von aktuellen und historischen Detektorwerten, Signalisierungszuständen und Anforderungen. Hierzu Anbindung der Steuergeräte an die Zentrale.
Bereitstellung einer MDM-Schnittstelle	Bereitstellung der Daten am MDM
Verwendete Aktorik	
Keine unmittelbare Aktorik, sondern Weiterverarbeitung durch fahrzeugseitige Applikationen Fahrzeugseitig: Assistenzsysteme mit Anzeige von Fahrempfehlungen oder Eingriff in Längsdynamik	

Die kooperativen Applikationen werden untergliedert in zentralenbasierte Applikationen (geeignet nur für Cluster 1, mit Einschränkung für Cluster 2), knotenpunkt-basierte Applikationen (alle Cluster) und cloudbasierte Applikationen (alle Cluster).

Die Referenzarchitektur dient dazu, den derzeitigen Ausbauzustand eines kommunalen Verkehrssystems zu beurteilen und darauf aufbauend die nötigen Anpassungen zur Einrichtung kooperativer Systeme abschätzen zu können. Aus diesem Grund fließt die Beschreibung der Referenzarchitektur in weiten Teilen in den Leitfaden (AP6000) ein.

### Kommunale Teilsysteme für einen kooperativen Systemverbund (KI 3000)

TUM-VT lieferte Unterstützung bei der Spezifikation der kommunalen Teilsysteme (AP3100). In Absprache mit den beteiligten Partnern und dem

Schnittstellenentwickler wurden die für das Lkw-Pulkmanagement benötigten Dateninhalte und -formate festgelegt. Hierzu zählen insbesondere die Positions- und Geschwindigkeitsdaten der ausgestatteten Lkw sowie die online Daten der stationären Detektion. In Absprache mit der Stadt Düsseldorf wurden außerdem Positionen für zusätzliche Magnetfelddetektoren festgelegt.

#### Test- und Prüffeldmanagement (AP5000)

Im Rahmen des Test- und Prüffeldmanagement unterstützte TUM-VT das Testfeldmanagement Düsseldorf (AP5300). So wurde ein Fernzugriff von der Stadt Düsseldorf eingerichtet, der den Zugriff auf die UR:BAN Rechner in der Verkehrsmanagementzentrale ermöglichte. Damit konnten die im Rahmen der Testfahrten der Lkw generierten Positions- und Geschwindigkeitsmeldungen gesammelt und ausgewertet werden. Außerdem war es möglich, von diesem Rechner aus die virtuellen ÖV-Telegramme zu generieren und an das Intelligent Gateway weiterzuleiten.

#### Leitfaden für die Einrichtung kooperativer Systeme auf öffentlicher Seite (AP6000)

Der Leitfaden verfolgt das Ziel, Entscheidungsträgern, die Investitionen im Bereich der Verkehrsinfrastruktur steuern sowie Planern und Betreibern von Verkehrsinfrastruktur eine Hilfestellung für die Einrichtung kooperativer Systeme zu bieten, welche im urbanen Raum zum Einsatz kommen können.

In einem Workshop, der zusammen mit GEVAS Software ausgerichtet wurde, wurden verschiedene inhaltliche und organisatorische Randbedingungen zum Leitfaden festgelegt. Die am Leitfaden direkt oder indirekt beteiligten Projektpartner wurden zu diesem Workshop eingeladen. Insbesondere waren auch Vertreter der Stadt Düsseldorf und der Stadt Kassel anwesend, um die Bedürfnisse der Zielgruppe abfragen zu können.

Es wurde festgelegt, dass ein für alle Beteiligten verfügbares Dokument auf dem SharePoint des DLR abgelegt wird. TUM-VT übernahm die Koordinierung der Textbeiträge, sodass das Wissen und die Erfahrungen der Projektpartner aus allen Teilprojekten von UR:BAN-VV in den Leitfaden einfließen konnte. In regelmäßigen Abständen fanden außerdem Treffen des Kernteams (TUM-VT, Gevas Software GmbH und Heusch/Boesefeldt) statt, um gemeinsam Beiträge zu konsolidieren und weitere Festlegungen im laufenden Prozess zu treffen.

Zunächst wurden die Ziele des Leitfadens im Rahmen des Workshops diskutiert und festgelegt. Es ergaben sich hierbei die folgenden Ziele:

- Überblick über die Möglichkeiten und den Einsatzbereich kooperativer Systeme im städtischen Umfeld.
- Aufbereitung der im Projekt UR:BAN-VV gewonnenen Erkenntnisse im Bereich der kooperativen Systeme für öffentliche Hand.
- Schaffung einer gemeinsamen Wissensbasis über kooperative Systeme für die öffentliche Hand.
- Der Leitfaden soll den politischen und den technischen Entscheidern Unterstützung bieten, um kooperative Systeme im urbanen Raum einzuführen.
- Hierzu werden Prozesse, Aufwände, Vorgehensweisen (abhängig vom Ausbauzustand) zur Einführung und der Nutzen auf Seiten der öffentlichen Hand beschrieben.

Zu den inhaltlichen Festlegungen des Workshops zählte auch die Identifikation von Kernfragen, welche innerhalb des Leitfadens zu beantworten waren.

Diese lauten wie folgt:

- Was sind kooperative Systeme? Welche Applikationen und Standards gibt es?
- Welche Gründe gibt es für die Einführung kooperativer Systeme?
- Wie verändern sich Verantwortlichkeiten und Rollen durch die Einführung kooperativer Systeme?
- Wo kann der Ist-Stand meiner Kommune eingeordnet werden?
- Wie lässt sich eine für meine Kommune geeignete Systemarchitektur für kooperative Systeme aufbauend auf einer Referenzarchitektur ermitteln?
- Welches sind geeignete Standards und Datenmodelle?
- Welche Anforderungen ergeben sich an das kommunale System für die Einrichtung bestimmter kooperativer Applikationen?
- Welche Aufwände in Form von Personal und technischen Komponenten werden benötigt für Einführung und Betrieb von knotenpunktbasierten kooperativen Systemen?
- Welche Aufwände in Form von Personal und technischen Komponenten werden benötigt für Einführung und Betrieb von zentralenbasierten kooperativen Systemen?
- Welche Aufwände in Form von Personal und technischen Komponenten werden benötigt für Einführung und Betrieb von cloudbasierten kooperativen Systemen?
- Wie lassen sich kooperative Systeme testen?
- Wie können verkehrliche Wirkungen von kooperativen Systemen ermittelt werden? Welche Wirkungen können von den vorgestellten UR:BAN Applikationen erwartet werden?

Mit Hilfe der Vorarbeiten aus anderen Arbeitspaketen (insbesondere AP2000) und eigenständigen Textbeiträgen konnten diese Fragen innerhalb des Leitfaden Dokumentes beantwortet werden.

Aufgrund der Projektstruktur und dem aktuellen technischen Stand im Bereich kooperativer Systeme wurden außerdem folgende Einschränkungen getroffen:

- Hauptsächlich für den MIV, weniger ÖV oder andere Verkehrsteilnehmer.
- Kein V2V, sondern infrastrukturbasiert.
- Soweit möglich wird der Betrieb von kooperativen Systemen beschrieben, aber Fokus auf Einführung der Systeme.
- Kosten werden nicht zahlenmäßig monetär beschrieben, stattdessen Aufnahme von Erfahrungen (Stellen etc.).
- Vergleichende Darstellungen der nötigen Aufwände bei Umsetzung von knotenpunktbasierten, zentralenbasierten und cloudbasierten Applikationen.

Neben den Kerninhalten des Leitfadens wurden darüber hinaus zwei umfangreiche Anhänge angefügt. Ein Anhang umfasst die Ergebnisse des AP2200, stellt also detailliert die Erkenntnisse zu bestehenden Standards und Datenmodellen dar. Ein weiterer Anhang beschreibt die Erfahrungen bei der Einrichtung zentralenbasierter

kooperativer Systeme am Beispiel der Stadt Kassel. Die mit der Aufrüstung eines zentralen Verkehrsmanagements verbundenen Arbeiten erschienen besonders erwähnenswert, da dies im Zuge der technischen Weiterentwicklung für eine Vielzahl deutscher Kommunen in Zukunft relevant werden kann.

Während der Entstehung des Leitfadens und auch nach dessen Fertigstellung wurde dieser an unterschiedlichen Stellen präsentiert und diskutiert, um zum einen die Anforderungen der unterschiedlichen Stakeholder an ein solches Dokument in Erfahrung zu bringen und um zum anderen die Aufmerksamkeit auf den Leitfaden zu erhöhen. Hervorzuheben sind hierbei die Diskussionen bei den FGSV Arbeitsausschüssen 3.1 „Verkehrstelematik“ sowie 3.3 „Verkehrsbeeinflussung innerorts“, welche von TUM-VT geleitet wurden. Außerdem hervorzuheben ist die Diskussion im OCA IVS Arbeitskreis, die von der Stadt Kassel durchgeführt wurden.

Zur Verbreitung des etwa 160 Seiten umfassenden Leitfadens wurde eine kleine Auflage gedruckt und eine kostenlose Verfügbarkeit unter <http://www.vt.bgu.tum.de/urban-leitfaden/> ermöglicht. Im Rahmen der UR:BAN Abschlusspräsentation wurde eine Vorabversion präsentiert und die Kontaktdaten interessierter Personen gesammelt. Diese wurden zum Abschluss des Leitfadens über dessen Fertigstellung informiert.

#### Evaluierung und Bewertung (AP7000)

Ziel des Arbeitspaketes Evaluierung und Bewertung ist die Analyse der verkehrlichen Wirksamkeit der im Projekt Vernetztes Verkehrssystem (VV) entwickelten und demonstrierten Applikationen. Somit wurden für die direkt verkehrlich wirkenden Applikationen aus den Teilprojekten Urbane Straße und Smarte Kreuzung die verkehrlichen Wirkungen hinsichtlich der Fahr- und Verkehrseffizienz, Fahr- und Verkehrssicherheit sowie Umweltwirkungen bewertet und hochgerechnet. Die Bewertung und Hochrechnung des Teilprojektes regionales Netz erfolgte durch die Partner Heusch/Boesefeldt GmbH und TomTom.

Verkehrlich wirkende Applikationen nehmen durch eine Aktion oder eine Bereitstellung von Informationen für den Verkehrsteilnehmer direkt Einfluss auf das Verkehrsgeschehen. Diese Wirkung kann durch die Applikation selbst nachgewiesen werden, beispielhaft sei der „Grüne Welle Assistent“ genannt. Indirekt wirkende Applikationen stellen dagegen wichtige Informationen bereit, wie etwa die Schaltzeitprognose. Durch derartige Applikationen findet jedoch keine direkte Interaktion mit dem Verkehrsgeschehen bzw. dem Verkehrsteilnehmer statt. In

---

Tabelle 3 sind die Applikationen aus den Teilprojekten US und SK mit direkter verkehrlicher Wirkung, der für die Entwicklung zuständige Partner sowie die Tools zur Wirkungsermittlung mittels mikroskopischer Verkehrssimulation angegeben. Anschließend wird die Funktionsweise der Applikationen kurz beschrieben.

Tabelle 3: Applikationen mit direkter verkehrlicher Wirkung

	Applikation	Partner	Tool
US-1/2	Grüne Welle Assistent / Verzögerungsassistent	BMW	VISSIM
US-1/2	Grüne Welle Assistent / Verzögerungsassistent	MAN	VISSIM
US-5	Infrastrukturapplikation Lkw-Pulkmanagement	TUM-VT	VISSIM
SK-11	Kreuzungslotse Einfahr- und Startassistent	VW	SUMO
SK-12	Kreuzungslotse Einfahr- & Halte-Assistent	OPEL	VISSIM
SK-13	Kreuzungslotse Fahrtrichtungsassistent	VW	AIMSUN
SK-14	Kreuzungslotse Einsatzfahrzeugassistent	VW	SUMO
SK-34	Radfahrer-Schutzeinrichtung	ifak	VISSIM
SK-35	Kooperative Schutzeinrichtung	ifak	VISSIM / SUMO

### US-1/2 Grüne Welle Assistent / Verzögerungsassistent

Die Applikation US-1 stellt einen Verzögerungsassistenten dar, welcher dem Fahrer beim Annähern an eine Lichtsignalanlage ggf. anzeigt, dass diese mit der zulässigen Geschwindigkeit nicht bei Grün erreicht werden kann. Der Fahrer erhält daraufhin eine Empfehlung, seine Geschwindigkeit zu reduzieren um sich mit optimaler Geschwindigkeit der Haltlinie zu nähern. Durch die Applikation US-2 erhält der Fahrer beim Annähern an eine Lichtsignalanlage eine Empfehlung für eine Geschwindigkeit oder einen Geschwindigkeitsbereich, welcher ein Passieren der Lichtsignalanlage während der Freigabezeit möglichst ohne Halt ermöglicht. Die primäre Wirkung, welche diese Funktionen erzielen soll, ist eine geringere Anzahl der Halte und damit einhergehend ein geringerer Kraftstoffverbrauch sowie geringere Schadstoffemissionen. Die beiden Applikationen sind nicht separat zu betrachten, sondern gemeinsam als komplementäre Funktionen. Je nach Situation befindet sich der Fahrer entweder im Wirkungsbereich des Verzögerungsassistenten oder des Grüne-Welle-Assistenten.

### US-5 Lkw-Pulkmanagement

Die Applikation US-5 zielt auf eine Reduktion der Anzahl der Halte von Lkw mittels einer Optimierung der Schaltzeitpunkte von Lichtsignalanlagen ab. Dies soll auch mit einer Reduktion der Emissionen der Lkw einhergehen. Gleichzeitig soll die Beeinträchtigung für den übrigen Verkehr möglichst gering gehalten werden. Das entwickelte Verfahren umfasst ein Verkehrsflussmodell, welches den Gesamtverkehr inklusive der Lkw nachbildet. In der Optimierung können so die Anzahl der Halte von Lkw und die Wartezeit des Gesamtverkehrs berücksichtigt werden.

### SK-11 Kreuzungslotse Einfahr- und Startassistent

Die Assistentenfunktion ermöglicht ein effizientes Fahren im Umfeld von lichtsignalisierten Knotenpunkten. Durch Informationen über Phasen, Kreuzungstopologie oder Störungen werden eine verkehrsoptimierte und energiesparende Fahrweise ermöglicht und mit einer automatischen Längsregelung realisiert. Im Vordergrund stehen dabei vorausschauendes Annäherungsverhalten, die richtige Aufstellung beim Halten, sowie Aufmerksamkeitssteigerung des Fahrers und automatisches Anfahren und Folgen des ausgestatteten Fahrzeugs.

### SK-12 Kreuzungslotse Einfahr- & Halte-Assistenz

Die Applikation SK-12 unterstützt den Fahrer beim Einfahren in den Kreuzungsbereich aus dem Querverkehr und dem optimalen Anhalten an und vor einer roten Lichtsignalanlage. Die Anwendung konzentriert sich auf die situationsgerechte Fahrinformation und Fahrempfehlung unter Verwendung von kommunizierten Infrastrukturdaten. Die erwarteten Wirkungen sind eine Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Schadstoffemissionen.

### SK-13 Kreuzungslotse Fahrtrichtungsassistenz

Die Applikation SK-13 gibt dem Fahrer eine detaillierte Übersicht über die verkehrliche Kreuzungssituation. Damit ermöglicht sie dem Fahrer zusammen mit seiner Ortskenntnis situativ Entscheidungen zu treffen, z.B. den günstigsten Fahrstreifen gleicher Fahrtrichtung zu wählen oder den Knotenpunkt im Falle einer Störung kleinräumig zu umfahren. Mit Hilfe von Verkehrslageinformationen, die von der Infrastruktur bereitgestellt und an das Fahrzeug übertragen werden, kann der Fahrer somit besser kurzfristige Entscheidungen über Fahrstreifenwahl oder Richtung treffen und sein Fahrziel schneller, umweltschonender und komfortabler erreichen.

### SK-14 Kreuzungslotse Einsatzfahrzeugassistent

Die Applikation SK-14 bietet eine Assistenzfunktion für Einsatzfahrzeuge und ist damit nicht auf den Gesamtverkehr fokussiert. Im Fokus der Bewertung stehen dabei auch die Änderungen hinsichtlich Reisezeit und Sicherheit die sich für das Einsatzfahrzeugverhalten ergeben.

### SK-34 Radfahrer-Schutzeinrichtung (RSE)

Die Applikation SK-34 adressiert den Konflikt zwischen abbiegenden Fahrzeugen und parallel fahrenden Radfahrern bzw. Fußgängern. Über eine infrastrukturseitige Einrichtung werden, unterstützt durch kooperative Komponenten (z. B. Smartphones), Fahrradfahrer und mobilitätseingeschränkte oder besonders gefährdete Fußgänger im Kreuzungsbereich erkannt. Die Information über potenziell gefährlichen Situationen wird an die Verkehrsteilnehmer weitergegeben und entsprechend mitgeteilt. Außerdem wird eine Berücksichtigung der Meldungen im Rahmen der Lichtsignalsteuerung zur Steuerungsoptimierung angestrebt.

### SK-35 Kooperative Schutzeinrichtung (KSE - Intelligenter Leitkegel)

Die Applikation SK-35 (intelligenter Leitkegel) stellt ortsbezogene Informationen über nicht geplante, unvorhersehbare Hindernisse (Baustellen, Unfälle, Sperrungen) unmittelbar für andere Anwendungen zur Verfügung. Über ein GNSS-Modul und ein Mobilfunknetz-Modul, welche in einem Leitkegel integriert werden, können Position und Zeitstempel über das Mobilfunknetz an eine RSU oder Zentrale weitergegeben werden. Somit ist es möglich, punktuelle Störungen oder längere gesperrte Strecken als Information zu übermitteln.

Gemäß der Zielstellung sollte mittels der in UR:BAN entwickelten Bewertungs- und Hochrechnungsmethodik sowohl eine detaillierte Nachbildung und Berechnung verkehrlicher Wirkungen als auch eine Hochrechnung auf einen größeren räumlichen Kontext ermöglicht werden. Die Untersuchungsräume für mikroskopische Verkehrssimulationen zur Bewertung und Hochrechnung von verkehrlichen

Wirkungen kooperativer Systeme sind aufgrund der erforderlichen Detailschärfe und der Untersuchungskosten meist ortsspezifisch, zeitlich und räumlich beschränkt und damit nur schwer übertragbar. In bisherigen relevanten Forschungsprojekten wurden lokale, ortsspezifische Wirkungen, welche durch mikroskopische Verkehrssimulationen berechnet wurden, ohne Kenntnis über Häufigkeiten von Netzelementtypen anhand einer geschätzten Anzahl von Gesamtknotenpunkten in den jeweiligen Untersuchungsraum hochgerechnet. Im Projekt AMONES [BOLTZE ET AL., 2011] wurde eine virtuelle Stadt auf Basis „typischer städtischer Elemente“ entwickelt. Die Ermittlung dieser typischen Elemente unterliegt jedoch keiner großräumigen statistischen Vorabuntersuchung. Weiterhin fehlt bei diesem Ansatz der Bezug zu realen Netzelementen.

In UR:BAN sollten daher diese zwei Ansätze zu einem ganzheitlichen Ansatz kombiniert werden. Die Übersicht in Abbildung 13 stellt den entwickelten 5-stufigen Ansatz dar, welcher im Folgenden näher erläutert wird.

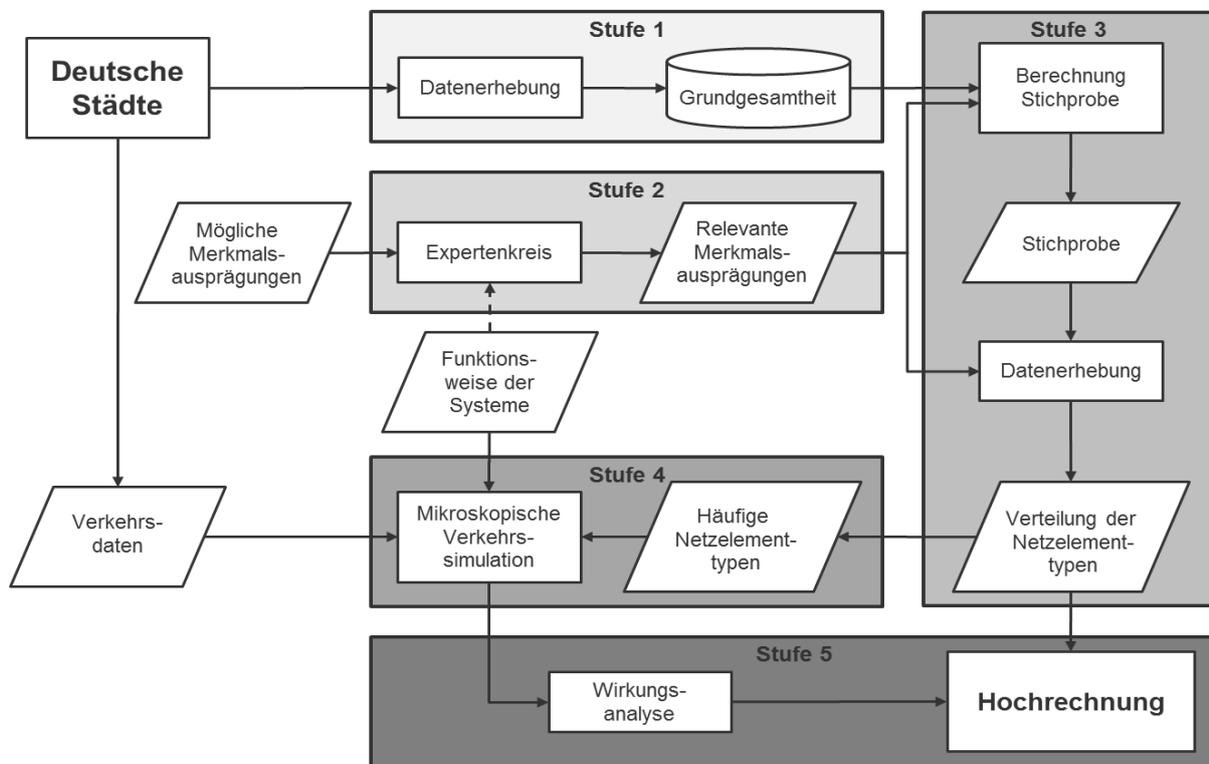


Abbildung 13: Bewertungs- und Hochrechnungsmethodik

Zur Durchführung dieser Methodik musste vorab der Untersuchungsraum zur Berechnung der Hochrechnungsbasis festgelegt werden. So wurden Netzelemente des klassifizierten Straßennetzes von allen deutschen Städten ab einer Einwohnergröße von 50.000 untersucht.

**Stufe 1**

Die erste Stufe hatte das Ziel die vielfältigen, verkehrlich relevanten Strukturen deutscher Städte sowie deren verkehrliche Elemente (Zufahrt, Knoten, Strecke) so zu erfassen, dass in der zweiten bzw. dritten Stufe eine Kategorisierung dieser nach deren Häufigkeit und Ausprägung erfolgen kann. In diesem Kontext wurden topologische Daten von Netzelementen erhoben und die Grundgesamtheit der jeweiligen Netzelemente ermittelt.

## Stufe 2

In einer zweiten Stufe, welche parallel zur ersten Stufe verlief, wurden relevante Merkmalsausprägungen von Netzelementen und deren Bedeutung für verkehrliche Wirkungen diskutiert sowie näher untersucht. Dazu wurden insbesondere die Funktionsweise der Applikationen sowie deren Wirkbereich in die Betrachtung einbezogen. Es wurden z.B. die Anzahl der Fahrstreifen, die Art des Sortierbereichs, das Vorhandensein von ÖPNV, die Art der LSA-Steuerung sowie die Verkehrsstärke als wesentliche verkehrliche Eigenschaften identifiziert.

Im Rahmen dieser Stufe erfolgte ebenfalls eine Befragung deutscher Städte zu verkehrlich relevanten Eigenschaften im Netz und an Knotenpunkten. Unter anderem wurde nach der Art der Steuerung und dem Anteil an überstauten Strecken in der Spitzenstunde gefragt, um einen Eindruck über die Häufigkeit bestimmter verkehrlicher Situationen zu erlangen. Eine detaillierte Ausführung hierzu ist in [FAKLER, GESSENHARDT ET AL., 2014] zu finden.

## Stufe 3

Die dritte Stufe dient der Ermittlung von Häufigkeiten bestimmter Merkmalskombinationen von Netzelementen. Dazu wurde je Netzelement eine Zufallsstichprobe aus der in der ersten Stufe ermittelten Grundgesamtheit gezogen und analysiert. Das Ergebnis dieses Arbeitsschrittes sind typische Netzelementtypen und deren Häufigkeit im klassifizierten Straßennetz deutscher Städte ab einer Größenordnung von 50.000 Einwohnern. Diese typischen Netzelemente dienen als Basis für die mikroskopische Verkehrssimulation sowie die Hochrechnung. Für das Netzelement Strecke konnten keine häufigen Elemente gefunden werden, da die Variabilität der Daten zu groß ist. Um Häufigkeiten ermitteln zu können, wäre hier eine zu starke Vereinfachung nötig gewesen, die nicht mit einer anschließenden mikroskopischen Nachbildung der Netzelemente vereinbar ist und somit nicht den geforderten Ansprüchen für die entwickelte Methodik in UR:BAN-VV genügt. Für das Netzelement „Zufahrt“, welches für die Hochrechnung der SK Applikationen entscheidend ist, konnten die in Tabelle 4 aufgelisteten typischen Zufahrtstypen ermittelt werden. Die dargestellten Zufahrtstypen unterscheiden sich in ihren verkehrlichen Eigenschaften hinsichtlich der Art des Sortierbereichs und der Anzahl der Fahrstreifen im Knotenpunktzulauf. Alle hier nicht aufgelisteten Zufahrtstypen wurden für die Berechnung der statistischen Aussagekraft der Analyse zu einem Mischtyp zusammengefasst. Die statistische Aussagekraft der Netzelementtypen wurde mittels eines Verfahrens zur Ermittlung des Stichprobenumfangs bei multivariat verteilten Größen überprüft [THOMPSON, 1987]. Anhand der untersuchten Stichprobe von 5000 Zufahrtstypen und einer angenommenen Fehlerdistanz von 0,013 konnte anhand des Modells von Thompsons ermittelt werden, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 90,72 % die geschätzten Anteile der Zufahrtstypen aus der Stichprobe den tatsächlichen Anteilen in der Grundgesamtheit aller Zufahrtstypen des Untersuchungsraumes (alle Zufahrten zu lichtsignalgeregelten Knotenpunkten des klassifizierten Netzes aller deutschen Städte mit einer Mindesteinwohnerzahl von 50.000) entsprechen.

Tabelle 4: typische Zufahrtstypen

Zufahrtstyp 1	Zufahrtstyp 2	Zufahrtstyp 3
Zufahrtstyp 4	Zufahrtstyp 5	Zufahrtstyp 6
Zufahrtstyp 7	Zufahrtstyp 8	Zufahrtstyp 9

**Stufe 4**

In der vierten Stufe wurden Mikrosimulationsmodelle für die definierten Netzelemente aufgebaut. Verwendet wurde dabei die Simulationsumgebung VISSIM Version 5.40. Grundlage der Simulationsumgebung VISSIM ist das psycho-physische Fahrzeugfolgemedell nach Wiedemann. Gemäß diesem Modell wird das Fahrverhalten eines simulierten Fahrzeugs nach den Zuständen „Freies Verhalten“, „Annähern“, „Folgen“ und „Bremsen“ unterschieden. Im Bereich des „Freien Verhaltens“ ist das Fahrzeug gewillt, auf eine ihm zugeteilte Wunschgeschwindigkeit zu beschleunigen. „Dabei stellt die Wunschgeschwindigkeit die Geschwindigkeit dar, mit der ein Fahrer fahren würde, wenn er nicht durch andere Fahrzeuge oder Netzelemente (Signalanlagen, Stoppschilder etc.) daran gehindert wird“ [PTV AG, 2011].

Zur Nachbildung der Funktionsweise der Applikationen wurde das in VISSIM 5.40 integrierte Modul C2X verwendet. Die Nachbildung erfolgte in enger Abstimmung mit den jeweiligen Applikationsentwicklern. Anhand der Feldtests, welche von den Partnern in den UR:BAN-VV Prüf- und Testfeldern durchgeführt wurden, konnten Fahrverhaltensmodelle zur Nachbildung der Applikationen in VISSIM entwickelt und genutzt werden. Für die Applikationen SK11, SK13 sowie SK14 erfolgte keine Mikrosimulation durch das AP 7000, da die Simulationen in Absprache mit den verantwortlichen Partnern des AP 7000 eigenständig durch die Applikationsentwickler durchgeführt wurden.

Gemäß der Funktionalitäten der Applikationen wurden Szenarien für verkehrliche Tests abgeleitet, deren detaillierte Planung, Durchführung und Auswertung wiederum in den Teilprojekten stattgefunden hat. Hier wurden verschiedene Ausstattungsraten und Verkehrsbelastungen simuliert und analysiert. Die Szenarien wurden basierend

auf dem Wirkungsbereich der jeweiligen Applikationen sowie der entwickelten Datengrundlage für die Hochrechnung ausgewählt. Da für die Urbane Straße für das Netzelement „Strecke“ keine statistisch vertretbare Aussage und somit auch keine Möglichkeit zur Hochrechnung gefunden werden konnte, wurde hier der Streckenzug des Testfeldes Düsseldorf in der Simulation nachgebildet. Die Simulation des Testfeldes Düsseldorf wurde mit Realdaten der Stadt Düsseldorf kalibriert und mittels Reisezeiten von TomTom validiert. Für die Applikationen des Teilprojektes Smarte Kreuzung wurden die, gemäß der zuvor erwähnten Datenerhebung ermittelten, neun häufigsten Zufahrten nachgebildet. Für die Erstellung der Simulationsszenarien wurden die verschiedenen Zufahrtstypen zunächst sinnvoll kombiniert und so zu virtuellen Knotenpunkten zusammengefügt. Anschließend wurden die Zufahrten mit einer für den jeweiligen Zufahrtstyp spezifischen, typischen Verkehrsnachfrage zur Hauptverkehrs- und zur Nebenverkehrszeit versehen. Für die entstandenen Knotenpunkte wurde auf Grundlage der Hauptverkehrszeit eine Festzeitsteuerung nach dem Stand der Technik ermittelt, was der Annahme einer fehlerfreien Vorhersage der Schaltzeitpunkte entspricht. Für die Nebenzeit wurde dieselbe Steuerung beibehalten, um einen untersättigten Zustand zu untersuchen. Die Wirkungen der Applikationen des Teilprojektes Smarte Kreuzung wurden mit Hilfe der so erstellten virtuellen Knotenpunkte untersucht.

### **Stufe 5**

In der letzten Stufe ist die eigentliche Wirkungsermittlung sowie Hochrechnung angesiedelt. Zur Wirkungsermittlung wurde das, vom Lehrstuhl für Verkehrstechnik entwickelte, Tool vtSIM verwendet. Zur Gewährleistung der Aussagekraft der Ergebnisse wurden mehrere Simulationsläufe durchgeführt. vtSIM ist in der Lage, für jede Kenngröße je Applikation die exakte Anzahl an benötigten Simulationsläufen zu berechnen. Dies lässt sich über das Konfidenzintervall bestimmen. Mittels des Konfidenzintervalls kann der Mittelwert einer Stichprobe überprüft werden. Das angestrebte Konfidenzniveau wurde auf 95% festgelegt, d.h. das mindestens 95% aller berechneten Konfidenzintervalle den wahren Mittelwert der zu untersuchenden Stichprobe aufweisen. Die Anzahl der benötigten Simulationsläufe differiert dabei zwischen den verschiedenen Kenngrößen. Die Anzahl an Simulationsläufen wird von der Kenngröße mit den meisten benötigten Simulationsläufen festgelegt [SIMTD KONSORTIUM, 2012].

### Wirkungsermittlung - Kenngrößen

Unter Nutzung der mikroskopischen Verkehrssimulationen werden Kenngrößen zur Beurteilung der verkehrlichen Wirkungen der einzelnen Applikationen auf die Fahr- und Verkehrseffizienz, die Fahr- und Verkehrssicherheit sowie die Umweltauswirkungen berechnet. Tabelle 5 listet die berechneten Kenngrößen hinsichtlich Fahr- und Verkehrseffizienz sowie Fahr- und Verkehrssicherheit auf.

Tabelle 5: Effizienz- und Sicherheitskenngrößen zur Bewertung der verkehrlichen Wirkung

Kenngröße	Erläuterung
Reisezeit	Reisezeit für jedes Fahrzeug, welches sich von einem definierten Start- zu einem definierten Endpunkt bewegt [s]
Mittlere Einzelfahrzeuggeschwindigkeit	mittleren Geschwindigkeit für jedes Fahrzeug innerhalb des Auswertebereiches [s]
Anzahl der Halte <sup>1</sup>	Anzahl der Halte für jedes Fahrzeug innerhalb des Auswertebereiches
Mittlere Nettozeitlücke <sup>2</sup>	Mittlerer zeitlichen Abstand zwischen zwei auf demselben Fahrstreifen hintereinander fahrenden Fahrzeugen [s]
Minimale Nettozeitlücke	Minimaler zeitlichen Abstand zwischen zwei auf demselben Fahrstreifen hintereinander fahrenden Fahrzeugen [s]
Mittlere Time-to-Collision	Mittlere Zeit, die rechnerisch bleibt, bis zwei Fahrzeuge miteinander kollidieren, wenn beide ihre Geschwindigkeit beibehalten [s]
Minimale Time-to-Collision	Minimale Zeit, die rechnerisch bleibt, bis zwei Fahrzeuge miteinander kollidieren, wenn beide ihre Geschwindigkeit beibehalten [s]
Mittlere Post-Encroachment Time	mittlere Zeitspanne zwischen dem Verlassen des Konfliktbereiches durch das erste Fahrzeug (z. B. ein Linksabbieger) und dem Erreichen des Konfliktbereiches durch das zweite Fahrzeug (z. B. ein Fahrzeug des Gegenverkehrs) [s]
Minimale Post-Encroachment Time	minimale Zeitspanne zwischen dem Verlassen des Konfliktbereiches durch das erste Fahrzeug (z. B. ein Linksabbieger) und dem Erreichen des Konfliktbereiches durch das zweite Fahrzeug (z. B. ein Fahrzeug des Gegenverkehrs) [s]
Mittlerer Fahrtzeitanteil mit kritischer Nettozeitlücke	Von einer kritischen Nettozeitlücke wird ausgegangen, wenn ihr Wert kleiner als 0,8 Sekunden ist [SCHNITZGER, 1991]. Durch eine Anteilsberechnung der Dauer der Unterschreitung von 0,8 Sekunden für jedes Fahrzeug kann die Kenngröße ermittelt werden
Mittlerer Fahrtzeitanteil mit kritischer Time-to-Collision	Anteilsberechnung der Dauer der Unterschreitung von 2 Sekunden für jedes Fahrzeug
Dauer kritischer Time-to-collision	Zeitdauer, in der kritische TTC Werte auftreten. 2 Sekunden werden als Schwellwert für die Kritikalität angenommen [s]

Zur Bewertung der Umweltauswirkungen der betrachteten Applikationen wurde das Emissionsberechnungsmodell PHEM (Passenger Car and Heavy Duty Emission Model) [HAUSBERGER, 2003] verwendet. Grundlage der Berechnung stellen umfangreiche Emissions-kennfelder von Motoren verschiedener Fahrzeuge

<sup>1</sup> Man spricht von einem Halt, wenn sich ein Fahrzeug nicht bewegt, das Fahrzeug also steht ( $v=0$  km/h). Ergänzend hierzu wird die bestehende Definition so erweitert, dass der Zustand „Halt“ bereits durch das Unterschreiten einer bestimmten Geschwindigkeitsschwelle ( $v<3$  km/h) erreicht wird. Der Zustand „Halt“ wird verlassen, wenn Austrittsschwelle von  $v>5$  km/h überschritten wird.

<sup>2</sup> Für die Berechnung der Kenngröße werden nur Nettozeitlücken unter 6 Sekunden berücksichtigt, da bei einer Nettozeitlücke von über 6 Sekunden keine Beeinflussung durch ein vorrausfahrendes Fahrzeug vorliegt [VOGEL, 2002].

unterschiedlicher Emissionsklassen dar. Neben den Eingangsgrößen aus der mikroskopischen Verkehrssimulation (Einzelfahrzeugtrajektorien mit Geschwindigkeit und Beschleunigung sowie vorhandene Fahrbahnlängsneigung) sind zur Ermittlung der Emissionen für den Gesamtverkehr zusätzlich Informationen zur Flottenzusammensetzung notwendig. Hierfür wurde als Grundlage der Gesamtbestand aller in Deutschland zugelassenen Fahrzeuge zum Stichtag 01.01.2015 genutzt [KRAFTFAHRT-BUNDESAMT, 2015]. Um Vergleichbarkeit zu gewährleisten, werden dieselben Flottenzusammensetzungen für Fahrzeuge verwendet, die mit den untersuchten kooperativen Systemen ausgestattet sind wie für diejenigen, die nicht ausgestattet sind. Anhand der Ergebnisse der Verkehrssimulation sowie der Flottenzusammensetzung wurden zur Beurteilung der Umweltauswirkungen der betrachteten Applikationen folgende (siehe Tabelle 6) Emissionswerte betrachtet:

**Tabelle 6: Umweltkenngrößen zur Bewertung der verkehrlichen Wirkung**

<b>Kenngroße</b>	<b>Erläuterung</b>
Kraftstoffverbrauch (fuel consumption - FC)	mittlerer Kraftstoffverbrauch der zugrundeliegenden Fahrzeugflotte in [g/h]
Kohlenmonoxid CO	mittlerer CO-Ausstoß der zugrundeliegenden Fahrzeugflotte in [g/h]
Kohlenwasserstoffe HC	mittlerer HC-Ausstoß der zugrundeliegenden Fahrzeugflotte in [g/h]
Stickoxide NO <sub>x</sub>	mittlerer NO <sub>x</sub> -Ausstoß an der zugrundeliegenden Fahrzeugflotte in [g/h]
Feinstaubbelastung PM	mittlerer Partikelausstoß PM <sub>10</sub> der zugrundeliegenden Fahrzeugflotte in [g/h]

Um zu vermeiden, dass bei den statistischen Untersuchungen der Emissionen und des Kraftstoffverbrauchs Fahrzeuge mit unterschiedlichen Charakteristika (Benzin, Diesel, verschiedene Euronormen) miteinander verglichen werden, werden die mit PHEM erzeugten Kennwerte vor der Auswertung für jeden Simulationslauf gemittelt.

#### Wirkungsermittlung – Ergebnisse

Um die Ergebnisse der Verkehrssimulation analysieren zu können, ist eine Überprüfung der Signifikanz der einzelnen Kenngrößen notwendig. Hierbei wird mit Hilfe des t-Tests überprüft, ob sich zwei Stichproben statistisch signifikant unterscheiden bzw. mit welcher Wahrscheinlichkeit die Unterschiede der Kenngrößen zweier Stichproben unterschiedlicher Szenarien zufälliger Natur sind. Aussagen zur Signifikanz bei der Verwendung des t-Tests basieren auf den Differenzen der Mittelwerte sowie den zugehörigen Standardabweichungen der beiden Stichproben. Um den t-Test durchführen zu können, wird unter anderem der Standardfehler der Stichprobe benötigt. Der Standardfehler liefert eine Aussage über die Genauigkeit des berechneten Mittelwerts. Durch die Normierung auf den Stichprobenumfang macht der Standardfehler die Standardabweichung zweier Datensätze mit unterschiedlichen Stichprobenumfängen vergleichbar [NEUBAUER ET AL., 2002]. Im Rahmen der durchgeführten Analysen wurde ein Signifikanzniveau  $\alpha=0,05$  verwendet. Es wird demnach von signifikanten Unterschieden ausgegangen, wenn sich diese mit einer Wahrscheinlichkeit von  $1-\alpha \geq 0,95$  nicht zufällig ergeben

( $p \leq 0,05$ ). Somit lässt sich eine Aussage darüber treffen, ob die jeweils betrachtete Applikation eine signifikante verkehrliche Wirkung unter den gegebenen Randbedingungen hat.

Zur teilautomatisierten Ergebnisaufbereitung und -auswertung wurde, wie eingangs bereits bemerkt, vtSIM eingesetzt. Alle ermittelten Ergebnisse wurden anhand von tabellarischen Übersichten, als Box-Whisker-Plots und z.T. als Liniendiagramm in Form von Histogrammen erstellt. Dabei fasst jeweils eine Tabelle je Zufahrt und Wirkungsbereich (Effizienz, Sicherheit, Umwelt), wie in Abbildung 14 zu erkennen, die Ergebnisse der verschiedenen Szenarien zusammen.

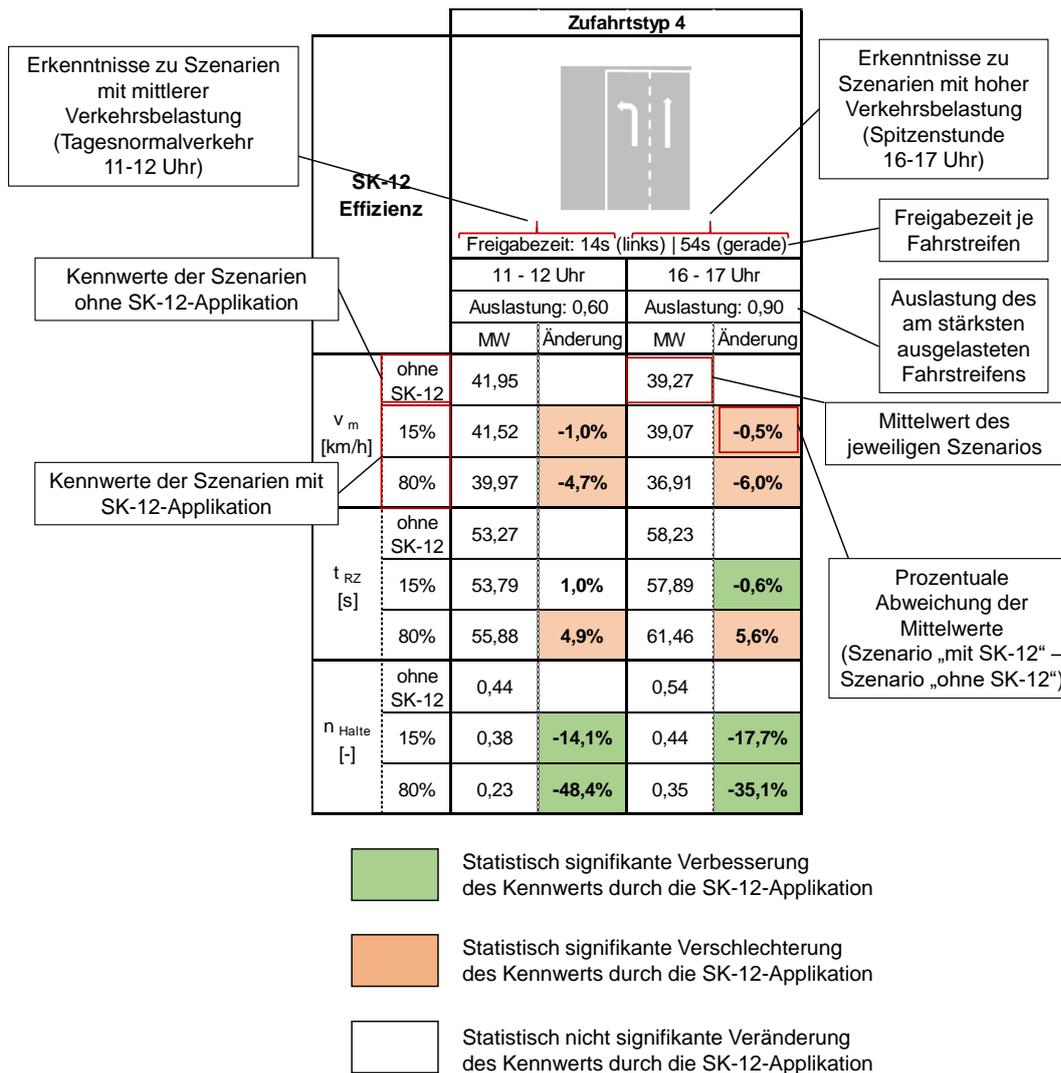


Abbildung 14: Beispielhafte Darstellung der Ergebnisse der Wirkungsanalysen

Abbildung 15 und Abbildung 16 verdeutlichen Darstellungsbeispiele für Box-Whisker-Plots sowie Histogramme anhand berechneter Kenngrößen der Applikation SK-12, Kreuzungslotse Einfahr- & Halte-Assistenz.

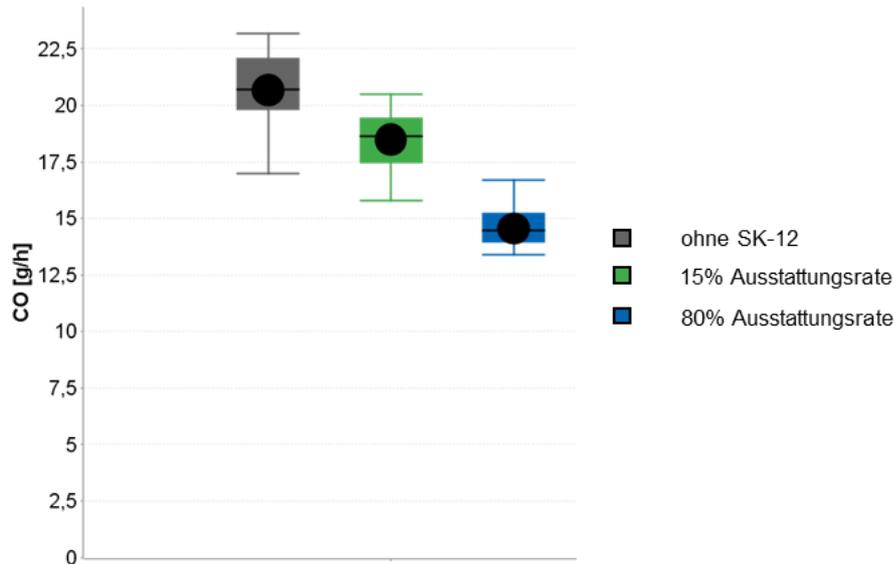


Abbildung 15: Beispiel Box-Whisker-Plot - Kohlenmonoxidemissionen für SK-12, Zufahrtstyp 7, mittlere Verkehrsbelastung (11-12 Uhr)

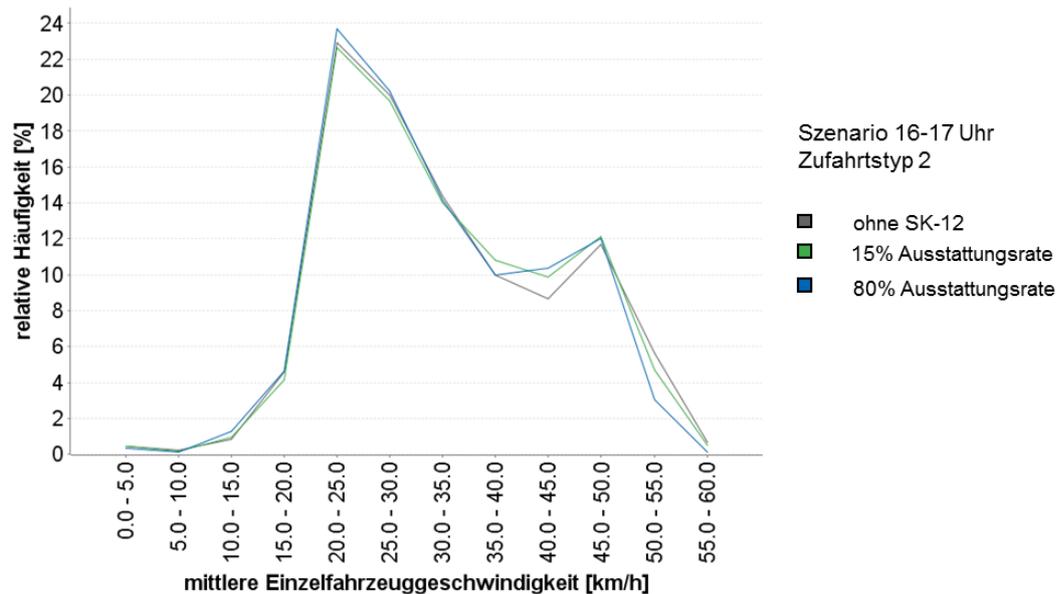


Abbildung 16: Beispiel Histogramm - mittleren Einzelfahrzeuggeschwindigkeit (vm) der SK12-Applikation bei 0 %, 15% und 80 % Ausstattungsrate und hoher Verkehrsbelastung (16-17 Uhr)

Für jede Applikation wurden derartige Auswertungen sowie grafische Aufbereitungen angefertigt. Für jeden Zufahrtstyp sowie Szenario erfolgten Interpretationen der Ergebnisse sowie eine Ergebniszusammenfassung. Im Folgenden sind die Zusammenfassungen der Wirkungsermittlung der verkehrlich wirkenden Applikationen dokumentiert. Die Applikationen SK-11, SK-13 sowie SK-14 sind hier nicht gelistet, da die Wirkungsermittlung in den Teilprojekten selbst erfolgte.

### Zusammenfassung Wirkungsermittlung SK-12

Die Applikation SK12 strebt eine Reduktion der Anzahl der Halte durch geeignete Verringerung der Fahrzeuggeschwindigkeit im Zulauf zur Lichtsignalanlage an. Die positive Wirkung auf den Gesamtverkehr kann im Rahmen der Simulationsstudie, unter Berücksichtigung getroffener Annahmen, deutlich gezeigt werden. In allen betrachteten Szenarien werden Verringerungen der Anzahl der Halte beobachtet, die in fast allen Fällen auch statistisch signifikant nachgewiesen werden können. Dabei werden bezogen auf den Gesamtverkehr mit höheren Ausstattungsraten tendenziell größere Verbesserungen beobachtet. Auch wirken sich geringere Auslastungsgrade der Zufahrt durch größere Freigabezeiten bzw. geringere Verkehrsnachfrage positiv auf die Wirkung aus. Dies liegt darin begründet, dass mehr Flexibilität zur Anpassung der Geschwindigkeit vorliegt und somit tendenziell mehr Halte vermieden werden können. Auch die Anzahl der Fahrstreifen hat Einfluss auf die Wirkung der Applikation. So werden negative Beeinflussungen durch bedingt verträgliche Verkehrsströme reduziert, wodurch größere Wirkungen beobachtet werden. Auch gleichzeitige oder zumindest sich überschneidende Freigabezeiten der Signalgruppen einer Zufahrt sind vorteilhaft, da Beeinflussungen von Fahrzeugen in der gleichen Zufahrt mit stark unterschiedlichen Geschwindigkeitshinweisen minimiert werden können. Die Applikation SK-12 führt zu geringer, aber häufig signifikanter Erhöhung der Reisezeit und entsprechender Reduktion der mittleren Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten. Dies ist allerdings vor allem auf die zufahrtsfeine Betrachtung und den gewählten Auswertebereich zurückzuführen, der lediglich vom Beginn der Beeinflussung (sprich: Geschwindigkeitsreduktion innerhalb des festgesetzten Wirkungsbereichs von 300m vor der Haltlinie) bis kurz nach der Haltlinie verläuft, und somit nicht die komplette Kreuzungsdurchfahrt umfasst. Bei der Betrachtung der Verteilung der Häufigkeiten der mittleren Geschwindigkeiten zeigen sich tendenziell Harmonisierungen, also eine Reduktion der Varianz der gefahrenen Geschwindigkeiten.

Die Verbesserung der Effizienzkenwerte durch die Applikation SK-12 führt auch zu positiven Umweltwirkungen. So können gerade für hohe Ausstattungsraten deutliche Reduktionen des Schadstoffausstoßes ermittelt werden. Insbesondere die Emissionen von Kohlenmonoxid und nicht verbrannter Kohlenwasserstoffen werden deutlich reduziert. Aber auch der Kraftstoffverbrauch sowie die übrigen Emissionskenwerte können zum Teil signifikant reduziert werden. Dabei werden mit hohen Ausstattungsraten größere Effekte erzielt. Signifikante Verschlechterungen werden in keinem der betrachteten Szenarien beobachtet.

### Zusammenfassung Wirkungsermittlung SK-34

Das Ziel der Applikation SK-34 ist die Vermeidung von Konfliktsituationen zwischen abbiegenden Fahrzeugen und parallelfahrenden Radfahrern. Im Rahmen der Analysen wurden hierzu die Veränderungen der Zeitabstände der beteiligten Verkehrsteilnehmer zum möglichen Kollisionspunkt (TTC) sowie die Zeitabstände zwischen dem Befahren des möglichen Konfliktbereiches durch Pkw und Radfahrer (PET) untersucht. Zumeist lassen sich signifikante, positive Wirkungen (größere Zeitabstände) feststellen.

Grundlage der Untersuchungen stellt die angenommene Reaktion des Fahrers (Geschwindigkeitsreduzierung) auf die von der Applikation SK-34 angezeigte Warnung des Fahrers vor einem parallel fahrenden Radfahrer dar. In wieweit diese Reaktion auch in der realen Umsetzung vorliegt, kann an dieser Stelle nicht

abgeschätzt werden. Hierzu sind umfangreiche Testfahrten und eine Nutzerbefragung zur Akzeptanz notwendig. Eine entsprechende Untersuchung für Radfahrer wurde am ifak (Institut für Automation und Kommunikation) durchgeführt. Unter Berücksichtigung der hier betrachteten Fahrerreaktion zeigen sich für die untersuchten Effizienzkenngößen negative Auswirkungen. Die auf die Verbesserung der Verkehrssicherheit abzielende Applikation SK34 hat eine geringe Beeinträchtigung der Effizienz des Gesamtverkehrs zur Folge und auch für die Betrachtung der Umweltauswirkungen (Kraftstoffverbrauch und Luftschadstoffemissionen) sind geringe Verschlechterungen der Kenngrößen feststellbar. Dies ist allerdings durch den gewählten Ansatz zur Erhöhung der Sicherheit systembedingt unvermeidbar.

#### Zusammenfassung Wirkungsermittlung SK-35

Insgesamt zeigen sich bei der Betrachtung der Sicherheitskenngößen bei der zufahrtsfeinen Simulationsstudie überwiegend positive Tendenzen der Applikation SK-35. Es kommt zur Verbesserung der Verteilung der Zeitabstände. Der Einfluss der Applikation auf die Häufigkeit von Situationen mit kritischen Nettozeitlücken ( $< 2$  s) oder kritischen Werten der TTC ( $< 0,8$  s) ist gering, da sich die Fahrzeuge bereits ohne Nutzung der Applikation SK-35 sehr selten in diesen Situationen befinden.

Mit zunehmender Ausstattungsrate der Fahrzeuge mit der Applikation SK-35 ist eine Reduzierung des mittleren Kraftstoffverbrauches bei zufahrtsfeiner Betrachtung festzustellen. Szenarien mit hoher Ausstattungsrate (80 %) zeigen dabei ein Einsparpotential von ca. 15 %. Für den Ausstoß der einzelnen Schadstoffemissionen können ebenfalls sinkende Tendenzen festgestellt werden. Vor allem die Emission von CO und NO<sub>x</sub> kann in allen betrachteten Zufahrtstypen signifikant gesenkt werden. Dies bezieht sich vor allem auf Szenarien mit hohen Ausstattungsraten (30 % und 80 %).

Bei der Betrachtung der Applikation im Netz können durch Simulationen positive Effekte der Applikation SK-35 auf Reisezeit, Geschwindigkeit und Standzeit für die meisten der betrachteten Fälle nachwiesen werden. Reagieren Fahrer durch die Leitkegel-Information mit einem Umfahren der Störstelle, so ist ab 15% Ausstattungsrate stets eine kürzere Reisezeit zu vermerken, obwohl eine längere Route gewählt wurde. Auch ohne Umfahren und lediglich durch früheres Einordnen auf den freien Fahrsteifen lässt sich in den meisten Fällen eine Verbesserung der Werte erkennen. Zwar kann die Reisezeit bei hohen Verkehrsaufkommen systembedingt steigen, jedoch sinkt stets die Standzeit.

#### Zusammenfassung Wirkungsermittlung US-1/2 MAN

Für die MAN-Applikationen US-1 und US-2 lassen sich aufgrund der Tatsache, dass lediglich der Lkw-Anteil des Gesamtverkehrs durch die Applikation beeinflusst wird, generell nur geringe Änderungen der verkehrlichen Kenngrößen feststellen. Insgesamt sind aber positive Tendenzen erkennbar, insbesondere bei der Anzahl der Halte. Der Vergleich zwischen ausgestatteten und nicht ausgestatteten Lkw zeigt, dass für die einzelnen Fahrzeuge eine deutliche Wirkung erzielt werden kann. Aufgrund des geringen Einflusses der wenigen Lkw auf den Gesamtverkehr ist auch der Einfluss auf die Emissionskennwerte gering. Es sind insgesamt jedoch positive Tendenzen auf den Kraftstoffverbrauch zu erkennen. Im direkten Vergleich von

ausgestatteten Lkw und nicht ausgestatteten Lkw zeigt sich daher in einigen Szenarien auch ein signifikanter Unterschied des Kraftstoffverbrauchs.

#### Zusammenfassung Wirkungsermittlung US-1/2 BMW

Die BMW-Applikationen US-1 und US-2 zeigen einen deutlichen positiven Einfluss auf die Anzahl der Halte des Gesamtverkehrs. Mit höheren Ausstattungsraten wird der Einfluss vergrößert. Aufgrund der nicht nachgebildeten Schaltzeitprognose verschlechtern sich die Ergebnisse tendenziell, wenn der Einfluss der Verkehrsabhängigkeit steigt, da die Geschwindigkeitshinweise in der Simulationsstudie auf den Signalplänen ohne Anforderungen beruhen. Bei Verwendung einer Schaltzeitprognose könnten sich die positiven Einflüsse denen angleichen, die bei Festzeitsteuerung erzielt werden. Weiterhin wurde im Rahmen der Berechnung der Geschwindigkeitshinweise keine Rückstauinformation verwendet. Insbesondere bei den überstauten Zufahrten können die Ergebnisse damit hinter dem Idealfall zurückbleiben. Der Einfluss auf Reisezeiten und mittlere Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten ist vergleichsweise gering, zumeist aber positiv. So kann die Verringerung der Anzahl der Halte insgesamt zu einem besseren Verkehrsablauf führen und damit die Reisezeiten auf den Streckenzug bezogen senken, obwohl lediglich Geschwindigkeitsreduktionen durch die Applikation empfohlen werden.

Die Steigerung der Verkehrseffizienzkenngößen, insbesondere der Anzahl der Halte, wirkt sich positiv auf die Umweltwirkungen aus. So können Kraftstoffverbrauch und Emissionen gesenkt werden. Insbesondere der Ausstoß von Kohlenmonoxid wird stark reduziert, insbesondere im Tagesnormalverkehr.

#### Zusammenfassung Wirkungsermittlung US-5

Durch die Applikation US-5 sind geringe Effizienzsteigerungen des Gesamtverkehrs auf der Hauptrichtung zu erkennen, welche je nach Lkw-Anteil auch statistische Signifikanz aufweisen. Dies liegt darin begründet, dass durch die Anpassungen der Koordinierung und Verlängerungen der Grünzeit nicht nur die Halte von Lkw, sondern auch die Reisezeiten des Gesamtverkehrs reduziert werden können. Trotz der Steigerung der Verkehrseffizienz und der Reduzierung der Anzahl der Halte von Lkw können keine signifikanten Verminderungen von Emissionen beobachtet werden. Auch kann keine statistisch signifikante Reduktion des Kraftstoffverbrauchs nachgewiesen werden.

Es kann festgehalten werden, dass keine schwerwiegenden Beeinträchtigungen des Gesamtverkehrs beobachtet wurden, sondern Effizienzsteigerungen in geringem Ausmaß auftraten. Eine größere Flexibilität der Eingriffe des Lkw-Pulkmanagements könnte die Ergebnisse jedoch deutlich verbessern. Die vorliegenden einschränkenden Randbedingungen sind sowohl technischer Natur, als auch abhängig von der Bestandsplanung der Lichtsignalanlage.

#### Hochrechnung - Basis

Die in Stufe 3 ermittelten Zufahrtstypen dienen lediglich als Grundlage für die Hochrechnung. Um die erzielten Ergebnisse auf andere Netzausschnitte bzw. größere Straßennetze übertragen zu können, ist eine Verteilung der jeweiligen Zufahrtstypen im betrachteten Straßennetz notwendig. Für die Darstellung der Hochrechnungsergebnisse werden daher verschiedene beispielhafte Netze genutzt, welche sich in der Zusammensetzung der Zufahrtstypen unterscheiden (siehe

Tabelle 7). Anhand dieser Beispielnetze soll auch die Variabilität der Wirkungen in Straßennetzen verdeutlicht werden, welche sich durch ihre Charakteristik (wie z.B. die Struktur der Knotenpunkte und die Art der Zufahrten) unterscheiden.

**Tabelle 7: Zusammensetzung der Zufahrtstypen der Beispielstädte zur Hochrechnung**

		Stadt A	Stadt B	Stadt C	Stadt D
Zufahrts- typ 1		20%	10%	30%	25%
Zufahrts- typ 2		15%	30%	10%	22%
Zufahrts- typ 3		5%	2%	6%	3%
Zufahrts- typ 4		5%	3%	4%	3%
Zufahrts- typ 5		5%	3%	2%	2%
Zufahrts- typ 6		5%	2%	7%	5%
Zufahrts- typ 7		4%	2%	6%	5%
Zufahrts- typ 8		4%	2%	4%	2%
Zufahrts- typ 9		4%	2%	5%	3%
andere Zufahrtstypen		33%	44%	26%	30%

Die Wirkung der einzelnen Applikationen auf den Gesamtverkehr wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Diese Einflussfaktoren sind neben der Charakteristik des Straßennetzes auch die Ausstattungsrate der Fahrzeuge im Netz sowie die Verkehrsbelastung am Knotenpunkt. Aus diesem Grund wurden für die Hochrechnung folgende Szenarien berücksichtigt:

- mittlere Verkehrsbelastung und geringe Ausstattungsrate
- mittlere Verkehrsbelastung und hohe Ausstattungsrate
- hohe Verkehrsbelastung und geringe Ausstattungsrate

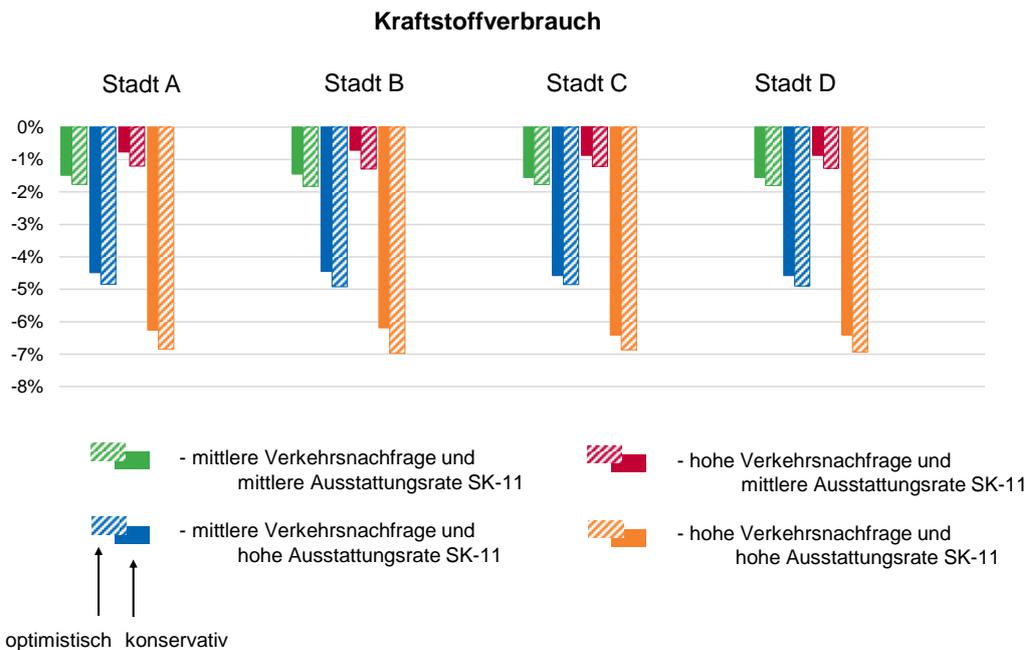
- hohe Verkehrsbelastung und hohe Ausstattungsrate

Für jedes der Szenarien werden, soweit möglich und vorhanden, die Ergebnisse der einzelnen Applikationen für die verschiedenen Zufahrtstypen verwendet, um Aussagen zur Gesamtwirkung zu generieren. Da der Anteil der nicht untersuchten Zufahrtstypen weiterhin relativ groß ist, wurden jeweils eine konservative und eine optimistische Annahme getroffen. Für die konservative Annahme wurde der jeweils schlechteste ermittelte Wert aller Zufahrtstypen angegeben, für die optimistische Annahme der jeweils beste.

Hochrechnung - Ergebnisse

Für SK-13 wurde aufgrund der Netzwerkwirkung keine knotenpunktbasierte Hochrechnung durchgeführt. Die Bewertung für SK-14 wurde für das einzelne Einsatzfahrzeugs durchgeführt, eine Hochrechnung auf den Gesamtverkehr ist damit ebenfalls nicht zweckmäßig.

Für alle übrigen Applikationen bestand die Basis für die Hochrechnung aus den Kenngrößen, welche mittels der ermittelten Indikatoren aus der mikroskopischen Verkehrssimulation berechnet wurden. Im Folgenden ist für die SK-Applikation SK-11, SK-12, SK-34 sowie SK-35 exemplarisch ein Hochrechnungsbeispiel aufgeführt.



**Abbildung 17: Hochrechnung der Wirkungen von SK-11 auf den Kraftstoffverbrauch bei der Befahrung von Knotenpunkten für die Städte A bis D**

Abbildung 17 zeigt die Hochrechnungsergebnisse für Wirkungen von SK-11 auf den Kraftstoffverbrauch bei der Befahrung von Knotenpunkten für die Städte A bis D. Es werden jeweils die oben erläuterten konservativen und optimistischen Hochrechnungsergebnisse angegeben. Hierbei zeigt sich, dass die ermittelten Ergebnisse für hohe Verkehrsnachfrage und hohe Ausstattungsraten am deutlichsten sind. Es können außerdem geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Städten festgestellt werden.

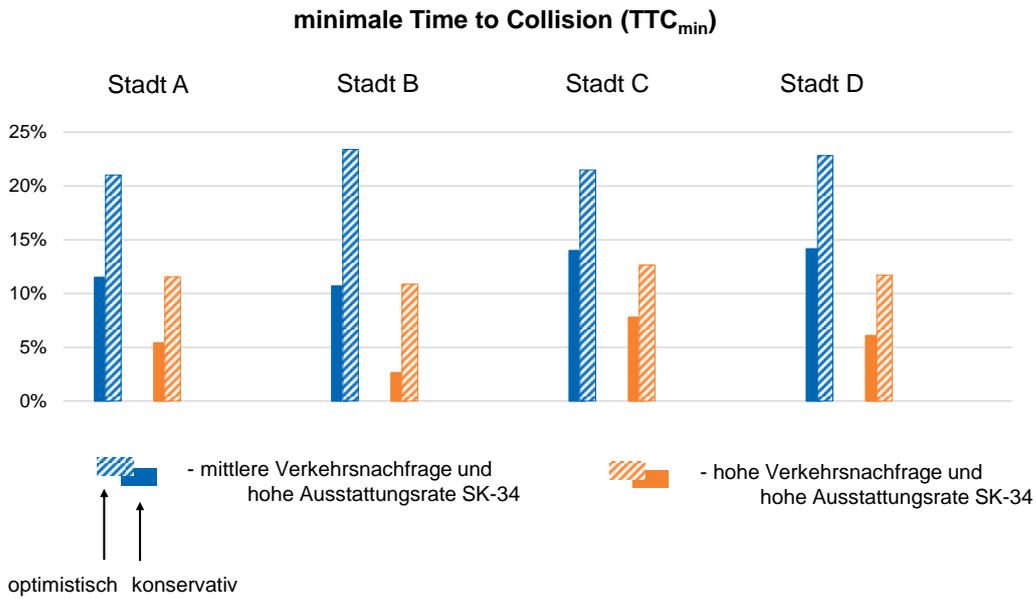
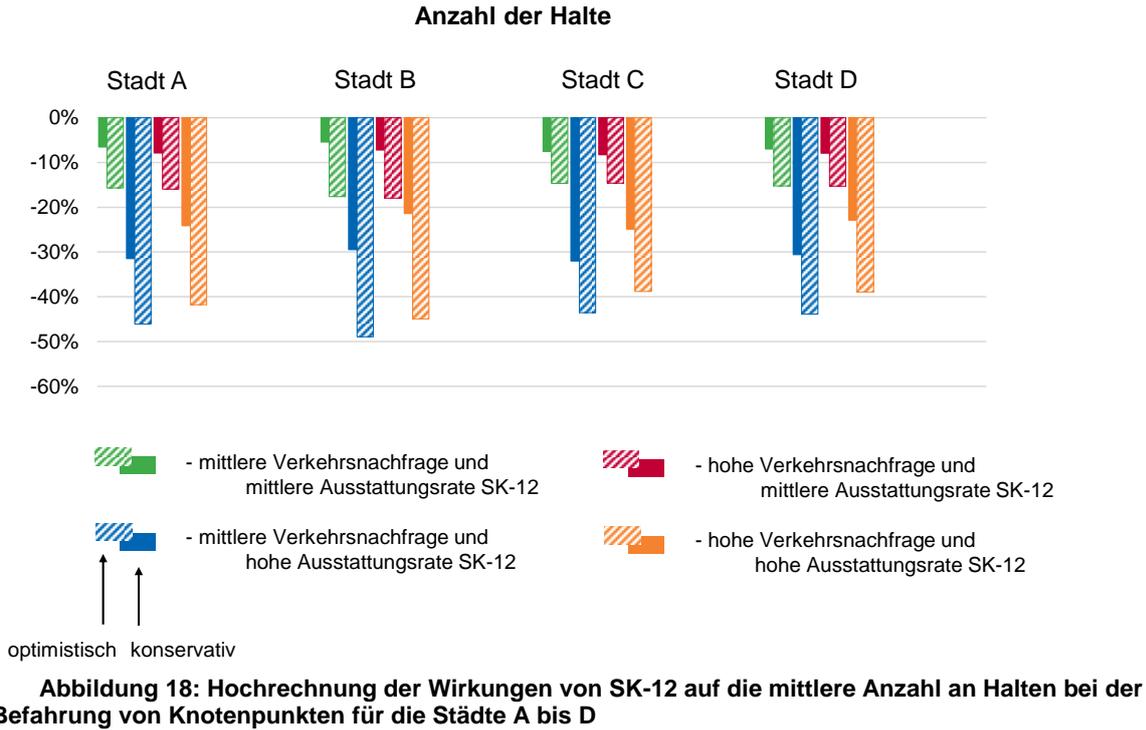
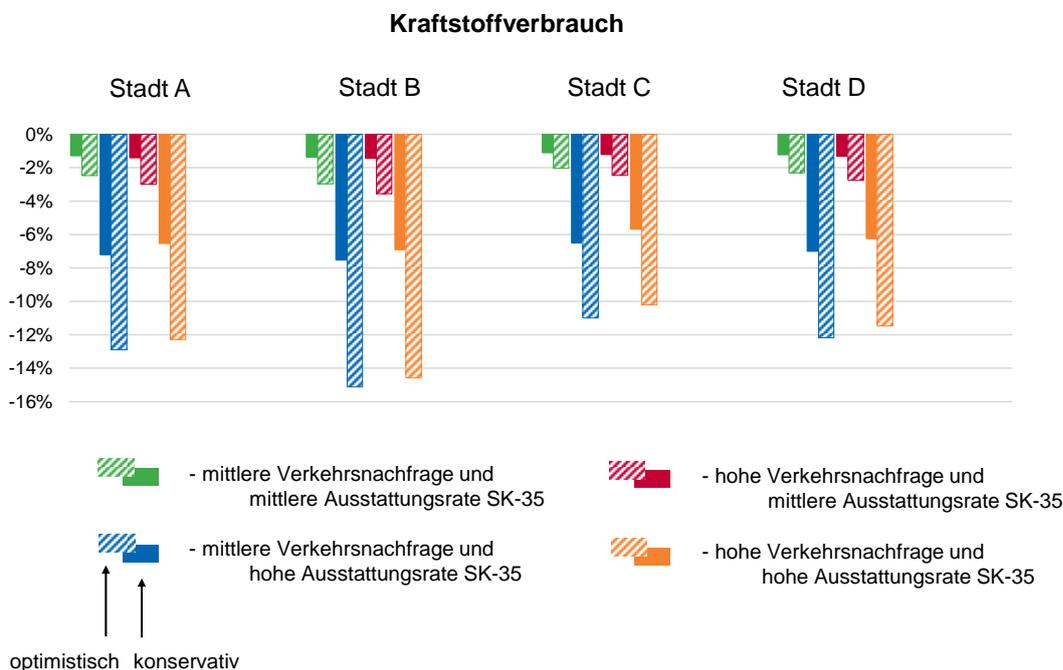


Abbildung 18 zeigt die Hochrechnungsergebnisse für die Änderungen der mittleren Anzahl an Halten durch die Verwendung der Applikation SK-12 in den unterschiedlichen Beispielstädten. Es werden jeweils die oben erläuterten konservativen und optimistischen Hochrechnungsergebnisse angegeben. Dabei wird deutlich, dass je nach Zusammensetzung des Straßennetzes einer Stadt, sowie je nach Ausstattungsrate und Verkehrsnachfrage teils deutliche Unterschiede der zu erwartenden Wirkung festgestellt werden können.

Abbildung 19 zeigt die Hochrechnungsergebnisse für die Wirkungen von SK-34 auf die minimale TTC bei der Befahrung von Knotenpunkten für die Städte A bis D. Für die Hochrechnung der Applikation SK-34 sind jeweils nur Zufahrtstypen relevant, welche die Möglichkeit des Rechtsabbiegens beinhalten. Zwischen den Beispielstädten lässt sich hier kaum ein Unterschied feststellen.

Abbildung 20 stellt die Hochrechnungsergebnisse für die Änderungen des Kraftstoffverbrauchs durch die Verwendung der Applikation SK-35 in den unterschiedlichen Beispielstädten dar. Eine Übertragung der verkehrlichen Wirkungen lässt sich aufgrund der Wirkungsweise der Applikation nur für Zufahrtstypen mit zwei oder mehr Fahrstreifen durchführen. Daher kann für Zufahrtstyp 1 keine verkehrliche Wirkung der Applikation berücksichtigt werden. Folglich werden mittlere Wirkungen der jeweiligen Szenarien mit mittlerer und hoher Verkehrsbelastung für die Zufahrtstypen 2, 5 und 6 berechnet. Die Ergebnisse des Zufahrtstyps 2 können aufgrund ihrer Struktur (je ein separater Fahrstreifen für den rechts bzw. links abbiegenden Verkehr) auf die Zufahrtstypen 3, 4 und 9 übertragen werden. Für die Zufahrtstypen 7 und 8 können die verkehrlichen Wirkungen des Zufahrtstyps 6 herangezogen werden. Für alle anderen in den Städten auftretenden Zufahrtstypen können keine belegbaren Aussagen über die verkehrlichen Wirkungen getroffen werden, daher werden die Gesamtergebnisse als Bandbreite dargestellt. Für das konservative Szenario wird wiederum der jeweils schlechteste ermittelte Wert aller Zufahrtstypen angegeben, für das optimistische Szenario der jeweils beste.



**Abbildung 20: Hochrechnung der Wirkungen von SK-35 auf den Kraftstoffverbrauch an Knotenpunkten für die Städte A bis D**

Die Inhalte des AP 7000 Evaluierung und Bewertung sind in den jeweiligen Meilensteinberichten im Detail dokumentiert und flossen ebenfalls in den im Rahmen von UR:BAN-VV erstellten Leitfaden ein.

---

## Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

---

Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse aus UR:BAN werden wiederum gegliedert nach den drei Haupttätigkeitsbereichen des Lehrstuhls für Verkehrstechnik im Vorhaben UR:BAN Vernetztes Verkehrssystem dargestellt.

Die Ergebnisse des Lkw-Pulkmanagements zeigen, dass eine zentralenseitige Beeinflussung der Lichtsignalanlagen mit Hilfe bestehender Infrastruktur unter Verwendung der Daten ausgestatteter Fahrzeuge möglich ist. Diese Ergebnisse lassen sich auch auf andere Verkehrsmodi übertragen, beispielsweise auf Fahrradfahrer oder Fußgänger, welche Smartphones mit sich führen. So lassen sich mit begrenztem Aufwand innovative, multi-modale verkehrsabhängige Steuerungsverfahren umsetzen, da lediglich eine neue Versorgung der Steuergeräte sowie eine softwareseitige Erweiterung der Verkehrszentrale notwendig sind.

Die Bewertung und Hochrechnung liefert ausführliche Ergebnisse zu den in UR:BAN entwickelten, verkehrlich wirksamen Applikationen. So wird eine wichtige Ausgangslage für die Weiterentwicklung der jeweiligen Applikationen geliefert. Darüber hinaus bietet die umfangreiche Datengrundlage zu den in Deutschland vorherrschenden Netzelementen die Möglichkeit, detaillierte Hochrechnungen für weitere Forschungsprojekte zu ermöglichen.

Die UR:BAN Referenzarchitektur und insbesondere der UR:BAN Leitfaden können als Grundlage für weitere Forschungsprojekte im Bereich vernetzter Verkehrssysteme genutzt werden. So können beteiligte Kommunen bei Planung und Umsetzung vernetzter Verkehrssysteme auf im Leitfaden bereitgestellte Informationen zurückgreifen. Außerdem kann der Leitfaden als Basisdokument angesehen werden, welches in zukünftigen Vorhaben aktualisiert und verallgemeinert werden kann. Hier ist beispielsweise an eine Erweiterung um Systeme speziell für den öffentlichen Verkehr zu denken.

---

## Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

---

Während der Projektlaufzeit begannen die Ausschreibung und das Vergabeverfahren zur Entwicklung einer IVS-Rahmenarchitektur in Deutschland. Hierbei wird unter anderem auch eine Referenzarchitektur für C2X-Systeme entworfen. Die Ergebnisse dieses Vorhabens sind allerdings erst deutlich nach dem Projektende von UR:BAN zu erwarten.

## Berichte und Veröffentlichungen

---

Neben den projektinternen Meilenstein- und Zwischenberichten wurden die Projektergebnisse des Lehrstuhls für Verkehrstechnik bisher im Rahmen folgender Veröffentlichungen vorgestellt:

- Wenzel, Marc; Geßenhardt, Judith: Impact Assessment and Extrapolation of Driver Assistance Systems – Comparison of Real and Abstracted Intersections. mobil.TUM 2015 - Technologies, Solutions and Perspectives for Intelligent Transport Systems, 2015
- Geßenhardt, Judith.: Hochrechnung verkehrlicher Wirkungen kooperativer, infrastrukturbasierter Fahrerassistenzsysteme. Lehrstuhl für Verkehrstechnik, (Universitätstagung 2014), 2014
- Niebel, Wolfgang; Geßenhardt, Judith: Kosten-Nutzen-Untersuchungen kooperativer Verkehrstelematik. Zeitschrift für Verkehrswissenschaft 85 (3), 2014, S.214-232
- Geßenhardt, Judith; Schendzielorz, Tobias; Gerstenberger, Marcus; Fakler, Oliver: Verkehrliche Wirkungen kooperativer, infrastrukturbasierter Fahrerassistenzsysteme in deutschen Städten - Grundlage für die politische Entscheidungsfindung. Konferenz Verkehrsökonomik und -politik, 2014
- Geßenhardt, Judith; Fakler, Oliver; Schendzielorz, Tobias; Busch, Fritz: Scaling up of ADAS' Traffic Impacts to German Cities. 10th ITS European Congress, 2014
- Fakler, Oliver; Geßenhardt, Judith; Lüßmann, Jonas; Busch, Fritz: Structures of Traffic Management and Control in German Cities. 10th ITS European Congress, 2014
- Kathes, Jakob; Papapanagiotou, Eftychios; Busch, Fritz: Traffic signals in connected vehicle environments - Chances, challenges and examples for future traffic signal control. Proceedings 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, 2015
- Kathes, Jakob; Schendzielorz, Tobias; Schön, Thilo; Neuner, Michael; Böhme, Heiko; Busch, Fritz; Frankiewicz, Tobias; Gath, Nicolas; Gerstenberger, Marcus; Krabbe, Anja; Krause, Jan; Kürschner, Michael; Maier, Peter; Miltner, Thorsten; Mosebach, Henning; Noll, Bernd; Offermann, Frank; Petry, Florian; Ungureanu, Tudor: Leitfaden für die Einrichtung kooperativer Systeme auf öffentlicher Seite. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2016. verfügbar unter: <http://www.vt.bgu.tum.de/urban-leitfaden/>

## Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 1: Übergreifendes Konzept des Vorhabens .....	6
Abbildung 2: Projektstruktur „Kooperative Infrastruktur“ .....	7
Abbildung 3: Projektstruktur „Urbane Straßen“ .....	8
Abbildung 4: Beispiel zur Beeinflussung einer Lichtsignalanlage durch das Lkw-Pulkmanagement.....	11
Abbildung 5: Systemarchitektur des Lkw-Pulkmanagements .....	11
Abbildung 6: Knotenpunkte mit LSA zum Einsatz des Lkw-Pulkmanagements.....	13
Abbildung 7: Optimierungsverfahren des Lkw-Pulkmanagements .....	14
Abbildung 8: Signalzeitenplan der Signalgruppe CL am Knotenpunkt 56-01 mit Anforderungen.....	14
Abbildung 9: Auszug aus der Log-Datei mit Bestätigung des Empfangs des ÖV Telegramms zur Aktivierung des Meldepunkts 10002 (A21) .....	15
Abbildung 10: Aufgezeichneter Signalzustand der Signalgruppe CL am Knotenpunkt 56-01 ohne Anforderung durch das Lkw-Pulkmanagement.....	15
Abbildung 11: Aufgezeichneter Signalzustand der Signalgruppe CL am Knotenpunkt 56-01 mit Anforderung durch das Lkw-Pulkmanagement.....	16
Abbildung 12: Technisch-organisatorische Systemübersicht .....	22
Abbildung 13: Bewertungs- und Hochrechnungsmethodik .....	30
Abbildung 14: Beispielhafte Darstellung der Ergebnisse der Wirkungsanalysen.....	36
Abbildung 15: Beispiel Box-Whisker-Plot - Kohlenmonoxidemissionen für SK-12, Zufahrtstyp 7, mittlere Verkehrsbelastung (11-12 Uhr) .....	37
Abbildung 16: Beispiel Histogramm - mittleren Einzelfahrzeuggeschwindigkeit (vm) der SK12-Applikation bei 0 %, 15% und 80 % Ausstattungsrate und hoher Verkehrsbelastung (16-17 Uhr) .....	37
Abbildung 17: Hochrechnung der Wirkungen von SK-11 auf den Kraftstoffverbrauch bei der Befahrung von Knotenpunkten für die Städte A bis D.....	42
Abbildung 18: Hochrechnung der Wirkungen von SK-12 auf die mittlere Anzahl an Halten bei der Befahrung von Knotenpunkten für die Städte A bis D .....	43
Abbildung 19: Hochrechnung der Wirkungen von SK-34 auf minimale TTC bei der Befahrung von Knotenpunkten für die Städte A bis D .....	43
Abbildung 20: Hochrechnung der Wirkungen von SK-35 auf den Kraftstoffverbrauch an Knotenpunkten für die Städte A bis D.....	44

---

**Tabellenverzeichnis**

---

Tabelle 1: Übersichtstabelle Standards und Datenmodelle .....	18
Tabelle 2: Beschreibung der kooperativen Applikation "Schaltzeitprognose" .....	23
Tabelle 3: Applikationen mit direkter verkehrlicher Wirkung .....	28
Tabelle 4: typische Zufahrtstypen .....	32
Tabelle 5: Effizienz- und Sicherheitskenngrößen zur Bewertung der verkehrlichen Wirkung .....	34
Tabelle 6: Umweltkenngrößen zur Bewertung der verkehrlichen Wirkung .....	35
Tabelle 7: Zusammensetzung der Zufahrtstypen der Beispielstädte zur Hochrechnung .....	41

---

## Literaturverzeichnis

---

- BAST [1999]: Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen (MARZ),
- BAST [2012]: Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen (TLS),
- BAUR, M.; PARK, B.; LEE J., S.J. & FULLERTON, M. [2014]: Sensitivity Analysis of Message Reception Probability on Traffic Related Impacts of a CACC System within the Traffic Simulation Framework vtSim. In Proceedings Transportation Research Board (TRB), 93rd Annual Meeting, Washington DC. Washington DC, USA, S. 15.
- BOLTZE, M.; BUSCH, F.; FRIEDRICH, B.; FRIEDRICH, M.; KOHOUTEK, S.; LÖHNER, H.; LÜßMANN, J. & OTTERSTÄTTER, T. [2011]: AMONES: Anwendung und Analyse modellbasierter Netzsteuerungsverfahren in städtischen Straßennetzen - Teil 1: Problemstellung und Methodik. Straßenverkehrstechnik, (5), S.S. 293–300.
- DAGANZO, C.F. [1994]: The cell transmission model: A dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory. Transportation Research Part B: Methodological, 28(4), S.269–287.
- ETSI [2011]: TS 102 637-2 Specification of Cooperative Awareness Basic Service, FAKLER, O.; GEßENHARDT, J.; LÜßMANN, J. & BUSCH, F. [2014]: Structures of Traffic Management and Control in German Cities. 10th ITS European Congress.
- FGSV [2012]: Hinweise zur Strukturierung einer Rahmenarchitektur für Intelligente Verkehrssysteme (IVS) in Deutschland – Notwendigkeit und Methodik,
- FRAME [2015]: FRAME. verfügbar unter: <http://www.frame-online.net/>.
- HAUSBERGER, S. [2003]: Simulation of Real World Vehicle Exhaust Emission.
- KRAFTFAHRT-BUNDESAMT [2015]: Fahrzeugzulassungen (FZ) Bestand an Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen, Flensburg.
- NAGEL, K. & SCHRECKENBERG, M. [1992]: A cellular automaton model for freeway traffic. J. Physique I, 2(December), S.2221.
- NEUBAUER, W.; BELLGARDT, E. & BEHR, A. [2002]: Statistische Methoden,
- PTV AG [2011]: VISSIM 5.40 – Benutzerhandbuch, Karlsruhe.
- SANTA, C.; KATHS, J.; MATHIAS, P. & SCHENDZIELORZ, T. [2014]: Potenziale kooperativer Lichtsignal - steuerung zur Steigerung der Verkehrseffizienz und - sicherheit. Straßenverkehrstechnik, (10), S.676–683.
- SCHNITTGER, S. [1991]: Einfluss von Sicherheitsanforderungen auf die Leistungsfähigkeit von Schnellstraßen. Universität Karlsruhe Schriftenreihe.
- SIMTD KONSORTIUM [2012]: simTD W.D.W43.3,
- THOMPSON, S. [1987]: Sample Size for Estimating Multinomial Proportions. The American Statistician, 41(1), S.42–46.
- VDV [2013]: VDV Schriften. VDV 453 Ist-Daten-Schnittstelle, Version 2.3.3. VDV 454 Ist-Daten-Schnittstelle auf Basis VDV-Schrift 453, Version 1.2.2,
- VOGEL, K. [2002]: What characterizes a „free vehicle“ in an urban area? Transportation Research Part F, (5), S.15 – 29.

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN -	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel  Forschungsprojekt UR:BAN – Vernetztes Verkehrssystem Schlussbericht des Lehrstuhls für Verkehrstechnik der Technischen Universität München	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  Kaths, Jakob Geßenhardt, Judith Papapanagiotou, Eftychios Busch, Fritz	5. Abschlussdatum des Vorhabens Dezember 2015
	6. Veröffentlichungsdatum Juni 2016
	7. Form der Publikation Schlussbericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  Technische Universität München Lehrstuhl für Verkehrstechnik Arcisstr. 21 80333 München	9. Ber. Nr. Durchführende Institution -
	10. Förderkennzeichen 19 P 1107N
	11. Seitenzahl 49
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 53107 Bonn	13. Literaturangaben 20
	14. Tabellen 7
	15. Abbildungen 20
16. Zusätzliche Angaben -	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) -	
18. Kurzfassung Die beschriebenen Arbeiten und Ergebnisse teilen sich im Wesentlichen auf drei Aufgabenbereiche auf. Erstens wurde ein zentralenbasiertes Lkw-Pulkmanagement entwickelt. Hierbei wurden Schaltzeitpunkte so angepasst, dass Lkw möglichst ohne Haltevorgang einen Streckenzug passieren können, indem die Koordinierung der Lichtsignalanlagen angepasst wird. Hierzu wurden stationäre Detektoren und Daten vernetzter Lkw berücksichtigt. Zweitens wurde eine Bewertungs- und Hochrechnungsmethodik entwickelt, welche es erlaubt, die Wirkungen kooperativer Systeme zu bewerten und hochzurechnen. Als Basis für die Hochrechnung dient eine umfangreiche Datenerhebung zur in Deutschland vorherrschenden städtischen Infrastruktur. Für die Wirkungsermittlung verschiedener, in UR:BAN VV entwickelter Applikationen wurde eine mikroskopische Verkehrssimulation durchgeführt. Drittens wurde ein Leitfaden zur Einrichtung kooperativer Systeme erstellt. Dieser bereitet Informationen zur Einrichtung kooperativer Systeme und in UR:BAN VV erzielte Ergebnisse für die öffentliche Hand auf. Hierdurch soll eine gemeinsame Wissensbasis geschaffen und künftige Forschungsprojekte und Ausschreibungen erleichtert werden.	
19. Schlagwörter Kooperative Systeme, multi-modale Lichtsignalsteuerung, Wirkungsermittlung, Hochrechnung	
20. Verlag -	21. Preis -

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN -	2. type of document (e.g. report, publication) final report
3. title Research Projekt UR:BAN – Networked Traffic System Final Report of the Chair of Traffic Engineering and Control at the Technical University of Munich	
4. author(s) (family name, first name(s))  Kaths, Jakob Geßenhardt, Judith Papapanagiotou, Eftychios Busch, Fritz	5. end of project December 2015
	6. publication date June 2016
	7. form of publication final report
8. performing organization(s) (name, address)  Technische Universität München Lehrstuhl für Verkehrstechnik Arcisstr. 21 80333 München	9. originator's report no. -
	10. reference no. 19 P 1107N
	11. no. of pages 49
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 53107 Bonn	13. no. of references 20
	14. no. of tables 7
	15. no. of figures 20
16. supplementary notes -	
17. presented at (title, place, date) -	
18. abstract The research carried out by TUM-VT within UR:BAN VV focused on three main areas. First, a centralized truck platoon management was developed. Signal timings are altered in order to avoid stops of trucks on a selected road stretch by ensuring a working coordination of traffic signals for trucks. Stationary detection and data from equipped trucks are used as an input for the developed algorithm. Second, a methodology for the evaluation and extrapolation of the impacts of connected traffic systems was developed. An extensive data collection on the prevailing infrastructure elements in German cities delivers the basis for the extrapolation. Microscopic traffic simulation was used for the evaluation of several applications that have been developed within UR:BAN VV. Within the third working area guidelines for the installation of connected traffic systems in cities were developed. The guidelines summarize information for the deployment of connected traffic systems and the most important findings of UR:BAN VV. The goal is to reach a common level of understanding within the public sector to facilitate future research projects and the deployment of connected traffic systems.	
19. keywords connected systems, cooperative systems, multi-modal signal control, evaluation, extrapolation	
20. publisher -	21. price -