

# UR:BAN

Urbane Raum:  
Benutzergerechte Assistenzsysteme  
und Netzmanagement

## Leitfaden

für die Einrichtung kooperativer Systeme auf öffentlicher Seite



UR:BAN Projekt Vernetztes Verkehrssystem  
Kooperative Infrastruktur

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# **Leitfaden**

für die Einrichtung kooperativer Systeme  
auf öffentlicher Seite





**UR:BAN**

Projekt Vernetztes Verkehrssystem  
Teilprojekt Kooperative Infrastruktur

# Leitfaden für die Einrichtung kooperativer Systeme auf öffentlicher Seite

## **Beteiligte Partner:**

Technische Universität München, GEVAS software GmbH, Heusch/Boesefeldt GmbH, Landeshauptstadt Düsseldorf, Kassel documenta Stadt, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., ifak Magdeburg e.V., Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, TRANSVER GmbH, TomTom Development Germany GmbH

München, März 2016

**UR:BAN**

Urbaner Raum:  
Benutzergerechte Assistenzsysteme  
und Netzmanagement

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	V
Begriffe und Abkürzungen .....	VIII
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Ziele und Adressaten des Leitfadens .....	1
1.2 Inhalte des Leitfadens .....	1
1.3 Kernfragen des Leitfadens .....	2
<b>2 Überblick über kooperative Systeme .....</b>	<b>4</b>
2.1 ITS Action Plan.....	4
2.2 Definition und Kurzüberblick über kooperative Systeme und deren Anwendungsfälle .....	5
2.3 Gründe für die Einführung kooperativer Systeme.....	9
<b>3 Referenzarchitektur und kooperative Applikationen .....</b>	<b>11</b>
3.1 Rollenverständnis im kooperativen Verkehrsmanagement .....	11
3.1.1 Datenverbund im kooperativen Verkehrsmanagement .....	11
3.1.2 Technische Kernanforderungen.....	12
3.1.3 Szenarien des organisatorischen Rollenmodells .....	13
3.2 Identifikation des eigenen Ausbauszustands .....	17
3.2.1 Vorgehen zur Erarbeitung einer Referenzarchitektur.....	18
3.2.2 UR:BAN Referenzarchitektur zur Einführung kooperativer Systeme ...	20
3.3 UR:BAN-VV Applikationen und deren Zuordnung zur Referenzarchitektur ....	40
3.3.1 Knotenpunktbasierte kooperative Applikationen .....	40
3.3.2 Zentralenbasierte kooperative Applikationen .....	44
3.3.3 Cloudbasierte Systeme.....	46
<b>4 Einrichtung kooperativer Systeme.....</b>	<b>49</b>
4.1 Einrichtung knotenpunktbasierter kooperativer Systeme .....	49
4.1.1 Technische Ausgangslage.....	49
4.1.2 Technische Erweiterung des städtischen Systems.....	52
4.1.3 Nötige Anpassung von Verwaltungsprozessen.....	58
4.1.4 Erfahrungen bei der Einrichtung knotenpunktbasierter Systeme .....	60
4.2 Einrichtung zentralenbasierter kooperativer Systeme .....	62
4.2.1 Einrichtung für eine Stadt mit Verkehrsrechner .....	63
4.2.2 Einrichtung für eine Stadt mit einer Verkehrsmanagementzentrale ....	67
4.2.3 Nötige Anpassung von Verwaltungsprozessen.....	75
4.3 Einrichtung cloudbasierter kooperativer Systeme .....	78
4.3.1 Technische Ausgangslage.....	78
4.3.2 Technische Erweiterung des städtischen Systems.....	79

<b>5</b>	<b>Test kooperativer Systeme .....</b>	<b>82</b>
5.1	Vorgehen für den Test kooperativer Systeme im Verkehr .....	82
5.2	Testautomatisierung .....	84
5.3	Frühe Fehleridentifikation im Betrieb durch Monitoring .....	85
5.4	Zusammenfassung .....	85
<b>6</b>	<b>Evaluierung kooperativer Systeme .....</b>	<b>86</b>
6.1	Grundsätzliches methodisches Vorgehen .....	86
6.2	Evaluierung im Projekt <i>UR:BAN-VV</i> .....	86
6.2.1	Evaluierung der verkehrlichen Wirkungen am Beispiel einer Ampelphasenassistenz .....	87
<b>7</b>	<b>Ausblick.....</b>	<b>98</b>
<b>8</b>	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>99</b>
<b>9</b>	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>102</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>103</b>
<b>Anhang A</b>	<b>– Standards, Schnittstellen und Datenmodelle .....</b>	<b>104</b>
A.1	OCA und ODG-Standards .....	104
A.1.1	OTS 1 (OCIT-I) .....	105
A.1.2	OTS 2 .....	106
A.1.3	OCIT-C (SZVD) .....	107
A.1.4	OCIT-O .....	108
A.2	Standards im Radio Broadcast.....	109
A.2.1	Traffic Message Channel – TMC .....	109
A.2.2	Transport Protocol Experts Group – TPEG.....	110
A.3	Standards im Öffentlichen Personennahverkehr .....	111
A.3.1	VDV R09.1 .....	111
A.3.2	VDV 453/454 .....	111
A.3.3	SIRI.....	112
A.4	Weitere Standards.....	113
A.4.1	OpenLR™ .....	113
A.4.2	DATEX II.....	115
A.4.3	Fahrzeug-zu-X Kommunikation .....	116
A.5	Vergleich der Datenmodelle SPAT-ISO, DATEX II und TPEG TSI .....	118
<b>Anhang B</b>	<b>– Erfahrungen bei der Einrichtung zentralenbasierter kooperativer Systeme am Beispiel Kassel .....</b>	<b>121</b>
B.1	Übersicht .....	121
B.2	Technische Komponenten.....	124
B.2.1	Technische Ausstattung der LSA-Zentrale .....	124
B.2.2	Technischer Aufbau des Verkehrsmanagementsystems .....	127
B.2.3	Einrichtung einer OCIT-Verbindung über Mobilfunk .....	135

B.3	Datengrundlagen.....	137
B.3.1	Straßennetz der Stadt Kassel .....	137
B.3.2	Aufbereitung der Daten.....	137
B.3.3	Attributstruktur der verschiedenen Knoten-Kanten-Modelle.....	139
B.3.4	Anpassung der Datengrundlage für das Verkehrsmanagementsystems .....	142
B.4	Betrieb.....	143
B.4.1	Pflegeaufwand beim Einrichten und dem Betrieb des Verkehrsmanagementsystems .....	143
B.4.2	Berücksichtigung von Veränderungen im Prüffeld .....	144
B.5	Testbetrieb .....	146
B.5.1	Datenflusstests .....	147



# Begriffe und Abkürzungen

Begriff / Abkürzung	Definition
C2X	auch Car2X, drahtlose Kommunikation von Fahrzeugen mit anderen Elementen des Verkehrssystems, insbesondere Fahrzeugen (Car2Car, C2C) oder Infrastruktur (Car2Infrastructure, C2I), wird häufig synonym mit V2X verwendet, obwohl im engeren Sinne nur Pkw gemeint sind, während V2X auch andere Fahrzeuge einschließt.
CAM	Cooperative Awareness Message, siehe Kap. 3.2.2.4.2
CCU	Communication Control Unit
CEN	Europäisches Komitee für Normung
Cloud	Cloud Computing bezeichnet das Ausführen und Betreiben von Software in einem Rechenzentrum mit dem der Nutzer über das Internet verbunden ist.
DENM	Decentralized Environmental Notification Message, siehe Kapitel 3.2.2.4.2
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCD FC-Daten	Floating Car Data beinhalten fahrzeuggenerierte Daten. Mindestens sind Ort und Zeit enthalten, ggf. aber auch weitere Daten (z.B. Haltevorgänge, Daten der Bordsensorik). In der Literatur auch als Floating Vehicle Data (FVD) oder Probe Vehicle Data bezeichnet.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IRS	ITS Roadside Station, siehe Kap. 3.2.2.4.1
ISO	International Organization for Standardization
ITS	Intelligent Transportation Systems, Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien zur Verkehrsbeeinflussung. Auch als Verkehrstelematik bezeichnet.
IV	Individualverkehr
IVS	a) Intelligente Verkehrssysteme, siehe ITS b) ITS Vehicle Station, siehe Kap. 3.2.2.4.1
LSA, LZA	Lichtsignalanlage (LSA), auch Lichtzeichenanlage (LZA)
MAP	Nachrichtenformat für Karten-/Topologie-Information, nach SAE siehe Kap. 3.2.2.4.2
MDM	Mobilitätsdaten Marktplatz, von der BAST betriebenes Online Portal zur Vermittlung von (verkehrsbezogenen) Daten zwischen Lieferanten, Veredlern und Nutzern
MIV	Motorisierter Individualverkehr
OCA	Open Traffic Systems City Association e. V. - ein Verband deutscher, österreichischer und schweizer öffentlicher Baulastträger
OCIT	Open Communication Interface for Road Traffic Control Systems, siehe Anhang A
ODG	OCIT Developer Group - Arbeitsgemeinschaft mit dem Ziel, Schnittstellen für Systeme der Straßenverkehrstechnik zu standardisieren; vertretene Signalbaufirmen: Siemens AG, AVT Stoye GmbH, Stührenberg GmbH, Swarco Traffic Systems GmbH

Begriff / Abkürzung	Definition
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
RSU	Roadside Unit, wird synonym mit IRS verwendet, siehe Kap. 3.2.2.4.1
SAE	Society of Automotive Engineers
SEF	Sondereinsatzfahrzeug
SPaT	Signal Phase and Timing, siehe Kap. 3.2.2.4.2
TOPO	Nachrichtenformat für Karten-/Topologie-Information, nach ETSI siehe Kap. 3.2.2.4.2
V2X	Vehicle-2-X Kommunikation, drahtloser Datenaustausch von Fahrzeugen und anderen Fahrzeugen (V2V) oder Infrastruktureinrichtungen (V2I)
VMS	Verkehrsmanagementsystem, siehe Kap. 3.2.2.4.1
VMZ	Verkehrsmanagementzentrale, siehe Kap.3.2.2.4.1
Wi-Fi	siehe WLAN
WLAN	Wireless Local Area Network, Funknetz meist nach IEEE-802.11, siehe Anhang A

Tabelle 1: Begriffs- und Abkürzungsverzeichnis



# 1 Einleitung

Im Verbundprojekt *UR:BAN* haben sich 31 Partner aus Automobil- und Zulieferindustrie, Elektronik-, Kommunikations- und Softwarefirmen, Universitäten sowie Forschungsinstitute und Städte zusammengeschlossen, um Fahrerassistenz- und Verkehrsmanagementsysteme für die Stadt zu entwickeln. Die komplexen Forschungsaufgaben werden in drei Themenbereichen bearbeitet:

- *Kognitive Assistenz*
- *Vernetztes Verkehrssystem*
- *Mensch im Verkehr*

## 1.1 Ziele und Adressaten des Leitfadens

Der vorliegende 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. Dazu werden die im Forschungsvorhaben *UR:BAN Vernetztes Verkehrssystem (UR:BAN-VV)* gewonnenen Erkenntnisse in einer speziell auf die Belange der öffentlichen Hand zugeschnittenen Form aufbereitet. So soll eine gemeinsame Wissensbasis über kooperative Systeme geschaffen werden.

## 1.2 Inhalte des Leitfadens

Kooperative Systeme sind derzeit in unterschiedlichen Ausbaustufen und Entwicklungsstadien vorzufinden, sodass noch nicht von Standardlösungen gesprochen werden kann. Dies ist der Komplexität mancher Systeme, den diversen Einsatzgebieten und den konstanten Weiterentwicklungen geschuldet. Aus diesem Grund werden dem Leser exemplarische Szenarien für typische urbane Anwendungen im Bereich kooperativer Systeme vermittelt. Dies geschieht auf Grundlage des Forschungsvorhabens *UR:BAN-VV*.

Hierzu beinhaltet der Leitfaden zum einen Erfahrungen zur Einrichtung und dem Betrieb von kooperativen Applikationen, die in den Teilprojekten *Regionales Netz*, *Urbane Straße*, *Smarte Kreuzung* und *Kooperative Infrastruktur* entwickelt wurden sowie Ergebnisse bezüglich der zu erwartenden verkehrlichen Wirkung dieser Applikationen. Zum anderen beinhaltet der Leitfaden über diese Anwendungen hinausgehende Informationen über Systemarchitekturen, Datenstandards oder auch den Bezug zu rechtlichen Rahmenbedingungen. Die aus den verschiedenen Teilprojekten vorgestellten Szenarien können als Beispiele verstanden werden. Diese Beispiele zeigen unterschiedliche Aspekte auf, die bei Einführung derartiger Systeme auftreten.

Der Leitfaden hat in erster Linie einen informativen Charakter und gibt einen Überblick über die Möglichkeiten und den Einsatzbereich kooperativer Systeme im städtischen Umfeld. Er liefert somit Informationen, welche die Kommunen in den Prozess der Entscheidungsfindung für eine bestimmte Lösung eines verkehrlichen Problems einfließen lassen können.

Der Leitfaden stellt die dargelegten Systeme nicht den konventionellen und etablierten Lösungen gegenüber. Weiterhin macht der Leitfaden keine Angaben zu konkreten Kosten oder Kostensätzen, da diese aufgrund der Dynamik der Entwicklung kooperativer Systeme und der dazu benötigten Technologien nicht abzuschätzen sind. Eventuelle Skaleneffekte in der Herstellung einzelner Systemkomponenten bzw. Verbundeffekte bei der Bereitstellung von Komplettsystemen sind nicht vorhersehbar und deren Auswirkungen auf Preisentwicklungen somit nicht darstellbar. Dahingegen werden auf Grundlage der Erfahrungen, die im Rahmen des Forschungsvorhabens *UR:BAN-VV* in den Städten Düsseldorf und Kassel gesammelt wurden, Aufwände in Form von Personal und technischen Komponenten zur Einführung und zum Betrieb kooperativer Systeme erläutert.

Dadurch, dass der Leitfaden auf den Ergebnissen des Forschungsvorhabens *UR:BAN-VV* basiert, werden vornehmlich den Individualverkehr im städtischen Umfeld betreffende, infrastrukturbasierte kooperative Systeme behandelt. Es handelt sich also um die in Kapitel 2.2 genauer erläuterten V2I und I2V Systeme. Die durch das Forschungsvorhaben gegebene Beschränkung auf infrastrukturbasierte Systeme ist insofern für diesen Leitfaden nicht maßgeblich, als dass rein fahrzeugbasierte V2V Systeme ohnehin nicht im direkten Verantwortungsbereich der Städte liegen. Dagegen sind auch speziell auf den öffentlichen Verkehr zugeschnittene kooperative Systeme möglich, die jedoch nicht Teil dieses Leitfadens sind.

### 1.3 Kernfragen des Leitfadens

Die zuvor beschriebenen Inhalte des Leitfadens zielen darauf ab, die im Folgenden dargestellten Kernfragen zu beantworten. Die Fragen dienen an dieser Stelle auch als kompaktes Inhaltsverzeichnis, weshalb zur einfacheren Navigation beim Auswählen der Fragen direkt auf das entsprechende Kapitel verwiesen wird.

- Was sind kooperative Systeme? Welche Applikationen und Standards gibt es?  
⇒ Kapitel 2.2
- Welche Gründe gibt es für die Einführung kooperativer Systeme? ⇒ Kapitel 2.3
- Wie verändern sich Verantwortlichkeiten und Rollen durch die Einführung kooperativer Systeme? ⇒ Kapitel 3.1
- Wo kann der Ist-Stand meiner Kommune eingeordnet werden? ⇒ Kapitel 3.2
- Wie lässt sich eine für meine Kommune geeignete Systemarchitektur für kooperative Systeme aufbauend auf einer Referenzarchitektur ermitteln?  
⇒ Kapitel 3.2.2

- Welches sind geeignete Standards und Datenmodelle? ⇒ Kapitel 3.2.2.4.2
- Welche Anforderungen ergeben sich an das kommunale System für die Einrichtung bestimmter kooperativer Applikationen? ⇒ Kapitel 3.3
- Welche Aufwände in Form von Personal und technischen Komponenten werden benötigt für Einführung und Betrieb von knotenpunktbasierten kooperativen Systemen? ⇒ Kapitel 4.1
- Welche Aufwände in Form von Personal und technischen Komponenten werden benötigt für Einführung und Betrieb von zentralenbasierten kooperativen Systemen? ⇒ Kapitel 4.2
- Welche Aufwände in Form von Personal und technischen Komponenten werden benötigt für Einführung und Betrieb von cloudbasierten kooperativen Systemen? ⇒ Kapitel 4.3
- Wie lassen sich kooperative Systeme testen? ⇒ Kapitel 5
- Wie können verkehrliche Wirkungen von kooperativen Systemen ermittelt werden? Welche Wirkungen können von den vorgestellten *UR:BAN* Applikationen erwartet werden? ⇒ Kapitel 6

## 2 Überblick über kooperative Systeme

Dieses Kapitel soll dem Leser einen Einstieg in die Thematik kooperativer Systeme ermöglichen. Hierzu werden zunächst knapp der ITS Action Plan sowie die darauf fußende ITS Richtlinie dargestellt, die auf europäischer Ebene die rechtliche Grundlage zum erweiterten Ausbau von intelligenten Verkehrssystemen (IVS; engl.: ITS), zu denen auch kooperative Systeme zählen, bilden. Daraufhin werden wichtige Grundlagen und Begrifflichkeiten von kooperativen Systemen erläutert sowie Applikationen, die durch kooperative Systeme ermöglicht werden, vorgestellt. Abschließend wird der generelle Nutzen beschrieben, den Kommunen von der Einführung kooperativer Systeme erwarten können. Sollte der Leser mit den Grundlagen von kooperativen Systemen und deren Anwendungsmöglichkeiten bereits vertraut sein, so kann direkt zu Kapitel 3 gesprungen werden.

### 2.1 ITS Action Plan

Infrastrukturbasierte, durch die öffentliche Hand finanzierte und betriebene intelligente Verkehrssysteme sind bereits seit vielen Jahren etabliert und optimieren außer- wie innerorts die Nutzung bestehender Infrastruktur. Neben den öffentlichen Straßenbetreibern engagieren sich zwischenzeitlich auch immer mehr private Anbieter von intelligenten Verkehrssystemen und Diensten und nehmen damit ebenfalls eine wichtige Rolle bei der Beeinflussung des Verkehrs und der Bereitstellung von aktuellen Verkehrslageinformationen auf deutschen Straßen ein.

Vor diesem Hintergrund und vergleichbaren Entwicklungen in anderen Ländern, hatte die europäische Kommission den ITS Action Plan (Kommission der europäischen Gemeinschaften 2008) vorgestellt. Dieser sollte die verbesserte und koordinierte Nutzung der Möglichkeiten intelligenter Verkehrssysteme, zur Lenkung und Beschleunigung ihrer Entwicklung und vor allem der Harmonisierung von IVS auf europäischer Ebene unterstützen und fördern. Die Vorgaben dieses Planes mündeten in der Richtlinie 2010/40/EU „Rahmen für die Einführung intelligenter Verkehrssysteme“ (Europäisches Parlament und Rat 2010), welche sowohl die entsprechenden Handlungsfelder und Haupteinsatzgebiete von IVS vorgibt, als auch eine rechtliche Verpflichtung für die Länder darstellt und einen groben Zeitplan zur Umsetzung der Richtlinie aufweist. Hauptgrund für diese Anstrengungen ist die Erkenntnis, dass allein der Ausbau der zunehmend überlasteten Verkehrsinfrastruktur nicht ausreichend ist, um eine effiziente und sichere Mobilität in Europa zukünftig zu gewährleisten. Stattdessen soll die beschleunigte Einführung von IVS einen bedeutenden Beitrag zur Verbesserung der Verkehrseffizienz, der Energieeffizienz und Umweltverträglichkeit sowie der Straßenverkehrssicherheit leisten.

Entsprechend den Vorgaben der Richtlinie wurden die Inhalte zwischenzeitlich auf nationale Ebene überführt und das „Intelligente Verkehrssysteme Gesetz – IVSG“

(Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz 2013) wurde verabschiedet. Parallel entstand der IVS-Aktionsplan ‚Straße‘ (Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung 2012), der die koordinierte Weiterentwicklung bestehender und die beschleunigte Einführung neuer IVS in Deutschland bis 2020 unterstützen soll. Zu ebendiesen neuen IVS zählen auch die kooperativen Systeme in Städten, zu deren Einführung der vorliegende Leitfaden eine Hilfestellung geben soll.

## **2.2 Definition und Kurzüberblick über kooperative Systeme und deren Anwendungsfälle**

Durch die Kommunikation zwischen Fahrzeugen untereinander sowie zwischen Fahrzeugen und der Verkehrsinfrastruktur sollen Potentiale zur Steigerung von Verkehrssicherheit und -effizienz erschlossen werden. Das European Telecommunications Standards Institute (ETSI) entwickelt entsprechende Standards für die Informations- und Kommunikationstechnik und wird von der europäischen Union als Standardisierungsorganisation anerkannt. Weitere Standards werden von der Society of Automotive Engineers (SAE) aus den Vereinigten Staaten geprägt. Zusammen mit dem Europäischen Komitee für Normung (CEN) und der International Organization for Standardization (ISO) werden internationale Standards angestrebt. Diese Organisationen sind in verschiedenen Bereichen tätig, wobei das Verkehrswesen nur einen dieser Bereiche darstellt. Abbildung 1 gibt einen Überblick über mögliche Kommunikationswege und Anwendungen kooperativer Systeme im Verkehrswesen.





Abbildung 1: Beispiele kooperativer Systeme im Verkehrswesen (ETSI 2012)

Im Folgenden sollen die relevanten Definitionen des ETSI aufgegriffen werden und als Einführung in die kooperativen Systeme dienen. Dabei können zunächst drei mögliche Kommunikationswege unterschieden werden:

- Fahrzeug-zu-Fahrzeug (engl.: Vehicle to Vehicle (V2V))
- Fahrzeug-zu-Infrastruktur (engl.: Vehicle to Infrastructure (V2I))
- Infrastruktur-zu-Fahrzeug (engl.: Infrastructure to Vehicle (I2V))

Insbesondere für V2V wird zur Kommunikation auf den dedizierten WLAN-Standard ITS-G5 verwiesen, während das ETSI für die Kommunikation mit der Infrastruktur sowohl WLAN-Verbindungen, als auch Mobilfunkverbindungen – unter Voraussetzung der nötigen Verfügbarkeit – für möglich hält.

Für die kooperativen Anwendungen in *UR:BAN-VV* werden beide Kommunikationsverbindungen verwendet, die zentralenbasierten kooperativen Anwendungen (siehe Kapitel 3.3.2) kommunizieren beispielsweise aus der städtischen Zentrale heraus über eine Internetleitung mit dem Backend des Automobilherstellers, dieses bereitet die Informationen weiter auf und sendet sie über Mobilfunk zum Fahrzeug. Bei den knotenpunktbasierten kooperativen Anwendungen (siehe Kapitel 3.3.1) findet der Austausch zwischen LSA und Fahrzeug hingegen über WLAN statt.

Unabhängig vom gewählten Kommunikationsweg können verschiedene Arten von Nachrichten unterschieden werden, die zwischen den Verkehrssystemen ausgetauscht werden. Je nach Nachrichtentyp können beispielsweise Basisinformationen ausgestatteter Fahrzeuge oder Infrastruktureinrichtungen (z.B. Position, Geschwindigkeit), besondere Ereignisse (z.B. Unfälle, Straßensperrungen), Topologieinformationen von Knotenpunkten oder Signalisierungszustände von Lichtsignalanlagen (LSA) übermittelt werden.

Basierend auf diesen Kommunikationsmöglichkeiten hat das ETSI eine Reihe von möglichen kooperativen Anwendungen zusammengestellt, das sogenannte Basic Set of Applications (BSA). Die Anwendungen werden dabei je nach Zielrichtung in verschiedene Klassen eingeteilt und zu jeder Anwendung werden mehrere Anwendungsfälle genannt. Tabelle 2 gibt diese Übersicht auf Deutsch wieder. Für eine genaue Beschreibung und Illustration der verschiedenen Anwendungsfälle sei an dieser Stelle auf das öffentlich zugängliche Dokument TR 102 638 V1.1.1 (ETSI 2009) verwiesen.

Soweit möglich, wurden die in *UR:BAN-VV* entwickelten Applikationen den Anwendungsfällen in Tabelle 2 zugeordnet. Die im Folgenden dargestellten Empfehlungen und Erfahrungen zur Einführung kooperativer Systeme basieren also im Wesentlichen auf der Einführung dieser Applikationen, sie sind aber auf andere Anwendungsfälle von V2I und I2V Applikationen übertragbar.

<u>Anwendungs- klasse</u>	<u>Anwendung</u>	<u>Anwendungsfall</u>	<u>UR:BAN -VV</u>
<u>Aktive Verkehrs- sicherheit</u>	Fahrassistenz – Kooperative Steigerung der Aufmerksamkeit	Einsatzfahrzeugwarnung	•
		Hinweis auf langsames Fahrzeug	
		Kollisionswarnung im Kreuzungsbereich	•
		Hinweis auf Annäherung eines Motorrads	
	Fahrassistenz – Gefahrenwar- nung	Elektronisches Bremslicht bei Notbremsung	
		Warnung bei Fahren entgegen der Fahrtrichtung	
		Warnung vor stehendem Fahrzeug	
		Verkehrszustandswarnung	
		Warnung vor Rotlichtverstoß	
		Baustellenwarnung	•
Kollisionswarnung		•	
Dezentralisierte Floating Car Data (Gefahren- stelle, Niederschläge, Bodenhaftung, Sicht, Wind)			
<u>Kooperative Verkehrs- effizienz</u>	Geschwindig- keitsbeeinflus- sung	Regulatorische oder kontextabhängige Hin- weise zur Geschwindigkeitsbeschränkung	
		Geschwindigkeitshinweise zur optimalen An- näherung an eine Lichtsignalanlage	•
	Kooperative Navigation	Verkehrsinformation und empfohlene Reiser- oute	•
		Erweiterte Routenführung und Navigation	•
		Warnung über beschränkte Zufahrtsmöglich- keiten und Umleitungsempfehlung	•
		Anzeige der Beschilderung innerhalb des Fahrzeugs	
	<u>Kooperative lokale Dienste</u>	Ortsbasierte Dienste	Benachrichtigung über ein „Point of Interest“
Autom. Zufahrtskontrolle und Parkmanage- ment			
IVS lokaler Handel			
Herunterladen von Medien			
<u>Globale internet- basierte Dienste</u>	Dienste für Gesellschaften	Versicherungs- und Finanzdienste	
		Flottenmanagement	
		Ladezonenmanagement	
	Lebenszyklus- management der IVS Stationen	Bereitstellung und Update von Fzg.software und -daten	
		Datenkalibrierung von Fahrzeugen und IRS	

Tabelle 2: Basic Set of Application nach TR 102 638 V1.1.1 (ebd.)

## 2.3 Gründe für die Einführung kooperativer Systeme

Vorrangiges Ziel des Vorhabens *UR:BAN-VV* ist die Optimierung der Verkehrseffizienz in urbanen Räumen bei gleichzeitiger Senkung der Emissionen. Dies soll durch einen Ausbau von intelligenter Infrastruktur und deren Vernetzung mit intelligenten Fahrzeugen unter spezieller Berücksichtigung neuer Antriebskonzepte (Elektro- und Hybridantriebe) gelingen. Applikationen zur intelligenten Lenkung des Verkehrs sowohl unter Berücksichtigung der aktuellen und prognostizierten Nachfrage als auch unter Berücksichtigung von ökologischen Optimierungspotentialen gehen Hand in Hand mit intelligenten Fahrerassistenzsystemen zur Optimierung der Fahreffizienz und des Energieverbrauchs. Einige der im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelten Applikationen zielen auch auf die Steigerung der Verkehrssicherheit ab. Die Ziele des Vorhabens *UR:BAN-VV* geben gleichsam den Anlass zur Einführung kooperativer Systeme.

Zur Erreichung der genannten Ziele wird von der Einführung von kooperativen Systemen aus kommunaler Sicht also erwartet, dass durch den Austausch von Daten das Management des innerstädtischen Verkehrs optimiert werden kann. Dabei wird unter optimiert eine Reduzierung der Anzahl der Halte, der Wartezeiten oder der Emissionen verstanden. Außerdem wird eine Erhöhung der Verkehrssicherheit angestrebt.

Folgende konkrete Maßnahmen können dabei zur Optimierung des Managements des innerstädtischen Verkehrs ergriffen werden:

- Optimierte Zuteilung der Freigabezeiten für die Verkehrsnachfrage auf einzelnen Fahrstreifen,
- optimierte Schaltung von Lichtsignalanlagen entlang von Streckenzügen (Koordination in Abhängigkeit von der Verkehrsnachfrage, ggf. auch unter Berücksichtigung spezieller Fahrzeugtypen wie Schwerverkehr),
- optimierte ÖPNV Beschleunigung durch verbesserte Prognose von ÖPNV Annäherungszeiten und den Ersatz des analogen Bake-Funk-Systems,
- Informationsweitergabe von LSA-Schaltzeiten an Verkehrsteilnehmer (IV und ÖPNV), damit diese energieeffizient und damit schadstoffarm, sicher und gegebenenfalls lärmarm fahren können,
- optimierte Schaltung von Lichtsignalanlagen bei Durchfahrten von Rettungsfahrzeugen (Feuerwehr, Krankenwagen) mit dem Ziel, die Sicherheit zu erhöhen und die Verlustzeiten für die Verkehrsteilnehmer gering zu halten,
- Informationsweitergabe von freien Stellplätzen in Parkhäusern und auf öffentlichen Parkplätzen und der aktuellen Verkehrslage, damit Verkehrsteilnehmer möglichst günstige Routen wählen oder ggf. ein anderes Verkehrsmittel wählen,
- Optimierung von Alternativroutenstrategien durch die zusätzliche Nutzung von Floating Car Data (FCD) (Reisezeiten) zur Anzeige auf städtischen Variotafeln und zur Weitergabe an Navigationsdienstleister über den MDM,

- Generierung von antriebsadaptiven Alternativroutenstrategien durch die Nutzung von FCD (inklusive Anzahl der Bremsvorgänge und Halte) zur Weitergabe an Navigationsdienstleister über den MDM.

Dabei wird ein Informationsaustausch in beiden Richtungen erwartet. Die Kommune als Infrastrukturbetreiber bietet Verkehrsteilnehmern deutlich mehr Informationen an als bisher, dies geschieht automatisiert. Umgekehrt erwarten die Kommunen Positionsdaten von Verkehrsteilnehmern (FCD), um eine möglichst genaue und aktuelle Verkehrslage als Grundlage für adaptive LSA-Schaltungen und aktuelle Verkehrsinformationen generieren zu können. Insbesondere Daten, die von den Verkehrsteilnehmern in die Verkehrsmanagementzentrale gesendet werden, dienen als Datenbasis für:

- eine bessere Ist-Analyse bei gleichzeitig geringeren Investitionen in die Infrastruktur (Detektionstechnik) und
- ein verbessertes Qualitätsmanagement.

Gelingt es über den umfangreichen Datenaustausch den Fahrer in der Stadt zu entlasten, wird neben den Effizienzsteigerungen auch eine Reduzierung von Unfallzahlen erwartet. Dies betrifft alle Verkehrsteilnehmerarten, neben den motorisierten Verkehrsteilnehmern auch die nichtmotorisierten Radfahrer und Fußgänger.

## 3 Referenzarchitektur und kooperative Applikationen

Im Rahmen von *UR:BAN* wurde eine Referenzarchitektur für die Einrichtung kooperativer Systeme entwickelt, welche hier verkürzt dargestellt wird. Bei der Erarbeitung der Referenzarchitektur werden dabei die drei Sichtweisen „organisatorisch“, „technisch“ und „funktional“ eingenommen, um eine möglichst umfängliche und hilfreiche Beschreibung zu generieren.

Zunächst wird aus organisatorischer Sicht das veränderte Rollenverständnis im kooperativen Verkehrsmanagement anhand von vier denkbaren Szenarien erläutert. Anschließend erfolgt die Darstellung der eigentlichen *UR:BAN* Referenzarchitektur.

### 3.1 Rollenverständnis im kooperativen Verkehrsmanagement

Bereits der Begriff des kooperativen Verkehrsmanagements verdeutlicht, dass sich die Rollenverteilung des bestehenden Verkehrsmanagements erweitert. So kann der Begriff „Kooperation“ wie folgt beschrieben werden: Zwei oder mehrere Teilnehmer erfüllen aufgrund freiwilliger Abmachungen gewisse Aufgaben gemeinsam in der Erwartung, hierdurch einen – gegenüber dem jeweils individuellen Vorgehen – höheren Grad der Zielerfüllung zu erreichen (vgl. Bidlingmaier 1967).

Folglich 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, sich über seine eigene Rolle im kooperativen Verkehrsmanagement bewusst zu werden und diese eindeutig zu definieren. Dies muss im Rahmen der Festlegung einer Systemarchitektur erfolgen, da die organisatorischen Anforderungen an die Datenbereitstellung Einfluss auf die technische Ebene der Systemarchitektur haben.

#### 3.1.1 Datenverbund im kooperativen Verkehrsmanagement

Das Zusammenwirken mehrerer Akteure im kooperativen Verkehrsmanagement setzt einen kooperativen Datenverbund voraus. Sowohl auf Seiten der öffentlichen Verwaltung als auch auf der Seite der Automobilindustrie sind Wünsche nach verschiedenen Daten vorhanden. Jeder Akteur im Verkehrsmanagement möchte seine Aufgaben durch eine erweiterte Datenbereitstellung vereinfachen bzw. sein Angebot erweitern. Nachfolgende Abbildung zeigt den Idealfall mit dem zurzeit ersichtlichen maximalen Datenaustausch im kooperativen Verkehrsmanagement.



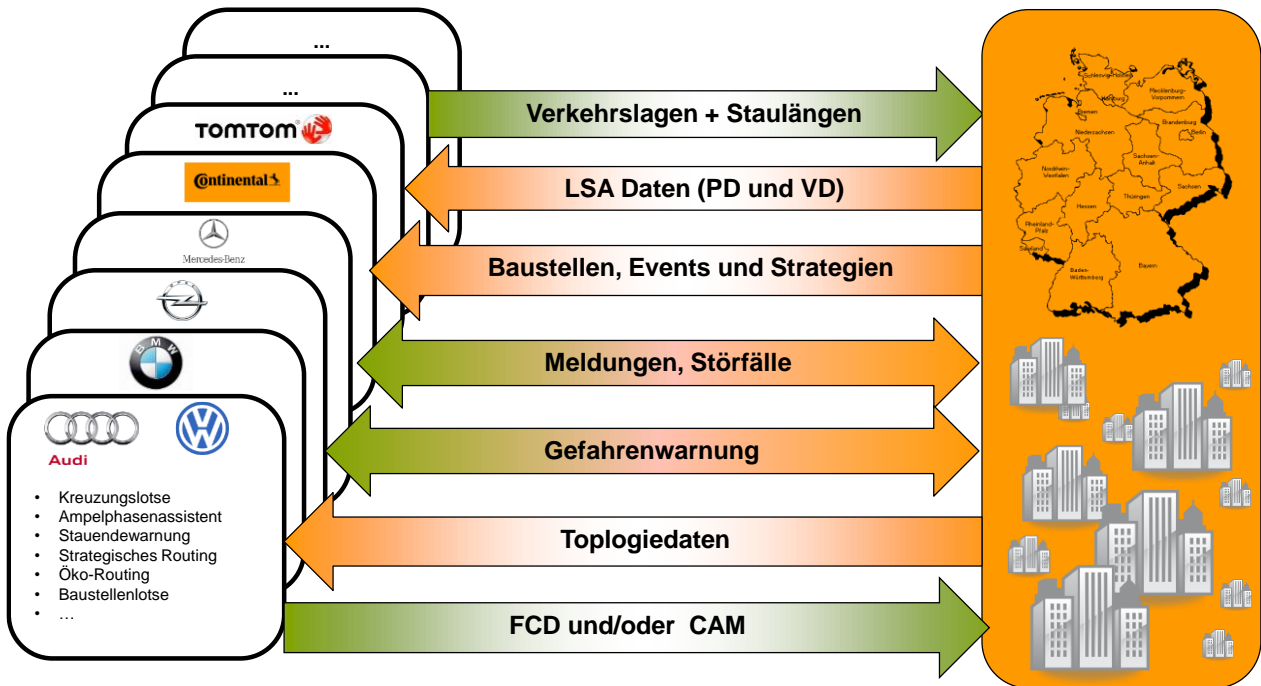


Abbildung 2: Vollständiger Datenaustausch im kooperativen Verkehrsmanagement

Die Nennung der Akteure auf der privaten Seite geschieht exemplarisch aus dem Projekt heraus. Auch der dargestellte Datenfluss sowie die fahrzeugseitigen Applikationen sind beispielhaft und ohne Anspruch auf Vollständigkeit. Die Abbildung verdeutlicht aber die Komplexität des kooperativen Datenverbunds und zeigt, dass die Systeme der beteiligten Partner auf den Datenaustausch in verteilten Systemen ausgelegt werden müssen.

### 3.1.2 Technische Kernanforderungen

Die Öffnung der Systeme mittels eines Datenaustauschs zwischen den Partnern im kooperativen Verkehrsmanagement stellt die erste von drei wesentlichen technischen Kernanforderungen an das kooperative Verkehrsmanagement dar. An möglichst standardisierten Schnittstellen müssen die Daten verfügbar sein, so dass diese zwischen den Akteuren ausgetauscht werden können.

Dies führt zur zweiten Anforderung, die sich auf die Geo-Referenzierung bezieht. Werden fahrzeugseitig ortsbasierte Dienste aufgebaut, so müssen die Daten georeferenziert sein. Hierbei ist es zielführend nicht auf starre Referenzierungssysteme wie RDS-TMC aufzusetzen, sondern mittels eines On-the-Fly Map Matchings Flexibilität in der Umsetzung der ortsbasierten Dienste sicherzustellen.

Die dritte technische Kernanforderung bezieht sich auf die Datenübertragung mit geringen Latenzen: Insbesondere bei sicherheitsrelevanten Anwendungen, aber auch bei informierenden Applikationen wie dem Ampelphasenassistent, ist die Latenz der Informationsübertragung von herausragender Bedeutung. Dieser Aspekt stellt technisch eine große Herausforderung dar. Beispielhaft sind die bisherigen Systeme der LSA-

Steuerung auf eine gerichtsverwertbare Archivierung, nicht aber auf eine kontinuierliche Datenbereitstellung ausgerichtet.

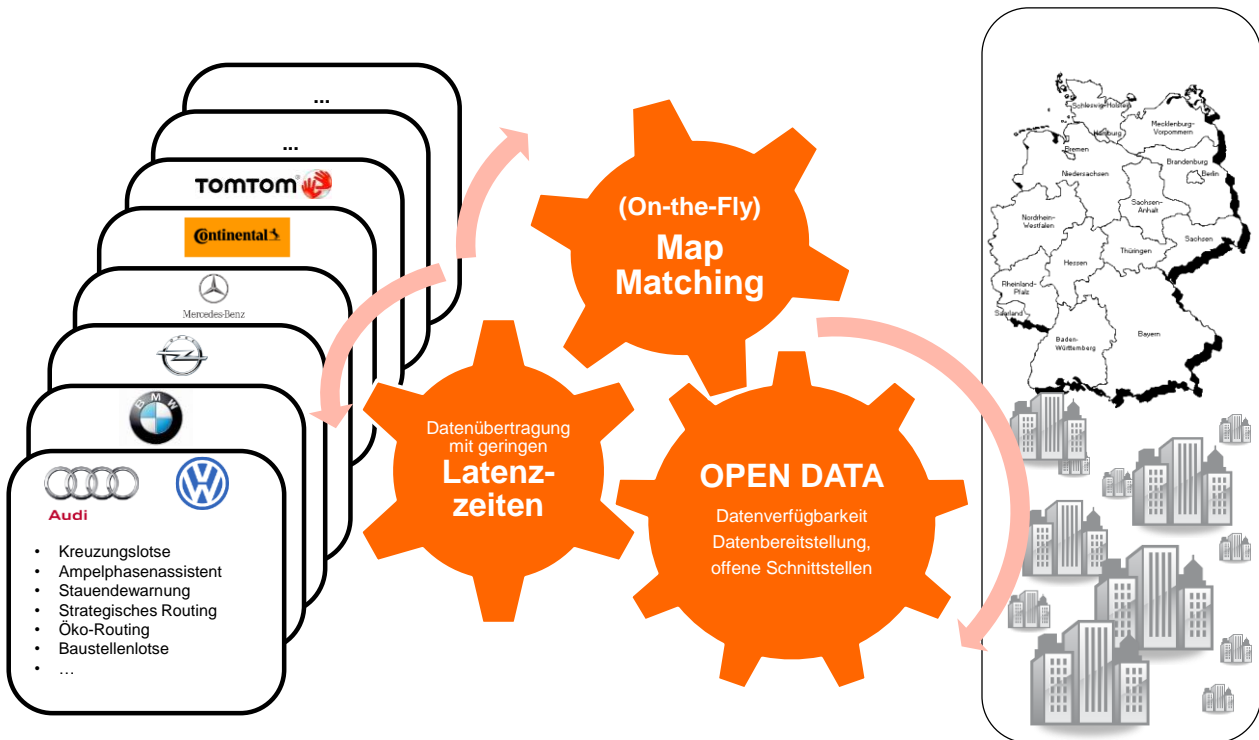


Abbildung 3: Kernanforderungen an das kooperative Verkehrsmanagement

Bevor ein Baulastträger die Einführung kooperativer Systeme erwägt, sollte er das Bestandssystem hinsichtlich dieser Kernanforderungen überprüfen. Von Seiten des Betreibers der fahrzeugseitigen Funktion sind Anforderungen an die Latenz und die Referenzierung zu definieren. Vom Baulastträger ist zu klären, inwiefern diese Anforderungen erfüllt werden können. Zudem ist der Aufwand für kontinuierliche Verfügbarkeit z.B. der On-The-Fly-Referenzierung zu berücksichtigen. Hieraus ergeben sich Rahmenbedingungen für das organisatorische Rollenverständnis, welches Gegenstand des nächsten Abschnitts ist.

### 3.1.3 Szenarien des organisatorischen Rollenmodells

Für den Baulastträger ergeben sich unterschiedliche Ebenen der technischen wie organisatorischen Verantwortlichkeit und damit auch der Rollenübernahme in einem kooperativen Systemverbund. Diese Integrationsebenen und Aufgaben können von Anwendungsfall zu Anwendungsfall variieren.

Dementsprechend steht ein Baulastträger bei der Einführung von kooperativen Systemen vor der Aufgabe der Definition der Verantwortlichkeit. Hierbei ist vor allem die Frage zu beantworten, welche Aufgaben auf Dritte übertragen werden sollen.

Grundsätzlich können vier Szenarien des Rollenverständnisses für Baulastträger identifiziert werden.



### 3.1.3.1 Szenario 1: Städte übernehmen die Rolle des Datenproviders

Der Baulastträger steht in einer direkten Geschäftsbeziehung zu Herstellern von Fahrzeugengeräten, er übernimmt die Rolle des Datenproviders. Dies bedeutet, dass er qualitätsgesicherte, referenzierte Daten in einem mit dem privaten Anbieter abgestimmten Datenformat übergibt. Er übernimmt die Verantwortung für die Datenverfügbarkeit und die Qualität, damit fahrzeugseitige kooperative Dienste auf dieser Grundlage aufgebaut werden können.

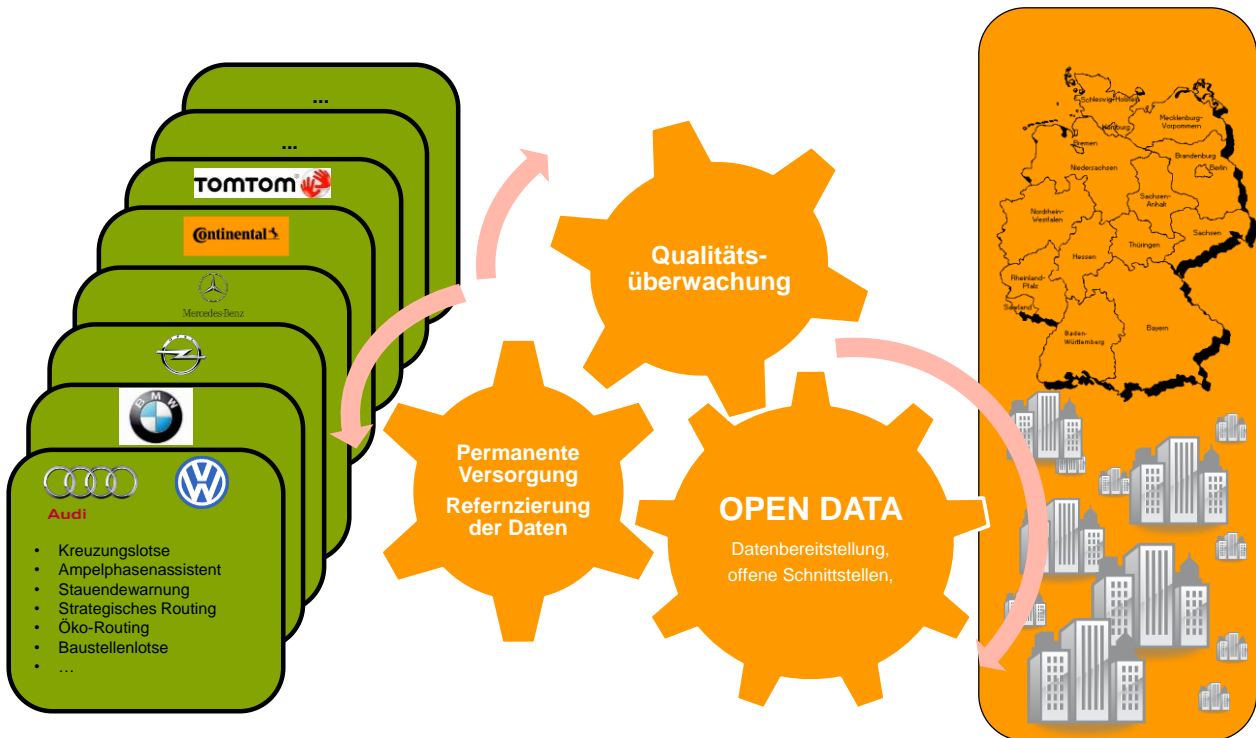


Abbildung 4: Szenario 1 zum Rollenverständnis im kooperativen Verkehrsmanagement (grün: privat, orange: kommunal)

Die technische Verantwortlichkeit ist in der obigen Abbildung mit oranger Einfärbung eindeutig dem Baulastträger zugeordnet. Dies bedeutet, dass er seine verkehrstechnischen Systeme bezüglich

- kontinuierlicher Qualitätsüberwachung
- kontinuierlicher Bereitstellung von Versorgungs- und Prozessdaten
- offenen, am besten standardisierten Schnittstellen
- kontinuierlichem On the Fly Map Matching

ertüchtigen muss. Dies bedeutet zuweilen weitreichende Erweiterungen der bisher bestehenden verkehrstechnischen Systemtechnik. Zudem ist in diesem Rollenmodell mit zusätzlichem Personal für die genannten Aufgaben zu rechnen.

### 3.1.3.2 Szenario 2: Stadt als Datenbereitsteller, private Anbieter übernehmen Qualitätsmanagement und Referenzierung

In diesem Szenario sind die Aufgaben und damit auch die Verantwortlichkeiten der Stadt gegenüber dem ersten Szenario deutlich reduziert. Der Baulastträger steht weiterhin in einer direkten Geschäftsbeziehung zu Herstellern von Fahrzeugendgeräten. Die wesentliche Aufgabe der Stadt ist es, qualitativ hochwertige Daten und Informationen zur Verfügung zu stellen. Die Stadt nimmt Teile des Qualitätsmanagements der Daten und Informationen wahr, die Bewertung der Datenqualität und entsprechende Datenersetzungen und Datenvervollständigungen werden durch die privaten Anbieter unter dem Fokus der Weiterverwendung der Daten in der jeweiligen Applikation wahrgenommen.

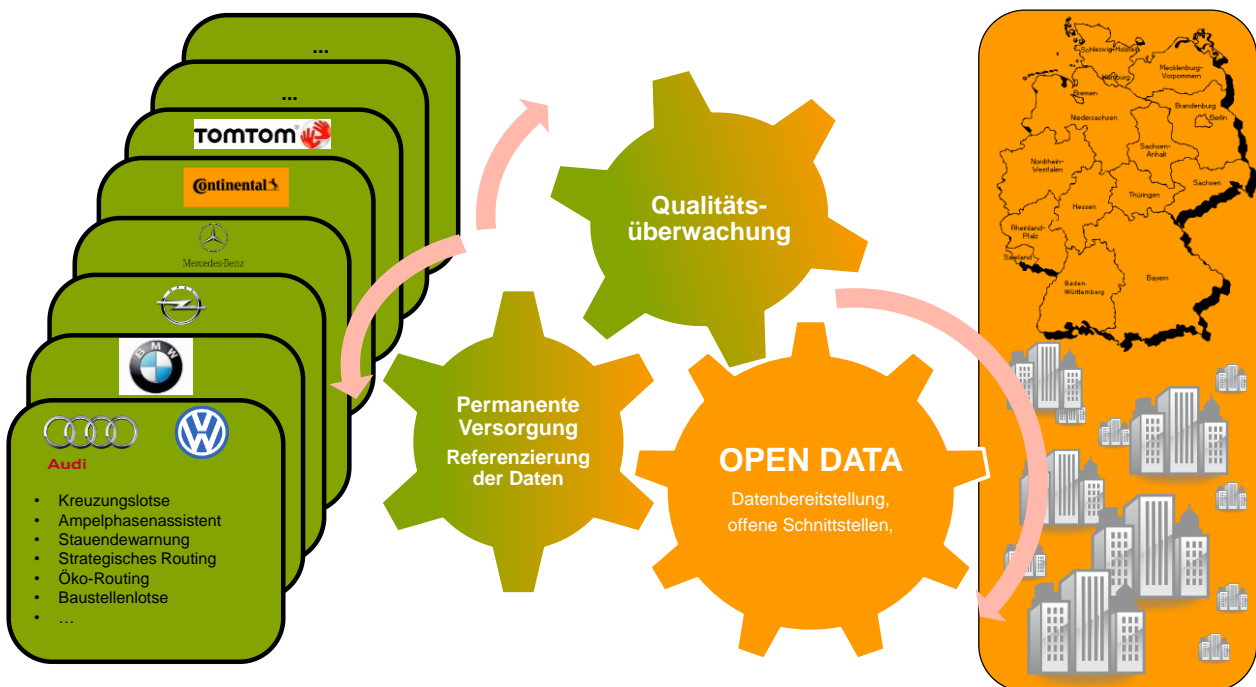


Abbildung 5: Szenario 2 zum Rollenverständnis im kooperativen Verkehrsmanagement (grün: privat, orange: kommunal)

Die wesentliche Aufgabe der Stadt ist in diesem Szenario unter dem Schlagwort „Open Data“ subsummiert. Mit einer für den Anwendungsfall angemessenen Latenz sind die Daten an standardisierten Schnittstellen für Fahrzeugendgerätehersteller bereitzustellen.

### 3.1.3.3 Szenario 3: Stadt stellt Rohdaten bereit, Datenprovider ist verantwortlich für Datenveredelung, Qualitätsmanagement und Referenzierung

In diesem Rollenszenario besteht keine direkte Verbindung mehr zwischen Baulastträger und dem Hersteller der Fahrzeugendgeräte. Mit einem Daten- oder Service-Provider

besteht im Rollenmodell eine weitere Ebene, die die Vermittlung zwischen den Endgerätheherstellern und den Städten wahrnimmt. Der Service Provider übernimmt voll umfänglich die Aufgaben der Datenveredelung, des Qualitätsmonitorings sowie der Georeferenzierung der Daten. Die Aufgaben der Stadt bleiben ausschließlich auf die Datenbereitstellung und die Sicherstellung der Performanz dieses Prozesses beschränkt.

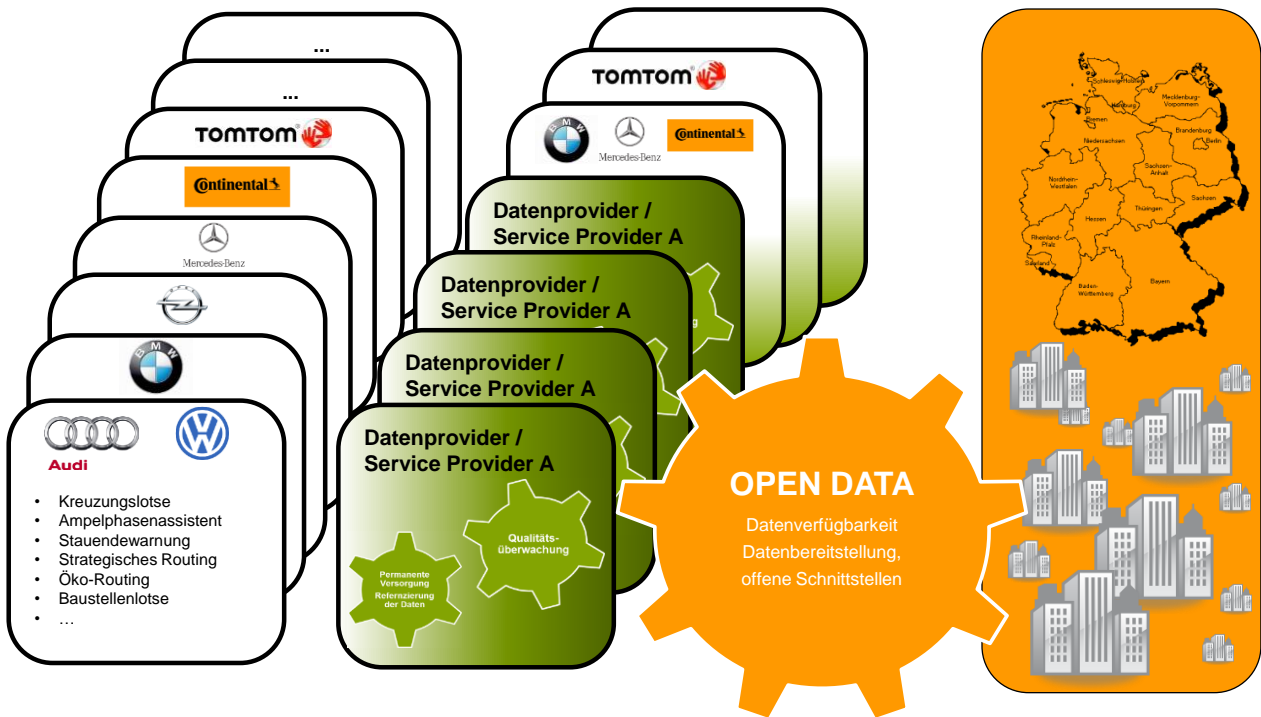


Abbildung 6: Szenario 3 zum Rollenverständnis im kooperativen Verkehrsmanagement (grün: privat, orange: kommunal)

Der Service Provider übernimmt für den Hersteller der Fahrzeugendgeräte die Aufgaben des Datensammlers. Er bezieht die Daten von mehreren Körperschaften und stellt dem Endgerätehersteller damit ein möglichst flächendeckendes Daten- und Serviceangebot zur Verfügung. Die Stadt bleibt in diesem Konstrukt als einer von mehreren Datenlieferanten bestehen. Dementsprechend ist auf der kommunalen Seite hier von einem reduzierten Personaleinsatz auszugehen. Die öffentliche Seite gibt ausschließlich Rohdaten (unveredelt, nicht referenziert, aber qualitätsüberwacht aus Sicht der kommunalen Teilsysteme) an den Service-Provider weiter. Die weitere Wertschöpfung obliegt dem Hersteller der Fahrzeugendgeräte bzw. dem Service- und Daten-Provider. In diesem Falle fungiert das kommunale System als reine Datenquelle.

### 3.1.3.4 Szenario 4: Autarker Daten- / Service-Provider, minimale Beteiligung der Stadt

Das letzte Szenario stellt ein Szenario mit minimaler Beteiligung der Städte dar. Wenn überhaupt gibt die öffentliche Seite hier ausschließlich Rohdaten (unveredelt, nicht referenziert, nicht QA-überwacht und auch keinerlei Latenzanforderungen unterworfen) an den Service Provider weiter.

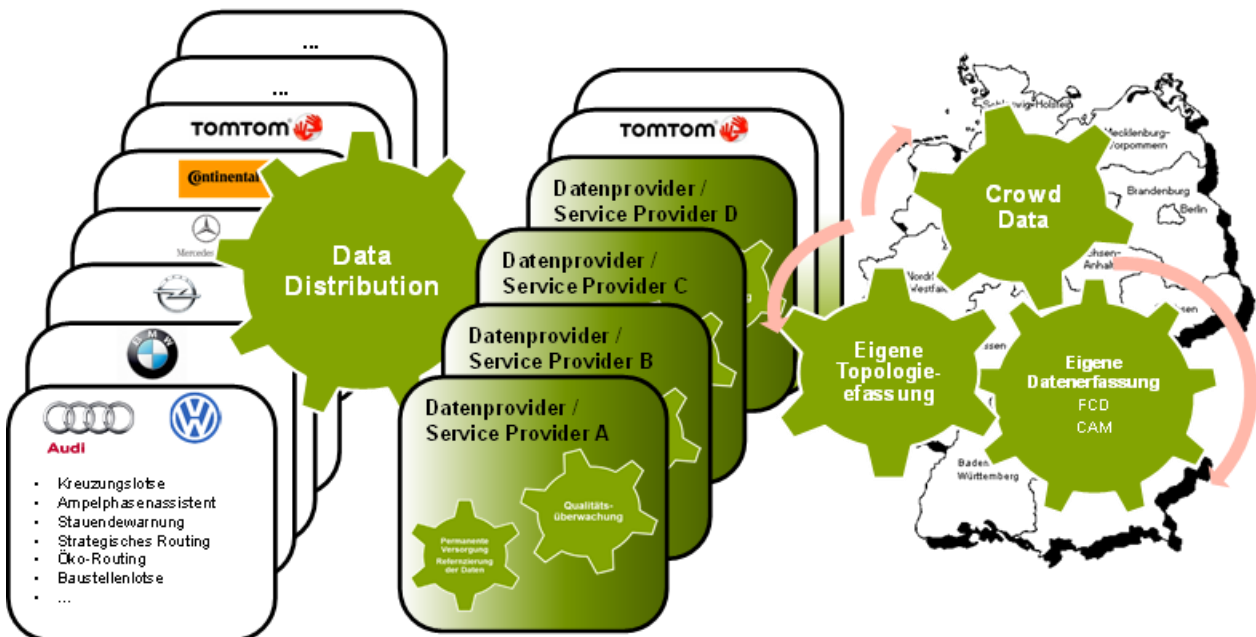


Abbildung 7: Szenario 4 zum Rollenverständnis im kooperativen Verkehrsmanagement (grün: privat)

Grundsätzlich arbeitet aber der Service-Provider von der öffentlichen Seite weitestgehend autark. Er erfasst sowohl die Topologien, als auch die fahrzeugseitigen Verkehrsdaten mit seinen eigenen Systemen unabhängig von der Kommune. Der Service Provider sammelt darüber hinaus Crowd Data und stellt diese seinen Kunden (Hersteller der Fahrzeugendgeräte) zur Verfügung. Dieses Rollenszenario bedeutet für die Kommune ein minimales bis nicht existentes Engagement. Als Beispiel hierzu kann die aus der fahrzeugseitigen Verkehrsdatenerfassung gewonnene dynamische Verkehrslage dienen. Hierbei kann die Kommune parallel zum Endgerätehersteller auch zu einem Kunden für den Datendienst werden. In der Wertschöpfung ist die Stadt aber nahezu nicht involviert.

## 3.2 Identifikation des eigenen Ausbauszustands

Die hier beschriebene Referenzarchitektur soll kommunalen Verwaltungen die Möglichkeit geben, den eigenen, derzeitigen Ausbauszustand zu beurteilen und darauf aufbauend die nötigen Anpassungen zur Einrichtung kooperativer Systeme abschätzen zu können

Um es dem Leser zu erleichtern, den Ausbauszustand eines städtischen Systems einzuordnen, werden die schematischen Darstellungen in verschiedene Cluster eingeteilt und entsprechend heruntergebrochen. Dies hat zum Ziel, darzustellen, welche kooperativen Applikation welche Basisfunktionen einer städtischen Verkehrssteuerung voraussetzen.

### 3.2.1 Vorgehen zur Erarbeitung einer Referenzarchitektur

Zur Unterstützung der weiteren Einführung von IVS sowie deren Harmonisierung und Interoperabilität sind in vielen Ländern Rahmenarchitekturen erarbeitet worden, die den „Umsetzungsrahmen für die Realisierung des IVS-Leitbildes und des Rahmenplans“ (Krüger 2013) liefern sollen. In diesem Kapitel werden der Stand der Technik sowie das Vorgehen zur Entwicklung der Referenzarchitektur beschrieben. Gleichzeitig werden für das Verständnis der Systemarchitektur notwendige Begriffe eingeführt.

Zunächst ist festzustellen, dass drei wesentliche Ebenen im Rahmen von Systemarchitekturen identifiziert werden können:

- Die funktionale Ebene beschreibt die Aufgaben und Funktionen des betrachteten Systems und kann auch als logische Ebene bezeichnet werden. Die Ebene beschreibt, was gemacht wird.
- Die organisatorische Ebene umfasst eine Beschreibung der verschiedenen Rollen und Zuständigkeiten und trifft damit Aussagen, wer etwas wann macht und welche Schnittstellen es zwischen den Beteiligten geben muss.
- Die technische Ebene umfasst beispielsweise die benötigte Hardware, Kommunikationsschnittstellen und eingesetzte Standards. Sie beschreibt damit, wie etwas gemacht wird.

Diese drei Ebenen sind eng miteinander verzahnt, sodass es vor einer Implementierung umfassender Planung bedarf, die auch Aspekte der zukünftigen Erweiterbarkeit mit einschließt. So ist das Finden gemeinsamer übergeordneter Ziele vor der Maßnahmenergreifung und Implementierung von Systemen von hoher Wichtigkeit, da sonst die Gefahr der Bildung von „Technologieinseln“ besteht, deren Systeme inkompatibel zueinander sind und somit notwendige Dienste nicht mehr durchgängig erbracht werden können. Um dem entgegenzuwirken wurden in der Vergangenheit bereits einige Projekte zur Findung einer IVS-Rahmenarchitektur im europäischen Raum gestartet.

IVS-Referenzarchitekturen dienen als Vorlage für die Implementierung einer realen Systemarchitektur und sind damit auf konkrete Anwendungsfälle spezialisiert. IVS-Referenzarchitekturen weisen einen weniger hohen Abstraktionsgrad auf als IVS-Rahmenarchitekturen, welche dazu dienen, bestehende und neue Referenzarchitekturen in einen übergeordneten Kontext einzuordnen.

In Deutschland existiert derzeit trotz zahlreicher Anstrengungen im Bereich des Einsatzes von IVS noch keine Rahmenarchitektur. Das Fehlen einer IVS-Rahmenarchitektur in Deutschland kann zum Teil auch auf die Existenz bereits etablierter IVS-Referenzarchitekturen und standardisierter Schnittstellen zurückzuführen sein. Als Beispiele seien MARZ (BASt 1999), TLS (BASt 2012), OCIT-O (ODG 2012) und OCIT-I (ODG 2009) im Bereich des motorisierten Individualverkehrs (MIV) oder DELFI (Schnittger/Henninger 2002) und VDV 453/454 (VDV 2013) im Bereich des öffentlichen Verkehrs (ÖV) genannt. Vor dem Hintergrund des Fehlens einer IVS-Rahmenarchitektur für Deutschland, wurde von der BASt das Forschungsprojekt „Entwicklung einer IVS-

Rahmenarchitektur Straße“ gestartet, in dem drei Referenzarchitekturen erarbeitet werden sollen, die konform mit der ebenfalls zu entwickelnden Rahmenarchitektur sind. Bei einer der Referenzarchitekturen handelt es sich um die „Referenzarchitektur Verkehrsinformation Individualverkehr (über alle Kommunikationswege inkl. C2X)“, welche an dieser Stelle besonders relevant wäre. Allerdings sind die Forschungsergebnisse erst deutlich nach Projektende von *UR:BAN* in 2017 zu erwarten.

Abbildung 8 zeigt das Zusammenspiel der einzelnen Konkretisierungsebenen und verdeutlicht so den Zusammenhang zwischen Rahmen- und Referenzarchitektur sowie den Architekturen realer Systeme. Das Vorgehen zur Erarbeitung und Beschreibung der Referenzarchitektur wird sich im Folgenden an dem entsprechenden FGSV Hinweispapier (FGSV 2012) orientieren. Das Schema einer Pyramidenform dient hierbei als Grundstruktur zur Beschreibung des „Zusammenhangs zwischen dem angestrebten Ziel und den dafür erforderlichen Semantiken, Methoden, Vereinbarungen und Techniken“.

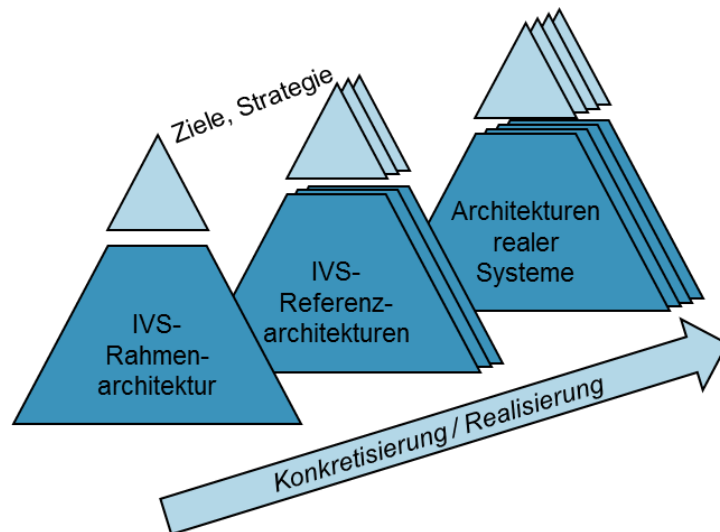


Abbildung 8: Zusammenspiel der einzelnen Konkretisierungsebenen nach (ebd.)

Abbildung 9 zeigt die horizontalen Ebenen der Pyramide, welche von der Rahmen- über die Referenzarchitektur zur Architektur eines realen Systems gemäß Abbildung 8 konkretisiert werden.



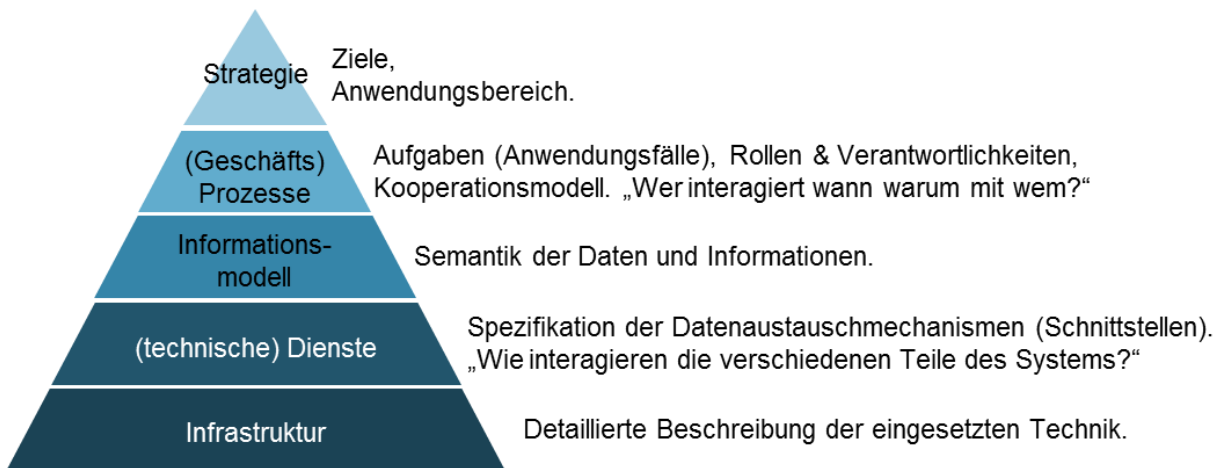


Abbildung 9: Pyramide als Grundstruktur für Gestaltungskontexte nach (ebd.)

Aufbauend auf dieser Grundstruktur werden im Folgenden die einzelnen Ebenen beschrieben. Während die oberste Ebene der Pyramide maßgeblich den funktionalen Aspekt betrachtet, beschreiben die Geschäftsprozesse den organisatorischen Aspekt der Referenzarchitektur. Die unteren Ebenen der Pyramide befassen sich dagegen vor allem mit der technischen Ebene der Referenzarchitektur.

## 3.2.2 **UR:BAN Referenzarchitektur zur Einführung kooperativer Systeme**

Im Folgenden wird die im Rahmen des Forschungsvorhabens *UR:BAN-VV* entwickelte Referenzarchitektur zur Einführung kooperativer Systeme in Kommunen vorgestellt. Hierbei ist zu beachten, dass Funktionen und Dienste, die nicht im Fokus des Forschungsprojekts liegen, nicht umfassend behandelt werden können. Eine spezielle Berücksichtigung von Systemen für den ÖPNV fehlt aus diesem Grund beispielsweise. Nichtsdestotrotz ist das Ziel dieses Dokuments, die Erkenntnisse zur Erstellung von Systemarchitekturen in einer abstrakten Form aufzubereiten, sodass sie auch über das Forschungsprojekt hinaus zur Anwendung kommen können.

### 3.2.2.1 **Strategie zur Einführung kooperativer Systeme**

Es ist sinnvoll, eine Architekturbeschreibung mit der funktionalen Sicht zu beginnen, da zunächst geklärt werden muss, welche Ziele und Strategien einem neuen System zugrunde liegen und erst im Anschluss auf organisatorische Aspekte und die technische Umsetzung eingegangen werden muss. Die übergeordnete Strategie der hier betrachteten Applikationen ist eine Steigerung von Verkehrseffizienz und -sicherheit sowie der Umweltverträglichkeit. Hierzu sollen kooperative Systeme eingesetzt werden, um Potentiale zu erschließen, die mit konventionellen Verkehrsbeeinflussungssystemen verschlossen blieben. Zwar werden im Rahmen des Forschungsvorhabens *UR:BAN-VV* 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.

### 3.2.2.2 Rollenmodelle und zugehörige Prozesse

Wie in Kapitel 3.1 beschrieben, müssen zur Einführung von kooperativen Systemen in einer Kommune verschiedene Interessengruppen, die unterschiedliche Rollen einnehmen, über ihren ursprünglichen Zuständigkeitsbereich hinaus zusammenarbeiten. Die Rollen im Rahmen dieser Referenzarchitektur umfassen:

- Kommune
- Hersteller Fahrzeugendgeräte (fest verbaut sowie mobile Endgeräte)
- Private Diensteanbieter
- Verkehrsteilnehmer

Im Rahmen eines kooperativen Verkehrsmanagementsystems können sowohl die Kommune und die Hersteller von Fahrzeugendgeräten als auch private Diensteanbieter aktiv am Verkehrsmanagement beteiligt sein. Natürlich erfolgt eine entsprechende Beteiligung im Rahmen der jeweiligen Befugnisse, woraus sich sehr unterschiedliche Zuständigkeiten für die jeweiligen Rollen ergeben. Dennoch kann ein abstrakter allgemeiner Prozess für die drei aktiven Rollen gefunden werden, der aus Datenerfassung, Datenverarbeitung, Aktivierung von Maßnahmen und dem Betrieb eines Dienstes oder einer Aktorik besteht. Abbildung 10 fasst die zuvor beschriebenen Rollen (grau), die Funktionen (blau) und den abstrakten Prozess (grün) zusammen.



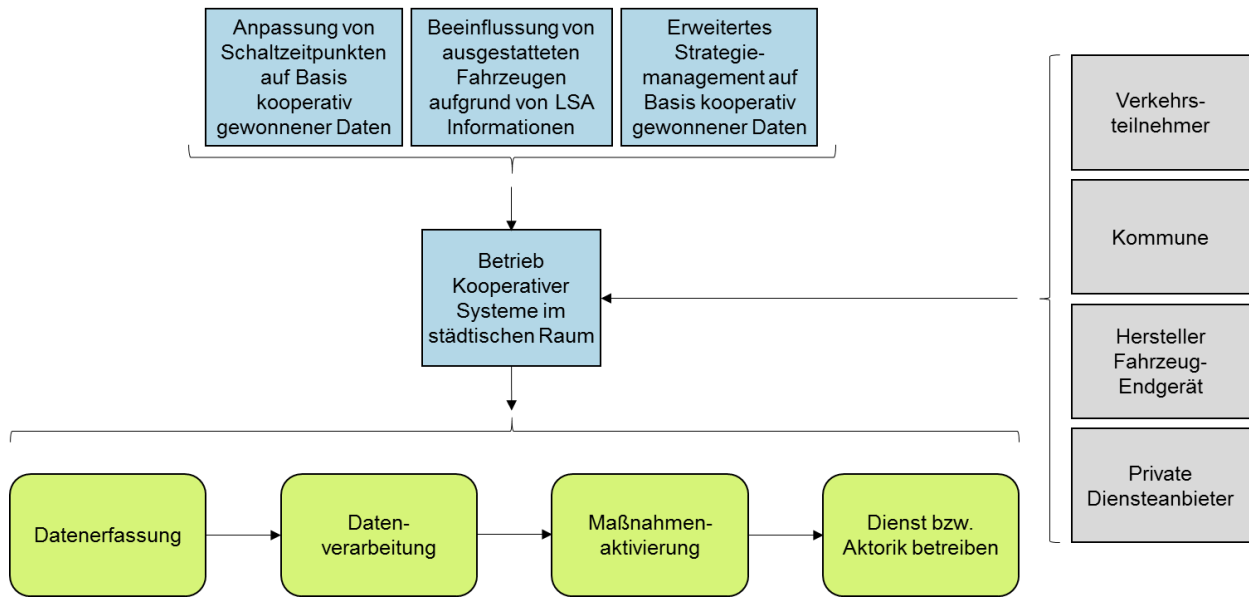


Abbildung 10: Rollen (grau), Funktionen (blau) und Prozess (grün)

Die Maßnahmen sind die jeweiligen Funktionen, die mittels des kooperativen Verkehrssystems dargestellt werden sollen und in der Regel einer Datenerfassung und -verarbeitung durch die verschiedenen beteiligten Interessengruppen benötigen. Um einen Überblick über die möglichen Teilprozesse im Zuständigkeitsbereich der verschiedenen Rollen zu geben, stellt Abbildung 10 diese beispielhaft und ohne Anspruch auf Vollständigkeit im Fokus des Vorhabens *UR:BAN-VV* dar. Hierbei wird bereits deutlich, dass sich einige der Teilprozesse überschneiden. So können beispielsweise Routineempfehlungen sowohl auf Seiten der Kommune generiert werden, als auch vom Hersteller der Fahrzeugendgeräte. Diese werden dann über die jeweilige Aktorik (kollektive Informationssysteme der Stadt bzw. individuelles Anzeigesystem im Fahrzeug) dargestellt. Eines der Teilziele des Forschungsvorhabens ist es, diese Empfehlungen kooperativ zu gestalten, also die individuelle Information mit der Datenbasis der Kommune abzustimmen. Auch die Erzeugung von Schaltzeit- und Haltepunktprognosen kann in unterschiedlichen Zuständigkeitsbereichen verortet sein. Während bei der prototypischen Umsetzung in *UR:BAN-VV* die Schaltzeitprognose für LSA in den Systemen der Kommunen selbst vorgenommen wird, ist in Zukunft auch eine Prognose durch private Diensteanbieter denkbar, die hierzu auf Detektordaten und LSA Daten der Kommune zurückgreifen.

Rolle	Datenerfassung	Datenverarbeitung	Maßnahmen	Dienst/Aktorik
Kommune	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stationäre Detektoren</li> <li>• Realisierte Schaltzeitpunkte von LSA</li> <li>• Erfassung von Parkplätzen öffentlicher Parkhäuser</li> <li>• Importieren und Aufbereiten von FCD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aggregieren und Speichern von Detektordaten</li> <li>• Ableitung von nötigen Maßnahmen</li> <li>• Erzeugen von Schaltzeit- und Haltepunktprognosen</li> <li>• Ermittlung von tatsächlich erzielter Koordination</li> <li>• Generierung von Verkehrsmeldungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Änderung von LSA Schaltzeitpunkten (durch Langzeitinformationen oder kurzfristig z.B. durch Lkw-Pulks oder Einsatzfahrzeuge)</li> <li>• Routingempfehlungen (ggf. antriebsadaptiv)</li> <li>• Überprüfung und Qualitätssicherung bestehender IVS Systeme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lichtsignalanlagen</li> <li>• Darstellung der Verkehrsinformation auf kommunaler Webseite</li> <li>• Routenempfehlungen oder Gefahrenwarnungen etc. auf kommunalen Infotafeln</li> <li>• kollektive Informationssysteme, wie z.B. die Landesmeldestelle oder der MDM</li> <li>• Parkleitsystem</li> </ul>
Hersteller Fahrzeugendgeräte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erfassung von Fahrzeugdaten (Position, Geschwindigkeit, Route, weitere Sensorik)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aggregieren der Daten und Weiterverarbeitung zu eigener Verkehrslageschätzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Routingempfehlungen (ggf. antriebsadaptiv)</li> <li>• Geschwindigkeitsempfehlungen bei Annäherung an LSA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anzeigesystem im Fahrzeug (integriert oder separates Gerät)</li> <li>• Eingriff in Fahrzeugführung (Fahrzeughersteller)</li> </ul>
Privater Diensteanbieter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erfassung von Parkplätzen öffentlicher Parkhäuser</li> <li>• Erfassung von Baustellen im Stadtbereich</li> <li>• Erfassung von Fahrzeug-Bewegungsdaten (z.B. zur Stauerkenntung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbereitung der Daten und Veredelung über Fusion mit Daten aus weiteren Quellen (z.B. städtische Detektordaten und Schaltzeitpunkte von LSA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informationsbereitstellung der erfassten bzw. veredelten Daten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meldungen über Webservices oder Rundfunk</li> </ul>

Tabelle 3: Beispiele für Datenerfassung, -verarbeitung, Maßnahmen und Dienste/Aktorik

### 3.2.2.3 Informationsmodell

Das in Abbildung 11 dargestellte Informationsmodell verdeutlicht die im letzten Abschnitt getroffenen Aussagen, indem es den Informationsfluss zwischen den einzelnen Prozessschritten und – im Rahmen von kooperativen Systemen besonders hervorzuheben – den einzelnen Interessensgruppen aufzeigt. Dabei sind die definierten Maßnahmen sowie die Daten mit Ausnahme von Detektor- und LSA-Daten bewusst außerhalb der Zuständigkeitsbereiche dargestellt, um die zuständigkeitübergreifende Nutzung der Daten zu verdeutlichen. Da im Rahmen von *UR:BAN-VV* sowohl zentralenbasierte, als auch knotenpunktbasierte Applikationen untersucht werden, ist es an dieser Stelle wichtig zu bemerken, dass das dargestellte Informationsmodell hiervon unabhängig ist. Das heißt, dass beispielsweise die Verarbeitung von Detektor- und LSA-Daten am Knotenpunkt selbst geschehen kann, aber auch innerhalb der Verkehrsmanagementzentrale. Auf die unterschiedlichen Lösungen wird erst im Rahmen der technischen Dienste und Infrastruktur in Abschnitt 3.2.2.4 eingegangen.

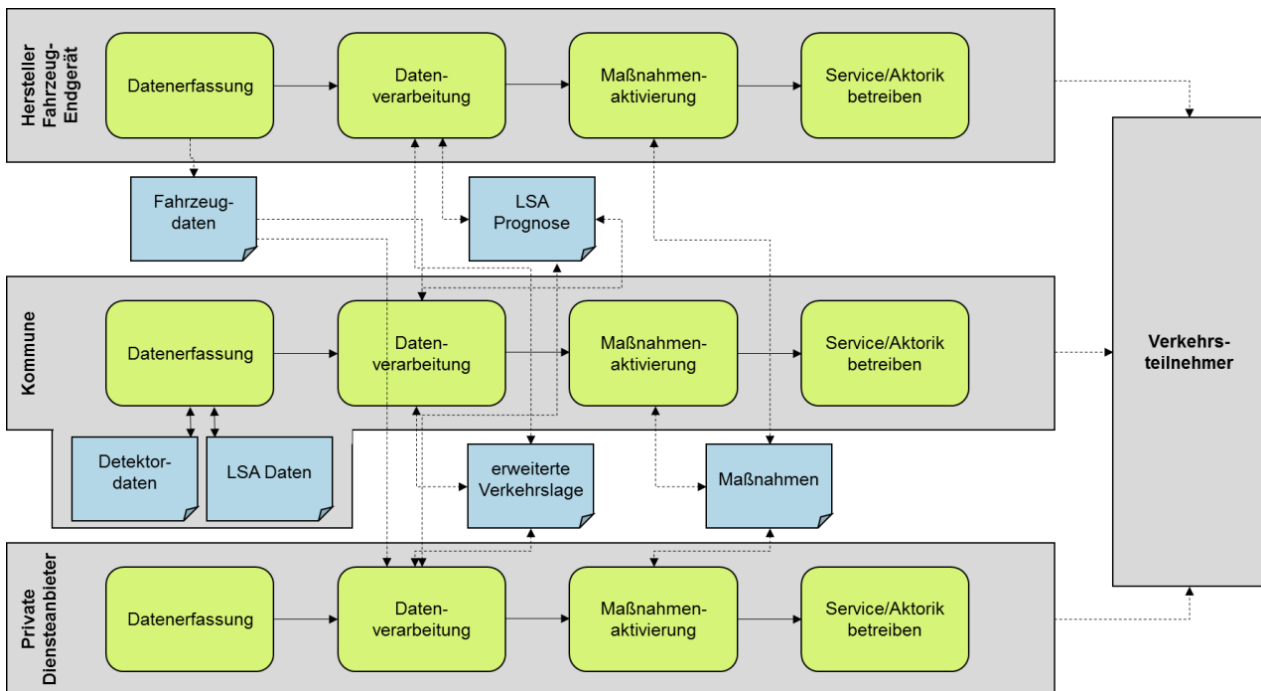


Abbildung 11: Informationsmodell

An dieser Stelle sei auch bemerkt, dass die Prognose von Schaltzeitpunkten und gegebenenfalls Haltepunkten hier als LSA Prognose zusammengefasst wird. In *UR:BAN-VV* wurden Applikationen entwickelt, die eine solche Prognose vornehmen. Im Vergleich zu anderen Applikationen, wie beispielsweise einem Assistenzsystem zur Annäherung an eine LSA, nimmt die LSA Prognose eine Sonderstellung ein. So ist deren unmittelbares Ergebnis für den Verkehrsteilnehmer zunächst nicht verwertbar. Erst durch geeignete Maßnahmen, wie der Darstellung der Information oder direkter Eingriffe ins Fahrzeug ergeben sich Wirkpotentiale. Ungeachtet dessen kommt der LSA Prognose als Hilfsfunktion ein hoher Stellenwert zu, da viele kooperative Systeme im städtischen Bereich auf künftige Schaltzeitpunkte von LSA und Rückstaulängen vor der LSA angewiesen

sind. Für eine Übersicht über konkrete Maßnahmen, die in diesem Forschungsvorhaben entwickelt wurden und welche Aktorik diese verwenden, sei auf Kapitel 3.3 verwiesen.

### 3.2.2.4 Technische Dienste und Infrastruktur

In diesem Abschnitt soll die technische Ebene der Referenzarchitektur beschrieben werden. Hierzu werden in den folgenden beiden Unterkapiteln die technischen Komponenten und die Schnittstellen zwischen diesen Komponenten in Kurzform erläutert. Abbildung 12 zeigt am Beispiel von Cluster 1 die technischen Komponenten und Schnittstellen, die im Folgenden dargestellt werden. Eine organisatorische Zuordnung sowie eine Abgrenzung zu den anderen Clustern erfolgt erst in Abschnitt 3.2.2.7. Für eine detailliertere Darstellung der in *UR:BAN-VV* verwendeten Systemarchitektur und Standards siehe Anhang A Kapitel „OCA und ODG-Standards“.

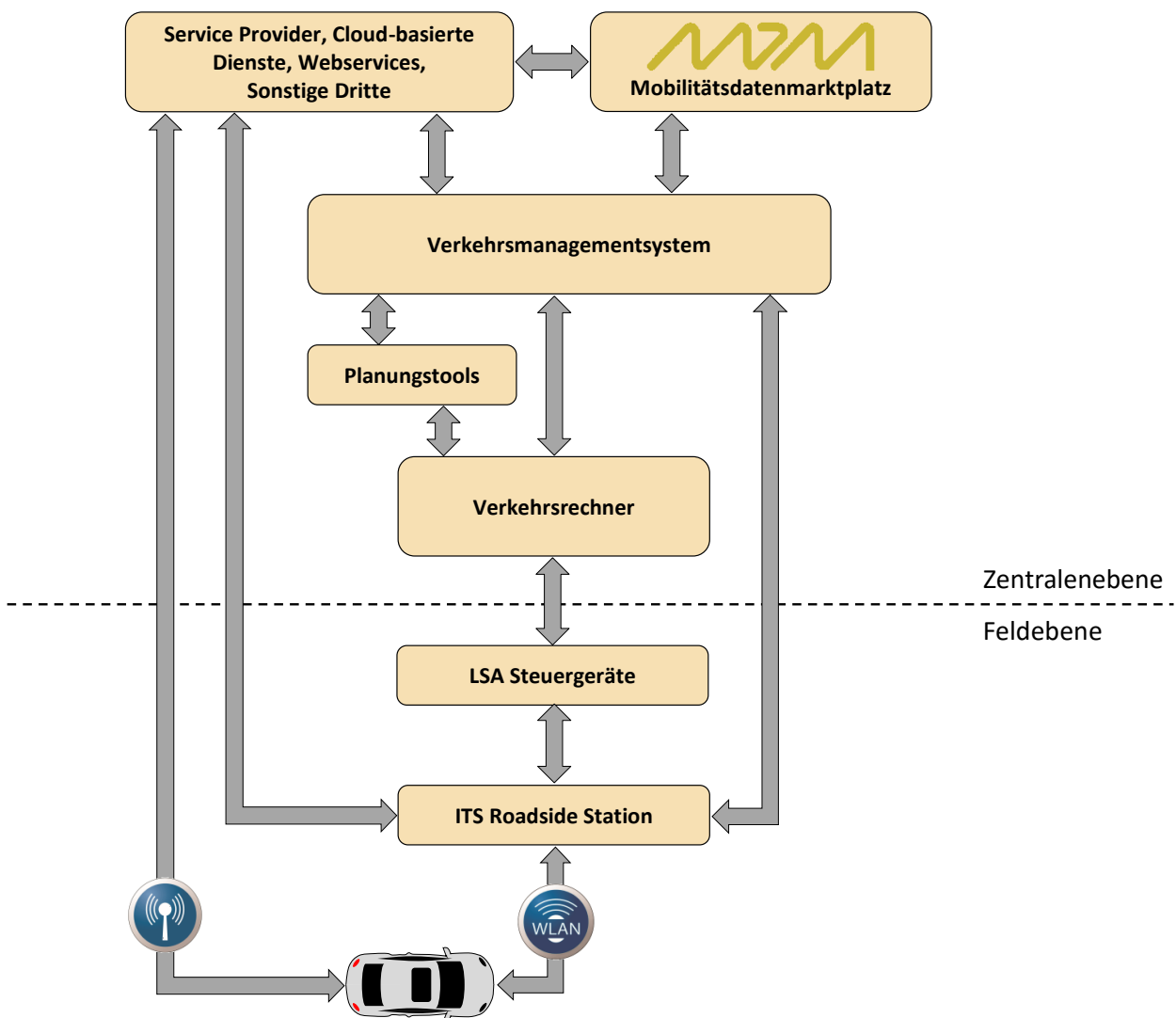


Abbildung 12: Technisch-organisatorische Systemarchitektur mit technischen Komponenten und Schnittstellen

#### 3.2.2.4.1 Kurzbeschreibung der Technischen Komponenten

##### ***Verkehrsmanagementzentrale (VMZ), ITS Central Station***

Unter Verkehrsmanagementzentrale wird eine, teilweise mit Operatoren besetzte, Zentrale verstanden, die der Überwachung und Steuerung des Verkehrs im Gebiet einer Stadt dient und in der ein Verkehrsmanagementsystem (VMS) mit Verkehrsmanagementapplikationen betrieben wird. Diese Anwendungen verknüpfen verschiedene Datenquellen (z.B. Verkehrsrechner, FC-Daten) und -senken (z.B. LSA-Steuerung, Infotafeln, Internet). Die Verkehrsmanagementapplikationen adressieren dabei Aufgaben wie das Management von verkehrlichen Strategien und verkehrlich relevanten Ereignissen, den Betrieb von intelligenten Netzsteuerungen sowie den manuellen, halbautomatischen oder automatischen Austausch von Informationen mit externen Systemen und Aufgabenträgern wie Feuerwehr, Polizei, Landesmeldestellen, fremden Baulastträgern, externen Dienstleistern, Parkleitsystemen, Videoüberwachung und anderen verkehrlich relevanten Systemen. Verkehrliche Daten werden dabei auf einen Netzgraph referenziert, so dass geographische Zusammenhänge in die Datenverarbeitung einfließen. Im Rahmen der Einführung von kooperativen Systemen ist im Falle eines zentralenbasierten Ansatzes die Verkehrsmanagementzentrale entsprechend auszustatten. Der Begriff IVS ist der Terminologie des ETSI entnommen.

##### ***Verkehrsrechner (LSA-Zentrale)***

Ein Verkehrsrechner zentralisiert Betriebsfunktionen, Überwachung und Bedienung der Lichtsignalanlagen einer Stadt. Er umfasst neben der Kommunikation zur Feldebene (LSA) grundlegende Funktionen wie Jahresautomatik, Koordinierung, manuelle Eingriffe, Betriebs- und Störungsüberwachung, eine Bedienoberfläche und einen Rohdatenserver. Daneben kann auch eine Makrosteuerung im Verkehrsrechner integriert sein. Der Verständlichkeit und Lesbarkeit halber wird in diesem Dokument der Begriff Verkehrsrechner genutzt. Es sei aber darauf hingewiesen, dass von der FGSV sowie der ODG der Begriff Lichtsignalsteuerungszentrale synonym verwendet wird.

Diese Funktionalitäten von Verkehrsrechner und Verkehrsmanagement können auch in einem gemeinsamen physikalischen System integriert sein (z.B. Verkehrsrechner mit Verkehrsmanagementfunktionalitäten), werden im Folgenden aber getrennt betrachtet.

##### ***Mobilitäts Daten Marktplatz (MDM)***

Der MDM ist ein von der BAST betriebenes, bundesweit nutzbares System. Es unterstützt die Geschäftsprozesse seiner Nutzer und erleichtert den effizienten Datenaustausch für Anwendungen und Dienste, die den Individualverkehr betreffen. Mobilitätsdienste privater Anbieter werden ebenso gefördert, wie das Mobilitäts- und Verkehrsmanagement der öffentlichen Straßenbetreiber. Der MDM ermöglicht mit seinem Internetangebot, der MDM-Plattform, das Anbieten, Suchen und Abonnieren von verkehrsrelevanten Online-Daten sowie die Verteilung der Online-Daten zwischen Datengebern und Datennehmern. Hierbei reicht die Plattform die von Datengebern angelieferten Da-

ten unverändert an die Datennehmer weiter. Weitere Informationen sind unter <http://www.mdm-portal.de/> zu finden.

### ***ITS Roadside Station (IRS)***

Eine ITS Roadside Station (IRS) ist eine straßenseitige verbaute Einheit. Sie besteht aus einer Kommunikationskomponente, Schnittstellen zu proprietären Systemen an der straßenseitigen Infrastruktur und einer Komponente, welche die eigentliche Anwendung beinhaltet. Die IRS kann sowohl im Steuergerät verbaut sein als auch eine separate Hardwarekomponente darstellen. Die IRS sammelt, verarbeitet und verteilt verkehrsrelevante Daten lokal an der Straße und übernimmt die Kommunikation zwischen straßenseitiger Infrastruktur und Fahrzeugen in der Umgebung der IRS. Exemplarisch seien hier LSA-Daten, Fahrzeugdaten (Position, Geschwindigkeit, Fahrtrichtung, etc.) oder auch Daten von Verkehrsbeobachtungssensoren und dem Verkehrsmanagement genannt (siehe auch Schnittstellen zwischen den Komponenten). Der Begriff IRS ist der Terminologie des ETSI entnommen. Die IRS ist auch unter dem Namen Roadside Unit (RSU) bekannt.

### ***ITS Vehicle Station***

Die ITS Vehicle Station ist eine fahrzeugseitig verbaute Einheit. Sie ist das fahrzeugseitige Gegenstück zur IRS (siehe ITS Roadside Station (IRS)). Sie besteht ebenfalls aus einer Kommunikationskomponente, Schnittstellen zu proprietären Systemen im Fahrzeug und den Komponenten, die die vorgesehenen Anwendungen wie beispielsweise Automations- / Fahrerinformationsfunktionen enthält.

### ***Planungstools***

Planungstools sind Softwarewerkzeuge für Entwicklung, Pflege und Verwaltung von LSA-Steuerungen und anderen längerfristigen Aufgaben. Dazu gehören z.B. ein Verkehrsingenieursarbeitsplatz, ein Baustellenmanagement und eventuell weitere Softwarekomponenten wie solche zur Zählwerterfassung oder zur Straßenmöblierung.

### ***Netzgraph***

Unter einem Netzgraph wird eine aus „Kanten“ (Straßenkanten) zusammengesetzte Abbildung eines Straßennetzes verstanden. Ein Netzgraph stellt keine flächige, sondern eine funktionale Abbildung dar. Kanten werden durch gerade oder gekrümmte Linien visualisiert und repräsentieren den Straßenverlauf. Sie können über „Knoten“ (in diesem Zusammenhang geometrische Punkte, an denen Kanten beginnen und enden) oder durch direkte Vorgänger-/Nachfolger-Beziehungen miteinander verknüpft sein.

Kanten haben typischerweise neben den Koordinaten ihrer Stützpunkte zusätzliche Attribute wie z.B. den Namen der zugehörigen Straße oder die Anzahl der Fahrspuren. Zusätzlich können dynamische Informationen damit verbunden werden, z.B. zur aktuellen Durchschnittsgeschwindigkeit. Ein Netzgraph, bei dem alle Vorgänger-, Nachfolger-

und Abbiegebeziehungen korrekt verknüpft sind, ist routingfähig, d.h. es ist möglich, zulässige Fahrtrouten von einem Start- zu einem Zielpunkt zu ermitteln.

#### **Steuergeräte**

Ein Steuergerät ist ein Feldgerät zur Steuerung von Aktoren, insbesondere LSA. Aus Sicht der Zentrale ist es der Ansprechpartner für die lokale Aktorik, Sensorik und Steuerungsentelligenz.

#### **Service-Provider, cloudbasierte Dienste, Webservices und Sonstige Dritte**

Die dargestellte Komponente fasst jegliche externe Diensteanbieter, cloudbasierte Dienste oder Datenbereitstellung via Webservices der Stadt zusammen. Außerdem beinhaltet sie sonstige Drittanbieter. Einheitliches Charakteristikum ist, dass die Stadt Informationen nach außen trägt bzw. Informationen von außen erhält. Diese Informationen wie z.B. Großevents und die damit einhergehenden Straßensperrungen oder Baustellen können mittels eigener städtischer Dienste angeboten werden oder an die Anbieter Web- und cloudbasierter Dienste übermittelt werden bzw. mit deren Hilfe weiter aufbereitet werden.

#### **3.2.2.4.2 Kurzbeschreibung der Schnittstellen zwischen den Komponenten**

Maßgeblicher Bestandteil kooperativer Systeme ist der Austausch von Informationen zwischen Fahrzeugen untereinander sowie zwischen Fahrzeugen und Infrastruktureinrichtungen. Die im Rahmen des Forschungsprojekts *UR:BAN-VV* entwickelten Systeme konzentrieren sich auf den Austausch von Informationen zwischen Fahrzeugen und Infrastruktureinrichtungen. Der Weiterleitung von Informationen zwischen verschiedenen technischen Komponenten kommt daher eine Schlüsselrolle zu. Die in den schematischen Darstellungen der Referenzarchitektur als Pfeile abstrahierten Schnittstellen sollen daher an dieser Stelle genauer erläutert werden. Für genauere Informationen zu Schnittstellen und Datenmodellen sei an dieser Stelle auf den – Standards, Schnittstellen und Datenmodelle verwiesen.

#### **Direkte Schnittstellen zwischen Fahrzeugen und Infrastruktureinrichtungen**

Direkte Schnittstellen zwischen Fahrzeugen und Infrastruktureinrichtungen dienen dem Austausch verkehrsrelevanter Daten und Informationen zwischen den Komponenten für knotenpunkt-basierte kooperative Anwendungen. Der Austausch geschieht über die sogenannte V2X Kommunikation nach dem geschützten Mobilfunkstandard IEEE 802.11p. *UR:BAN* verwendet aus diesem Protokoll folgende vier Nachrichtentypen:

#### CAM:

CAMs (Cooperative Awareness Message) enthalten aktuelle Zustandsdaten einer ITS Station (Fahrzeug / Infrastruktur). Die Nachricht informiert über die Präsenz der ITS-Station, die Position, grundlegende Eigenschaften und Zustandswerte. Alle ITS-Stationen, d.h. sowohl fahrzeugseitig als auch infrastrukturseitig, senden diese Daten



periodisch aus. Die Nachrichteninhalte sind zum Teil einheitlich festgelegt und zu einem anderen Teil je nach Stationstyp unterschiedlich. Jede Station sendet ihre aktuelle Position und ihren Stationstyp. Ein Fahrzeug sendet beispielsweise zusätzlich Informationen über den Fahrzeugtyp, seine aktuelle Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung. CAM Nachrichten sind standardisiert nach TS 102 637-2 V1.2.1 (ETSI 2011).

#### DENM:

DENMs (Decentralized Environmental Notification Message) sind Nachrichten, die Information zu genau einem ortsgebundenen Ereignis enthalten, z.B. über eine Baustelle, ein Stauende oder Einsatz- bzw. Gefahrenstellen. Die DENM Nachrichten sind durch standardisiert nach EN 302 637-3 V1.2.1 (ETSI 2014) und werden nur unter der Voraussetzung eines eintretenden Ereignisses generiert und versendet,

#### MAP/TOPO:

Dieser Nachrichtentyp enthält Informationen zur Topologie einer Kreuzung wie Haltlinien und Fahrstreifen. Dieser Nachrichtentyp ist nach J2735 standardisiert (SAE 2007). Inhaltlich mit den MAP Nachrichten vergleichbar sind die zum Teil auch synonym genannten TOPO Nachrichten, die vom ETSI beschrieben werden.

#### SPaT:

Die SPaT (Signal Phase and Timing) enthält Daten zum aktuellen Signalbild einer LSA sowie den erwarteten Umschaltzeitpunkt zur nächsten Phase. Dieser Nachrichtentyp ist nach J2735 standardisiert (ebd.).

Für genauere Informationen zu derartigen Schnittstellen sei an dieser Stelle auf das entsprechende Kapitel in Anhang A verwiesen.

### ***Schnittstellen über Mobilfunk***

Für die zentralenbasierten kooperativen Anwendungen kommen Schnittstellen über Mobilfunk zum Einsatz. Das Fahrzeug kommuniziert hierbei mit dem Backend seines Fahrzeugherstellers häufig über das Protokoll TPEG.

Für genauere Informationen zu TPEG sei auf den Anhang A.2.2 „Transport Protocol Experts Group – TPEG“ verwiesen.

### ***Schnittstellen zwischen kommunalen Systemen und externen Systemen***

Die Verbindung zu externen Systemen kann auf vielfältige Weise geschehen. Hierbei sind offene Standards anzustreben. Geht es um den regelmäßigen standardisierten Austausch von Verkehrsdaten, sollte der Weg über den MDM bevorzugt werden. Für den Betrieb von Webapplikationen und die Anbindung von Diensten ohne MDM-Schnittstelle können aber auch andere Schnittstellen erforderlich sein. Hierfür werden zunächst keine speziellen Standards empfohlen, da die Anwendungsbreite zu umfangreich ist.

#### ***Schnittstellen zwischen IRS und weiteren Infrastruktureinrichtungen***

Die IRS kann über entsprechende Schnittstellen mit weiteren Infrastruktureinrichtungen kommunizieren. Wichtigste Schnittstelle ist die zur LSA, über die der Signalstatus von der LSA an die IRS übermittelt wird. Über eine weitere Schnittstelle zur LSA kann das aktuelle Signalprogramm von der IRS beeinflusst werden. Zum Ende des *UR:BAN* Projektes sind hier keine standardisierten Lösungen verfügbar, in *UR:BAN* kamen daher proprietäre Lösungen der LSA-Lieferanten zum Einsatz.

Schnittstellen können auch zum Verkehrsmanagement und Verkehrsrechner bestehen, um Verkehrsmanagementdaten direkt auf der IRS zu verarbeiten und weiter an kreuzungsnahen Fahrzeugen zu senden. Umgekehrt können auch Daten von der IRS z.B. von den Sensoren, die direkt mit der IRS verbunden sind, an das Verkehrsmanagement übertragen werden. Geht es um den regelmäßigen standardisierten Austausch von Verkehrsdaten, sollte auch hier der Weg über den MDM bevorzugt werden.

#### ***Schnittstellen zwischen Steuergeräten und Verkehrsrechner***

Die Online-Schnittstelle zwischen Steuergeräten und Verkehrsrechner dient der Übertragung von Steuerungsbefehlen in die eine und von LSA-Daten in die andere Richtung. Für den Einsatz von kooperativen Applikationen für den Kreuzungsbereich in der Zentrale ist normalerweise die Übertragung von detaillierten LSA-Daten (insbesondere Signalfelder und Detektordaten) mit möglichst geringer Latenz erforderlich. Die gewählte Schnittstelle muss den entsprechenden Umfang des Datenmodells und eine schnelle ereignisorientierte Übertragung abdecken. Die Schnittstelle sollte herstellerunabhängig sein, um Steuergeräte verschiedener Hersteller gleichartig ansteuern zu können.

Die OCIT-O-Schnittstelle erfüllt diese Anforderungen, Die Version OCIT-O 3.0 erweitert die Schnittstelle künftig um die Übermittlung von Fahrzeugdaten. Das Datenmodell orientiert sich dabei an den ETSI Spezifikationen (CAM, DENM, MAP, SPaT). Ältere OCIT-O Versionen enthalten nur die Übertragung der reinen LSA-Daten. Für genauere Informationen zu diesem Standard siehe Kapitel „OCIT-O“ im Anhang.

#### ***Schnittstellen zwischen Verkehrsrechner und Verkehrsmanagementzentrale***

Die Online-Schnittstelle zwischen Verkehrsrechner und VMZ muss alle verkehrlich relevanten LSA-Daten inklusive des aktuellen LSA-Zustands mit möglichst geringer Latenz an die VMZ weiterleiten können. Umgekehrt müssen Schaltwünsche an den Verkehrsrechner übertragen werden können. Die Schnittstelle sollte herstellerunabhängig sein, um Verkehrsrechner und Applikationen verschiedener Hersteller gleichartig verbinden zu können.

Schnittstellen, die diese Anforderungen erfüllen, sind OTS 1 (OCIT-I), OTS 2 und OCIT-C. Die Datenmodelle der Schnittstellen enthalten aktuell die für kooperative Systeme benötigten Daten noch nicht in vollem Umfang, sind aber erweiterbar. OCIT-C 2.0 wird (passend zu OCIT-O 3.0) um die Übermittlung von Fahrzeugdaten erweitert. Für genauere Informationen zu diesem Standard siehe Kapitel „OCIT-C“ im Anhang.

### ***Schnittstellen zwischen Planungstools und Verkehrsrechner sowie Verkehrsmanagement***

Die Schnittstellen zu den Planungstools sind Offline-Schnittstellen, d.h. es werden nicht permanent dynamische Daten, sondern nur bei Bedarf (quasi) statische Daten ausgetauscht. Relevant für die kooperativen Applikationen in der Zentrale sind die Planungsdaten der LSA sowie verkehrsrelevante netzbezogene Informationen z.B. aus dem Baustellenmanagement.

Die an die Zentrale übergebenen LSA-Planungsdaten müssen alle relevanten Informationen zur Datenauswertung und Steuerung enthalten, also neben der LSA-Identifikation vorhandene Signalgruppen, Detektoren, ÖV-Meldepunkte und Signalprogramme. Die verwendete Schnittstelle sollte herstellerunabhängig sein, um Planungsdaten von Applikationen und Steuergeräten verschiedener Hersteller gleichartig austauschen zu können.

Die OCIT-I-VD-Schnittstelle (inzwischen im Rahmen von OCIT-C unter dem Namen „OCIT-C LSA-Versorgungsdaten“ weitergepflegt) erfüllt diese Anforderungen grundsätzlich, allerdings sind aktuell noch nicht alle in kooperativen Systemen benötigten Informationen enthalten. Eine Erweiterung ist für OCIT-C V2.0 geplant. LSA-Versorgungsdaten können damit als XML-Datei (oft OIVD-XML genannt) ausgetauscht oder über die Protokolle OCIT-I-VD-SP bzw. OCIT-C von einer Serverkomponente abgefragt werden.

### ***Schnittstelle zum Mobilitäts Daten Marktplatz***

Die Schnittstelle zum MDM dient dem standortübergreifenden Austausch von Verkehrsdaten. Sie ermöglicht den Bezug bzw. die Abgabe von verkehrlich relevanten Informationen über ein System von standardisierten Schnittstellen und Abonnement-Modellen. Der MDM ermöglicht einen einheitlichen Datenaustausch über einen zentralen Vermittler, so dass unabhängig von der Anzahl und Art der Datenquellen oder Abnehmer für eine Datenart lokal nur eine Schnittstelleninstanz implementiert werden muss.

### **3.2.2.5 Harmonisierung mit aktuellen und zukünftigen Kommunikationsarchitekturen**

Im folgenden Kapitel wird eine Übersicht über die Kompatibilität von verschiedenen Kommunikationsarchitekturen und die Übertragbarkeit von Anwendungen zwischen verschiedenen Architekturen gegeben. Als Grundlage dienen dabei Übertragbarkeitsbetrachtungen, welche die Kompatibilität der in *UR:BAN* entwickelten Anwendungen mit der im Forschungsprojekt CONVERGE entwickelten Systemarchitektur betrachten.

#### ***Kommunikationsarchitekturen***

Im Bereich ITS gibt es bisher keinen allgemeinen und expliziten Architekturansatz. In bisherigen Forschungsprojekten oder Umsetzungen in Städten ist die Architektur daher von den jeweiligen Voraussetzungen und Zielen abhängig.

CONVERGE erarbeitete die Definition einer gesamtheitlichen Systemarchitektur sowie Schnittstellen für einen offenen, verteilten, überregional/international vernetzenden, betreiberunabhängigen, skalierbaren, flexiblen, sicheren und hybrid kommunizierenden V2X-Systemverbund zur Interaktion zwischen unterschiedlichsten Diensteanbietern und Kommunikationsnetzbetreibern.

Im Gegensatz zu früheren Projekten stand nicht die Entwicklung oder der Test von Anwendungen im Bereich IVS im Vordergrund, sondern explizit die Entwicklung einer Gesamtarchitektur bezüglich der Kommunikation zwischen den Teilnehmern im IVS-Umfeld.

Dabei wird nicht nur die technologieübergreifende kommunikationstechnische Vernetzung von Fahrzeugen mit relevanten Informationsquellen berücksichtigt, sondern es werden auch Informationsanbieter mit einbezogen, die für den Betrieb von kooperativen Systemen des Intelligenten Verkehrs organisatorisch verantwortlich sind. Hierzu zählen die Betreiber von Verkehrsinfrastrukturen (insbesondere Städte bzw. Kommunen), Mobilfunknetzen und Netzen der Verkehrsinfrastruktur – sogenannten IRS-Netzen – sowie Fahrzeughersteller und IVS-Diensteanbieter. Über definierte Zugangspunkte können diese in den offenen und gesicherten Systemverbund integriert werden. Oberstes Ziel ist die dezentrale und dynamische Kopplung aller Systeme und Akteure über Ländergrenzen hinweg.

Eine Einbindung bestehender Möglichkeiten zur Vernetzung unterschiedlicher IVS Teilnehmer wie dem MDM ist dabei durch das Service-basierte Konzept explizit vorgesehen.

#### ***Datenmodelle***

Am Beispiel Ampelphasenassistent wurde ein Vergleich der auf unterschiedlichen Ebenen von IVS genutzten Standards bzw. Datenmodelle DATEX II, SPaT und TPEG TSI hinsichtlich der Inhalte und der verwendeten Datenmodelle durchgeführt (siehe Anhang A.5). Dieser hat gezeigt, dass diese kompatibel sind, es aber noch Feinabstimmungen erfordert um die Formate ineinander zu übertragen. Problematisch sind hierbei unterschiedliche Darstellungen von Informationen wie z.B. Fahrstreifen-Referenzierungen.

Die Übertragbarkeitsbetrachtungen der *UR:BAN* Anwendungen in den CONVERGE Systemverbund haben gezeigt, dass die Übertragung von entwickelten Anwendungen in eine zukünftige Architektur bzw. einen übergreifenden Gesamtsystemansatz möglich sind. Dies bedingt eine Nutzung existierender Standards bei der Definition der Schnittstellen sowie bei der Entwicklung der Anwendungen selbst.

### 3.2.2.6 Einordnung des Ausbauszustands des städtischen Systems

Die in den folgenden Abschnitten vorgestellten technisch-organisatorische Schemata der Referenzarchitektur dienen vor allem der Darstellung der technischen, aber auch der organisatorischen Zusammenhänge. Unter Umständen kann aber die Einordnung des vorliegenden städtischen Systems in die gegebenen Cluster für den Leser aufgrund abweichender tatsächlicher Umsetzung schwierig sein. Aus diesem Grund soll im vorliegenden Abschnitt eine Einordnung des Ausbauszustands des städtischen Systems basierend auf der funktionalen Sicht ermöglicht werden. Das heißt konkret, dass der Leser die Basisfunktionen in der nachfolgenden Tabelle daraufhin überprüfen kann, ob sie im betrachteten städtischen System vorliegen. Liegen alle Basisfunktionen vor, die einem der Cluster zugeordnet sind, so kann davon ausgegangen werden, dass das betrachtete städtische System diesem Cluster zuzuordnen ist. Zusammengefasst dient dieser Abgleich mit der untenstehenden Tabelle der Beantwortung der Frage: „Wenn das betrachtete städtische System folgende Funktionen bereits zur Verfügung stellt, welchem der Cluster ist es dann zuzuordnen?“

	Basisfunktion	Bedeutung	Cluster
Managementebene	Strategiemanagement durch Operatoren	Möglichkeit der Schaltung von Strategien durch einen Operator, hierzu Übersicht von geschalteten und möglichen Strategien. Unterstützung des Operators bei der Strategieauswahl. Vollautomatische bzw. halbautomatische (Eingriff von Operator notwendig) Schaltung von Alternativrouten.	C1
	Ereignismanagement	Das Ereignismanagement ermöglicht die übersichtliche und strukturierte Planung, Durchführung und Organisation von Ereignissen wie z.B. Baumaßnahmen oder Veranstaltungen auf einer EDV-Oberfläche durch einen Operator z.B. in Bezug auf verkehrliche und betriebliche Auswirkungen.	C1
Leitebene	Bereitstellung einer MDM-Schnittstelle	Bereitstellung einer Schnittstelle zum Import von Daten vom MDM bzw. zum Export von Daten an den MDM. Hierzu wird auch eine Datex-Engine benötigt.	C1
	Betrieb eines zentralen Verkehrsrechners	Ein Verkehrsrechner zentralisiert Betriebsfunktionen zur Überwachung und Bedienung der Lichtsignalanlagen einer Stadt. Er umfasst die Kommunikation zur Feldebene (LSA), grundlegende Funktionen wie Jahresautomatik, Koordinierung, manuelle Eingriffe, Betriebs- und Störungsüberwachung, eine Bedienoberfläche und einen Rohdatenserver, ggf. eine Makrosteuerung (z.B. Signalprogrammauswahl aufgrund von strategischer Detektion).	C1, C2
	Pflege eines Netzgraphen	Ein Netzgraph ist die Darstellung des Straßennetzes in digitaler Form eine Knoten-Kanten Datenmodells mit zusätzlichen Attributen wie z.B. Straßename, zul. Höchstgeschwindigkeit, DTV, Abbiegeverbote.	C1
	Georeferenzierungssystem	Erstellen und Umrechnen von Georeferenzen, Zuordnen und Abgleich von unterschiedlichen Georeferenzen auf unterschiedliche digitale Karten. Auch als Mapmatching-Tool bekannt.	C1
	Situations- und Störungserkennung	Automatisierte Erkennung von verkehrlichen und technischen Ereignissen (z.B. Stau, Unfälle, Ausfall von LSA)	C1
	Betrieb eines Versorgungsdatenservers	Zentrales Vorhalten der Versorgungsdaten mit Möglichkeit der Versorgung von LSA (z.B. gemäß OCIT-VD Standard)	C1, C2
	Adaptive Netzsteuerung	Anpassung der LSA Steuerung auf Netzebene zur flexiblen Anpassung von Koordinierungsrichtung, Grünzeitanteilen usw. im Netz. Häufig modellbasiert.	C1
Feldebene	Strategische Verkehrsdatenerfassung	Verkehrsdatenerfassung mittels stationärer Detektion an strategischen Stellen im Straßennetz. Ergänzend zur Verkehrsdetektion für LSA Anforderungen.	C1, C2
	Lokale verkehrabhängige LSA Steuerung (lokale VA, ggf. mit ÖV Priorisierung)	Anpassung der LSA Steuerung auf Knotenpunktebene, häufig regelbasiert mit halteliniennaher Anforderungsdetektion	C1, C2, C3

Tabelle 4: Basisfunktionen des städtischen Systems in unterschiedlichen Clustern



### 3.2.2.7 Geclusterte technisch-organisatorische Schemata

An dieser Stelle werden technisch-organisatorische Schemata der Referenzarchitektur vorgestellt und erläutert. Diese sollen den Aufbau eines kooperativen Gesamtsystems und die Verbindung zwischen den einzelnen Komponenten mittels Schnittstellen verdeutlichen. Bezugnehmend auf den vorherigen Abschnitt werden dabei verschiedene Schemata für unterschiedliche Cluster vorgeschellt, um eine direkte Einordnungsmöglichkeit für ein bestehendes System geben zu können.

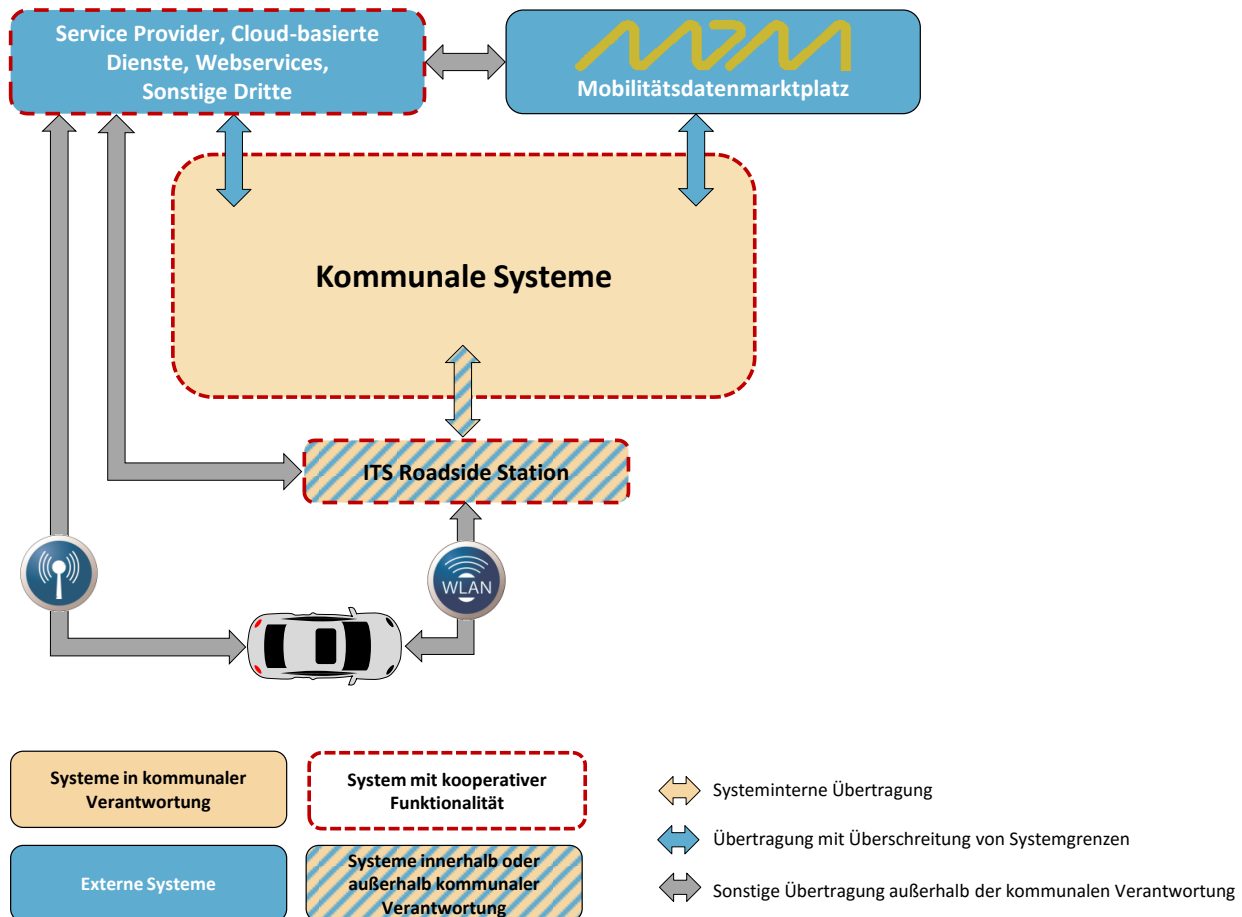


Abbildung 13: Technisch-organisatorische Systemübersicht

In Abbildung 13 wird eine Übersicht über das kooperative Gesamtsystem gegeben. Dabei sind die technischen Komponenten dargestellt und die Schnittstellen zwischen diesen, wobei die organisatorischen Aspekte über die Farbgebung dargestellt werden. Im Zentrum stehen die kommunalen Systeme für das Verkehrsmanagement, welche in den im Folgenden beschriebenen Clustern genauer aufgeschlüsselt werden. Die Kommunikation zwischen den kommunalen Systemen mit kooperativ ausgestatteten Fahrzeugen kann grundsätzlich über zwei Wege erfolgen:

- Bei zentralenbasierten Ansätzen erfolgt der Informationsaustausch mit dem Fahrzeug in der Regel über Mobilfunk. Über einen Service Provider, ein eigenes System der Stadt und gegebenenfalls unter Nutzung des MDM werden Daten



zwischen den Fahrzeugen und der Verkehrsmanagementzentrale der Kommune ausgetauscht.

- Bei knotenpunktbasierten (dezentralen) Ansätzen kommunizieren Fahrzeuge und Infrastruktureinrichtung dagegen direkt und im Normalfall über einen dedizierten WLAN-Standard. Das jeweilige Infrastrukturelement, z.B. eine LSA, muss zu diesem Zweck im Sinne einer IRS kooperativ ausgerüstet sein. Die IRS wiederum kann Daten gegebenenfalls direkt oder über den MDM an die kommunalen Systeme weiterleiten. IRS können im Steuergerät der LSA verortet sein, womit sie technisch und organisatorisch dem kommunalen System zuzuordnen wären. Es besteht aber auch die Möglichkeit der gesonderten Installation von IRS, welche dann unter Umständen nicht mehr im direkten kommunalen Verantwortungsbereich lägen. Aus diesem Grund sind die IRS und die entsprechende Schnittstelle in Abbildung 13 schraffiert dargestellt.

Beide vorgenannten Lösungen haben systemimmanente Vor- und Nachteile. So kann beim zentralenbasierten Ansatz durch den geringeren Aufwand bei der Ausstattung von Infrastruktur von einer schnelleren Durchdringung mit kooperativen Systemen ausgegangen werden. Der dezentrale Ansatz hingegen bietet Vorteile bei den erzielbaren Latenzzeiten und kann, wie später erläutert wird, auch Vorteile beim Ausbau haben. Zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Berichts hat sich noch keine der beiden Lösungen am Markt etablieren können und es ist wahrscheinlich, dass beide Lösungen bei einem künftigen Ausbau parallel existieren werden. Auch im Projekt *UR:BAN-VV* wurden in unterschiedlichen Teilprojekten beide Ansätze untersucht. Es ist an dieser Stelle hervorzuheben, dass funktional verwandte Lösungen mit beiden Ansätzen umsetzbar sein können. So liefern sowohl der in *UR:BAN-VV* entwickelte Kreuzungslotse, als auch der Grüne Welle Assistent bzw. der Verzögerungsassistent Hinweise zum optimalen Annähern an eine LSA. Während die erstgenannte Applikation dezentral umgesetzt ist, verfolgen die beiden letztgenannten Applikationen den zentralenbasierten Ansatz.

### 3.2.2.7.1 Systemarchitektur mit zentralem Verkehrsmanagement – Cluster 1

Im ersten Cluster, das in Abbildung 14 dargestellt ist, ist die Kommune mit einem zentralen System ausgestattet, welches Funktionen des Verkehrsmanagements bereitstellt. Dieses System kann in großen Großstädten in Form einer Verkehrsmanagementzentrale ausgebildet sein, welche durchgehend von Operatoren betrieben und überwacht wird. In kleinen Großstädten hingegen ist in der Regel kein dauerhafter Betrieb durch Operatoren vorgesehen. Der Verkehrsmanagementzentrale untergeordnet, ist ein Verkehrsrechner zum Betrieb von LSA installiert. Planungstools unterstützen beim Betrieb und der Versorgung von Verkehrsmanagementzentrale und Verkehrsrechner. Beim Vorhandensein dieses Clusters können kooperative Funktionen innerhalb des Verkehrsmanagements, über externe Service Provider oder im knotenpunktbasierten Fall über IRS realisiert werden. Dabei sollte, insbesondere im zentralenbasierten Fall, eine Kommunikation über den MDM angestrebt werden.

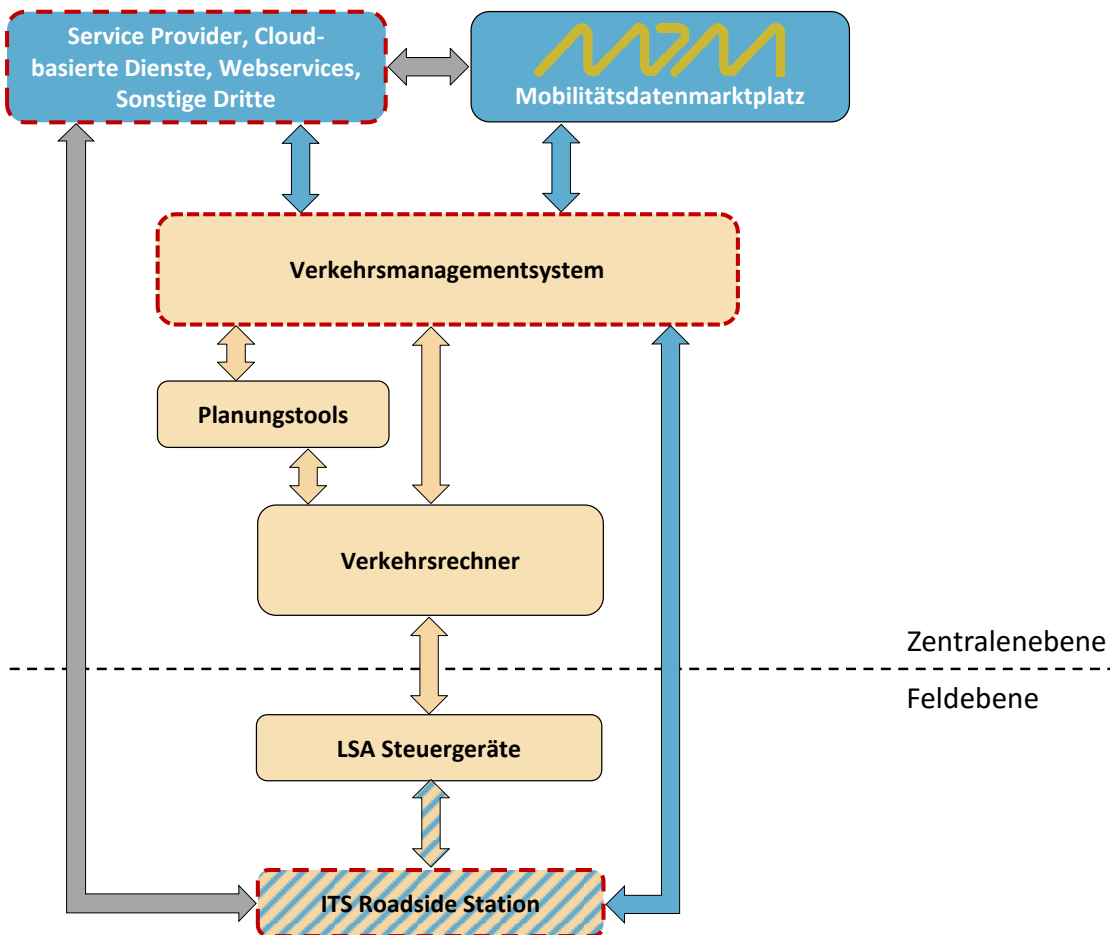


Abbildung 14: Technisch-organisatorische Systemarchitektur für Cluster 1

Beim dezentralen Ausbau ist die Anbindung der IRS maßgeblich. So kann diese direkt am LSA Steuergerät angebunden sein und damit auch dessen Kommunikationsschnittstellen nutzen. Es ist aber auch eine direkte Anbindung an die VMZ oder die zentrale Instanz eines Drittanbieters möglich.

### 3.2.2.7.2 Systemarchitektur ohne Verkehrsmanagementapplikationen – Cluster 2

Im zweiten Cluster, das in Abbildung 15 dargestellt ist, ist die Kommune mit einem zentral betriebenen Verkehrsrechner zum Betrieb von LSA ausgestattet. Planungstools unterstützen beim Betrieb und der Versorgung des Verkehrsrechners. Im Unterschied zum ersten Cluster finden sich keine Verkehrsmanagementapplikationen. Dieses Cluster ist damit vor allem kleineren Großstädten und Mittelstädten zuzuordnen. Beim Vorhandensein dieses Clusters können kooperative Funktionen über externe Service Provider oder im knotenpunktbasierten Fall über IRS realisiert werden. Die verfügbaren Daten kooperativer Fahrzeuge bzw. die kooperativen Services von Drittanbietern können bei der Planung mit Hilfe von Planungstools unterstützen, sind jedoch nicht im Sinne einer online Verkehrsmanagementapplikation zu verstehen. Beim dezentralen Ausbau kann besonders die direkte Anbindung der IRS an die LSA Steuergeräte interessant sein. So können auch ohne das Vorhandensein von zentralen Verkehrsmanagementfunktionen kooperative Funktionen im Kreuzungsbereich ermöglicht werden. Aber auch diese Lösung bedingt einen entsprechenden Aufwand zur zeitnahen Konsistenzsicherung der Daten.

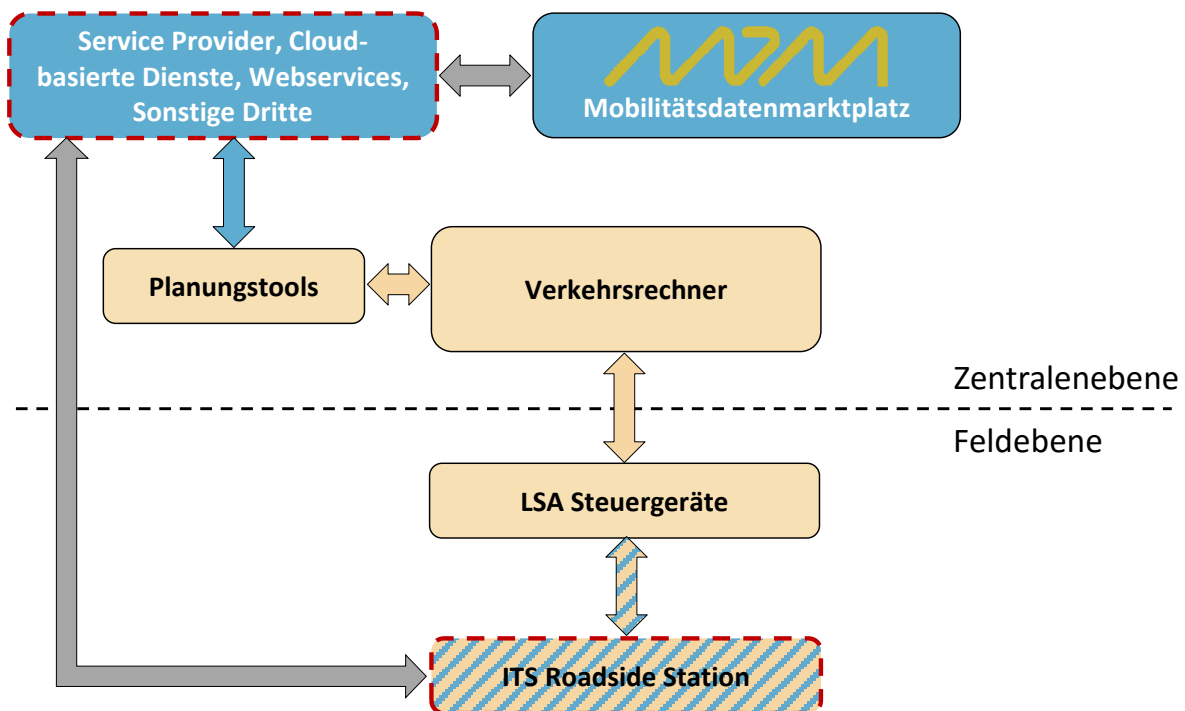


Abbildung 15: Technisch-organisatorische Systemarchitektur für Cluster 2

### 3.2.2.7.3 Systemarchitektur ohne Verkehrsrechner – Cluster 3

Im dritten Cluster, das in Abbildung 16 dargestellt ist, ist keine zentrale Einheit zum Betrieb der Verkehrsinfrastruktur vorhanden. Dies ist der maßgebliche Unterschied zu den zuvor genannten Clustern. Das dritte Cluster ist damit vor allem Mittel- und Kleinstädten zuzuordnen. LSA werden in diesem Fall beispielsweise rein lokal versorgt und betrieben, wobei Planungstools unterstützen. Die in Abbildung 16 dargestellte Schnittstelle zwischen Planungstools und LSA Steuergeräten wird in der Umsetzung durch spezifische Anwendungen des Herstellers oder einen Versorgungsdatenserver hergestellt. Beim Vorhandensein dieses Clusters können kooperative Funktionen über externe Service Provider oder im dezentralen Fall über IRS realisiert werden. Die verfügbaren Daten kooperativer Fahrzeuge bzw. die kooperativen Services von Drittanbietern können bei der Planung unterstützen, sind jedoch nicht im Sinne einer online Verkehrsmanagementapplikation zu verstehen. Beim dezentralen Ausbau kann besonders die direkte Anbindung der IRS an die LSA Steuergeräte interessant sein. So können auch ohne das Vorhandensein von zentralen Verkehrsmanagementfunktionen kooperative Funktionen im Kreuzungsbereich ermöglicht werden.

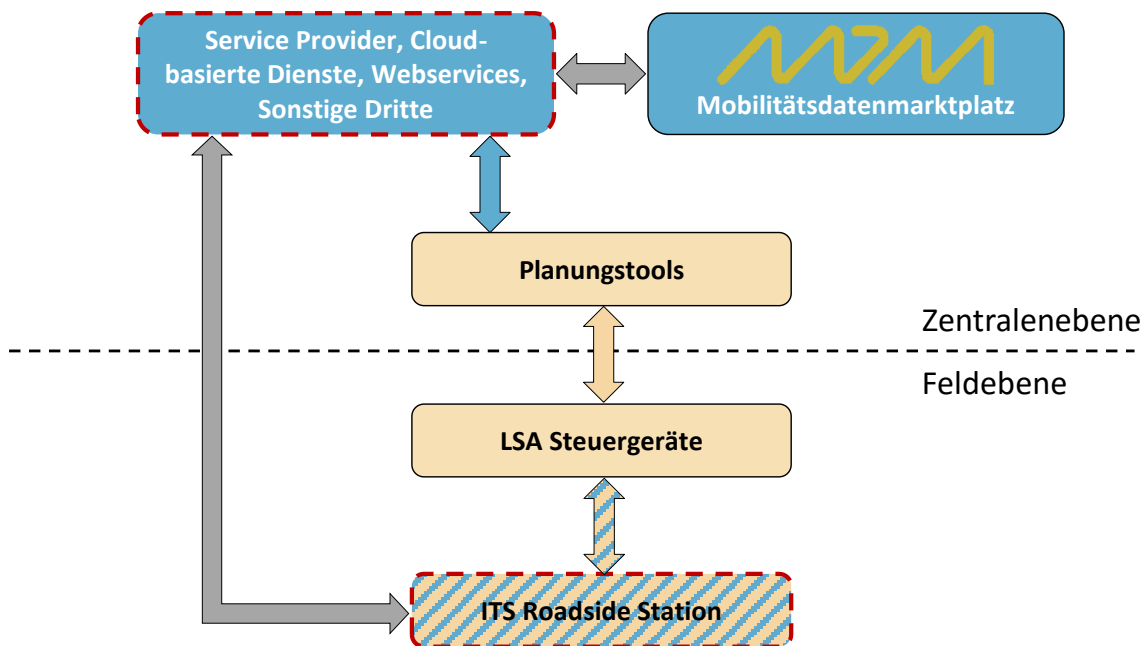


Abbildung 16: Technisch-organisatorische Systemarchitektur für Cluster 3

### **3.3 UR:BAN-VV Applikationen und deren Zuordnung zur Referenzarchitektur**

In diesem Abschnitt werden die einzelnen in *UR:BAN-VV* entwickelten Applikationen vorgestellt. Neben einer knappen Erläuterung der Funktionsweise der jeweiligen Applikation werden die spezifischen Anforderungen an die vom kommunalen System bereitzustellenden Funktionen genannt. Außerdem wird die von der Applikation verwendete Aktorik benannt, womit übertragen auf den Abschnitt 3.2.2 den Maßnahmen (hier: „Applikationen“) die entsprechende Aktorik zugeordnet wird. Dieser Abschnitt zielt darauf ab, dem Leser die mögliche kooperative Applikationen vorzustellen und sich anhand der benötigten Basisfunktionen und -dienste bewusst zu machen, welche Grundvoraussetzungen von städtischer Seite für die jeweiligen Applikationen notwendig sind. Außerdem werden konkrete Anpassungen, die für die Einführung der kooperativen Applikation nötig sind, angeführt. An dieser Stelle sei erwähnt, dass die Funktionen prototypisch umgesetzt wurden und zum Teil auf Seiten der Algorithmik oder der Entwicklung von Schnittstellen noch Forschungs- und Definitionsbedarf besteht.

#### **3.3.1 Knotenpunktbasierte kooperative Applikationen**

Die in *UR:BAN-VV* entwickelten Applikationen, die das städtische System betreffen und einen knotenpunktbasierten Charakter haben werden im Folgenden kurz dargestellt. In tabellarischer Form wird zunächst die grundlegende Funktionsweise erläutert. Daraufhin werden die vorausgesetzten Basisfunktionen sowie notwendige Änderungen am städtischen System aufgezeigt. Durch den knotenpunktbasierten Charakter der Applikationen sind sie prinzipiell allen Clustern zuzuordnen, die in Abschnitt 3.2.2.7 beschrieben sind.

### Kreuzungslotse

Die Assistenzfunktionen des Kreuzungslotsen ermöglichen ein effizientes Fahren im Umfeld von LSA-geregelten Kreuzungen. Mit Informationen über LSA-Phasen, Kreuzungstopologie, andere Fahrzeuge und ggf. Störungen und Rückstau werden Assistenzfunktionen realisiert und/oder durch Fahrempfehlungen umgesetzt, welche z.B. das Einfahren, Starten oder Halten optimieren sollen. Außerdem ist eine Assistenz für Sondereinsatzfahrzeuge (SEF) implementiert, die dem SEF freie Fahrt durch die Kreuzung ermöglichen soll.

#### Basisfunktionen

<u>optional</u> : Betrieb eines Verkehrsmanagementsystems	Schnittstelle zum zentralen Verkehrsmanagement für zusätzliche verkehrsrelevante Daten
---	--

#### Erweiterungen des städtischen Systems

Betrieb eines kooperativ ausgestatteten Knotenpunkts (IRS)	Geo-Referenzierungen im Steuergerät/ IRS-Station. Schnittstelle zu LSA für Beeinflussung der Steuerung IEEE 802.11p Schnittstelle für V2X Kommunikation zwischen IRS und Fahrzeug
--	---

<u>optional</u> : lokale Sensorik an IRS	Weitere Umgebungsdaten von der Kreuzung
--	---

#### Verwendete Aktorik

Beeinflussung der LSA-Steuerung durch IRS für Sondereinsatzfahrzeuge  
Fahrzeugseitig: Anzeige von Fahrempfehlung, Beeinflussung der Längsführung des Fahrzeugs bei (teil-) automatisiertem Fahren.

### Kooperative ÖPNV-Bevorrechtigung

Die Applikation Kooperative ÖPNV-Bevorrechtigung verringert die Wartezeiten für ÖPNV-Fahrzeuge an der smarten Kreuzung. Dazu wird das ÖPNV-Fahrzeug mithilfe von V2X-Kommunikation frühzeitig erkannt, sein genauer Ankunftszeitpunkt am Knotenpunkt prognostiziert und die LSA-Steuerung entsprechend angepasst. Dabei werden, soweit verfügbar, auch zusätzliche situationsbezogene Informationen wie die Verkehrslage oder die Verspätung des ÖPNV-Fahrzeugs berücksichtigt, um eine für den Gesamtverkehr verträgliche LSA-Steuerung zu gewährleisten.

#### Erweiterungen des städtischen Systems

Betrieb eines kooperativ ausgestatteten Knotenpunkts (IRS)	Schnittstelle zu LSA für Beeinflussung der Steuerung IEEE 802.11p Schnittstelle für V2X Kommunikation zwischen IRS und Fahrzeug
--	--

#### Verwendete Aktorik

Beeinflussung der LSA-Steuerung durch IRS

Automatisches Qualitätsmanagement für LSA	
<p>Die Applikation wertet die Statusnachrichten aus, die von kooperativen Fahrzeugen im Knotenpunktumfeld versendet werden. Ziel ist es, die Qualität der LSA-Steuerung zu analysieren und mögliche Mängel aufzudecken. Dazu werden verkehrliche Kenngrößen wie die von der LSA verursachten Wartezeiten, Verlustzeiten oder die Anzahl der Halte bestimmt und mit den Planungsgrößen verglichen.</p>	
Erweiterungen des städtischen Systems	
<p>Betrieb eines kooperativ ausgestatteten Knotenpunkts (IRS)</p>	<p>Schnittstelle zu LSA IEEE 802.11p Schnittstelle für V2X Kommunikation zwischen IRS und Fahrzeug</p>
Verwendete Aktorik	
<p>Die Qualitätsverläufe liegen auf der IRS in einer SQL-Datenbank vor. Sie können mit entsprechender Berechtigung von der IRS heruntergeladen und mit gängigen SQL-Tools ausgewertet werden.</p>	

Radfahrer-Schutzeinrichtung	
<p>Die Applikation soll gerade Fahrradfahrer vor Kollisionen mit anderen Fahrzeugen schützen. Radfahrer und abbiegende Kraftfahrzeuge haben häufig zur gleichen Zeit „grün“ durch die entsprechende LSA (bedingt verträgliche Signalisierung). Je nach Wegverlauf besteht die Gefahr der Kollision. Die Radfahrerschutzeinrichtung soll bei Konfliktgefahr warnen, und so eine hohe Akzeptanz des Systems bei allen Verkehrsteilnehmern bewahren. Der Radfahrer wird entweder über Radarsensorik oder durch eine entsprechende Applikation auf seinem Smartphone detektiert.</p>	
Erweiterungen des städtischen Systems	
<p>Betrieb eines kooperativ ausgestatteten Knotenpunkts (IRS)</p>	<p>Schnittstelle zu LSA IEEE 802.11p Schnittstelle für V2X Kommunikation zwischen IRS und Fahrzeug IEEE 802.11n Schnittstelle für Radfahrerdetektion über Smartphone Schnittstelle zu Umfeldsensorik für Radfahrerdetektion</p>
<p>Umfeldsensorik</p>	<p>Radarsensorik für Radfahrereurten</p>
Verwendete Aktorik	
<p>Fahrzeugseitig: akustische oder visuelle Anzeige (akustisch oder visuell)</p>	



### Kooperative Schutzeinrichtung Intelligenter Leitkegel/Pylon

Die Kooperative Schutzeinrichtung (KSE) (Intelligenter Leitkegel/Pylon) stellt situationsgerechte, zeitnahe und ortsgenaue Informationen und Warnungen über Störungen und Gefahrenstellen zur Verfügung. Dies geschieht, indem der Leitkegel seine Position über Mobilfunk an die IRS sendet. Dadurch ist in der IRS die Position von z.B. Absperrungen bekannt, die durch diese Leitkegel markiert sind und kann entsprechende Informationen an kooperative Fahrzeuge oder aber auch an das Verkehrsmanagement weiterleiten.

#### Erweiterungen des städtischen Systems

Betrieb von Intelligenen Leitkegeln	Leitkegel mit GPS-Empfänger zur Positionsbestimmung und Mobilfunksender zur Kommunikation
Betrieb eines kooperativ ausgestatteten Knotenpunkts (IRS)	IEEE 802.11p Schnittstelle für V2X Kommunikation zwischen IRS und Fahrzeug IEEE 802.11n Schnittstelle für Kommunikation mit dem Leitkegel <u>optional</u> : MDM Schnittstelle zur Meldung der Absperrung

#### Verwendete Aktorik

Anpassung der versendeten Kreuzungstopologie  
Fahrzeugseitig: Anzeige der Sperrung

### 3.3.2 Zentralenbasierte kooperative Applikationen

Die in *UR:BAN-VV* entwickelten Applikationen, die das städtische System betreffen und einen zentralenbasierten Charakter haben werden im Folgenden kurz dargestellt. In tabellarischer Form wird zunächst die grundlegende Funktionsweise erläutert. Daraufhin werden die vorausgesetzten Basisfunktionen sowie notwendige Änderungen am städtischen System aufgezeigt. Durch den zentralenbasierten Ansatz der Applikationen sind sie maßgeblich dem Clustern 1 zuzuordnen. Die Cluster sind in Abschnitt 3.2.2.7 beschrieben.

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 Versorgungsdbservers	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	

### Prognose der Haltepunkte und Haltedauern

Ermittlung der individuellen Haltepunkte und Haltedauer von Fahrzeugen vor Lichtsignalanlagen im Sekundentakt. Aus der infrastrukturseitigen Verkehrslage- und Rückstauschätzung der Lichtsignalanlage und der fahrzeugseitigen Positionsmeldung werden für jedes Fahrzeug der Haltepunkt und die Standdauer errechnet.

#### Basisfunktionen

Georeferenzierungssystem	Referenzierung von Signalgruppeninformationen (Idealfall direkte Anbindung an das Planungstool)
Pflege eines Netzgraphen	Netzgraph mit Knotenpunkttopologien notwendig
Betrieb eines Versorgungsdienstervers	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

### Grüne Welle-Qualitätsmanagement

Mit dem Grüne-Welle-Qualitätsmanagement können beliebige Streckenzüge auf die erreichte Qualität von LSA-Koordinierungen hin untersucht werden. Das Lokalisieren mit dem Ziel der Behebung von Defiziten in der Signalisierung von LSA sind Bestandteil des Qualitätsmanagements. Auch das Auffinden von nicht geplanten Grünen Wellen wird mit dem Tool möglich. Mit Hilfe der FCD-Events ist eine wesentlich verbesserte Analyse möglich.

#### Basisfunktionen

Bereitstellung von online Prozessdaten der angebotenen LSA	Abfrage der LSA-Prozessdaten für die Analyse
Pflege eines Netzgraphen	Geoinformationen
<u>optional</u> : Bereitstellung einer MDM-Schnittstelle	Verarbeitung von ereignisorientierten Fahrzeugdaten (FCD-Events) mittels Import über MDM. Referenzierung der FCD-Events (Stops vor der Haltlinie und Haltlinienüberfahrten zur verbesserten Analyse) auf Netzgraph.

#### Verwendete Aktorik

Browserbasierte grafische Nutzeroberfläche zur Darstellung der erreichten Koordinierung

Antriebsartadaptives Strategiemangement	
<p>Beim antriebsartadaptiven Strategiemangement wird je nach Antriebskonzept des Fahrzeuges (Verbrennungsmotor/Elektromotor) die jeweils verbrauchsärmste Route ermittelt. Diese Berechnung basiert auf der Anzahl der Bremsvorgänge (Stopps) und einer Verbrauchsmatrix, welche für unterschiedliche Antriebe zur Verfügung steht. Die Weitergabe dieser Routenempfehlung erfolgt über den MDM.</p>	
Basisfunktionen	
Strategiemangement durch Operatoren	<p>Möglichkeit der Schaltung von Strategien durch einen Operator, hierzu Übersicht von geschalteten und möglichen Strategien. Unterstützung des Operators bei der Strategieauswahl. Vollautomatische bzw. halbautomatische (Eingriff von Operator notwendig) Schaltung von Alternativrouten.</p>
Pflege eines Netzgraphen	<p>Ein Netzgraph ist die Darstellung des Straßennetzes in digitaler Form eine Knoten-Kanten Datenmodells mit zusätzlichen Attributen wie z.B. Straßename, zul. Höchstgeschwindigkeit, DTV, Abbiegeverbote.</p>
Bereitstellung einer MDM-Schnittstelle	<p>Export: Weitergabe dieser Routenempfehlung erfolgt über den MDM an Fahrzeugendgerätehersteller. Import: Anzahl der Bremsvorgänge (Stopps), welche aus FC-Daten generiert und über den MDM importiert werden.</p>
Verwendete Actorik	
<p>Grafische Nutzeroberfläche beim Operator Fahrzeugseitig: Darstellung über antriebsartspezifisches Navigationssystem</p>	

### 3.3.3 Cloudbasierte Systeme

Die in *UR:BAN-VV* entwickelten Applikationen, die das städtische System betreffen und einen cloudbasierten Ansatz aufweisen, werden im Folgenden kurz dargestellt. In tabellarischer Form wird zunächst die grundlegende Funktionsweise erläutert. Außerdem werden zwingende Basisfunktionen zum Betrieb sowie optionale Basisfunktionen zur verbesserten Funktion der entsprechenden Applikation genannt. Der cloudbasierte Ansatz dieser Applikationen gestattet eine Zuordnung zu den Clustern 1 bis 3. Die Cluster sind in Abschnitt 3.2.2.7 beschrieben.

**Car2X-Auswertemodul**

Das Car2X-Auswertemodul ermittelt verkehrliche Kenngrößen wie z.B. die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit im Zulauf auf einer Lichtsignalanlage und stellt sie graphisch dar. Die Aktualisierung kann im 5, 15, 30 oder 60 Minuten-Intervallen erfolgen. Die Berechnung der Kenngrößen erfolgt auf Basis von Daten, welche vom Fahrzeug an einen mit V2X-Technologie ausgestatteten Knotenpunkt übertragen werden und dann an den Server des Car2X-Auswertemoduls übertragen werden. Auch Nachrichten wie SPaT, falls diese vom Knotenpunkt versendet werden, können in der Auswertung mit berücksichtigt werden. Die Kenngrößen werden archiviert und können nach Vorgaben eines Operators graphisch oder in Listenform aufbereitet werden. Hiermit ist es dem Operator möglich, einen schnellen Überblick über die derzeitige oder vergangene verkehrliche Situation an einem Knotenpunkt zu erlangen.

**Basisfunktionen**

Pflege eines Netzgraphen	Digitale Karte wird als Grundlage benötigt
Bereitstellung einer MDM-Schnittstelle	Export: Weitergabe dieser Routenempfehlung erfolgt über den MDM an Fahrzeugendgerätehersteller. Import: Anzahl der Bremsvorgänge (Stopps), welche aus FC-Daten generiert und über den MDM importiert werden.

**Erweiterungen des städtischen Systems**

Betrieb eines kooperativ ausgestatteten Knotenpunkts (IRS)	Datenübertragung vom Knotenpunkt zu Server des Car2X-Auswertemoduls (derzeit nicht standardisiert)
--	--

**Verwendete Aktorik**

Browserbasierte grafische Nutzeroberfläche (Listendarstellung, Reporterstellung)

<b>Baustelleninformationssystem</b>	
<p>Das Baustelleninformationssystem (BIS) ermittelt einen Überblick über die aktiven und verkehrlich relevanten Baustellen im städtischen Gebiet. Das BIS stellt ein Werkzeug für Kommunen zum Einpflegen und Planen von Baustellen dar. Es schätzt bei der Planung der Baustelle deren Auswirkung in Form von Wartezeit ab und ermittelt aus FCD-Geschwindigkeitsprofilen die aktuelle verkehrliche Auswirkung der Baustelle. Es erfolgt eine Meldungsgenerierung an den MDM. Service Provider können daraufhin die Relevanz der Baustellen bewerten und so bessere Pre- und On-Trip Informationen für die Autofahrer bereitstellen.</p>	
<b>Basisfunktionen</b>	
Pflege eines Netzgraphen	Digitale Karte wird als Grundlage benötigt
Bereitstellung einer MDM-Schnittstelle	Meldungsgenerierung an den MDM
<u>optional</u> : Betrieb eines Versorgungsdatenservers	Informationen zu Programmen der LSA-Festzeitsteuerung können manuell übertragen werden oder automatisiert bei Betrieb eines Versorgungsdatenservers.
<b>Verwendete Aktorik</b>	
Browserbasierte grafische Nutzeroberfläche (Reporterstellung)	

## 4 Einrichtung kooperativer Systeme

### 4.1 Einrichtung knotenpunktbasierter kooperativer Systeme

#### 4.1.1 Technische Ausgangslage

Für Kommunen kann die Integration einer oder mehrerer Smarter Kreuzungen zu Mehrwerten in unterschiedlichen Ausprägungen führen. Diese liegen im Bereich Durchsatz, Sicherheit, Emissionen oder Komfort und sind daher für unterschiedlichste kommunale Zielgruppen von Relevanz. Anwendungsfälle können beispielsweise die folgenden sein:

- Besserer Durchsatz an der Kreuzung durch Übertragung der LSA-Schaltprognose an entsprechend ausgerüstete Fahrzeuge.
- Berücksichtigung von Grünlicht-Anforderungswünschen durch Sonderfahrzeuge (z.B. Rettungswagen, ÖPNV, Mülltransportfahrzeuge) durch das jeweilige LSA-Programm, dadurch Optimierung von Einsatzfällen.
- Lokale Anreicherung der Wissensbasis der LSA durch Zusammenführung von Standard-Verkehrsdetektoren direkt an der Kreuzung. Daraus resultierende Direktinformation von Fahrzeugen im V2X-Empfangsbereich der LSA mit Empfehlung des optimalen Fahrstreifens.
- Nutzung der Daten von V2X-ausgestatteten Fahrzeugen, die als virtuelle Sensoren für eine feinere und kleinräumigere Verkehrslageerkennung dienen können.
- Anbindung der Smarten Kreuzung an zentrale Verkehrsdateninfrastruktur mit der Möglichkeit des bidirektionalen Informationsaustauschs. Dadurch können z.B. Qualitätsdaten der Smarten Kreuzung vom Verkehrsserver gewinnend genutzt werden bzw. können auch Daten des Servers zur lokalen, direkten Verkehrssteuerung eingesetzt werden indem die V2X-Nachrichten quasi als Stellglieder benutzt werden.

Im Projekt *UR:BAN-VV* wurden die geschilderten Anwendungsfälle durch mehrere dezentrale Applikationen entwickelt und demonstriert. Es handelt sich um die in Kapitel 3.3.1 beschriebenen Anwendungsfälle Kreuzungslotse, Radfahrer-Schutzeinrichtung, Kooperative Schutzeinrichtung, Kooperative ÖPNV-Bevorrechtigung und Automatisches Qualitätsmanagement für LSA.

Die dafür im Prüffeld Braunschweig und im Testfeld Düsseldorf realisierte Architektur ist in Kapitel 3.2.2.7 beschrieben. Für die in Kapitel 3.3.1 dargestellten Applikationen kamen die Systemausprägungen Cluster 2 und Cluster 3 zur Anwendung, also die Ausprägungen ohne direkte Verbindungen der IRS zum Verkehrsmanagementsystem.

Eine schematische Übersicht über die Komponenten einer Smarten Kreuzung ist in Abbildung 17 dargestellt. Die sogenannten Innen- und Außenanlagen sind proprietär heute



auf dem Markt erhältlich und können in der Regel in bereits vorhandene Anschlagpunkte montiert werden (Montage an Lichtsignalmast oder Integration in den LSA-Schaltschrank). Bei der realen Montage dieser Komponenten im Prüffeld Braunschweig sowie auch im Testfeld Düsseldorf wurden nur geringe Erweiterungen an der vorhandenen Infrastruktur notwendig. Auch die Bestandskabelwege konnten in der Regel für die zusätzlichen Einheiten genutzt werden. Dadurch steht mit einer solchen Zusatzausstattung die Möglichkeit einer Optimierung des lokalen Verkehrs bereit, die umso mehr Wirksamkeit entfaltet je mehr Fahrzeuge über eine V2X-Ausstattung verfügen.

Allen Applikationen der Smarten Kreuzung ist gemein, dass sie, gespeist durch lokale Sensorik sowie durch die Kommunikation von- und zu den Fahrzeugen die lokale Wissens- und Entscheidungsbasis erhöhen und dadurch ein effizienteres Passieren des Knotenpunkts bewirken können.

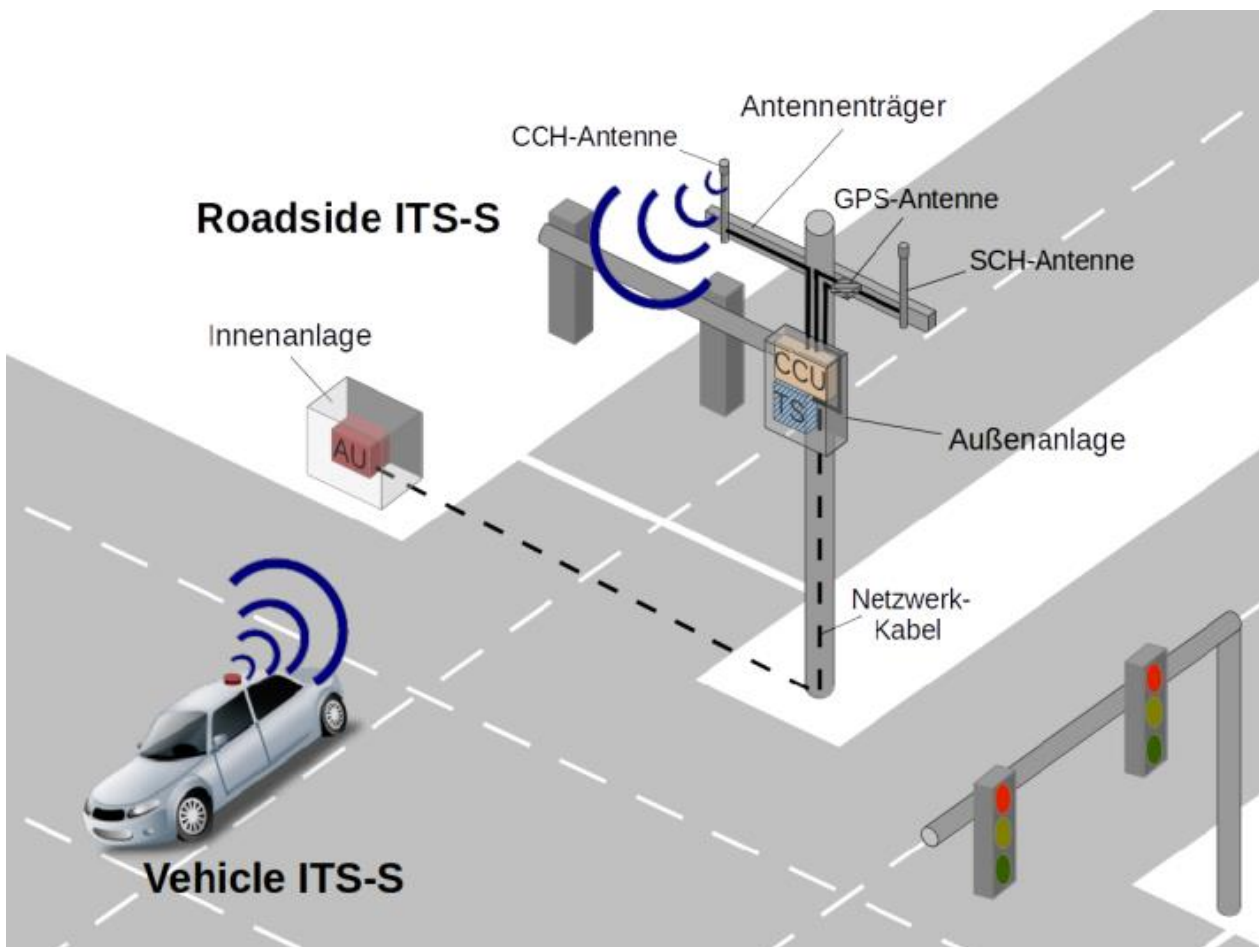


Abbildung 17: Smarte Kreuzung mit den Komponenten IRS (Roadside ITS-S), Außenanlage (AU+CCU), Innenanlage sowie IVS (Vehicle ITS-S) als Applikationsnutzer

In Abbildung 18 sind die vier logischen Ebenen des Prüffeldes Braunschweig dargestellt, welche als typisch für die datenverarbeitenden Schichten einer intelligenten Verkehrssteuerung angesehen werden können und für die es in Düsseldorf Entsprechungen gibt.

Für die in UR:BAN-VV entwickelte Smarte Kreuzung liegt der Aktionsbereich primär auf der Applikationsebene, sodass die LSA-seitigen Applikationen relativ unabhängig von

dem übergeordneten Managementsystem aus betrieben werden können. Daher konzentrieren sich bei der Einführung kooperativer Kreuzungen im kommunalen Umfeld die Hauptaktivitäten auf die folgenden Akteure:

- Den Systemintegrator auf kommunaler Seite der funktionell für den Knotenpunktsentwurf verantwortlich ist.
- Den Akteur mit Kompetenz zur Knotenpunktplanung und dem Umsetzen des LSA-Signalprogramms (im Anwendungsfall auf den Lieferanten übertragen).
- Den Lieferanten der LSA-Anlage.
- Den Technologieträger der V2X-Kommunikationsplattform sowie der der darauf implementierten Applikationen.
- Den Ausstatter der verkehrserfassenden Sensorik, die an der Kreuzung verbaut ist oder verbaut werden soll.

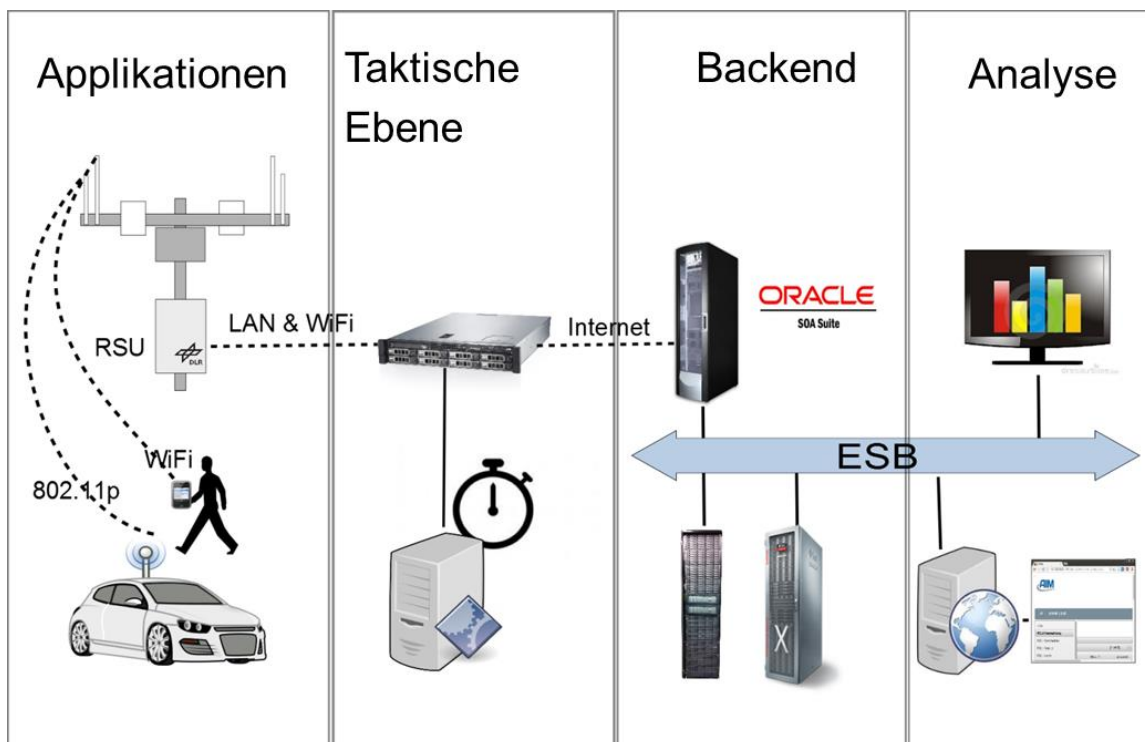


Abbildung 18: Schichtenmodell des Prüffeldes Braunschweig zur Unterstützung kooperativer Systeme

Bei der Auslegung und Planung einer dezentralen Smarten Kreuzung mitsamt Applikationen ist es hilfreich, ein Schichtenmodell ähnlich wie in Abbildung 18 aufzusetzen um die zuständigen Entwicklungsebenen zu identifizieren.

### 4.1.2 Technische Erweiterung des städtischen Systems

Im Stadtgebiet Düsseldorf steht mit der Kreuzung Oberbilker Markt eine optimale Umgebung zur Erweiterung der zentralen Verkehrssteuerung um einen kooperativen Knotenpunkt zur Verfügung. Dieser zeichnet sich durch die folgenden, wichtigen Grundanforderungen an einen umzurüstenden Knoten aus:

- Vorhandensein eines LSA-Steuergeräts neueren Datums welches über die Möglichkeit verfügt, eine Interaktion zur IRS mittels eines Ethernet-Gateways aufzubauen, um die Phasen der Steuerung sowie weitere Daten (auch bidirektional) zu übertragen.
- Das Vorliegen von Planungsunterlagen der Kreuzung wie georeferenzierte Lagepläne, die Möglichkeit der Einflussnahme auf das Steuerprogramm, freie Detektoreingänge des LSA-Steuergeräts um hierüber die SEF- bzw. ÖPNV Beeinflussung zu realisieren, die organisatorische Bereitschaft und Autorität der Kommune, Änderungen am LSA-Steuergerät durchführen zu lassen sowie ein Zugang zum IT-System der Kommune, um den bidirektionalen Datenaustausch zum Managementsystem herzustellen. Im Falle von *UR:BAN-VV* wird hierzu der MDM genutzt.
- Vorhandensein eines Satzes an vorgetesteten Applikationen, die auf der Seite der IRS die notwendigen Metadatenaggregation betreibt und die Kommunikation zu den mobilen Einheiten wie z.B. den Fahrzeugen sicherstellt, sowie Testfahrzeuge, mit Hilfe derer die kooperativen Fahrfunktionen getestet und die Interaktion mit der Infrastruktur optimiert werden können.

Die genannten Grundanforderungen waren am Oberbilker Markt vollständig erfüllt, so dass der geplante Transfer von kooperativer Technik der Smarten Kreuzung in Braunschweig durchgeführt werden konnte.

Der schematische Aufbau der in Düsseldorf montierten kooperativen Installation ist in Abbildung 12 dargestellt. Es sind die folgenden Komponenten verbaut.

- Application Unit (AU) für die Verarbeitung von Daten aus dem V2X-ad-hoc Netzwerk und deren Verknüpfung mit Daten der lokalen Sensorik sowie zur Kommunikation mit der Verkehrsmanagementzentrale. Die AU ist in der Regel Bestandteil der Innenanlage und kann von den weiteren Komponenten räumlich getrennt aufgebaut sein (maximale Entfernung typischerweise 100m).
- LSA-Steuergerät (in der Regel das Bestandssteuergerät der Lichtsignalanlage) und LSA-Interface, welches als Nachrüstkomponente die Kommunikation des LSA-Status und der Schaltzeitprognose zur AU sicherstellt.
- Zwei WLAN-Module welche auf der Frequenz 2,4 GHz bzw. 5,9 GHz die Kommunikation zu den Fahrzeugen sicherstellen (Protokoll IEEE 802.11p) sowie für Konfigurations- und Monitoringzwecke dienen (Protokoll IEEE 802.11 b/g/n).

- Car2X Communication Unit (CCU) um über V2X-Kommunikation die von der AU erzeugten standardisierten Nachrichten (z.B. ETSI-Standard) an die Fahrzeuge zu versenden.
- GPS-Empfänger als Positions- und Zeitreferenz für die Applikationen auf der AU.
- Optional Anbindung an die Verkehrsmanagementzentrale (VMZ) für den Austausch von Metadaten sowie von Qualitätsparametern, z.B. über Ethernet.
- Anbindung an Radarsensoren, die eine Objekterkennung von Fahrzeugen auf den zulaufenden Hauptarmen der Kreuzung ermöglichen.

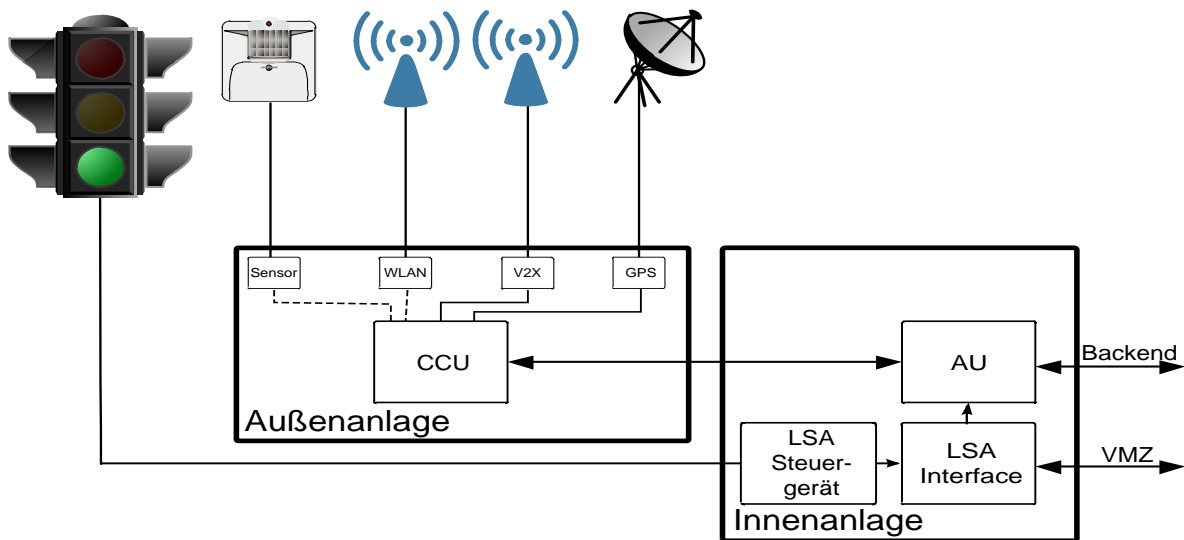


Abbildung 19: Komponenten einer ITS Roadside Station mit Aussenanlage, Innenanlage, LSA-Komponenten und Erfassungssensoren

In der Umsetzung der schematischen Darstellung aus Abbildung 19 wurden die folgenden Komponenten zur Montage vorbereitet und für diese entsprechende Kabelwege, Montage- und Anschlagpunkte in Düsseldorf definiert:

- Ein geeigneter Schaltschrank zur Aufnahme der Innenanlage mit den Mindestmaßen (BxHxT) 0,8m x 1,2m x 0,3m, idealerweise aus Kunststoff, damit die Service-Access-Points (UMTS und WLAN) erreicht werden können, ohne dass zwingend das Gehäuse geöffnet werden muss. Alternativ kann hier auch ein Metallschrank gewählt werden, dann müssen die Antennen jedoch witterungsbeständig herausgeführt werden.
- Es muss ein Gateway zum Steuergerät der LSA als Schnittstelle zwischen der der IRS und der Bestandsampelsteuerung eingefügt werden. Dieses muss von beiden Seiten, von dem LSA-Betreiber sowie dem Betreiber des Kooperativen Knotens (respektive der Außenanlage in Abbildung 17) projektiert und ausgeführt werden. Im vorliegenden Fall handelt es sich um ein Serienprodukt, eine sogenannte Scalance der Siemens AG, welche in die Innenanlage eingebaut wurde.

- Eine Innenanlage, bestehend aus einem robusten Industrie-PC mit einem Linux Betriebssystem als Entwicklungsumgebung für die infrastrukturseitigen Applikationen. Weitere Komponenten sind die Spannungsversorgung für Innen- und Außenanlage inklusive unterbrechungsfreier Stromversorgung (USV) sowie ein UMTS-Modul zur Fernwartung aller IRS-Komponenten. Die Innenanlage wird in einem Schaltschrank in direkter Nähe des LSA-Schaltschranks untergebracht.
- Auslegermast am Signalmast zur Aufnahme des CCU-Gehäuses
- Außenanlage (CCU-Gehäuse): wetterfester Kunststoff-Schaltschrank zur Aufnahme der Kommunikationseinheit, Antennen und weiterer Komponenten. Dieser wird am Auslegermast montiert und durch ein Netzwerk- sowie ein Stromkabel an die Innenanlage angebunden

Die Montage der CCU-Komponente erfolgte an bereits vorhandenem Licht- oder Signalmasten an denen Anschlagpunkte für eine Montage der Außenanlage auf ca. 5m Höhe bereits vorhanden waren. Die Antennen wurden dafür direkt auf dem Gehäuse der CCU installiert. Alternativ können die Antennen auch bis zu 3m entfernt von der CCU montiert werden, was hier aber nicht notwendig war. Größere Kabellängen zwischen CCU und Antennen sind nicht zulässig. Eine direkte Sichtverbindung zwischen den Antennen und dem vorwiegend auszuleuchtenden Gebiet war erforderlich, um die Minimalreichweiten (100m) für die Applikationen sicherzustellen. Die Verbindungskabel zur Innenanlage bestehen aus einem Stromversorgungskabel (12 VDC) und einem Netzwerk-kabel für eine Übertragungsrate von min. 100 Mbit/s. Hier konnte die bereits vorhandene Verrohrung für die zusätzlichen Kabelwege benutzt werden. Die Innenanlage wurde in einen eigens dafür aufgestellten Schaltschrank installiert, der direkt neben dem LSA-Steuergerät aufgebaut wurde, sodass eine gute Zugänglichkeit zwischen LSA-Steuergerät und AU besteht. Insgesamt wurden 4 Radarsensoren, eine an einem Auslegerarm befestigte CCU, ein separater Schaltschrank zur Aufnahme der AU sowie die zugehörigen Kabelwege verbaut.



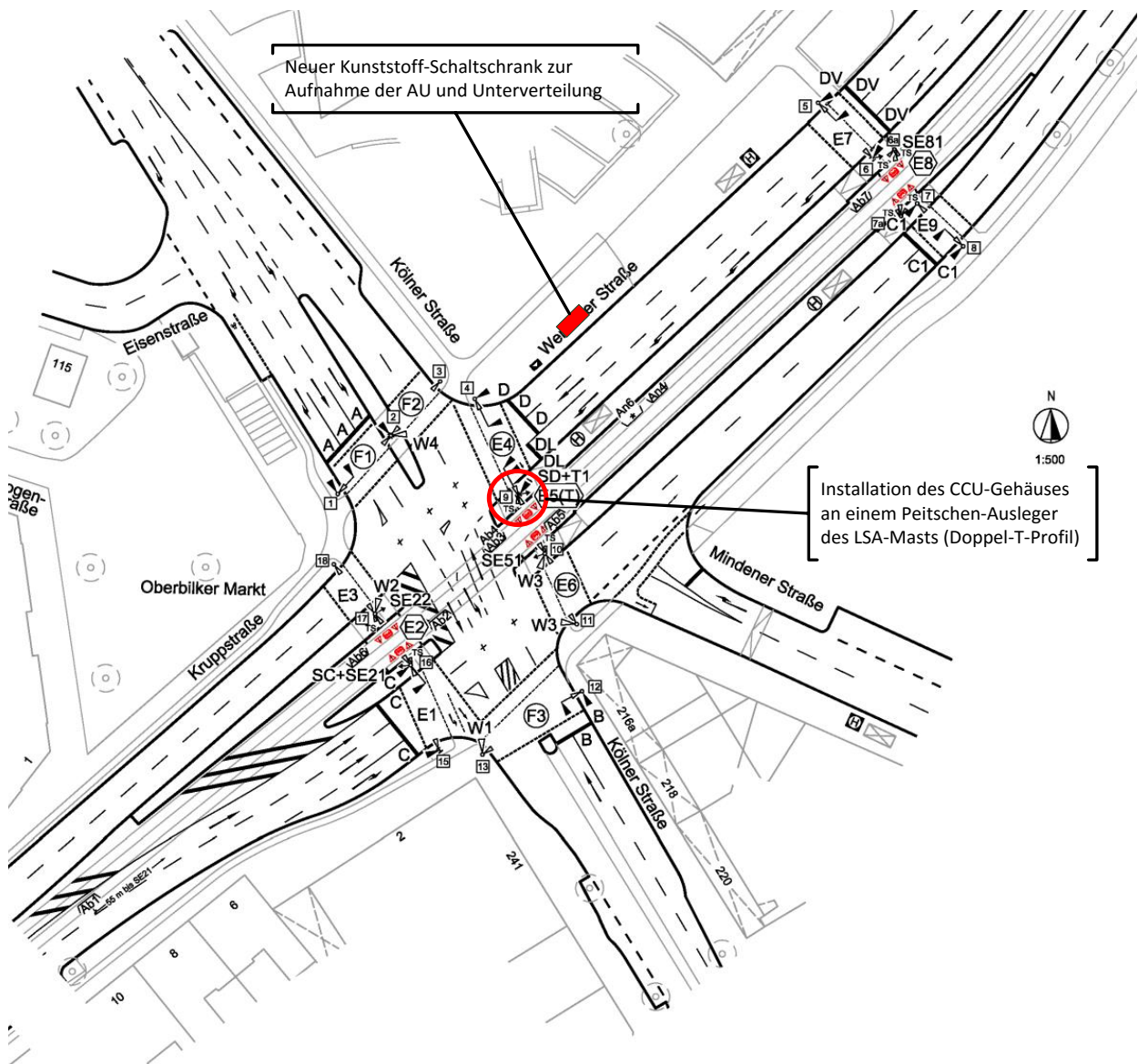


Abbildung 20: Lageplan des Oberbilker Marktes mit eingezeichneten Verbauorten der Komponenten

Abbildung 20 zeigt den Lageplan der Kreuzung. Der Standort für die Installation des neuen Kunststoff-Schaltschranks ist mit einem roten Rechteck markiert. Diese bisherigen Schränke beinhalten Computer für die LSA-Steuerung mit zugehörigen Platinen und Klemmarbeiten, Platinen für die ÖV-Telegramme des örtlichen ÖPNV-Betreibers, Sicherungsschalter sowie dazugehörige Versorgungskabel und können aus Platzgründen keine weitere Technik aufnehmen.

Der neu aufzustellende Kunststoff-Schaltschrank dient der Aufnahme der IRS-Innenanlage mit ihren Komponenten (AU, UMTS-Modul, Netzwerk-Verteilung) sowie der notwendigen Spannungsversorgung inklusive USV. Zwischen dem neuen Schaltschrank und dem vorhandenen LSA-Schrank sind ein Netzkabel (Patchkabel) sowie ein Stromkabel (beispielsweise NYM-J 3\*1,5 mm<sup>2</sup>) für die 230V-Spannungsversorgung zu

verlegen. Falls die Schränke nicht direkt nebeneinander aufgestellt werden können, sind gegebenenfalls andere Kabel zu verwenden.

Der Anschluss der IRS-Außenanlage (CCU-Gehäuse) an den Kunststoff-Schaltschrank mit den Komponenten der Innenanlage erfolgt ebenfalls über ein Strom- und ein Netzkabel. Als Netzkabel wurde ein Installationskabel der Kategorie 7 verwendet. Die Länge dieses Kabels darf 100m nicht überschreiten, da ansonsten Repeater eingesetzt werden müssten.

In Abbildung 21 sind die Verbauorte und Blickrichtungen der Radarsensoren dargestellt. Diese wurden in etwa 5m Höhe so ausgerichtet, dass sie die Einzelobjekte auf den einströmenden Armen erkennen und deren Geschwindigkeiten verfolgen, sodass fahrstreifenfein aufgelöste Rückstaus verfügbar gemacht werden können.

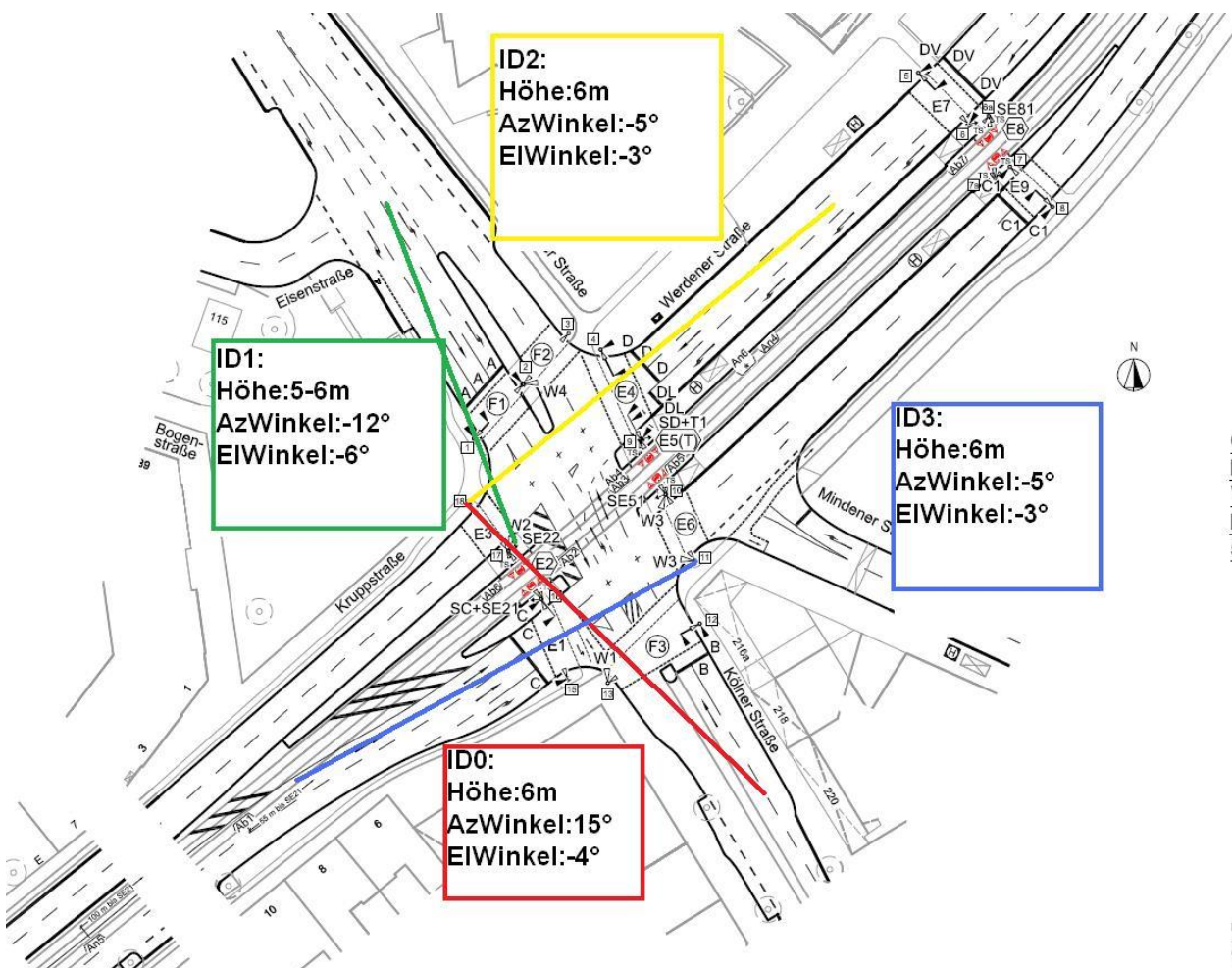


Abbildung 21: Montageorte und Ausrichtungen der objekterkennenden Radarsensoren

Das Detailbild der Innenanlage am Oberbilker Markt ist in Abbildung 22 dargestellt. Die Innenanlage besteht im Wesentlichen aus der AU links oben im Bild, bei der es sich um einen Industrie-PC handelt der im Projekt *UR:BAN-VV* mit einem Linux-Betriebssystem operiert. Auf diesem laufen die Applikationen zur Kommunikation sowie die infrastruktur-



seitigen Applikationen. Die weiteren sichtbaren Komponenten dienen der Energieversorgung sowie der Kommunikation zur LSA und zur Außenanlage.



Abbildung 22: Teile der Innenanlage am Oberbilker Markt Düsseldorf. (BxHxT): 0,4m x 0,6m x 0,2m

Ein Überblick über die Verbauorte am Oberbilker Markt ist aus Abbildung 23 ersichtlich. Beispielhaft ist im linken oberen Bild die typische Montage von einem der Radarsensoren gezeigt, im rechten oberen Bild ist die CCU am Ende eines eigens montierten Peitschenauslegers zu erkennen. Eine Gesamtübersicht des Oberbilker Marktes mit Blickrichtung Süd-Ost ist im unteren Bildbereich zu erkennen. Mit der am Oberbilker Markt installierten Technik können nun sowohl die in Kapitel 3.3.1 beschriebenen Applikationen wirksam werden als auch weitere kooperative Applikationen auf Basis einer V2X-Kommunikation sowie der begleitenden Technologien.



Abbildung 23: Komponenten der IRS am Oberbilker Markt in Düsseldorf

### 4.1.3 Nötige Anpassung von Verwaltungsprozessen

Der in Kapitel 4.1 dargestellte Mehrwert in den Bereichen Verkehrseffizienz, Sicherheitserhöhung, Emissionsreduzierung und Komfort ist für eine Kommune durchaus erstrebenswert.

Auf Grund der unterschiedlichen altersbedingten technischen Ausstattung der bereits vorhandenen Verkehrsinfrastruktur und dem zunehmenden Kostendruck, der auf vielen Kommunen lastet, ist eine zeitnahe flächendeckende Ausstattung von innerstädtischen Knotenpunkten mit den im Forschungsprojekt *UR:BAN-VV* entwickelten Applikationen nur schwer realisierbar. Daher sollte zunächst die Identifikation sinnvoller Standorte oder Straßenzüge zur Erweiterung der bestehenden LSA in den Fokus der Planung, der für Verkehrstechnik zuständigen Abteilung der Verwaltung, gerückt werden.

Zusätzlich ist es sinnvoll, eine Erweiterung an LSA-Steuergeräten neueren Datums vorzunehmen, welche bereits über die Möglichkeit verfügen, eine Interaktion zur IRS mittels eines Ethernet-Gateways aufzubauen, um die Phasen der Steuerung sowie weitere Daten (auch bidirektional) zu übertragen. Bei der Neuausstattung eines Knotenpunktes bzw. beim Austausch eines veralteten Steuergerätes, kann eine direkte Erweiterung um die in Kapitel 4.1.2 dargestellten Komponenten ebenfalls eine gute Gelegenheit darstellen.

Der Aufwand je Anlage ist individuell abhängig von den vor Ort befindlichen Gegebenheiten, sodass zum Teil nur eine geringe Erweiterung an der vorhandenen Infrastruktur notwendig ist. Auch die Bestandskabelwege können in der Regel für die zusätzlichen Einheiten genutzt werden.

Bei der verwaltungsinternen Umsetzung sind für eine erfolgreiche Implementierung und einen reibungslosen Betrieb folgende Punkte zu beachten:

Zunächst müssen georeferenzierte Planungsunterlagen vorliegen, für eine genaue Verortung und optimale Ausrichtung der neu hinzugefügten Komponenten, wie etwa die Radardetektion. Sofern diese der Kommune nicht vorliegen, müssen diese erstellt werden.

Zur Realisierung der SEF- und ÖPNV-Beeinflussung, müssen von der entsprechenden Fachabteilung entsprechende Modifikationen der vorhandenen Signalprogramme vorgenommen werden. Zudem muss dafür Sorge getragen werden, dass freie Detektoreingänge für die SEF- und ÖPNV-Anforderungen an den Steuergeräten vorhanden sind. Hierbei gilt folgendes zu beachten: Der SEF-Assistent funktioniert ähnlich einer ÖPNV-Anmeldung, mit dem Unterschied, dass das SEF sich über WLAN anmeldet, wohingegen derzeit die Anmeldung des ÖPNV über einen bestimmten Funkfrequenzbereich erfolgt, der eigens für seine Zwecke von der Bundesnetzagentur freigegeben ist.

In der Logik für die Signalsteuerungsdatei der LSA muss ein Meldepunkt für das SEF versorgt werden. Die Anforderung für SEF wird durch einen potenzialfreien Kontakt innerhalb des Steuergeräts ausgelöst. Hier wird eine Meldestrecke ausgelöst, wenn das SEF in Reichweite ist und die IRS seine Meldepunktnummer über WLAN empfangen hat. Die Auslösung des Kontakts erfolgt, wenn der Meldepunkt mindestens für eine Sekunde belegt ist und endet beim Passieren des Abmeldepunktes bzw. nach einer vorher definierten Maximaldauer. Dem SEF wird eine Meldepunktnummer zugeteilt, die außerhalb des Meldepunktbereichs des örtlichen ÖPNV Betreibers liegen muss, damit eine eindeutige Identifikation erfolgen kann und keine Konflikte mit dem ÖPNV auftreten. Daher ist eine Absprache zwischen der ausführenden Fachabteilung und dem örtlichen ÖPNV-Betreiber zwingend notwendig für die Einrichtung der SEF-Applikation.

Die für Verkehrstechnik zuständige Abteilung muss vor der Einrichtung der Applikationen das zukünftige Rollenmodell klären (wer beschafft und wer betreibt) und die dafür notwendige Kompetenz aufbauen (siehe hierzu auch Kapitel 3.1). Mit der kommunalen IT-Verwaltung ist der Zugang zum IT-System der Kommune für den bidirektionalen Datenaustausch zum Managementsystem bzw. MDM herzustellen, falls dies noch nicht vorhanden ist.

Bei der Einrichtung einer smarten Kreuzung sollte die Kommune außerdem einen V2X-Infrastrukturausstatter hinzuziehen. Dieser wird mit der Installation der zusätzlichen Komponenten betraut und koordiniert die Integration der Applikationen auf der IRS. Der V2X-Infrastrukturausstatter testet die Erweiterungen auf ihre Funktionstüchtigkeit und korrekte Zuordnung, sodass die Aufgabe der Verwaltung anschließend in der Abnahme der umgesetzten Maßnahmen und dem Betrieb des Systems liegt.

Nach erfolgreicher Installation und Inbetriebnahme einer Smarten Kreuzung, sollte in der entsprechenden Fachabteilung der Kommune ein Monitoringsystem entwickelt und integriert werden, welches einerseits auf Störungen reagiert und andererseits eine durchgängige Versorgungskette gewährleistet. Änderungen in der Knotenpunkttopologie etwa durch Baustellen oder Sperrungen müssen kurzfristig angepasst werden. Die Eingriffsmöglichkeiten hängen von dem der Kommune zugeordneten Cluster ab (siehe Kapitel 3.2.2.7). Für Kommunen mit Verkehrsmanagementsystem bzw. Verkehrsrechner, die über eine graphische Oberfläche zentralenbasiert LSA steuern können, besteht die Möglichkeit durch eine softwareseitige Erweiterung ihres Systems die infrastrukturseitigen V2X-Nachrichten wie SPaT und TOPO an dem entsprechenden Knoten zu ändern. Kommunen, die nicht die technischen Voraussetzungen erfüllen, zentralenseitig auf die einzelnen Knotenpunkte zurückzugreifen, werden entsprechende Änderungen von der ausführenden Signalbau- bzw. dem beauftragten V2X-Infrastrukturausstatter vornehmen lassen müssen. In diesem Fall ist es in der Realität eher nicht handhabbar auf kurzfristige temporäre Störungen zu reagieren, so dass in diesem Fall die IRS für die Zeit der Arbeiten außer Betrieb genommen werden sollte.

Eine Kombination der turnusmäßigen Wartung der neu hinzugefügten Hard- und Softwarekomponenten mit der jährlichen Wartung einer Lichtsignaleinlage ist denkbar. Hierzu bedarf es von Seiten des zuständigen Amtes einer Koordinierung der beteiligten Akteure und Wartungsintervalle.

### 4.1.4 Erfahrungen bei der Einrichtung knotenpunktbasierter Systeme

Dem Transfer der technischen Systeme ging ein intensiver Planungsprozess voraus, bei dem die folgenden Akteure in ihren jeweiligen Rollen einbezogen wurden:

- Veränderung der verkehrstechnischen Planung der Lichtsignalanlage (Kommune, hier: Stadt Düsseldorf)
- Planung der technischen Umsetzung: Architektur, Teilsysteme, Standorte (Betreiber der Smarten Kreuzung, hier: DLR)
- Detailplanung und Umsetzung der Arbeiten: Änderungen an LSA-Programmen, Kabelwege, Installationen (LSA-Betreiber, hier: Siemens AG)
- Abnahme der verkehrstechnischen Umsetzung (Kommune, hier: Stadt Düsseldorf)
- Funktionstests und Abnahme der technischen Umsetzung, Durchführung von Messfahrten (Betreiber der Smarten Kreuzung, hier: DLR)

Die Erfahrungen beim betreffenden Knoten zeigen, dass eine Einzelfallbetrachtung des jeweiligen Knotenpunktes durchzuführen ist. Eine Bestandsaufnahme aller vorhandenen Komponenten und eine Vor-Ort-Begehung zur Besichtigung der baulichen Situation sind zwingend notwendig. Vorher sind auf der Grundlage von Bestandsinformationen und

aktuellem Kartenmaterial sowie idealerweise Luftbilder die folgenden Informationen zu erheben:

- Bestandsaufnahme Lichtsignalanlage
  - LSA-Steuergerät (Hardware und Software)
  - vorhandene und freie Kabelwege / Leerrohre
  - vorhandene Maste für die Installation der Außenanlage
  - Freier Bauraum in einem Schaltschrank nahe des LSA-Steuergerätes oder möglicher Standort für einen neuen Schaltschrank
- Planung mit Kartenmaterial und/oder Luftbildern
  - Mögliche Standorte für die Außenanlage und der Antennen (ggf. Prüfung der Statik ausgewählter Masten)
  - Behinderungen der Sichtlinie zwischen Antennenstandorten und den wesentlichen Zufahrten
  - Vorab-Auswahl der Standorte für Innen- und Außenanlage
- Vor-Ort-Begehung
  - Prüfung der Vorab-Auswahl für die Standorte (Außen- und Innenanlage), insbesondere Maststandorte und bauliche Situation
  - Prüfung möglicher Kabelwege (ggf. durch Tiefbauer)

Durch die Erfahrungen beim Aufbau des Prüffeldes Braunschweig und der intensiven Planung in Zusammenarbeit mit den zuständigen Stellen konnte die Installation am Knotenpunkt „Oberbiller Markt“ wie geplant durchgeführt werden. Die Installation wurde direkt nach der Inbetriebnahme erfolgreich getestet. Die eingerichteten Funktionen wie Bevorrechtigung eines Einsatzfahrzeuges sowie Tests der Reichweiten erfolgten ebenfalls im direkten Anschluss an die Inbetriebnahme. Bei den Empfangsreichweiten stellte sich heraus, dass die Performanz des Systems sogar leicht über den Erwartungen liegt.





Abbildung 24: Darstellung der Ergebnisse des Reichweitentests

Abbildung 24 zeigt das Resultat von Reichweitenmessungen mit den eingesetzten Versuchsfahrzeugen.

## 4.2 Einrichtung zentralenbasierter kooperativer Systeme

Zentralenbasierte kooperative Applikationen können knotenübergreifend arbeiten und auf alle in der Zentrale verfügbaren Daten zugreifen. Für ihre Nutzung ist keine Aufrüstung der einzelnen Knotenpunkte mit IRS erforderlich.

Um zentralenbasierte kooperative Systeme einrichten zu können, bedarf es zunächst eines zentralen Verkehrsmanagementsystems. Das bedeutet: Moderner Verkehrsrechner mit offener Schnittstelle, Georeferenzierungssystem (Netzgraph mit Knotenpunkttopologien), Datenanbindung zum MDM und gegebenenfalls zu weiteren Applikationen wie etwa einem Ereignismanagement.

Ein klassischer Verkehrsrechner allein ist hierzu nicht geeignet. Daher ist, im Gegensatz zu den knotenpunktbasierten Systemen (Kapitel 4.1) und den cloudbasierten Systemen (Kapitel 4.3), die Verwendung von zentralenbasierten Systemen auf Cluster 1 beschränkt. Städte, die Cluster 2 zuzuordnen sind, müssen also zunächst mit einer Verkehrsmanagementzentrale ausgestattet werden, sodass sie in Cluster 1 gelangen.

Mit dem Prüffeld Kassel ist in *UR:BAN-VV* eine beispielhafte Stadt vorhanden, die vor dem Projektbeginn Cluster 2 und nach der Aufrüstung Cluster 1 zuzuordnen ist. Die Einrichtung der Systeme für diesen Fall ist im folgenden Abschnitt 4.2.1 beschrieben. In Abschnitt 4.2.2 folgt die Beschreibung für eine Stadt mit bestehendem Verkehrsmanagementsystem (Cluster 1), wobei das Testfeld Düsseldorf als Beispiel dient. Eine Aufrüstung mit zentralenbasierten Systemen für Städte in Cluster 3 erscheint unter ökonomischen Gesichtspunkten nicht sinnvoll.

## 4.2.1 Einrichtung für eine Stadt mit Verkehrsrechner

Im Folgenden wird die Einrichtung von zentralenbasierten kooperativen Systemen für eine Stadt mit Verkehrsrechner beschrieben, bei der zunächst kein Verkehrsmanagementsystem vorhanden ist.

### 4.2.1.1 Technische Ausgangslage

#### *Ausgangssituation im Cluster 2*

Die Eigenschaften von Cluster 2 (siehe Abbildung 25) sind im Kapitel 3.2.2.7 beschrieben. Wesentliches Merkmal sind einerseits der zentrale Verkehrsrechner, andererseits das Fehlen von Verkehrsmanagement-Applikationen.

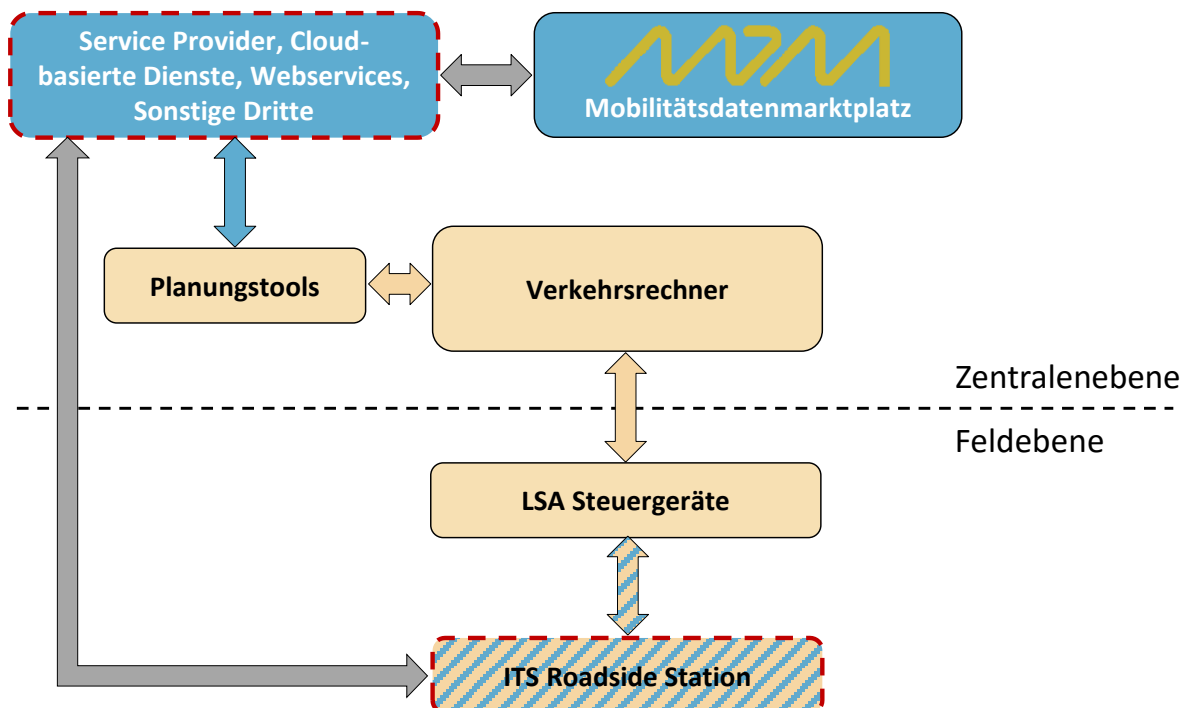


Abbildung 25: Technisch-organisatorische Systemarchitektur für Cluster 2



Mit Planungstools wird die Arbeit der Zentrale im Bereich Planung, Versorgung und Pflege verkehrsrelevanter Informationen unterstützt. Es können weitere Dienste (in der Cloud) angebunden sein, die nicht in der Zentrale selbst laufen müssen.

Viele Erweiterungen des Systems setzen voraus, dass das vorhandene System modular mit offenen Schnittstellen aufgebaut ist (moderner Verkehrsrechner mit externer OCIT- bzw. OTS-Schnittstelle und neue Verkehrsinfrastruktur; Anschluss der Steuergeräte z.B. mit OCIT-O). Weitere Informationen zur Referenzarchitektur und zu Standards und Schnittstellen finden sich im Kapitel 3.2.2.

### ***Überlegungen zur Einrichtung kooperativer Systeme***

Ein Cluster 2-System ermöglicht die Einrichtung einiger kooperativer Anwendungen, ist jedoch mangels Verkehrsmanagementsystem im Wesentlichen auf knotenpunkt-basierte Applikationen angewiesen (beschrieben in Kapitel 4.1). Diese erfordern die Aufrüstung von Steuergeräten, was einen erheblichen Kostenfaktor darstellt.

Es ist deshalb sinnvoll, das System zunächst mit einem Verkehrsmanagementsystem aufzurüsten und so auf die Stufe des Cluster 1 anzuheben.

Die VMZ muss nicht zwingend von Operatoren betrieben werden. Wichtig ist zum einen die Einrichtung einer routingfähigen GIS-Kartenversorgung mit Ortsreferenzierung der Signalanlagen auf einem kantenbasierten Straßennetz. Zum anderen muss die Möglichkeit des zentralen Datenaustauschs mit den relevanten in der Kommune vorhandenen Subsystemen (LSA, Verkehrsrechner, weitere Systeme wie Detektionssystem, Infotafeln usw.) sowie mit externen Schnittstellen, insbesondere dem MDM geschaffen werden.

#### **4.2.1.2 Technische Erweiterung des städtischen Systems**

Die Aufrüstung des Systems von Cluster 2 auf Cluster 1 wird im Folgenden kurz beschrieben, wobei auf die Erfahrungen in der Stadt Kassel im Projekt *UR:BAN-VV* eingegangen wird. Eine detaillierte Beschreibung findet sich in Anhang B. Die durchgeführten Maßnahmen können als Handlungsleitfaden für andere Systeme dienen.

#### ***Modernisierung des Verkehrsrechners***

Der Verkehrsrechner muss mit einer standardisierten Schnittstelle (z.B. OCIT-C, OCIT-I oder OTS) versehen werden, so dass folgende Daten an Verkehrsmanagementanwendungen zur Verfügung gestellt werden können:

- Ist-Vektor LSA OCIT-O (aktuelles Signalprogramm usw.)
- Signalbilder
- Detektorflanken
- Sensormesswerte (Zählwerte usw.)
- OV-Telegramme

- AP-Werte des jeweiligen Steuerungsverfahrens
- Umlaufsekunde
- Betriebsmeldungen
- Sinnvoll sind auch Programmumschaltungen aus dem VMS

Für online, also „in Echtzeit“, arbeitende kooperative Anwendungen ist es wichtig, dass die Prozessdaten möglichst schnell im VMS zur Verfügung stehen. Daher sind gegebenenfalls Maßnahmen zur Reduzierung der Latenzzeiten nötig. Das heißt, dass die Software oder die Konfiguration im Steuergerät, im Verkehrsrechner und im VMS angepasst werden müssen. Auf diese Weise sollte eine Latenzzeit von deutlich unter 10 Sekunden erreicht werden, idealerweise unter 5 Sekunden. Unter Latenzzeit wird hier die Zeitspanne vom Entstehen einer Information (etwa einer ÖV-Meldung oder eines Signalbildwechsels) im Steuergerät bis zum Eintreffen dieser Information im VMS, wo sie beispielsweise für die Schaltzeitprognose benötigt wird, verstanden.

Die Versorgungsdaten (VD) der LSA werden manuell in das VMS übertragen. Eine Automatisierung dieses Schrittes ist wünschenswert, aber nicht zwingend notwendig. Folgende LSA-Versorgungsdaten sind erforderlich:

- Detektoren (Induktionsschleifen, Radarsensoren, Videodetektoren, Fußgänger-taster)
- Signalgruppen
- ÖV-Meldepunkte / -strecken
- Signalprogramme

### ***Einführung eines Verkehrsmanagementsystems***

Die Einrichtung eines VMS umfasst mehrere Teilbereiche:

- Für den automatisierten Datenaustausch der für die kooperativen Applikationen relevanten Verkehrsdaten wird eine Schnittstelle zum MDM eingerichtet.

Damit findet der Datenaustausch mit Dritten nur über den MDM statt. Im MDM-Portal ist eine Registrierung und Einrichtung der angebotenen und bestellten Daten erforderlich. Zudem sind Regelungen zu treffen, wer Ansprechpartner für die Belange des MDM ist und wer Datenüberlassungsverträge mit Datennehmern unterzeichnet.

- Wesentliche Grundlage für die Georeferenzierung von verkehrsrelevanten Objekten ist die Vorhaltung dieser Daten in einer GIS-Datenbank.

Diese wurde für die Stadt Kassel manuell in der VMS-Software erzeugt. Die Basis dafür ist das vom städtischen Amt für Geoinformation und Vermessung geschaffene Knoten-Kanten-Modell. Dieses wurde im Rahmen der Aktivitäten zur Erarbeitung eines Verkehrsentwicklungsplans 2030 für die Stadt Kassel um zahl-

reiche Attribute erweitert und konnte im Rahmen von *UR:BAN-VV* genutzt werden.

Weitere Attribute mussten ergänzt werden, sie wurden in der Verkehrsmanagementsoftware eingepflegt und an das Knoten-Kanten-Modell angehängt. Im Wesentlichen waren dies:

- Fahrstreifen- und abbiegestreifengenaue Detaillierung des Modells
- Verortung von Haltlinien an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage und Zuordnung der jeweils zugeordneten Signalgruppe des am Knotenpunkt gültigen Signalprogramms
- Kennzeichnung von Abbiegeboten und -verboten
- Zuordnung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit an die einzelnen Kanten

Insbesondere bei größeren Knotenpunkten sind diese Arbeiten zeitaufwändig und fehleranfällig, weshalb entsprechende Kapazitäten für die Bearbeitung und Qualitätssicherung eingeplant werden müssen.

- Im VMS in der Stadt Kassel wurde außerdem eine Komponente zum Ereignismanagement eingerichtet. Diese ermöglicht es, Einschränkungen im Verkehrsnetz durch Baustellen und Veranstaltungen zu verwalten. Dies ist sinnvoll, um das aktuell zur Verfügung stehende Verkehrsnetz zu identifizieren und für kooperative Anwendungen nutzen zu können.

Mit dem Ereignismanagement können im detaillierten GIS-Verkehrsnetzmodell einzelne Streckenelemente gesperrt oder ihre Kapazität eingeschränkt werden. Diese Informationen werden über die Publikation „Verkehrsmeldungen“ an den MDM geschickt und können somit von privaten Dienstleistern für kooperative Anwendungen verwendet werden. Das Eingeben der Baustellen und Veranstaltungen in das System erfordert einen abgestimmten Arbeitsablauf in der Verwaltung und ein ausreichendes Fachwissen der versorgenden Mitarbeiter.

- Das VMS muss mit der LSA-Steuerung gekoppelt werden, so dass die Übertragung von Signalzuständen und Steuerungsbefehlen in Echtzeit möglich ist. Zudem muss ein Datenaustausch der Versorgungsdaten für die LSA stattfinden, so dass eine einheitliche Versorgung gewährleistet ist.

Für die Einrichtung des Verkehrsmanagements sind neben der Software auch zusätzliche Hardware (in Form von Rechnern, ggf. auch Netzwerkkomponenten) und Personal erforderlich.

Personal wird insbesondere für die Pflege des Verkehrsnetzes (GIS-Datenbank) inklusive temporärer Einschränkungen durch Baustellen und Veranstaltungen (Ereignismanagement) benötigt.

Zu den notwendigen Anpassungen an Verwaltungsprozessen siehe Kapitel 4.2.3.

## 4.2.2 Einrichtung für eine Stadt mit einer Verkehrsmanagementzentrale

### 4.2.2.1 Technische Ausgangslage

#### *Ausgangssituation im Cluster 1*

Die Eigenschaften von Cluster 1, der größten hier betrachteten Ausbaustufe (siehe Abbildung 26) sind im Kapitel 3.2.2.7 beschrieben. Wesentliches Merkmal ist die bestehende VMZ mit georeferenziertem Knoten-Kanten-Modell. Der Betrieb der VMZ kann mit oder ohne Überwachung durch Operatoren erfolgen.

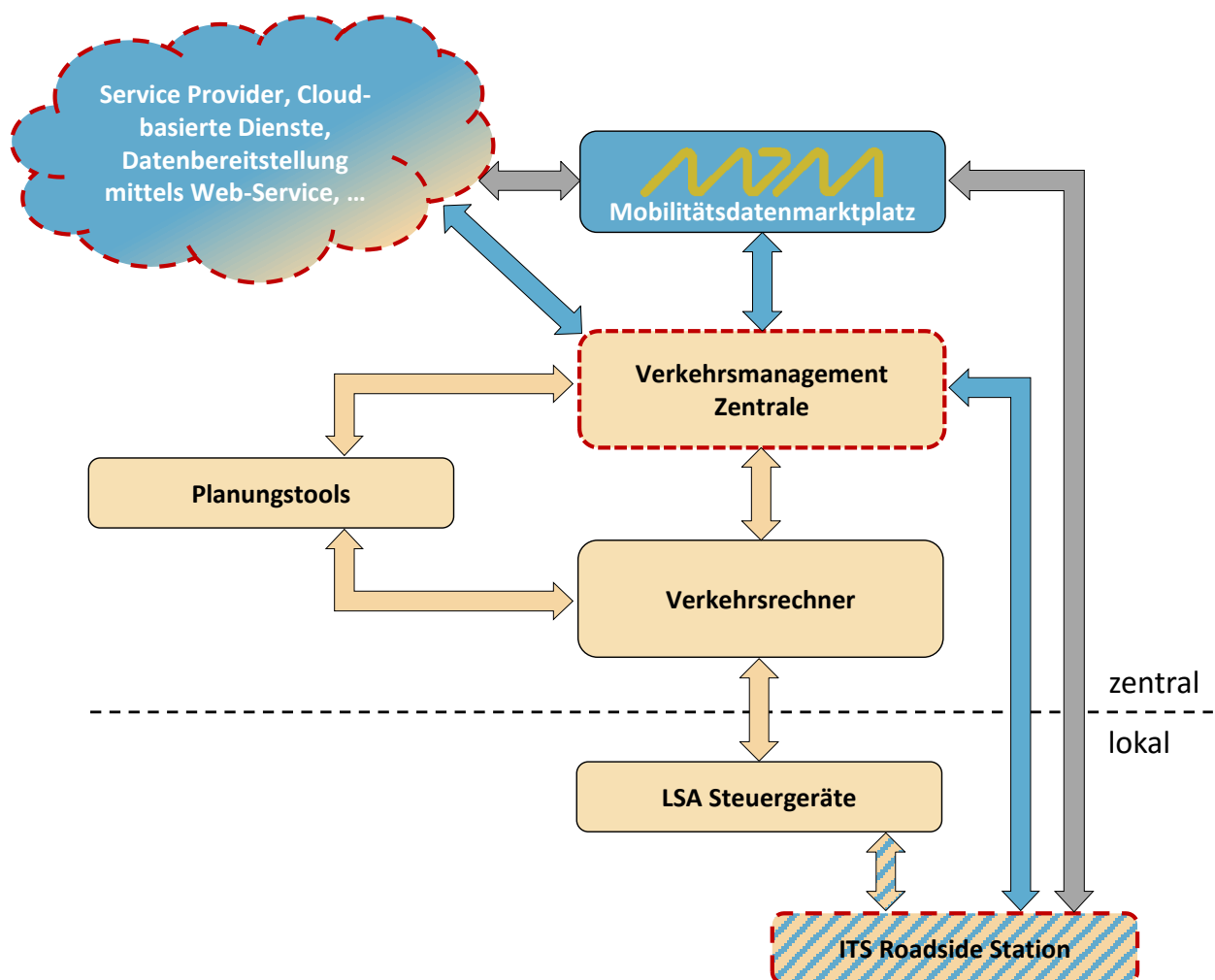


Abbildung 26: Technisch-organisatorische Systemarchitektur für Cluster 1

Der VMZ untergeordnet sind ein oder mehrere Verkehrsrechner, die die Ansteuerung der LSA übernehmen und die von diesen gelieferten Daten bereitstellen. Meist ist die Zentrale noch mit weiteren, hier nicht betrachteten Subsystemen gekoppelt wie z.B. der Ansteuerung von Infotafeln oder Parkleitsystemen.

An die Zentrale sind weitere Dienste angebunden, die nicht in der Zentrale selbst laufen müssen. Insbesondere dient eine Verbindung zum MDM zum systemübergreifenden Datenaustausch und der Anbindung von Diensten von Drittanbietern.

Mit Planungstools wird die Arbeit der Zentrale im Bereich Planung, Versorgung und Pflege verkehrsrelevanter Informationen unterstützt.

Viele Erweiterungen des Systems setzen voraus, dass das vorhandene System modular mit offenen Schnittstellen aufgebaut ist (Verkehrsrechner mit externer OCIT- bzw. OTS-Schnittstelle und neue Verkehrsinfrastruktur; Anschluss der Steuergeräte z.B. mit OCIT-O). Weitere Informationen zur Referenzarchitektur und zu Standards und Schnittstellen finden sich im Kapitel 3.2.2.

### ***Überlegungen zur Einrichtung kooperativer Systeme***

Ein Cluster 1-System mit moderner Infrastruktur und offenen Schnittstellen erfüllt grundsätzlich die Voraussetzungen für die Einführung aller hier betrachteten kooperativen Anwendungen.

#### **4.2.2.2 Technische Erweiterung des städtischen Systems**

Abbildung 27 zeigt übersichtsartig die Erweiterung des städtischen Systems durch zentralenbasiert kooperative am Beispiel des Verkehrssystemmanagements der Stadt Düsseldorf. Im Folgenden werden dann applikationsspezifisch Voraussetzungen, Ablauf, erforderliche Anpassungen und Erfahrungen beschrieben.



## **Antriebsartadaptives Strategiemangement**

### Voraussetzungen:

- Ein hoheitliches Strategiemangement, das in das Verkehrsmanagement von Cluster 1 integriert ist.
- Für die Verbrauchsberechnung werden geeignete FC-Daten benötigt, nämlich Beschleunigung und Geschwindigkeit; nach einer vorgegebenen Matrix pro Antriebsart werden dann die Verbrauchswerte berechnet. In Düsseldorf werden die benötigten Eingangsdaten von TomTom bezogen.

### Ablauf:

- Die FC-Daten werden anhand einer routingfähigen Kartenversorgung auf (Mehr-) Verbrauch je nach Route und Antriebsart umgerechnet. Dabei wird berücksichtigt, dass für ein Elektrofahrzeug zusätzliche Stopps (bezogen auf Energieverbrauch und Umweltbelastung) weniger problematisch sind, als beispielsweise für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor.
- Das Strategiemangement gibt Routenempfehlungen für bestimmte Standardrouten je nach Antriebsart.
- Die Empfehlungen werden an den MDM gesendet und stehen beispielsweise Navigationsanbietern oder Automobilherstellern zur Verfügung. Je nach Antriebsart können dann im Fahrzeug unterschiedliche Routenempfehlungen angezeigt werden.

### Erforderliche Anpassungen:

- Die für die Berechnung notwendigen FC-Daten müssen (über den MDM) empfangen werden, ggf. müssen die Daten eingekauft werden.
- Das vorhandene Strategiemangement wird um Module zur Auswertung der FC-Daten und der Erzeugung von passenden Routenempfehlungen erweitert. Das Strategiemangement muss Zugriff auf die benötigten Daten haben.
- Die MDM-Schnittstelle wird um die Versendung der antriebsartadaptiven Routenempfehlungen erweitert.

### Erfahrungen:

- Der relative Mehrverbrauch reagiert beim Verbrenner deutlich stärker auf Verkehrsstörungen als beim E-Fahrzeug.
- Die verbrauchsoptimalen Routen wechseln seltener als die reisezeitoptimalen Routen.
- Die Ergebnisse zeigen, dass es unterschiedliche verbrauchsoptimale Routen für Verbrenner und E-Fahrzeug geben kann.



- Aufgrund von Datenlücken bei den Eingangsdaten konnten nicht durchgängig Verbrauchempfehlungen generiert werden.

### **Schaltzeitpunktprognose**

#### Voraussetzungen:

- Von den Lichtsignalanlagen müssen über den Verkehrsrechner zeitnah aktuelle Daten abgefragt werden können: Aktuelles Signalprogramm, Umlaufsekunde, Signalbilder, ÖV-Meldungen, Detektorflanken.
- Die erforderlichen Daten und Latenzzeiten hängen von der Komplexität der Anlage und dem eingesetzten Prognoseverfahren ab. Für einfache Festzeitanlagen genügen das aktuelle Signalprogramm, Signalbilder und regelmäßige Meldung des Umlaufbeginns (TX=0). Die Latenzzeiten dürfen dabei auch im zweistelligen Sekundenbereich liegen, wenn eine kurzzeitige Falschprognose nach einem Signalprogrammwechsel in Kauf genommen wird. Für komplexere, verkehrsabhängige Anlagen sind gegebenenfalls ÖV-Meldungen und Detektorflanken erforderlich und die Latenzzeit sollte deutlich unter 10 Sekunden liegen, idealerweise kleiner 5 Sekunden.
- Die LSA mit ihren Signalgruppen/Haltelinien müssen den möglichen Abbiegevorgängen in der Kreuzung zugeordnet und auf der GIS-Karte referenziert sein. Die Versorgung muss aktuell gehalten werden.

#### Ablauf:

- Anhand der historischen Daten werden die Prognoseverfahren trainiert und evaluiert. Basierend auf den aktuellen Daten werden dann laufend die aktuellen Schaltzeitprognosen berechnet und über den MDM an Dienstanbieter, z.B. Anbieter für Grüne Welle Assistent oder Verzögerungsassistent weitergegeben.

#### Erforderliche Anpassungen:

- Die Zentralensoftware wird um die Komponenten zur Berechnung der Schaltzeitprognose erweitert. Diese müssen Zugriff auf die benötigten Daten haben.
- Eine Schnittstelle zum Versenden der Schaltzeitprognose sowie der Knotenpunktstopologien über den MDM muss eingerichtet werden. Die Netzreferenzierung wird hierbei über OpenLR durchgeführt.
- Gegebenenfalls muss die Schnittstelle zwischen VSM und Verkehrsrechner erweitert werden. Im Beispiel Düsseldorf im Projekt *UR:BAN-VV* musste die vorhandene Schnittstelle um die Umlaufsekunde erweitert werden.

#### Erfahrungen:

- Bei der Übertragung der Knotenpunktstopologien wird die Netzreferenzierung mit Hilfe von OpenLR durchgeführt. Hier hat sich eine gute Trefferrate im Bereich von

über 90% ergeben. Der Einsatz eines dynamischen Referenzierungsverfahrens, welches keine statischen Zuordnungen zwischen Netzgraphen benötigt, hat sich somit bewährt.

- Aufgrund der vielen relevanten Signalgruppen in einer Stadt muss die Schaltzeitprognose in weitgehend automatisierte Abläufe eingebettet werden, damit eine betriebliche Umsetzung ökonomisch effizient umsetzbar ist.
- Es steckt ein erheblicher Teil des Aufwands für eine Schaltzeitprognose in der Berücksichtigung von betrieblichen Aspekten sowie in Algorithmen, welche auf fehlerhafte oder fehlende Daten reagieren. Beispielsweise gibt es Lichtsignalanlagen, welche ihren Umlauf bei  $TX=0$  beginnen während andere bei  $TX=1$  beginnen. Generell sind die Daten der Lichtsignalanlagen uneinheitlich und deshalb oftmals nicht einfach zu interpretieren.
- Der zentralenbasierte Ansatz der Schaltzeitprognose in *UR:BAN-VV* erlaubt über die statistische Analyse der historischen Schaltzeiten sehr schnell eine Auswertung der Prognostizierbarkeit der verschiedenen Lichtsignalanlagen. Gerade in Düsseldorf hat sich gezeigt, dass eine große Anzahl von Lichtsignalanlagen mit Hilfe der statistischen Verfahren gut prognostizierbar ist. In Kassel war die Situation hingegen schwieriger, weil die Lichtsignalanlagen in dem betrachteten Testfeld stark verkehrsabhängig sind.
- Für die statistische Prognose stark verkehrsabhängiger Lichtsignalanlagen muss man Onlinedaten wie ÖV-Meldungen und Detektorflanken einbeziehen. Diese Daten werden dann sehr zeitnah benötigt, also im Zeitbereich kleiner 5s.
- Die Berechnung von Schaltzeitprognosen mit Hilfe einer Support Vector Machine basierend auf ÖV-Meldungen hat teilweise sehr gute Ergebnisse gezeigt. Teilweise konnte aber auch keine wesentliche Verbesserung erreicht werden. Hier zeigten sich individuell starke Unterschiede. Ähnlich hat es sich bei einem speziellen Prognoseverfahren für Anlagen mit Dauersignalbild gezeigt, wo auf Flanken von Anforderungsdetektoren reagiert wurde.
- In Düsseldorf hat sich gezeigt, dass durch Latenzzeiten von mehrheitlich 20 Sekunden keine Onlinedaten wie ÖV-Meldungen und Detektorflanken verwendet werden konnten, daher wurde in Düsseldorf auf historische Daten für die Prognose zurückgegriffen.

## ***Lkw-Pulkmanagement***

### Voraussetzungen:

- Die Lkw müssen sich an der Applikation anmelden, um die Pulk-Erkennung zu ermöglichen. Dazu müssen die Fahrzeuge mit einem entsprechenden Ortungs- und Sendesystem ausgestattet sein. Die Anmeldungen werden auf einem FCD-Server gesammelt und an die VMZ weitergeleitet.
- Für eine aktive Beeinflussung der LSA-Steuerung zur verbesserten Durchleitung von Lkw-Pulks müssen die entsprechenden Eingriffsmöglichkeiten über den Verkehrsrechner zur Verfügung stehen und in der lokalen Steuerungslogik berücksichtigt sein.
- Die zentralseitigen Eingriffsmöglichkeiten in die lokale Steuerungslogik müssen gegeben sein und wurden in *UR:BAN-VV* mit Hilfe von ÖV-Telegrammen (VDV R09) umgesetzt.

### Ablauf:

- Bei einer aktiven Beeinflussung werden Kommandos an die dafür vorbereiteten LSA gesendet, um für Lkw-Pulks günstigere Grünzeiten zu erreichen.

### Erforderliche Anpassungen:

- Die Zentralensoftware wird um die Pulkmanagement-Applikation erweitert. Diese benötigt Zugriff auf die LSA-Daten, weshalb die vier Versuchsknotenpunkte mit neuen Steuergeräten ausgestattet wurden. Außerdem wird ein Zugriff auf die FC-Daten der Lkw benötigt.

### Erfahrungen:

- Für die Erfassung der Lkw wird ein Server benötigt, der die FC-Daten aufnimmt und für die Stadt abrufbar macht. Im Rahmen des Projekts wurde dieser innerhalb des städtischen Verkehrsmanagementsystems prototypisch aufgebaut, müsste für einen Dauerbetrieb aber von Dritten betrieben werden.
- Für die Berücksichtigung des Gesamtverkehrs ist zudem auf eine möglichst vollständige Detektion zu achten, wozu im Testfeld Düsseldorf zusätzliche Detektoren verbaut wurden.
- Da keine standardisierte Schnittstelle zur Beeinflussung der Schaltzeitpunkte der LSA in Echtzeit besteht, wurde auf die Verwendung von ÖV-Telegrammen zurückgegriffen, die in der Zentrale erzeugt werden.
- Damit beim Versand eines solchen ÖV-Telegramms eine Veränderung der Schaltzeitpunkte erfolgt, müssen die Versorgungsdaten der Steuergeräte entsprechend angepasst werden. Hierzu ist auch eine Absprache mit dem lokalen ÖPNV-Betreiber notwendig, um ungenutzte Bereiche für Meldepunktnummern festzulegen und diese in der Logik für das Lkw-Pulkmanagement zu hinterlegen.

### **Haltepunktprognose**

#### Voraussetzungen:

- Die notwendigen Eingangsgrößen sind Kanten, Knoten und Abbiegeraten sowie Informationen zu den Lichtsignalanlagen (steuernde Kanten, gesteuerte Kante, Grünzeitpunkte je Umlauf oder Grünzeitanteile je Umlauf) und der Detektion (Lage auf Kante, Verkehrsstärke, Geschwindigkeit).

#### Ablauf:

- Auf der Basis von gemessenen Verkehrsdaten und gesammelten Lichtsignalinformationen werden für die signalisierte Zufahrten sekundengenaue Aussagen getroffen, wie lang der Rückstau ist und wie der Rückstau sich in den nächsten Minuten entwickeln wird.
- Direkte Empfänger dieser Informationen sind die Verkehrszentralen der Städte, denen die Daten über ein standardisiertes Protokoll (hier: OCIT-I) zyklisch übermittelt werden, um diese über den MDM zu den betroffenen Fahrzeugen weiterzuleiten.

#### Erforderliche Anpassungen:

- Die Software zur Berechnung der Haltepunktprognose soll in den Verkehrszentralen installiert werden und muss Zugriff auf die benötigten Eingangsgrößen haben.

#### Erfahrungen:

- Im Rahmen der Netzmodellierung hat sich herausgestellt, dass alle Eingangsdaten, mit Ausnahme der Abbiegeraten, einfach aus anderen Systemen übernommen oder manuell definiert werden können.
- Die eindeutige Identifizierung derselben Objekte über die gesamte Kommunikationskette hinweg stellte sich als komplexe Aufgabe heraus.

### **Grüne-Welle Qualitätsmanagement**

#### Voraussetzungen:

- Von den Lichtsignalanlagen müssen über den Verkehrsrechner geschaltete Signalprogramme und Signalbilder sowie - falls möglich - die Umlaufsekunde der betrachteten LSA bezogen werden. Da es sich um eine Offline-Analyse handelt, spielen die Latenzzeiten hierbei keine Rolle.
- Mit FC-Daten ist eine erweiterte Qualitätssicherung möglich, da reale Fahrten durch Koordinierungsstrecken überprüft werden können. Diese FC-Daten könn-

ten beispielsweise von Automobilherstellern als Gegenleistung für Schaltzeitprognosen bezogen werden.

- Die LSA inklusive Signalgruppen/Haltlinien müssen versorgt und auf der GIS-Karte einem Streckenzug zugeordnet sein. Die Versorgung muss aktuell gehalten werden.

#### Ablauf:

- Die Signalbilder und FC-Daten werden täglich automatisiert auf den versorgten Grüne-Welle-Routen analysiert und daraus die Qualität der Grünen Welle auf Basis der tatsächlich geschalteten Grünzeiten und der Fahrtabläufe ermittelt.
- Über eine Web-Oberfläche können die Ergebnisse der automatisierten Prüfung analysiert und Probleme identifiziert werden. Mit Hilfe spezieller Diagramme und Visualisierungen kann eine Detailanalyse vorgenommen werden.

#### Erforderliche Anpassungen:

- Die Applikationen zur Qualitätssicherung werden in der Zentrale installiert und müssen Zugriff auf die benötigten Daten haben.
- Eine Importschnittstelle für FC-Daten muss (über den MDM) eingerichtet werden. Die FC-Daten müssen auf dem Netzgraphen verortet werden (Map-Matching).

#### Erfahrungen:

Bei der Bewertung der Koordinierung basierend auf Signalzeiten hat sich gezeigt, dass die Bewertungsergebnisse des Grüne-Welle-Qualitätsmanagements für die Operatoren, welche den Betrieb überwachen, nicht einfach zu interpretieren sind. Hilfreich ist die Bewertung aber dann, wenn sie kontinuierlich und automatisiert durchgeführt wird. Es kann dann täglich automatisiert mit parametrisierten Schwellwerten verglichen werden. So kann man unbeabsichtigte Änderungen in der Koordinierungsqualität erkennen.

Ein großer Vorteil des einfachen Bewertungsansatzes zeigt sich in dem geringen Aufwand für die Parametrierung. So kann man ohne Erhebung von Felddaten vor Ort die Qualität der Koordinierung grob prüfen und überwachen. Es ist sogar möglich beliebige Streckenverläufe auszuwählen und ihre Koordinierung zu analysieren.

### **4.2.3 Nötige Anpassung von Verwaltungsprozessen**

Die Einführung von kooperativen Systemen sowie der Betrieb einer VMZ gemäß Cluster 1 erfordern auf der Seite der Kommunen als Infrastrukturbetreiber neben der Einführung geeigneter technischer Komponenten auch die Anpassung oder Neueinführung von Verwaltungsprozessen. Da kooperative Systeme stark im Kontext von Position und Route von Fahrzeugen und der Lage von Fahrstreifen und Haltlinien agieren, bedürfen sie Daten in georeferenzierter Form. Dies bedingt eine Umstellung bisheriger Dokumente und Prozesse und erfordert eine höhere Genauigkeit und Aktualität der Daten.

So werden zum Beispiel benötigt:

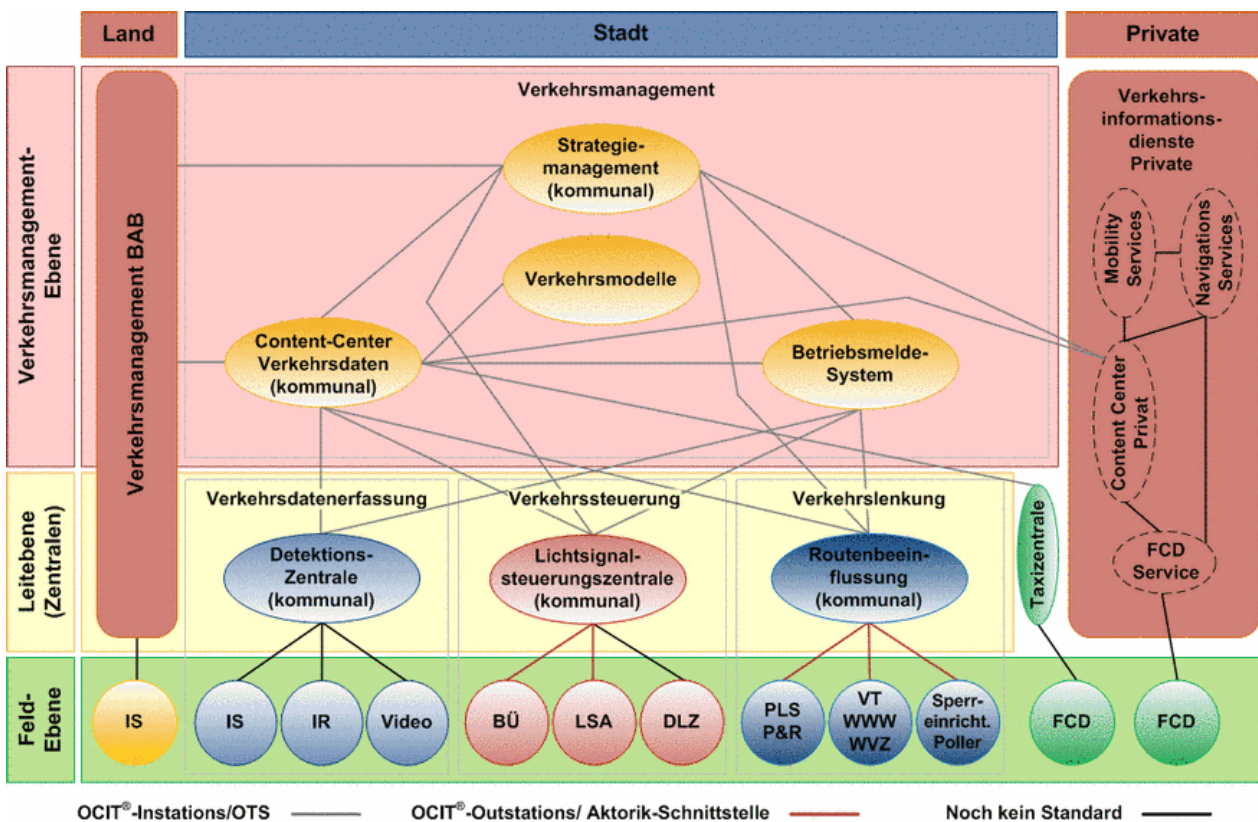
- zusätzliche Datenbestände:
  - Ein detailliertes Knoten-Kanten-Modell, das die Verkehrsinfrastruktur in Form einer Datenbank wiedergibt (Fahrstreifen, Abbiegebeziehungen, Verkehrsbeschränkungen, Vorfahrtregeln, Haltlinien mit Zuordnung von Signalgruppen). Dieses Modell muss aktuell gehalten werden. Änderungen müssen innerhalb der Verwaltung mitgeteilt werden
- zusätzliche Verwaltungsprozesse:
  - Betreuung und Administration der technischen Komponenten; Prüfung der Schnittstelle zum MDM, Wartung der Software, Einspielen von Updates.
  - Einpflegen von Baustellen und Veranstaltungen in das Verkehrsmanagementsystem. Dazu müssen die Informationen auf geeignete Weise von der Straßenverkehrsbehörde mitgeteilt werden. Beginn und Ende der Verkehrsbeschränkungen sind aktuell im System zu pflegen. Hierzu muss durch Verwaltungsprozesse sichergestellt werden, dass der tatsächliche Beginn und das tatsächliche Ende kommuniziert werden. D.h. Baufirmen müssen verpflichtet werden, Änderungen zeitnah mitzuteilen. Die Information muss verwaltungsintern zügig weitergegeben werden, damit das Verkehrsmanagementsystem aktuell gehalten werden kann.
  - Qualitätssicherung der Datenströme und der Verwaltungsabläufe
  - Gegebenenfalls Erstellen von Datenüberlassungsverträgen mit Datennehmern und Verwaltung dieser Verträge
  - Gewährleistung dass bei Änderungen der technischen Anlagen (z.B. Lichtsignalanlagen) die Zuständigen für das Verkehrsmanagementsystem über die relevanten Änderungen informiert werden. Diese müssen dann im Verkehrsmanagementsystem zeitnah (1-2 Stunden) gepflegt werden.
  - Um Entscheidungen für Verkehrsempfehlungen auf der Grundlage der aktuellen Verkehrslage treffen zu können, sind geeignete Handlungsanweisungen zu entwickeln und bei Vorhandensein eines Strategiemangements dort gegebenenfalls zu implementieren.
  - Bei Bedarf sind diese Empfehlungen mit benachbarten Verkehrsinfrastrukturbetreibern abzustimmen. Dazu ist ein Abstimmungsprozess zu definieren und durchzuführen.
- Rahmenbedingungen / Voraussetzungen:
  - Lichtsignalsteuerungszentrale mit zentralem Datenmanagement und optional mit durchgängiger Versorgungskette (VSRS)
  - OCIT-fähige LSA



- Verkehrsrechner mit Prozessdaten-Schnittstelle
- Die Latenzzeit der Prozessdaten, als die Dauer zwischen dem Entstehen einer Information (z.B. einer ÖV-Meldung oder eines Signalbildwechsels) im Steuergerät bis zum Eintreffen dieser Information im VMS, sollte weniger 10 Sekunden (idealerweise kleiner 5 Sekunden) für Online-Applikationen, wie z.B. der Schaltzeitprognose betragen.
- Daher sind ggf. Maßnahmen zur Reduzierung der Latenzzeiten nötig, d.h. die Software oder die Konfiguration im Steuergerät, im Verkehrsrechner und im VMS müssen angepasst werden. Prozesse zur Bereitstellung und Archivierung von Prozessdaten

Abbildung 28 zeigt beispielhaft die Einordnung von Komponenten in das OTS-Systemmodell. Je komplexer das städtische System aufgebaut ist und je mehr Komponenten unterschiedlicher Ebenen vorhanden sind, desto mehr Aufwand bedeutet in der Regel auch der Betrieb und die Qualitätssicherung.

Durch die Einführung von kooperativen Systemen werden zwangsläufig weitere Komponenten in das System integriert und dies bedeutet demnach einen höheren Aufwand für die Kommune als Verkehrsinfrastrukturbetreiber. Entscheider müssen sich dieser Zusammenhänge bewusst sein. Für die Durchführung der daraus entstehenden Verwaltungsprozesse ist ausreichend qualifiziertes Personal zur Verfügung zu stellen.



OTS-Systemmodell, © OCA e.V. 11/2009

Abbildung 28: Einordnung der Systeme in das OTS-Systemmodell (OCA 2009)



## 4.3 Einrichtung cloudbasierter kooperativer Systeme

Für eine Kommune aus Cluster 3 ist es möglich, ihre LSA mit einem Verkehrsrechner in der Cloud zu koppeln. Es gibt inzwischen mehrere Hersteller auf dem Markt, die einen Verkehrsrechner inkl. Verkehrsmanagementbausteine in der Cloud anbieten. Dadurch kann eine Kommune dann aus Cluster 3 in den Cluster 2 oder Cluster 1 aufsteigen und ebenfalls kooperative Anwendungen betreiben.

Da im Projekt *UR:BAN-VV* keine cloudbasierten Verkehrsrechner verwendet wurden, wird an dieser Stelle des Leitfadens auch nicht weiter darauf eingegangen. Der Leitfaden konzentriert sich bei den cloudbasierten kooperativen Systemen auf zwei Beispiele, die im Rahmen des Projektes *UR:BAN-VV* weiterentwickelt und in Kommunen integriert wurden.

Die Einrichtung dieser cloudbasierter Applikationen ist sowohl im Cluster 1, Cluster 2 und auch im Cluster 3 möglich und kann somit als clusterunabhängig betrachtet werden. Das bedeutet, dass das Vorhandensein eines Verkehrsrechners oder eines zentralen Verkehrsmanagements nicht zwingend erforderlich ist. Der Unterschied besteht lediglich in der Versorgung der cloudbasierten Systeme mit grundlegenden Daten. Diese kann entweder manuell erfolgen oder sie erfolgt automatisiert über eine Verbindung zum Verkehrsrechner oder zum Verkehrsmanagement.

### 4.3.1 Technische Ausgangslage

#### ***Ausgangssituation***

Als Ausgangslage für cloudbasierte Anwendungen, wie diese im Projekt *UR:BAN-VV* umgesetzt wurden, kann jeder der drei vorgestellten Cluster dienen. Im Cluster 1 ist eine Verkehrsmanagementzentrale vorhanden. Diese fungiert als Verknüpfung mit den cloudbasierten Diensten. Ist diese Einheit nicht vorhanden, so wie im Cluster 2, wohl aber ein Verkehrsrechner, so interagieren die cloudbasierten Dienste mit den Planungstools, welche auch zur Versorgung des Verkehrsrechners herangezogen werden. Im Cluster 3 ist keine zentral betriebene Einheit zum Betrieb der Verkehrsinfrastruktur vorhanden, daher erfolgen Versorgungen der cloudbasierten Applikationen zum Teil manuell.

Unabhängig davon, in welchem Cluster die Kommune einzuordnen ist, können Informationen mittels eines cloudbasierten Dienstes dem MDM und somit einer breiten Masse an potentiellen Interessenten zugänglich zu machen. Somit können verkehrsrelevante Informationen weiteren Diensteanbietern verfügbar gemacht werden, welche diese über fahrzeugseitige Applikationen den Verkehrsteilnehmern zugänglich machen, so dass damit wiederum positive Effekte auf den städtischen Verkehr möglich gemacht werden.

Verfügt die Kommune über mit ITS Roadside Stations ausgerüstete Knotenpunkte, besteht die Möglichkeit diese mit cloudbasierten Diensten zu verknüpfen. Entsprechende standardisierte Schnittstellen liegen aber zur Zeit der Erstellung dieses Leitfadens noch

nicht vor. Weitere Informationen zu vorliegenden standardisierten Schnittstellen können dem Anhang A entnommen werden.

### 4.3.2 Technische Erweiterung des städtischen Systems

Die hier beschriebenen cloudbasierten Applikationen sind als clusterunabhängig anzusehen.

#### ***Car2X-Auswertemodul***

##### Voraussetzungen:

- Vorhandene Infrastruktur, sprich mit ITS Roadside Stations ausgerüstete Lichtsignalanlage.
- Einen an das Internet angebundenen Rechner mit Bildschirm für den Operator.

##### Ablauf:

- Die Startseite der Weboberfläche des Car2X-Auswertemoduls bietet zunächst einen Überblick über alle Lichtsignalanlagen, die mit ITS Roadside Stations ausgestattet sind.
- Beim Anwählen eines bestimmten Knotenpunktes wird auf diesen gezoomt und die aktuelle, aus den V2X-Informationen der Fahrzeuge berechnete Verkehrssituation dargestellt.
- Zahlreiche Kenngrößen (u.a. Reisegeschwindigkeit, Verlustzeit) die ebenso aus den V2X-Informationen der Fahrzeuge berechnet werden, können graphisch oder tabellarisch dargestellt werden.
- Die Informationen werden alle 15 Minuten aktualisiert.
- Auf Anforderung kann noch die statistische Aussagekraft der berechneten Kenngrößen ermittelt werden bzw. die Anzahl der Fahrzeuge, auf den die Berechnung der Kenngrößen beruht, wird angegeben.
- Die Kenngrößen vergangener Intervalle werden archiviert und stehen für anschließende Auswertungen zur Verfügung.

##### Erforderliche Anpassungen:

- Um die V2X-Daten abgreifen zu können, muss eine Verbindung zur ITS Roadside Station der jeweiligen LSA aufgebaut werden. Hierfür liegt keine Standard-schnittstelle vor. Daher ist dieser Datenabgriff mit dem Hersteller der ITS Roadside Station abzuklären.

- Die notwendigen Daten zur LSA-Steuerung, welche in die Berechnung der Kenngrößen mit einfließen, können entweder direkt von der LSA – falls diese SPaT-Nachrichten versendet – bzw. von einem Versorgungsrechner bezogen werden. Auch eine manuelle Eingabe ist möglich, bei der lediglich Festzeitprogramme versorgt werden.

### Erfahrungen:

- Aufgrund der geringen Anzahl von Fahrzeugen, welche V2X-Daten versenden, konnte die Ermittlung der Kenngrößen nicht anhand von Realdaten erfolgen. Daher wurde diese Funktionalität durch Daten nachgewiesen, welche mittels einer mikroskopischen Verkehrssimulation erzeugt wurden.

### **Baustelleninformationssystem (BIS)**

#### Voraussetzungen:

- Personelle Kapazität zur Pflege von Baustellenmeldungen muss vorhanden sein.
- Zur Verifizierung bzw. Aktivierung von Baustellenmeldungen müssen Rückmeldungen aus FC-Daten (Echtzeit- und historische Informationen) bezogen werden.
- Umlauf und Freigabezeit der LSA-Programme müssen vorhanden sein.
- Informationen über die stündliche Verkehrsbelastung im Netz müssen für eine Vorabschätzung der Wartezeit vorhanden sein.

#### Ablauf:

- Geplante Baustellen und erwartete Veränderungen des Querprofils (z.B. Sperrung von Fahrstreifen) werden über eine Weboberfläche (siehe Abbildung 29) eingepflegt.
- Aufgrund der Eingaben zur Baustelle, der zugehörigen LSA-Schaltung und der Verkehrsbelastung wird eine potentielle Wartezeit abgeschätzt.
- Anhand von FCD-Rückmeldungen werden die Baustellen verifiziert und erst dann als aktiv gekennzeichnet, wenn sie tatsächlich eine reale Auswirkung haben. Dabei wird zum Vergleich auf Planungsdaten oder Messdaten des Managementsystems zurückgegriffen.
- Die Baustellenmeldungen werden an den MDM über eine entsprechende Schnittstelle weitergegeben.

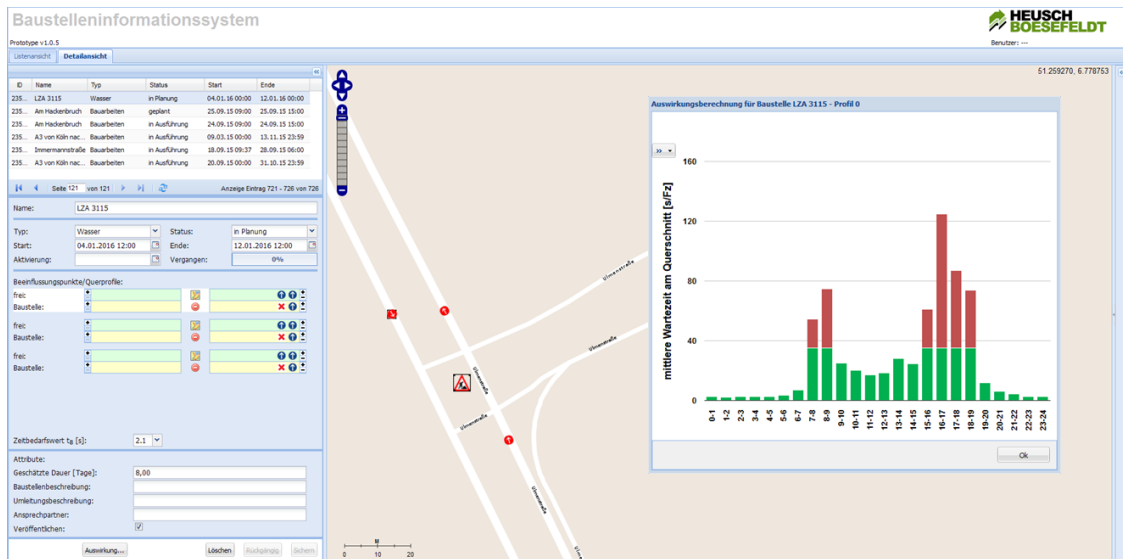


Abbildung 29: Beispielhafte Wartezeitermittlung im Baustelleninformationssystem

### Erforderliche Anpassungen:

- Die für die Berechnung notwendigen FC-Daten müssen empfangen werden, ggf. müssen die Daten eingekauft werden.
- Hilfreich ist ein automatischer Zugriff auf die benötigten Verkehrsdaten (Zählwerte u.ä.). Ist dies nicht der Fall können diese auch manuell versorgt werden.

### Erfahrungen:

- Wenn keine netzweiten Verkehrsbelastungen in digitaler Form basierend auf einer Modellberechnung zur Verfügung stehen, müssen diese halbautomatisch aus Zählwerten gewonnen werden und zudem Annahmen in Bezug auf den Verlauf der Ganglinien getroffen werden, da nicht überall Zählstellen bzw. Zählwerte vorliegen.

## 5 Test kooperativer Systeme

Applikationen auf Basis kooperativer Systeme müssen eine ausreichend hohe Qualität aufweisen, damit sie von Anwendern akzeptiert werden und insbesondere bei sicherheitskritischen Funktionen keinen Schaden anrichten. Da hier verschiedene Komponenten und Teilsysteme von unterschiedlichen Herstellern miteinander kooperieren, ist ein neutrales Vorgehen für die Bewertung der Qualität der Funktionen sinnvoll. Ein wesentliches Qualitätskriterium ist die korrekte Funktion einer Applikation. Hierfür sind umfassende, systematische Tests erforderlich, die für eine ausreichend hohe Testabdeckung automatisiert durchgeführt werden müssen.

Eine Herausforderung bei der Einführung kooperativer Systeme ist die Qualitätssicherung auf Betreibersicht. Fehlfunktionen im laufenden Betrieb führen zu fehlender Akzeptanz bei den Verkehrsteilnehmern und können bei sicherheitsrelevanten Applikationen schwerwiegende Folgen haben. Durch die zwangsläufige Heterogenität der entstehenden Applikationen entstehen hier große Herausforderungen für die Betreiber, die sich mit verschiedenen Herstellern unterschiedlichster Komponenten (Fahrzeuge, Verkehrsinfrastruktur, Radfahrer/Fußgänger, etc.) im Zweifelsfall auseinandersetzen müssen. Diesen Herausforderungen kann mit konsequentem Einsatz von Kommunikationsstandards und umfassender Qualitätssicherung im Vorfeld der Inbetriebnahme begegnet werden. Daneben werden leistungsfähige Methoden und Werkzeuge für das Monitoring der Applikationen zur frühzeitigen Fehleridentifikation benötigt.

### 5.1 Vorgehen für den Test kooperativer Systeme im Verkehr

Bevor Applikationen auf der Basis kooperativer Systeme getestet werden, müssen in einem ersten, essentiellen Schritt die erwarteten Eigenschaften der kooperativen Applikation genau spezifiziert und zwischen Betreiber und Auftragnehmer abgestimmt werden. Dabei liegt ein besonderes Augenmerk auf dem geforderten Verhalten der gesamten kooperativen Applikation, wobei das Gutverhalten und insbesondere auch das Fehlerverhalten spezifiziert werden müssen. Hierzu ist die Spezifikation des geforderten Verhaltens der einzelnen Komponenten an den zugänglichen Schnittstellen notwendig. Als Beispiel soll dazu die knotenpunktbasierte *UR:BAN-VV* Applikation *Radfahrerschutz* dienen.

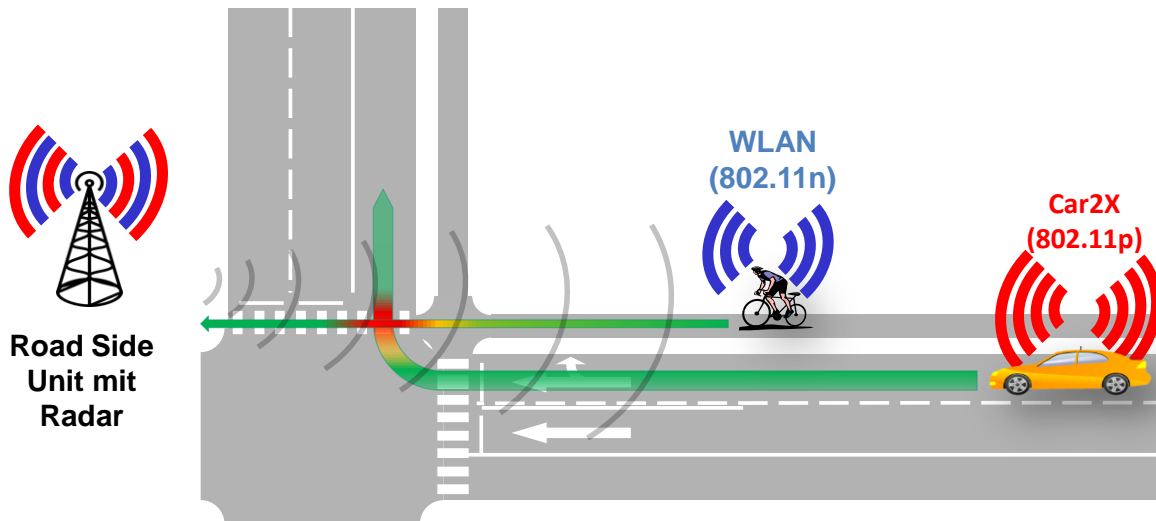


Abbildung 30: Schematische Darstellung der *UR:BAN-VV* Applikation Radfahrschutz

Die Applikation läuft auf einer IRS an einer ausgestatteten LSA. Sie erwartet standardisierte CAMs von den Kraftfahrzeugen und proprietäre WLAN-Nachrichten von den Radfahrern. Falls sich Kollisionen abzeichnen, soll die IRS-Applikation Warnungen in Form von standardisierten DENMs an die Kfz und proprietären WLAN-Nachrichten an die Radfahrer senden. Abbildung 30 zeigt die Funktionsweise schematisch. Wichtig an diesem Beispiel ist zunächst die Spezifikation der Struktur und der verwendeten Kommunikationsstandards an den Schnittstellen. Daneben muss in einem weiteren Schritt auch die Spezifikation des erwarteten Verhaltens der einzelnen Komponenten und der gesamten kooperativen Applikation erfolgen.

Nachdem die Features und Schnittstellen spezifiziert und zwischen Betreiber und Auftragnehmer abgestimmt wurden, können die eigentlichen Testaktivitäten beginnen. Das prinzipielle Vorgehen beim Testen kooperativer Systeme unterscheidet sich dabei nicht von etablierten Testprozessen. Hier sei auf den fundamentalen Testprozess nach ISTQB (ISTQB 2015) verwiesen. Dieser ist in Abbildung 31 dargestellt und unterscheidet die einzelnen Phasen *Planung und Steuerung*, *Analyse und Design*, *Realisierung und Durchführung*, *Auswertung und Bericht* sowie *Abschluss*. Dabei beeinflussen sich diese gegenseitig iterativ.

Dabei ist es unerheblich, ob die Testaktivitäten direkt beim Betreiber oder durch einen beauftragten Testdienstleister erfolgen.

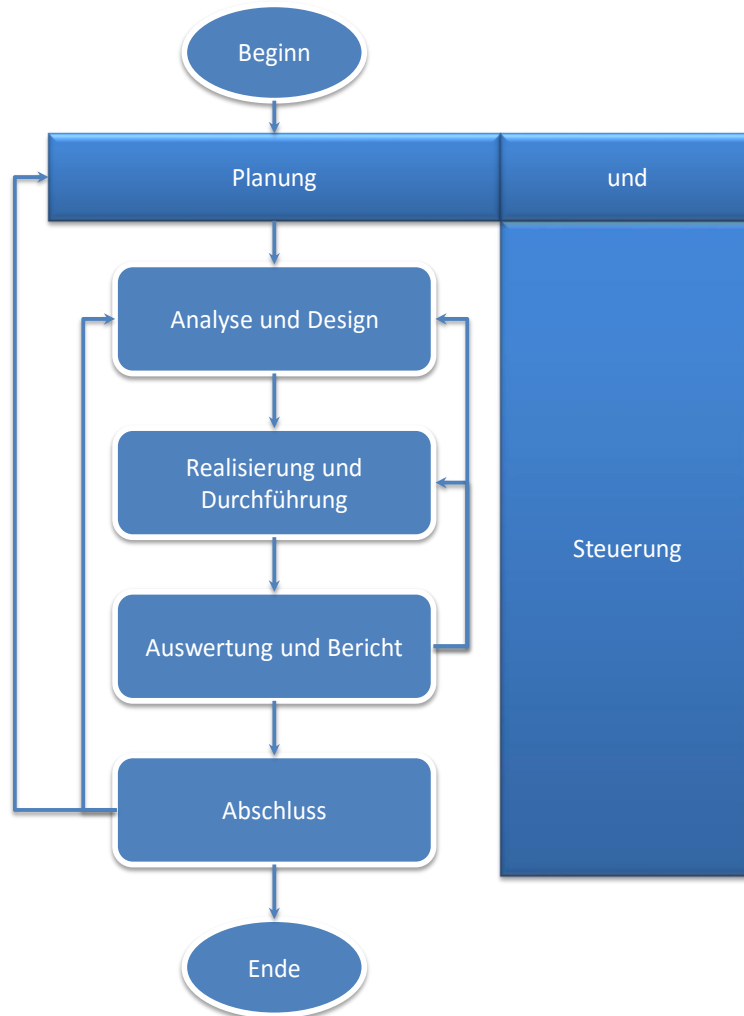


Abbildung 31: Fundamentaler Testprozess nach ISTQB (ebd.)

## 5.2 Testautomatisierung

Die Herausforderungen beim Testen kooperativer Systeme im Verkehr liegen in erster Linie beim Beherrschen der Komplexität der entstehenden Applikationen. Die Komplexität ergibt sich dabei in erster Linie aus der teilweise sehr hohen Anzahl miteinander kommunizierenden Komponenten, wobei Echtzeitbedingungen an die Kommunikation die Komplexität noch weiter erhöhen können.

Für die Zusicherung hoher Qualitätsstandards bei der Inbetriebnahme und dem Betrieb kooperativer Applikationen ist ein hohes Maß an Testautomatisierung notwendig. Nur mit Testautomatisierung und der damit verbundenen hohen Anzahl an ausführbaren Testfällen bei der Testdurchführung kann die notwendige Testtiefe erreicht werden.

Die Beherrschung dieser hochgradig verteilten Systeme stellt hohe Anforderungen an die Testsystemen, da diese ebenfalls verteilt sein müssen, um die notwendigen Stimulationen und Beobachtungen realisieren zu können. Hier ist eine gründliche Analyse des Marktes notwendig, um das passende Testwerkzeug auszuwählen. Es empfiehlt sich dabei, featurebasiert die notwendigen Testfälle logisch zu spezifizieren und Testsysteme



zu identifizieren, die diese Testfälle automatisiert ausführen können. Gespräche mit Testsystemanbietern über notwendige Erweiterungen ihrer Produkte können ebenfalls helfen, die notwendige Testinfrastruktur für eine hochgradig automatisierte Testdurchführung bereitzustellen.

### 5.3 Frühe Fehleridentifikation im Betrieb durch Monitoring

Durch das Testen von komplexen Applikationen, wie sie kooperative Systeme bereitstellen, können nicht alle Fehler identifiziert werden. Auch bei gut implementierten Testprozessen und den sich daraus ergebenden, qualitativ hochwertigen kooperativen Applikationen kann Fehlerfreiheit nicht garantiert werden. Deshalb ist es wichtig, während des Betriebs von kooperativen Applikationen, möglichst frühzeitig Fehler zu identifizieren. Dafür können und sollten regelbasierte Werkzeuge verwendet werden, mit denen das Monitoring kooperativer Systeme automatisiert möglich ist. Inkonsistentes Verhalten auf dem Kommunikationssystem kann so schnell und automatisiert identifiziert und dem Betreiber gemeldet werden, der daraufhin entsprechende Maßnahmen einleiten kann.

### 5.4 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass für die Realisierung hoher Qualitätsstandards von Applikationen auf der Basis kooperativer Systeme hohe Anforderungen an Testprozess, -personal und -infrastruktur gestellt werden. Die wichtigsten Punkte, die dabei beachtet werden sollten, sind:

- Umfassende Spezifizierung der erwarteten Features der kooperativen Applikation. Features können dabei verschiedene Aspekte beleuchten, wie z. B. Funktionalität (Sicherheit), Performance, Emission, Durchsatz, Komfort, etc. Die Spezifikation der Features sollte mit dem Auftragnehmer in einem weiteren Schritt hinsichtlich erwartetes Verhalten an den zugänglichen Schnittstellen (Gut- und Fehlerverhalten) verfeinert und abgestimmt werden (aussagekräftiges Lasten-/Pflichtenheft).
- Priorisierung der Features hinsichtlich zu erreichender Testtiefe.
- Systematische Erstellung der notwendigen Testfälle.
- Anstreben hoher Automatisierungsgrade bei der Testdurchführung, Bereitstellung der notwendigen Testinfrastruktur, Auswahl geeigneter Testwerkzeuge, ggf. Schulung des Testpersonals.
- Automatisiertes und regelbasiertes Monitoring der kooperativen Applikationen im laufenden Betrieb zur frühen Fehleridentifikation und –bereinigung.

Weitere Informationen und detaillierte Erläuterungen sind in einem separat vorliegenden „Leitfaden für das Testen kooperativer Systeme im Verkehr“ verfügbar.

## 6 Evaluierung kooperativer Systeme

### 6.1 Grundsätzliches methodisches Vorgehen

Ziel der Evaluierung kooperativer Systeme ist die Ermittlung und Bewertung Ihrer verkehrlichen, ökologischen, ökonomischen und ggf. weiteren zielgruppenspezifischen Auswirkungen. Die Evaluierung besteht im Wesentlichen aus den Phasen:

1. **Aufstellung eines Zielsystems** der Bewertung inklusive geeigneter Indikatoren; evtl. Festlegung von Anspruchsniveaus, die durch den Einsatz des kooperativen Systems erreicht werden sollen (Reduzierung der Anzahl LSA-bedingter Halte um x %, Verringerung des Schadstoffausstoßes um x %, etc.).
2. **Ermittlung der Wirkungen** mit geeigneten Verfahren (Felderprobungen, Befragungen, Verkehrs- oder Fahrsimulationen, etc.) und unter Beachtung statistischer Aspekte zur Aussagekraft (Stichprobenumfänge, Signifikanzen, etc.) und Verzerrungsfreiheit (z.B. durch Korrelation von Wirkungsindikatoren).
3. Eventuell **Extrapolation und Hochrechnung** auf Zielszenarien (Stadt, Region, Teil-/Vollausstattungen, Zeithorizonte, etc.). Hierzu sind geeignete und akzeptierte fachspezifische Methoden festzulegen, mit denen z.B. von der Evaluierung eines kooperativen Systems an wenigen exemplarischen Kreuzungen auf deren Wirkung bei Einsatz im gesamten Stadtgebiet geschlossen werden kann.
4. **Bewertung** der Wirkungen nach einer zuvor vereinbarten Methode, die die Art der ermittelten Indikatoren (qualitativ, quantitativ, monetarisierbar,...) und Zielgruppeninteressen (Politik, Industrie, Forschung, etc.) in ausgewogener Form einbezieht.

Nach dem Schritt der Systemevaluierung sollte im Falle einer Systemeinführung ein **Qualitätssicherungsprozess** installiert werden, der mindestens aus einer Vorher-/Nachher-Untersuchung besteht, besser aus einem kontinuierlichen Monitoring der in der Erstevaluierung vereinbarten Indikatoren (zumindest der Schlüsselindikatoren (engl.: Key Performance Indicators (KPI)) besteht.

### 6.2 Evaluierung im Projekt *UR:BAN-VV*

Evaluieren wurden im Projekt lediglich die Applikationen, die eine verkehrliche Wirkung entfalten. Unter verkehrlich wirksamen Applikationen werden dabei solche Applikationen verstanden, die unmittelbar auf den Verkehrsablauf einwirken und damit direkte Einflüsse auf die Verkehrseffizienz, den Emissionsausstoß oder die Verkehrssicherheit erwarten lassen. Die weiteren im Rahmen von *UR:BAN-VV* entwickelten Applikationen finden jedoch Eingang in die verkehrlich wirkenden Applikationen und sind somit indirekt ebenfalls berücksichtigt. So entfaltet beispielsweise die Schaltzeitprognose keine direkte ver-

kehrliche Wirkung, stellt aber die Grundlage für die verkehrlich wirksame Grüne-Welle-Assistenz im Fahrzeug dar. Verkehrlich wirksame Applikationen werden in diesem Zusammenhang in einer mikroskopischen Verkehrsflusssimulation modelliert und unter verschiedenen Ausstattungsszenarien und Randbedingungen simuliert. Schließlich werden deren Wirkungen hinsichtlich der Verkehrseffizienz, des Emissionsausstoßes oder der Verkehrssicherheit quantifiziert. Eine umfassende Bewertung der Ergebnisse der Wirkungsanalyse wurde im Projekt nicht durchgeführt.

Um die Ergebnisse der Verkehrssimulation analysieren zu können, ist eine Überprüfung der statistischen 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.

Allgemeine Hinweise zur Durchführung von Simulationsstudien unter Verwendung mikroskopischer Verkehrsflusssimulationen finden sich im Hinweispapier 388 der FGSV (FGSV 2006).

### **6.2.1 Evaluierung der verkehrlichen Wirkungen am Beispiel einer Ampelphasenassistenz**

Dieses Kapitel zeigt zu dem in Kapitel 6.1 erläuterten generischen Prozess exemplarisch einige Schritte anhand einer im Projekt *UR:BAN-VV* entwickelten und demonstrierten Applikation auf. Dabei wird sowohl auf die Vorgehensweise als auch auf die erzielten Ergebnisse eingegangen. Beispielhaft wird die Ampelphasenassistenz ausgewählt, da sie einen der meistdiskutierten Anwendungsfälle für kooperative Systeme in Städten darstellt. Die Applikation wird zunächst zufahrtsfein für einzelne Knotenpunkte und anschließend auf einem Streckenzug mit mehreren signalisierten Knotenpunkten untersucht.

Ziel der Ampelphasenassistenz ist eine Reduktion der Anzahl der LSA-bedingten Halte durch gezielte Geschwindigkeitsanpassungen der Fahrzeuge. In Folge der Reduktion der Anzahl der Halte wird neben einer Komforterrhöhung für den Fahrer eine Reduktion des Kraftstoffverbrauchs und der Emissionen erwartet. Die Ampelphasenassistenz stützt sich auf die situationsgerechte Fahrinformation und Fahrempfehlung unter Verwendung von kommunizierten Infrastrukturdaten. So nutzt ein mit der Applikation ausgestattetes Fahrzeug die zur Verfügung stehenden Informationen der Lichtsignalanlage, verringert seine Geschwindigkeit gegebenenfalls frühzeitig und kann somit den Knotenpunkt im Idealfall ohne Halt passieren. Ein nicht ausgestattetes Fahrzeug dagegen fährt eine längere Zeit mit Wunschgeschwindigkeit und verzögert erst später in geringerer Nähe zur Haltelinie. Voraussetzung für eine derartige Funktion ist neben der Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur eine Prognose künftiger Schaltzustände der Lichtsignalanlage. Zusätzlich kann die Verwendung von Rückstauinformationen die Geschwin-

digkeitshinweise und damit die Wirkung der Applikation verbessern. Die tatsächliche Ausprägung der Applikation kann unterschiedlich sein. So kann ein zentralenbasierter Ansatz mit Mobilfunkkommunikation genauso genutzt werden wie ein knotenpunktbasierter Ansatz mit WLAN-Kommunikation. Auch die Verwendung der Information im Fahrzeug kann unterschiedlich gestaltet sein, vom Anzeigen einer Empfehlung bis hin zum teilautomatisierten Eingriff in die Fahrzeuglängsregelung. Zusammenfassend wird die Vielzahl dieser möglichen Ausprägungen hier als Ampelphasenassistenz bezeichnet.


### 6.2.1.1 Nachbildung der Ampelphasenassistenz in der Simulation

Zur Untersuchung der Ampelphasenassistenz kommt die mikroskopische Verkehrsflusssimulation VISSIM zum Einsatz. Grundlage der Simulationsumgebung VISSIM ist das psycho-physische Fahrzeugfolgemodell 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 in *UR:BAN-VV* entwickelten Applikationen wird deren Logik in ein Programmcode überführt. Dieser Code ist über eine Schnittstelle mit der Verkehrsflusssimulation verbunden und kann darüber beispielsweise die Wunschgeschwindigkeit ausgestatteter Fahrzeuge beeinflussen. Kenngrößen wie die Anzahl der Halte oder die Reisezeit der Fahrzeuge können direkt aus den ermittelten Bewegungsprofilen abgeleitet werden. Zur Ermittlung der Umweltauswirkungen der betrachteten Applikationen wurde das Emissionsberechnungsmodell PHEM (Passenger Car and Heavy Duty Emission Model) verwendet. Grundlage der Berechnung stellen umfangreiche Emissionskennfelder von Motoren verschiedener Fahrzeuge dar, die aus der Mikrosimulation ermittelten Bewegungsprofile werden als Eingangsgröße verwendet.

### 6.2.1.2 Evaluierungsergebnisse der Ampelphasenassistenz

Die Wirkung der Ampelphasenassistenz wird zunächst zufahrtsfein an den zehn (in Deutschland) am häufigsten auftretenden Zufahrtstypen untersucht, wobei von einem Empfangs- und Wirkungsbereich von 600m ausgegangen wird. Tabelle 5 zeigt eine Übersicht der gesamtverkehrlichen Evaluierungsergebnisse für den häufigsten Zufahrtstyp 1 (einstreifig) und den siebthäufigsten Zufahrtstyp 7 (dreistreifig, links-geradeausrechts). Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte (MW) der einzelnen Kenngrößen Anzahl der Halte ( $n_{\text{Halte}}$ ), Kraftstoffverbrauch (FC), Kohlenmonoxidemission (CO), Kohlenwasserstoffemission (HC), Stickoxidemission ( $\text{NO}_x$ ) und Feinstaubemission (PM) für die Ausstattungsraten 0%, 15% und 80%. Zusätzlich sind die prozentualen Änderungen gegenüber dem Szenario mit Ausstattungsrate 0% dargestellt, welche im Falle einer statistisch signifikanten Veränderung farblich hinterlegt sind. Die Simulationen werden bei

unverändertem Signalprogramm für den Tagesnormalverkehr (11-12 Uhr) und die Spitzenstunde (16-17 Uhr) durchgeführt, um unterschiedliche Sättigungsgrade zu untersuchen.

		Zufahrtstyp 1					
							
		Freigabezeit: 15s					
		11 - 12 Uhr		16 - 17 Uhr			
		MW	Änderung	MW	Änderung		
Effizienz	n Halte [-]	0%	0,81		0,89		
		15%	0,75	<b>-7,8%</b>	0,84	<b>-5,9%</b>	
		80%	0,62	<b>-23,8%</b>	0,75	<b>-15,5%</b>	
	Umwelt	FC [g/h]	0%	1873		1840	
			15%	1882	<b>0,5%</b>	1860	<b>1,1%</b>
			80%	1854	<b>-1,0%</b>	1816	<b>-1,3%</b>
		CO [g/h]	0%	38,59		42,59	
			15%	37,90	<b>-1,8%</b>	42,36	<b>-0,6%</b>
			80%	34,91	<b>-9,5%</b>	39,46	<b>-7,3%</b>
HC [g/h]		0%	0,74		0,80		
		15%	0,74	<b>-0,5%</b>	0,80	<b>0,0%</b>	
		80%	0,71	<b>-4,6%</b>	0,77	<b>-4,1%</b>	
NOx [g/h]	0%	8,51		8,03			
	15%	8,53	<b>0,2%</b>	8,15	<b>1,5%</b>		
	80%	8,45	<b>-0,7%</b>	8,00	<b>-0,3%</b>		
PM [g/h]	0%	0,32		0,32			
	15%	0,32	<b>-1,3%</b>	0,33	<b>1,9%</b>		
	80%	0,32	<b>-1,3%</b>	0,32	<b>-0,8%</b>		

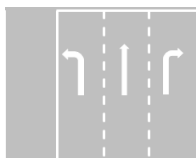
		Zufahrtstyp 7					
							
		Freigabezeit: 44s					
		11 - 12 Uhr		16 - 17 Uhr			
		MW	Änderung	MW	Änderung		
Effizienz	n Halte [-]	0%	0,40		0,44		
		15%	0,29	<b>-27,8%</b>	0,31	<b>-28,5%</b>	
		80%	0,13	<b>-68,2%</b>	0,14	<b>-66,9%</b>	
	Umwelt	FC [g/h]	0%	2085		2070	
			15%	2081	<b>-0,2%</b>	2071	<b>0,0%</b>
			80%	2069	<b>-0,8%</b>	2057	<b>-0,6%</b>
		CO [g/h]	0%	20,68		25,96	
			15%	18,49	<b>-10,6%</b>	22,85	<b>-12,0%</b>
			80%	14,55	<b>-29,6%</b>	17,30	<b>-33,4%</b>
HC [g/h]		0%	0,72		0,88		
		15%	0,70	<b>-3,0%</b>	0,86	<b>-2,4%</b>	
		80%	0,66	<b>-8,4%</b>	0,81	<b>-8,4%</b>	
NOx [g/h]	0%	8,90		9,48			
	15%	8,90	<b>0,0%</b>	9,54	<b>0,6%</b>		
	80%	8,87	<b>-0,3%</b>	9,38	<b>-1,1%</b>		
PM [g/h]	0%	0,32		0,35			
	15%	0,32	<b>1,0%</b>	0,36	<b>1,6%</b>		
	80%	0,32	<b>0,5%</b>	0,35	<b>-1,2%</b>		

Tabelle 5: Evaluierungsergebnisse einer Ampelphasenassistenz bei zufahrtsfeiner Betrachtung für Zufahrtstyp 1 und Zufahrtstyp 7

Bei der Untersuchung der Applikation zeigt sich, dass bezogen auf den Gesamtverkehr mit höheren Ausstattungsgraden tendenziell größere Veränderungen beobachtet werden können. Die Zufahrtstypen 1 und 7 wurden ausgewählt, um den Unterschied der Wirkung bei unterschiedlichen Randbedingungen zu verdeutlichen. So wirken sich geringere Auslastungsgrade der Zufahrt durch größere Freigabezeiten bzw. geringere Verkehrsnachfrage positiv auf die Wirkung aus. Dies liegt darin begründet, dass mehr Fle-

xibilität 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. Darüber hinaus sind gleichzeitige oder zumindest sich überschneidende Freigabezeiten der Signalgruppen einer Zufahrt vorteilhaft, da Beeinflussungen von Fahrzeugen in der gleichen Zufahrt mit unterschiedlichen Geschwindigkeitshinweisen minimiert werden können. Die Reduktion der Anzahl der Halte 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 Kohlenwasserstoffe werden deutlich reduziert.

Um einen Anhaltspunkt zur Wirkung der knotenpunktbasierten Applikationen in Netzen geben zu können, wird eine Hochrechnung der Ergebnisse vorgenommen. Die Hochrechnung der verkehrlichen Wirkungen der entwickelten Applikationen erfolgt zufahrtsfein auf Basis einer umfangreichen Datenerhebung von Zufahrten des klassifizierten Straßennetzes deutscher Städte ab einer Einwohnergröße von 50.000. Dazu wurden 5000 zufällig ausgewählte Zufahrten aus den jeweiligen Städten untersucht. Zur Typisierung von Zufahrten wurde zwischen den folgenden verkehrlich relevanten Eigenschaften differenziert: Anzahl der Fahrstreifen im Knotenpunktzulauf, Typ des Sortierbereichs und Länge der Aufstellfläche. Aus dieser Erhebung ergeben sich die Häufigkeiten der einzelnen Zufahrtstypen, wobei für die neun häufigsten Zufahrtstypen Simulationsstudien durchgeführt wurden. Tabelle 6 zeigt die Häufigkeit der unterschiedlichen Zufahrtstypen für vier beispielhaft ausgewählte Städte.










		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%

Tabelle 6: Zusammensetzung der Zufahrtstypen von vier Beispielstädten zur Hochrechnung

Basierend auf den neun häufigsten Zufahrtstypen erfolgt die Hochrechnung der Ergebnisse für die einzelnen Städte. Dabei wird für die übrigen Zufahrtstypen in einem konservativen Szenario der jeweils schlechteste ermittelte Wert aller Zufahrtstypen und in einem optimistischen Szenario der jeweils beste verwendet. Für Werte, die keinen signifikanten Unterschied zum Referenzszenario aufweisen, wird keine Wirkung angenommen. Abbildung 32 und Abbildung 33 zeigen exemplarisch die Hochrechnungsergebnisse des Einflusses der Ampelphasenassistenz auf die Anzahl der Halte sowie die Emission von Kohlenmonoxid.



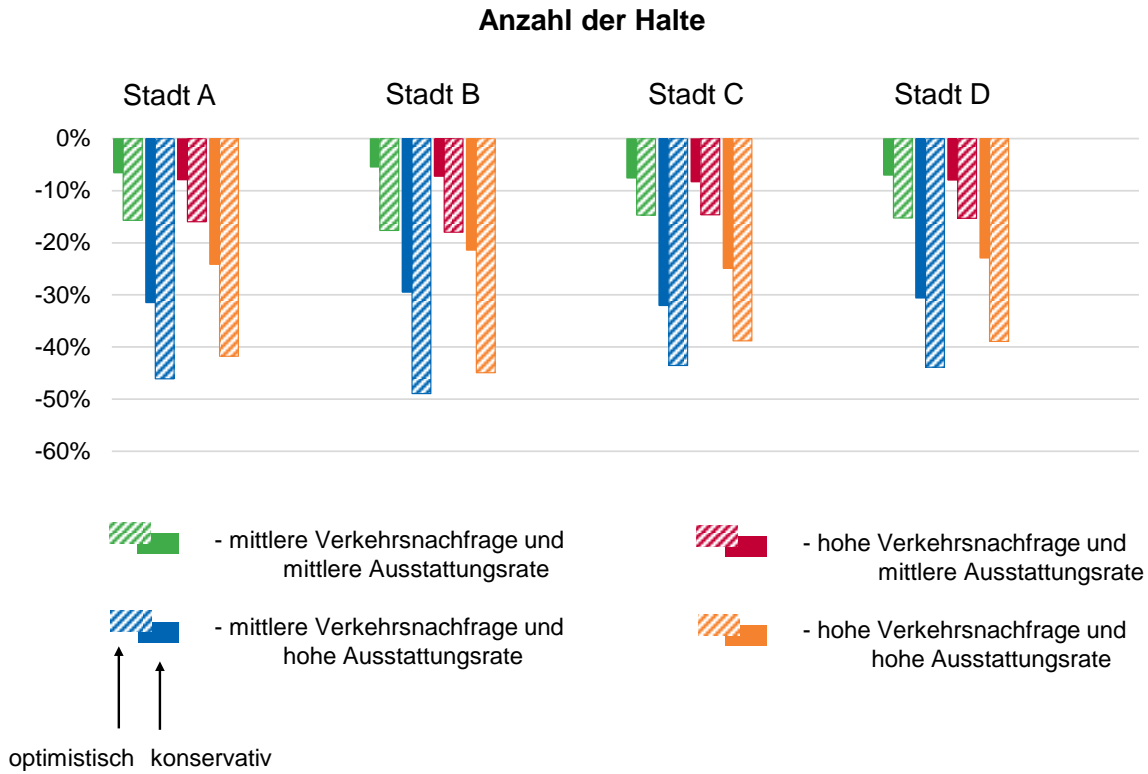


Abbildung 32: Hochrechnung des Einflusses einer Ampelphasenassistenz auf die Anzahl der Halte

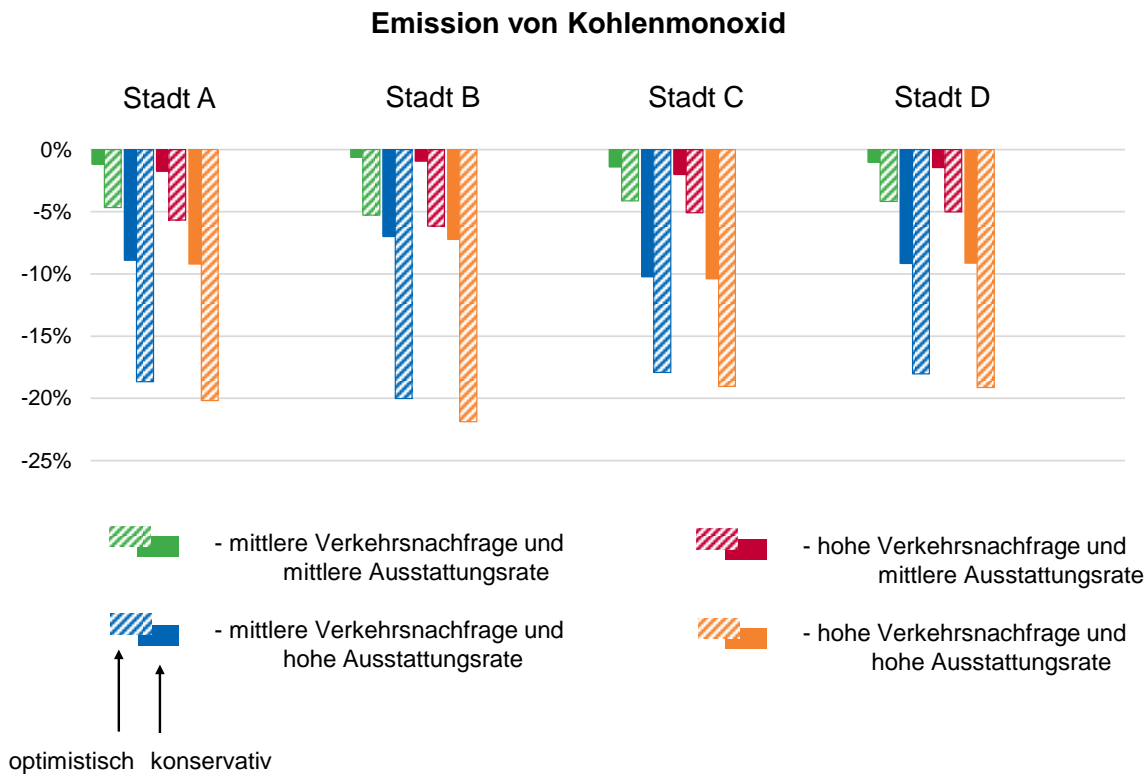


Abbildung 33: Hochrechnung des Einflusses einer Ampelphasenassistenz auf die Emission von Kohlenmonoxid

Die oben vorgenommene Betrachtung stützt sich auf Untersuchungen am isolierten Knotenpunkt unter der idealisierten Annahme von 600m Empfangs- und Wirkungsbereich sowie einer fehlerfrei vorhergesagten Festzeitsteuerung. Bestimmte Applikationen können direkt wie oben gezeigt vom isolierten Knotenpunkt auf das städtische Verkehrsnetz hochgerechnet werden. Im Falle einer Ampelphasenassistenz sind Netzeffekte wie etwa die Koordinierung der Lichtsignalanlagen oder kurze Abstände zwischen zwei Knotenpunkten aber nicht zu vernachlässigen. Aus diesem Grund wird im Folgenden eine Untersuchung des Ampelphasenassistenten auf einem Streckenzug erläutert.

Das untersuchte Gebiet ist Teil des Straßennetzes des Testfelds Düsseldorf und erstreckt sich vom Südring bis zur Kruppstraße. Die Abstände der Knotenpunkte sind zum Teil deutlich kürzer als 600m, woraus sich in diesen Fällen kürzere Wirkbereiche ergeben, als dies bei der zufahrtsfeinen Betrachtung der Fall ist. Außerdem ist ein Großteil der im Feld vorhanden verkehrsabhängigen Steuerungen nachgebildet. Im Rahmen der Simulation wird aber nicht die in *UR:BAN* entwickelte Schaltzeitprognose nachgebildet. Stattdessen wird für die Berechnung der Schaltzeit stets die längst mögliche Freigabezeit in Hauptrichtung verwendet, sowohl bei festzeitgesteuerten Lichtsignalanlagen als auch bei verkehrsabhängig gesteuerten Anlagen. Durch die Verwendung der längst möglichen Freigabezeit zur Berechnung der Geschwindigkeitshinweise wird sichergestellt, dass ausgestattete Fahrzeuge nicht unnötig verzögern und so Freigabezeit ungenutzt verstreicht. Umgekehrt können im Falle einer durch die Verkehrsabhängigkeit verkürzten Freigabezeit aber Hinweise erzeugt werden, die eine schnellere als die optimale Annäherungsgeschwindigkeit empfehlen. Die Evaluierung erfolgt für streckenbasierte Kenngrößen (Anzahl der Halte, Reisezeiten) auf den zwei Teilabschnitten jeweils von bzw. bis zum Autobahnanschluss (A ↔ B und C ↔ D), welche in Abbildung 34 gezeigt sind.

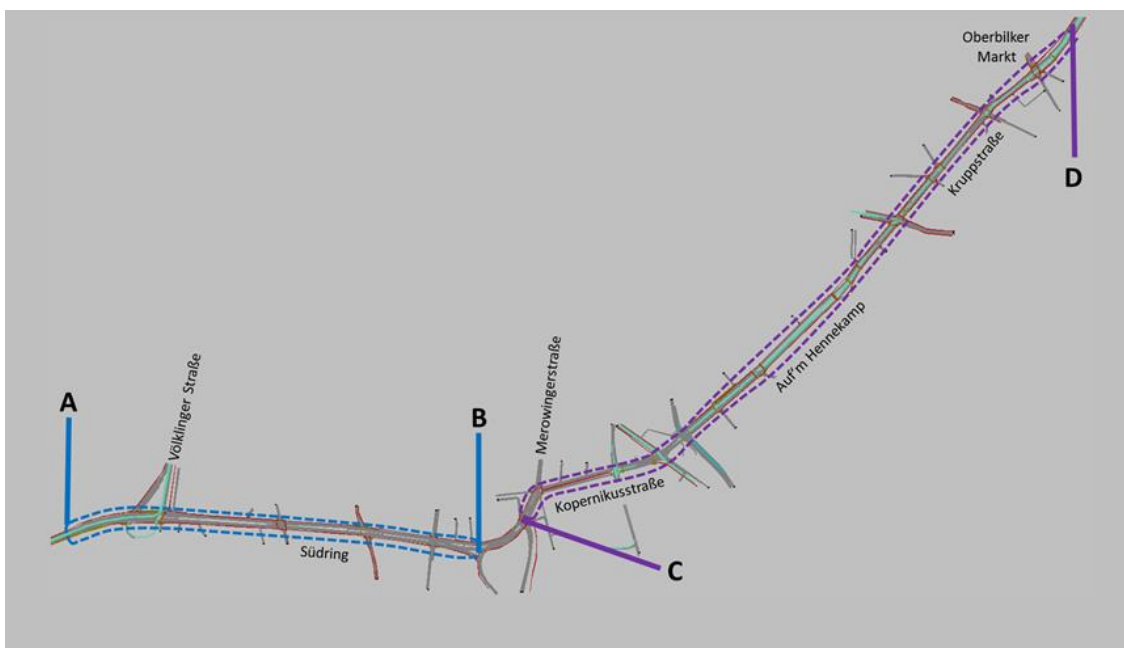


Abbildung 34: Auswertebereich für die Ermittlung der verkehrlichen Wirkungen einer Ampelphasenassistenz bei streckenbezogener Betrachtung

Für die Ermittlung der Reisezeit sowie der Anzahl der Halte werden nur Fahrzeuge berücksichtigt, welche die jeweiligen Teilstrecken komplett durchfahren. Die Kenngrößen der Umweltwirkung beziehen dagegen alle Fahrzeuge in die Berechnung ein, welche sich auf der Hauptfahrbahn in der jeweils betrachteten Fahrtrichtung (Ost → West oder West → Ost) befinden. Dies schließt auch Fahrzeuge ein, welche nur Teilabschnitte des Auswertebereiches befahren.

Tabelle 7 und Tabelle 8 zeigen eine Übersicht der Evaluierungsergebnisse der Ampelphasenassistenz bei streckenbezogener Betrachtung für den Tagesnormalverkehr (11-12 Uhr) bzw. die Spitzenstunde (16-17 Uhr). Dargestellt sind die Mittelwerte (MW) je Fahrtrichtung der Kenngrößen Anzahl der Halte ( $n_{\text{Halte}}$ ), Reisezeit ( $t_{\text{RZ}}$ ), Kraftstoffverbrauch (FC), Kohlenmonoxidemission (CO), Kohlenwasserstoffemission (HC), Stickoxidemission (NOx) und Feinstaubemission (PM) für die Ausstattungsraten 0%, 15% und 80%. Zusätzlich sind die prozentualen Änderungen gegenüber dem Szenario mit Ausstattungsrate 0% dargestellt, welche im Falle einer statistisch signifikanten Veränderung farblich hinterlegt sind (grün bei Verbesserung, rot bei Verschlechterung).

Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Reduktion der Anzahl der Halte, wobei sich der Einfluss mit größeren Ausstattungsraten vergrößert. Zwischen den beiden Streckenabschnitten zeigen sich vergleichsweise große Unterschiede. So werden im Tagesnormalverkehr (11-12 Uhr) auf dem Abschnitt Südring weniger starke Veränderungen beobachtet, als auf dem Abschnitt Kruppstraße. Dies liegt darin begründet, dass auf dem Abschnitt Südring ein großer Einfluss der verkehrsabhängigen Steuerung vorliegt, der aufgrund der einfachen Nachbildung der Schaltzeitprognose im Modell zu ungenauen Geschwindigkeitshinweisen führen kann. Mit einer gut funktionierenden Schaltzeitprognose wären hier sogar bessere Werte möglich.

Umgekehrt werden zur Spitzenstunde (16-17 Uhr) starke prozentuale Veränderungen beobachtet, was auf die häufigen Anforderungen in der Hauptrichtung zurückzuführen ist. Diese sorgen häufig für die längst mögliche Grünzeit in Hauptrichtung, welche Grundlage für die angenommenen Schaltzeitpunkte im Modell ist. Hieraus ergeben sich in diesem Fall genauere Geschwindigkeitshinweise. Insgesamt ist für den Abschnitt Südring aber zu beachten, dass der Mittelwert der Halte aufgrund der Koordinierung der LSA in diesem Bereich sehr niedrig ist und der Einfluss auf das Gesamtergebnis damit gering ist.

Die Verringerung der Anzahl der Halte kann insgesamt zu einem besseren Verkehrsablauf führen und damit die Reisezeiten auf einem Streckenzug senken, obwohl lediglich Geschwindigkeitsreduktionen durch die Applikation empfohlen werden. Die Reisezeiten verändern sich vergleichsweise gering, zumeist aber positiv. Die Steigerung der Verkehrseffizienzgrößen, 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.

			11 - 12 Uhr Ost -> West				11 - 12 Uhr West --> Ost			
			Südring		Kruppstraße		Südring		Kruppstraße	
			Mittelwert	Änderung	Mittelwert	Änderung	Mittelwert	Änderung	Mittelwert	Änderung
Effizienz (Strecke)	n <sub>Halte</sub> [-]	0%	0,68		1,93		0,81		2,94	
		15%	0,68	<b>0,2%</b>	1,78	<b>-7,6%</b>	0,80	<b>-1,6%</b>	2,73	<b>-7,1%</b>
		80%	0,65	<b>-4,2%</b>	1,46	<b>-24,4%</b>	0,74	<b>-8,2%</b>	2,17	<b>-26,0%</b>
	t <sub>RZ</sub> [s]	0%	130,98		296,47		129,48		304,76	
		15%	130,90	<b>-0,1%</b>	294,24	<b>-0,8%</b>	129,40	<b>-0,1%</b>	306,16	<b>0,5%</b>
		80%	130,93	<b>0,0%</b>	291,15	<b>-1,8%</b>	127,85	<b>-1,3%</b>	306,77	<b>0,7%</b>
			<b>Mittelwert</b>	<b>Änderung</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Änderung</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Änderung</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Änderung</b>
Umwelt (Netz)	FC [g/h]	0%	2171,43				2196,51			
		15%	2163,29		<b>-0,4%</b>		2178,71		<b>-0,8%</b>	
		80%	2135,83		<b>-1,6%</b>		2122,01		<b>-3,4%</b>	
	CO [g/h]	0%	25,54				28,72			
		15%	25,14		<b>-1,6%</b>		27,94		<b>-2,7%</b>	
		80%	23,01		<b>-9,9%</b>		24,73		<b>-13,9%</b>	
	HC [g/h]	0%	1,08				1,14			
		15%	1,07		<b>-0,5%</b>		1,13		<b>-0,7%</b>	
		80%	1,03		<b>-4,4%</b>		1,04		<b>-8,4%</b>	
	NO <sub>x</sub> [g/h]	0%	11,30				11,72			
		15%	11,15		<b>-1,3%</b>		11,51		<b>-1,8%</b>	
		80%	10,89		<b>-3,6%</b>		11,05		<b>-5,7%</b>	
	PM [g/h]	0%	0,65				0,37			
		15%	0,63		<b>-2,3%</b>		0,36		<b>-2,8%</b>	
		80%	0,60		<b>-7,2%</b>		0,35		<b>-6,4%</b>	

Tabelle 7: Evaluierungsergebnisse einer Ampelphasenassistenz bei streckenbezogener Betrachtung für den Tagesnormalverkehr (11-12 Uhr)

			16 - 17 Uhr Ost -> West				16 - 17 Uhr West --> Ost			
			Südring		Kruppstraße		Südring		Kruppstraße	
			Mittelwert	Änderung	Mittelwert	Änderung	Mittelwert	Änderung	Mittelwert	Änderung
Effizienz (Strecke)	n <sub>Halte</sub> [-]	0%	0,43		3,57		1,55		3,60	
		15%	0,38	-11,7%	3,56	-0,4%	1,51	-2,4%	3,41	-5,3%
		80%	0,25	-42,9%	2,70	-24,5%	1,41	-8,8%	2,93	-18,6%
	t <sub>RZ</sub> [s]	0%	130,27		358,28		160,57		336,32	
		15%	129,70	-0,4%	358,75	0,1%	159,76	-0,5%	337,43	0,3%
		80%	127,83	-1,9%	341,68	-4,7%	158,52	-1,3%	340,54	1,3%
			Mittelwert	Änderung	Mittelwert	Änderung	Mittelwert	Änderung		
Umwelt (Netz)	FC [g/h]	0%	2141,84		2087,23					
		15%	2135,59	-0,3%	2068,83	-0,9%				
		80%	2120,24	-1,0%	2020,03	-3,2%				
	CO [g/h]	0%	25,98		28,85					
		15%	25,52	-1,8%	27,81	-3,6%				
		80%	23,47	-9,7%	25,01	-13,3%				
	HC [g/h]	0%	1,08		1,14					
		15%	1,08	-0,2%	1,10	-3,2%				
		80%	1,02	-5,3%	1,05	-8,1%				
	NOx [g/h]	0%	11,16		11,21					
		15%	11,24	0,7%	10,99	-2,0%				
		80%	10,79	-3,3%	10,61	-5,4%				
	PM [g/h]	0%	0,35		0,35					
		15%	0,35	0,9%	0,34	-2,3%				
		80%	0,34	-2,3%	0,33	-6,1%				

Tabelle 8: Evaluierungsergebnisse einer Ampelphasenassistenz bei streckenbezogener Betrachtung für die Spitzenstunde (16-17 Uhr)

### 6.2.1.3 Fazit der Evaluierung Ampelphasenassistenz

Die im Rahmen von *UR:BAN-VV* durchgeführte Evaluierung der einzelnen Applikationen erfolgt mittels mikroskopischer Verkehrsflusssimulation. Dabei können die Wirkungen der verkehrlich wirksamen kooperativen Applikationen unter den im Rahmen der Modellierung und Simulation getroffenen Annahmen nachgewiesen werden. Je nach Wirkprinzip der Applikation können so Steigerungen der Verkehrseffizienz, der Umwelteffizienz bzw. der Verkehrssicherheit festgestellt werden. Dabei gilt es zu beachten, dass die Szenarien, die im Rahmen der Simulationsstudien untersucht werden konnten, nur einen Ausschnitt der möglicherweise vorkommenden Situationen in der Realität darstellen. Die erzielten Ergebnisse hängen stark von der vorliegenden Koordinierung und dem vorherrschenden Rückstau ab. So können gegenüber dem Grundszenario nur wenig Halte gespart werden, wenn eine gute Koordinierung vorliegt. Wenn kein freier Verkehr vorliegt, können die empfohlenen Geschwindigkeiten nur bedingt vom Fahrer umgesetzt werden, großer Rückstau und hohe Verkehrsstärke beeinflussen die Ergebnisse also negativ. Wichtige Grundlage für die Generierung der Geschwindigkeitshinweise ist die korrekte Prognose der Schaltzeitpunkte, welche in der Simulation vereinfacht abgebildet wurde. Weiterhin wurde keine Information über den Rückstau bei der Berechnung der Geschwindigkeitshinweise verwendet, womit die Ergebnisse hinter dem Idealfall zurückbleiben können.

Unter idealen Bedingungen können an isolierten Knotenpunkten mit 80% Ausstattungsrate die Halte um mehr als 40% reduziert werden. Auf Streckenzügen mit teilweise vorhandener Koordinierung und kürzeren Wirkungsbereichen sind dagegen eher 10% - 20% Verringerung der Anzahl der Halte realistisch. Mit solch hohen Ausstattungsraten sind deutliche Emissionsreduzierungen zu erwarten, beispielsweise bis zu 20% bei Kohlenmonoxid und etwa 6% bei Feinstaub.

Bei einer Ausstattungsrate von 15% sind die Effekte entsprechend geringer. Es kann tendenziell von etwa 5% - 10% weniger Halten ausgegangen werden. Analog sind auch weniger starke Reduktionen der Schadstoffe zu erwarten.

## 7 Ausblick

Der vorliegende *UR:BAN*-Leitfaden ist ein erster Versuch, für den Bereich kooperativer Systeme die Variationsvielfalt der bestehenden und sich entwickelnden Lösungen im städtischen Verkehrsmanagement zu ordnen und insbesondere der öffentlichen Hand Unterstützung für die System Einführung zu bieten. Die betrachteten Aspekte orientieren sich an der derzeit in der Fachwelt weitgehend übereinstimmend verwendeten Terminologie und stützen sich auf die bereits vorliegenden oder in der Entwicklung, bzw. Standardisierung befindlichen Festlegungen, einschließlich Begriffen und Methoden. Dennoch stellt der Leitfaden lediglich einen kleinen Ausschnitt aus der Gesamtheit vernetzter kooperativer Systeme dar, adressiert primär die im Rahmen der *UR:BAN* Forschungsgemeinschaft behandelten Lösungen für den Individualverkehr und basiert auf dem Wissensstand zum Zeitpunkt 2014/15. Auf Grund des hohen Tempos der technologischen Entwicklungen, die in den kommenden Jahren teils gravierende Auswirkungen auf das Verkehrssystem selbst und das Mobilitätsverhalten nicht nur im urbanen Raum haben werden, ist jedoch eine Weiterentwicklung und kontinuierliche Aktualisierung des Leitfadens erforderlich, um den Wissensstand vollständig zu halten. Beispiele für relevante Entwicklungen, die Berücksichtigung in weiteren Versionen des Leitfadens finden sollten, sind die Ergebnisse der Euro-Korridor Projekte, die Erkenntnisse aus nationalen Testvorhaben wie z.B. der BAB A9 zum automatisierten Fahren, die derzeit erarbeitete nationale IVS-Rahmenarchitektur, relevante nationale oder internationale Standardisierungen bis hin zu nationalen Verordnungen oder Gesetzen.

Diese im Grunde zumindest mittelfristig dauerhafte Aufgabe sollte in die Verantwortung einer fachübergreifenden Organisation gelegt werden, die in Zusammenarbeit mit einem geeigneten nationalen Stakeholderkreis (z.B. dem IVS-Beirat des BMVI) fallweise notwendige Aktualisierungen des Leitfadens beauftragt und der Fachöffentlichkeit bereitstellt, ggf. in Verbindung mit einem nationalen Fachsymposium.



## 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiele kooperativer Systeme im Verkehrswesen (ETSI 2012)	6
Abbildung 2: Vollständiger Datenaustausch im kooperativen Verkehrsmanagement	12
Abbildung 3: Kernanforderungen an das kooperative Verkehrsmanagement	13
Abbildung 4: Szenario 1 zum Rollenverständnis im kooperativen Verkehrsmanagement (grün: privat, orange: kommunal)	14
Abbildung 5: Szenario 2 zum Rollenverständnis im kooperativen Verkehrsmanagement (grün: privat, orange: kommunal)	15
Abbildung 6: Szenario 3 zum Rollenverständnis im kooperativen Verkehrsmanagement (grün: privat, orange: kommunal)	16
Abbildung 7: Szenario 4 zum Rollenverständnis im kooperativen Verkehrsmanagement (grün: privat)	17
Abbildung 8: Zusammenspiel der einzelnen Konkretisierungsebenen nach (ebd.)	19
Abbildung 9: Pyramide als Grundstruktur für Gestaltungskontexte nach (ebd.)	20
Abbildung 10: Rollen (grau), Funktionen (blau) und Prozess (grün)	22
Abbildung 11: Informationsmodell	24
Abbildung 12: Technisch-organisatorische Systemarchitektur mit technischen Komponenten und Schnittstellen	25
Abbildung 13: Technisch-organisatorische Systemübersicht	35
Abbildung 14: Technisch-organisatorische Systemarchitektur für Cluster 1	37
Abbildung 15: Technisch-organisatorische Systemarchitektur für Cluster 2	38
Abbildung 16: Technisch-organisatorische Systemarchitektur für Cluster 3	39
Abbildung 17: Smarte Kreuzung mit den Komponenten IRS (Roadside ITS-S), Außenanlage (AU+CCU), Innenanlage sowie IVS (Vehicle ITS-S) als Applikationsnutzer	50
Abbildung 18: Schichtenmodell des Prüffeldes Braunschweig zur Unterstützung kooperativer Systeme	51
Abbildung 19: Komponenten einer ITS Roadside Station mit Aussenanlage, Innenanlage, LSA-Komponenten und Erfassungssensoren	53

Abbildung 20: Lageplan des Oberbilker Marktes mit eingezeichneten Verbauorten der Komponenten	55
Abbildung 21: Montageorte und Ausrichtungen der objekterkennenden Radarsensoren	56
Abbildung 22: Teile der Innenanlage am Oberbilker Markt Düsseldorf. (BxHxT): 0,4m x 0,6m x 0,2m	57
Abbildung 23: Komponenten der IRS am Oberbilker Markt in Düsseldorf	58
Abbildung 24: Darstellung der Ergebnisse des Reichweitentests	62
Abbildung 25: Technisch-organisatorische Systemarchitektur für Cluster 2	63
Abbildung 26: Technisch-organisatorische Systemarchitektur für Cluster 1	67
Abbildung 27: Einrichtung zentralenbasierter kooperativer Systeme am Beispiel Düsseldorf	69
Abbildung 28: Einordnung der Systeme in das OTS-Systemmodell (OCA 2009)	77
Abbildung 29: Beispielhafte Wartezeitermittlung im Baustelleninformationssystem	81
Abbildung 30: Schematische Darstellung der <i>UR:BAN-VV</i> Applikation Radfahrerschutz	83
Abbildung 31: Fundamentaler Testprozess nach ISTQB (ebd.)	84
Abbildung 32: Hochrechnung des Einflusses einer Ampelphasenassistenz auf die Anzahl der Halte	92
Abbildung 33: Hochrechnung des Einflusses einer Ampelphasenassistenz auf die Emission von Kohlenmonoxid	92
Abbildung 34: Auswertebereich für die Ermittlung der verkehrlichen Wirkungen einer Ampelphasenassistenz bei streckenbezogener Betrachtung	93
Abbildung 35: Übersicht zur Verwendung von OCA und ODG-Standards	105
Abbildung 36: VSRS-Netzwerk und Verwaltungsnetzwerk in Kassel	125
Abbildung 37: Serversystem Stadt Kassel nach Einrichtung von <i>UR:BAN</i>	128
Abbildung 38: Datenfluss vom LSA-Steuergerät zum Verkehrsteilnehmer im Prüffeld Kassel	134
Abbildung 39: MDM-Publikationen der Stadt Kassel	135
Abbildung 40: Anbindung der LSA 321 per UMTS an das VSRS Kassel	136
Abbildung 41: Definition der untersuchten Latenzzeit	148

Abbildung 42: Latenzzeiten-Verteilung von Knotenpunkt K18 (mit ÖV) nach Softwareänderung mit Abfrageintervall 1s	149
Abbildung 43: Latenzzeiten-Verteilung von Knotenpunkt K22 (ohne ÖV) nach Softwareänderung mit Abfrageintervall 1s	150

## 9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Begriffs- und Abkürzungsverzeichnis	IX
Tabelle 2: Basic Set of Application nach TR 102 638 V1.1.1 (ebd.)	8
Tabelle 3: Beispiele für Datenerfassung, -verarbeitung, Maßnahmen und Dienste/Aktorik	23
Tabelle 4: Basisfunktionen des städtischen Systems in unterschiedlichen Clustern	34
Tabelle 5: Evaluierungsergebnisse einer Ampelphasenassistenz bei zufahrtsfeiner Betrachtung für Zufahrtstyp 1 und Zufahrtstyp 7	89
Tabelle 6: Zusammensetzung der Zufahrtstypen von vier Beispielstädten zur Hochrechnung	91
Tabelle 7: Evaluierungsergebnisse einer Ampelphasenassistenz bei streckenbezogener Betrachtung für den Tagesnormalverkehr (11-12 Uhr)	95
Tabelle 8: Evaluierungsergebnisse einer Ampelphasenassistenz bei streckenbezogener Betrachtung für die Spitzenstunde (16-17 Uhr)	96
Tabelle 9: Übersicht der eingesetzten Software und Datenbanken auf den <i>UR:BAN</i> -Servern	130
Tabelle 10: <i>UR:BAN</i> -Backup-Konzept	132
Tabelle 11: Pflegeaufwand beim Bereitstellen der Daten für das VMS	144

## 10 Literaturverzeichnis

- BAST (1999): Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen (MARZ).
- BAST (2012): Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen (TLS).
- BAST (2015): MDM Benutzerhandbuch 2.0.2. S. 1–54.
- Bidlingmaier, Johannes (1967): Absatzpolitik und Distribution: Karl Christian Behrens zum 60. Geburtstag. In: Bidlingmaier, Johannes/Jacobi, Helmut/Uherek, Edgar W (Hg.). Wiesbaden: Gabler Verlag. S. 353–395.
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2013): Gesetz über Intelligente Verkehrssysteme im Straßenverkehr und deren Schnittstellen zu anderen Verkehrsträgern (Intelligente Verkehrssysteme Gesetz - IVSG). S. 7–8.
- Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung (2012): IVS-Aktionsplan „Straße“. Deutschland.
- ETSI (2009): ETSI TR 102 638 Basic Set of Applications. S. 1–81.
- ETSI (2011): ETSI TS 102 637-2 Specification of Cooperative Awareness Basic Service. S. 1–18.
- ETSI (2012): Intelligent Transport Systems. Online unter: <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/intelligent-transport>.
- ETSI (2014): ETSI EN 302 637-3 Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service. S. 1–73.
- Europäisches Parlament und Rat (2010): Richtlinie 2010/40/EU zum Rahmen für die Einführung intelligenter Verkehrssysteme im Straßenverkehr und für deren Schnittstellen zu anderen Verkehrsträgern. S. 1–13.
- FGSV (2006): Hinweise zur mikroskopischen Verkehrsflusssimulation - Grundlagen und Anwendung.
- FGSV (2012): Hinweise zur Strukturierung einer Rahmenarchitektur für Intelligente Verkehrssysteme (IVS) in Deutschland – Notwendigkeit und Methodik.
- ISTQB (2015): Certifying Software Testers Worldwide. Online unter: <http://www.istqb.org/>.
- Kommission der europäischen Gemeinschaften (2008): Aktionsplan zur Einführung intelligenter Verkehrssysteme in Europa.
- Krüger, Philip (2013): Methodische und konzeptionelle Hinweise zur Entwicklung einer IVS-Rahmenarchitektur für Deutschland. Technische Universität Darmstadt.
- OCA (2009): OTS Systemmodell. Online unter: <http://www.opentrafficsystems.org/index.php?id=49>.
- ODG (2009): OCIT-Instations Konfigurationsdokument, OCIT-I KD Version 1.1.
- ODG (2012): OCIT-Outstations Konfigurationsdokument, OCIT-O KD Version 1.0.
- PTV AG (2011): VISSIM 5.40 – Benutzerhandbuch. Karlsruhe.
- SAE (2007): J2735 DEDICATED SHORT RANGE COMMUNICATIONS (DSRC) MESSAGE SET DICTIONARY.
- Schnittger, S./Henninger, T. (2002): Abschlussbericht DELFI-3. Durchgängige elektronische Fahrplaninformation, Phase 3. BMVBW FE –Vorhaben 70.604/1999.
- 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.

## Anhang A – Standards, Schnittstellen und Datenmodelle

Im folgenden Kapitel wird eine Übersicht über eine Auswahl an wichtigen, zum Teil standardisierten Datenformaten gegeben, die bei der Einrichtung kooperativer Systeme von Bedeutung sein können. Diese Übersicht ist als Hinführung an dieses Thema zu verstehen und kann, zum einen aus Gründen des Umfangs als auch rechtlichen Aspekten, nicht alle offenen oder entstehenden Fragen beantworten. Zu diesem Zweck wird auf die entsprechende Referenz verwiesen.

Die folgenden Datenformate werden kurz eingeführt:

### ***OCA und ODG-Standards***

- OTS 1 (OCIT-I)
- OTS 2
- OCIT-C
- OCIT-O

### ***Radio Broadcast***

- Traffic Message Channel (TMC)
- Transport Protocol Experts Group (TEPG)

### ***Öffentlicher Personennahverkehr***

- VDV R09.1
- VDV 453/454
- Service interface for real-time information (SIRI)

### ***Weitere***

- OpenLR
- DATEX II
- Fahrzeug-zu-X Kommunikation

## **A.1 OCA und ODG-Standards**

Abbildung 35 gibt eine Übersicht über OCA und ODG-Standards, welche im Folgenden näher erläutert werden.

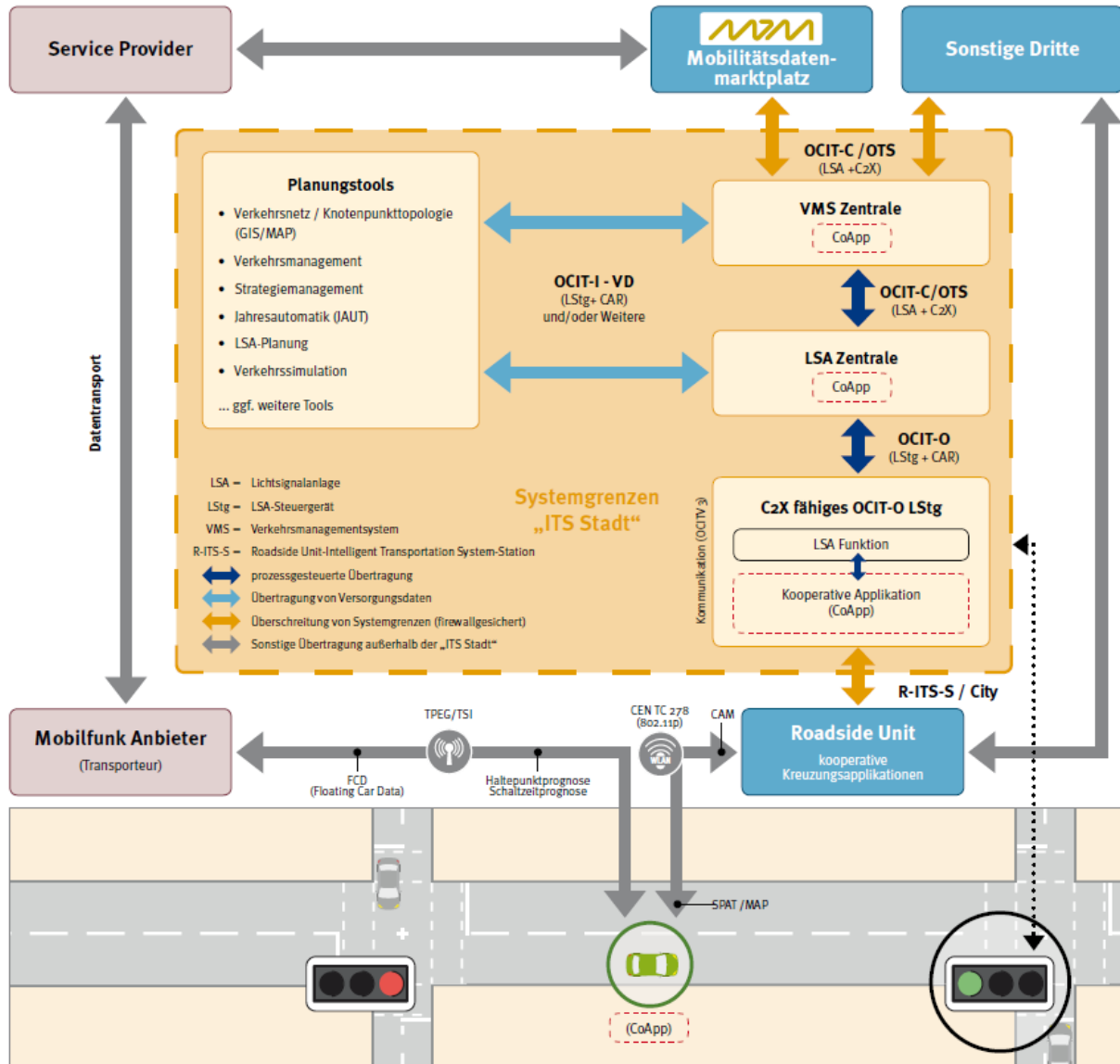


Abbildung 35: Übersicht zur Verwendung von OCA und ODG-Standards

## A.1.1 OTS 1 (OCIT-I)

### Kurzbeschreibung

OTS 1 (OCIT-I) ist entstanden als Industriestandard in Zusammenarbeit mehrerer Softwarehersteller (zusammengeschlossen im Konsortium OTEC im Rahmen der OCIT-Initiative, unterstützt durch die Städteorganisation OCA (Open Traffic System City Association: Verband öffentlicher Baulasträger mit ca. 40 angeschlossenen deutschen, österreichischen und schweizerischen Städten)).

OTS 1 umfasst eine Schnittstelle basierende auf dem Netzwerkprotokoll „Simple Object Access Protocol“ (SOAP) zum Austausch von dynamischen Verkehrsdaten und Steuerungsbefehlen sowie ein durch XML-Schemata definiertes Datenmodell. Der Anwendungsschwerpunkt liegt in der Kommunikation innerstädtischer Zentralen und Subsyste-



temen inklusive Ansteuerung von LSA- und Variotafelsystemen mit entsprechenden Schaltbefehlen.

Ein direkter Datenverkehr mit Feldgeräten ist nicht vorgesehen, hierfür wird für LSA auf OCIT-O verwiesen. Auch ein Austausch von Versorgungsdaten ist nicht enthalten, es können allerdings verfügbare Datenpunkte über Identifikationsnummern und Datentypen abgefragt werden, um dann entsprechende Datenbestellungen aufzugeben. Für die Übermittlung von LSA-Versorgungsdaten wird auf OCIT-I VD verwiesen.

Es ist eine zyklische oder ereignisorientierte kontinuierliche Datenübermittlung möglich. Server- und Client-Funktionalitäten sind klar getrennt, Daten werden vom Server zum Client übertragen, Schaltbefehle in die umgekehrte Richtung. Klassischer Anwendungsfall ist die Anbindung eines Verkehrsrechners (Server) an ein Verkehrsmanagementsystem (Client).

OTS 1 wurde im Jahr 2009 auf dem Stand OTS 1.1 verabschiedet, der nach wie vor gültig ist. Eine Weiterentwicklung des Protokolls findet nicht mehr statt, es gibt mittlerweile den Nachfolger OTS 2. Das Datenmodell von OTS 1 ist weiterhin gültig und wird auch in OTS 2 (neben dem DATEX II-Datenmodell) eingesetzt. Das Datenmodell ist frei erweiterbar.

OTS 1 wird auch unter dem Namen OCIT-I (Instations) referenziert, das genau genommen nur eine Teilmenge davon ist (es fehlen Befehle und Betriebsmeldungen sowie einige Datenarten).

### ***Betriebskosten***

Betriebskosten speziell auf OTS 1 bezogen fallen nicht an, es gibt keine Lizenzgebühren oder andere direkte Kosten.

### ***Unterstützung (Support)***

OTS 1 wird inzwischen nicht mehr weiterentwickelt. Ein allgemeiner Support existiert deswegen nicht. Allerdings ist die komplette Dokumentation mit Schemadateien frei verfügbar (auf <http://www.ocit.org/downloadOCIT-I.htm>).

Es gibt keine fertigen Softwarebausteine, so dass auch eine Pflege bzw. ein Support für solche Komponenten nicht notwendig ist. Bei einzelnen Fragen ist evtl. eine Hilfestellung über die OCA und die bei der Entwicklung von OTS 1 beteiligten Firmen zu bekommen.

## **A.1.2 OTS 2**

### ***Kurzbeschreibung***

OTS 2 ist als Nachfolger von OTS 1 konzipiert und ist Anfang 2011 als Spezifikation DIN-SPEC 91213-1/-2 beim DIN veröffentlicht worden. Dies entspricht einer Vornorm (keiner Norm).

Als Nachfolger von OTS 1 war das wesentliche Ziel, durch Einführung einer standardisierten Schichtentrennung flexible Adaptierbarkeit, erleichterte Erweiterbarkeit, Integration neuer Funktionalitäten und verbesserte Testbarkeit sowie Zertifizierbarkeit zu erreichen.

OTS 2 umfasst eine Schnittstelle zum Austausch von Verkehrsdaten aller Art, die basierend auf SOAP, Socket/XML oder (projektspezifisch) anderer Transportmechanismen realisiert werden kann. Ein eigenes Datenmodell ist nicht enthalten, standardmäßig werden das OTS 1-Datenmodell und das DATEX II-Datenmodell integriert. Anders als OTS 1, ist OTS 2 voll bidirektional und sowohl für den Datenaustausch von Zentralenapplikationen als auch mit Feldgeräten geeignet.

Es ist eine zyklische oder ereignisorientierte kontinuierliche oder auch eine einmalige Datenübermittlung möglich. Die Kommunikationspartner können in verschiedenen Rollen agieren, z.B. Publisher, Subscriber oder Distributor. Es gibt Methoden zur Abfrage der verfügbaren (versionierten) Protokollfunktionen und Methoden zur Abfrage der verfügbaren Datenpunkte. Wie in OTS 1 ist auch eine Befehlsübertragung z.B. zur Steuerung von LSA oder Variotafeln vorgesehen.

### **Betriebskosten**

Falls die Dokumentation in der DIN-Version vom Beuth Verlag gekauft wird, kostet sie ca. 200€. Betriebskosten speziell auf OTS 2 bezogen fallen nicht an, es gibt ansonsten keine Lizenzgebühren oder andere direkte Kosten für die Verwendung von OTS 2.

### **Unterstützung (Support)**

OTS 2 (<http://www.opentrafficsystems.org>) wird von der Städteorganisation OCA (<http://www.oca-ev.info>) unterstützt. Im Bedarfsfall kann hierüber Support von den an der Entwicklung beteiligten Firmen und Institutionen vermittelt werden. Eine aktive Nutzer- oder Betreiberorganisation speziell für OTS 2 existiert im Moment aber nicht.

## **A.1.3 OCIT-C (SZVD)**

### **Kurzbeschreibung**

OCIT-C umfasst eine SOAP-basierte Schnittstelle zum Austausch von dynamischen Verkehrsdaten und Steuerungsbefehlen sowie ein durch XML-Schemata definiertes Datenmodell. Mit OCIT-C werden die Funktionen zur Kommunikation zwischen zentralen Verkehrssteuerungs- und Verkehrslenkungssystemen abgedeckt. Ein direkter Datenverkehr mit Feldgeräten ist nicht vorgesehen, hierfür wird für LSA auf OCIT-O verwiesen. Die Datenübermittlung erfolgt immer per (zyklischer) Abfrage (Polling). Server- und Client-Funktionalitäten sind klar getrennt.

OCIT-C entstand als inoffizieller Nachfolger von OTS 1 sowie den Siemens-Protokollen Concert/OCPI, ist zu diesen aber nicht direkt kompatibel.

Die Schnittstelle wurde beim DKE als Vornorm (nicht als Norm) DIN VDE V 0832-601/-602 eingebracht und dort unter dem Namen SZVD veröffentlicht werden. Momentan sind keine Aktivitäten zu einer weiteren Standardisierung im Gange und aufgrund der Überschneidungen mit den früher dagewesenen Vornormen und Standards von OTS 2 und DATEX II auch unwahrscheinlich.

Die Version OCIT-C 2.0 erweitert die Schnittstelle um die Übermittlung von Fahrzeugdaten. Das Datenmodell orientiert sich dabei an den ETSI Spezifikationen (CAM, DENM, MAP, SPAT). Diese Version ist (Stand Ende 2015) noch in Arbeit und noch nicht veröffentlicht.

### ***Betriebskosten***

Falls die Dokumentation in der DKE-Version gekauft wird, fallen Kosten von ca. 250 Euro an. Betriebskosten speziell auf OCIT-C bezogen fallen nicht an, es gibt ansonsten keine Lizenzgebühren oder andere direkte Kosten für die Verwendung von OCIT-C.

### ***Unterstützung (Support)***

OCIT-C (<http://www.ocit.org/OCIT-C.htm>) wird von der Herstellerorganisation ODG&Partner (<http://www.ocit.org/odg.htm>) unterstützt. Im Bedarfsfall kann hierüber Support von den an der Entwicklung beteiligten Firmen vermittelt werden.

## **A.1.4 OCIT-O**

### ***Kurzbeschreibung***

OCIT-O ist ein geschützter „Firmenstandard“, der den gemischten Einsatz von Steuergeräten und Zentralen-Software unterschiedlicher Hersteller ermöglicht. Getragen wird er von den Firmen Siemens, AVT Stoye, Stührenberg und Swarco Traffic Systems.

Das spezialisierte, lizenzpflichtige Protokoll zur herstellerunabhängigen Anbindung von LSA-Steuergeräten an Zentralen-Software („Verkehrsrechner“ und Testtools) bietet ein objektorientiertes Datenmodell aus Objekten und Methoden sowie ein auf TCP aufsetzendes binäres Protokoll (BTPPL) zum Aufruf von Methoden auf den definierten Objekten.

Mit OCIT-O können Daten von der LSA an die Zentrale übermittelt und umgekehrt Steuerungsdaten und seit V2.0 auch Versorgungsdaten an die LSA übertragen werden. Daten können zyklisch oder ereignisorientiert übermittelt werden.

Die Datenmodelle von OTS 1/2 und von OCIT-C sind auf das OCIT-O Datenmodell abgestimmt, um von OCIT-O-Steuergeräten übertragene Daten oder dorthin zu übertragende Befehle auch im Datenaustausch zwischen Zentralen-Komponenten verlustfrei weitergeben zu können.

Die Version OCIT-O 3.0 erweitert die Schnittstelle um die Übermittlung von Fahrzeugdaten. Das Datenmodell orientiert sich dabei an den ETSI Spezifikationen (CAM, DENM,

MAP, SPAT). Diese Version ist (Stand Ende 2015) noch in Arbeit und noch nicht veröffentlicht.

### **Betriebskosten**

OCIT-O muss von jedem Hersteller, der es verwenden will, lizenziert werden, was einmalige Kosten in Höhe von ca. 40.000€ verursacht. Im Falle eines größeren Updates (wie z.B. von OCIT-O 1 auf 2) ist mit weiteren Lizenzkosten für das Upgrade zu rechnen.

### **Unterstützung (Support)**

OCIT-O (<http://www.ocit.org/OCIT-O.htm>) wird von der Herstellerorganisation ODG (<http://www.ocit.org/odg.htm>) unterstützt. Im Bedarfsfall wird hierüber Support geleistet. Als Lizenznehmer erhält man Unterstützung durch eine BTPPL-Bibliothek und (z.T. ebenfalls kostenpflichtige) Testtools. Betriebskosten speziell auf OCIT-O bezogen fallen ansonsten nicht an, es gibt keine Lizenzgebühren für einzelne Installationen o.ä.

## **A.2 Standards im Radio Broadcast**

### **A.2.1 Traffic Message Channel – TMC**

#### **Kurzbeschreibung**

Der Traffic Message Channel (TMC) kann als erstes Telematiksystem verstanden werden, das europaweit genutzt wird. In Deutschland wurde es 1997 eingeführt und ab 2000 auch in Navigationsgeräte integriert. Mit TMC lassen sich Verkehrsmeldungen in kodierter Form im Radio Data System (RDS), das über den UKW-Rundfunk übertragen wird, versenden. Vom Empfänger sind die Meldungen wieder zu dekodieren, um diese entsprechend interpretieren zu können. Das Kodieren erfolgt mit Hilfe von festvorgescriebenen Listen; d.h. jedem Event bzw. jeder Location ist ein Kode zugeordnet. Der Empfänger muss über die gleiche Kodeliste verfügen wie der Ersteller der Meldung.

Spezifiziert ist TMC in der ISO Reihe ISO 14819 *Traffic and Traveller Information (TTI) — TTI messages via traffic message coding*. Die Organisation Traveller Information Services Association (TISA) mit ihren Mitgliedern und Arbeitsgruppen pflegt die Spezifikationen und schreibt sie nach Bedarf fort.

Da TMC ein Service des RDS ist, geht damit auch die Kopplung an den UKW-Rundfunk einher. Die Standardisierung kann als abgeschlossen bezeichnet werden. Verantwortliches Gremium ist die TISA, welche die CEN/ISO Standardisierungsorganisation unterstützt.

Unter <http://www.tisa.org/technologies/tmc/tmc-world-map/> gibt die TISA Auskunft über die aktuelle Verbreitung und die geplante Einführung von TMC in den Ländern der Welt. Es ist deutlich zu sehen, dass TMC einen hohen Durchdringungsgrad nicht nur in Euro-

pa hat. In den USA aber auch in Russland, China, Australien und Brasilien ist TMC etabliert. Argentinien und Indien planen die Einführung von TMC.

## **A.2.2 Transport Protocol Experts Group – TPEG**

### ***Kurzbeschreibung***

TPEG umfasst einen umfangreichen Werkzeugkasten aus technischen Spezifikationen (zum großen Teil CEN/ISO Standards). Alle dienen zur Übermittlung von Verkehrsinformationen für Dienste. Ob Verkehrsmeldungen, flächige Verkehrslage und –prognose, Anzeige der dynamischen Geschwindigkeitsbegrenzungen, Benzinpreise oder Wetter – für jede Anwendung wird ein eigener Teilstandard im Gesamtrahmenwerk erstellt.

Aktualisierte oder neue TPEG Spezifikationen werden seitens der TISA Organisation der CEN/ISO Standardisierung zugeführt. Sind existierende Standards von CEN/ISO zu überprüfen und neu aufzulegen, erfolgt dies ebenso durch die Nutzerorganisation TISA. Jede Institution kann Mitglied in TISA werden und sich dabei aktiv an den Prozessen beteiligen.

Anfang 2012 waren knapp mehr als 20 Dienste-Anbieter mit einer ID zur Verwendung registriert (darunter öffentliche Rundfunksender und namhafte kommerzielle Dienstanbieter im Bereich Fahrzeugnavigation). Verfügbar sind 11 Standards der TPEG-1 Serie sowie 21 Spezifikationen/Standards der TPEG-2 Serie.

TPEG nutzt etablierte Standardkommunikationstechnologie. Die IP-basierter Kommunikation per HTTP ist sehr einfach gehalten. Sie erfordert keine speziellen weiteren Rahmenwerke und ist damit auch von deren Entwicklung nicht abhängig. Die binären Datenströme lassen sich in die Standards des digitalen Rundfunks (DAB/DVB) integrieren und können auch in zukünftige binärstrom-übertragende Technologien integriert werden.

### ***Betriebskosten***

Versteht man TPEG Standards als Ein- oder Ausgangsschnittstellen eines ohnehin vorhandenen Gesamtsystems, so können für diese keine speziellen Betriebs- oder Pflegekosten identifiziert werden. Tritt man als Serviceprovider auf, so sind die Kosten für den Kommunikationskanal (z.B. gemietete DAB Bandbreite) zu berücksichtigen. Werden nutzungsabhängige lizenzierte Bausteine eingesetzt, ist mit den Lizenzinhabern ein entsprechender Vertrag zu schließen (z.B. mit Via Licencing bei der Nutzung von DLR1/AGORA-C).

### ***Unterstützung (Support)***

Über die TISA Organisation verfügt ein TPEG-Implementierer über eine sehr starke und aktive Nutzer-Organisation. Guidelines, Hilfestellungen oder Kontakte werden durch die Mitgliedschaft in der TISA ebenso verfügbar wie die aktuellsten Fassungen der technischen Spezifikationen. <http://www.tisa.org>

## A.3 Standards im Öffentlichen Personennahverkehr

### A.3.1 VDV R09.1

#### *Kurzbeschreibung*

R09.1 bezeichnet einen Antwortdatensatz, der in der Richtlinie VÖV 04.05.1 definiert wird und vorrangig dazu dient, eine Priorisierung des öffentlichen Verkehrs durch die Beeinflussung von Lichtsignalanlagen (LSA) zu ermöglichen. Der Datensatz wird häufig auch als Telegramm bezeichnet. Das Protokoll ist im deutschsprachigen Raum weit verbreitet und wird im Folgenden näher beschrieben.

Die Richtlinie VÖV 04.05.1 ist 1984 vom ehemaligen Verband Öffentlicher Verkehrsbetriebe, der heute Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) heißt, herausgegeben worden. Das Dokument basiert auf den Erkenntnissen des Forschungsvorhabens „Betriebsleitsystem für den öffentlichen Nahverkehr (BON)“ und soll insbesondere die Belange von unterschiedlichen Betriebsgrößen und -formen sowie Fahrzeugtypen berücksichtigen. So finden sowohl spurgebundene Fahrzeuge wie Straßenbahnen als auch nichtspurgebundene Fahrzeuge wie Busse Eingang. Außerdem werden beispielsweise Linien- und Bedarfsbetrieb sowie deren Kombination berücksichtigt. In der ersten Version, „VÖV Schriften Technische Anforderung an rechnergesteuerte Betriebsleitsysteme – Übertragungsverfahren Datenfunk“ vom Januar 1984, wurden die Datensätze R09 (Antwortdatensatz) sowie C09 (Aufrufdatensatz) lediglich für künftige Anwendungen reserviert. Die Bedeutung von R09 und C09 wurde 1987 konkretisiert, indem die Verwendung zur „Übertragung größerer Datenmengen“ beschrieben wird. Der genaue Inhalt wurde in dieser Version noch nicht beschrieben. Stattdessen wurde lediglich festgelegt, dass Daten, für die andere Datensätze vorgesehen sind, nicht mittels R09 übertragen werden mit Ausnahme von R11 bis R13. Die „Datensätze für LSA-Beeinflussung und andere Meldesysteme“ werden erst in einer weiteren Ergänzung von 1990 beschrieben. Damit einhergehend wird gefordert, dass der zuvor für die Anforderung an LSA genutzte Datensatz R10 nicht mehr zu verwenden sei.

### A.3.2 VDV 453/454

#### *Kurzbeschreibung*

Um den einheitlichen Austausch von Daten des Öffentlichen Verkehrs (ÖV) zwischen Intermodal Traffic Control Systems (ITCS) zu gewährleisten, wurde vom Verband deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) die sog. VDV-Schnittstelle definiert. Die übertragenen Daten werden u.a. zur Fahrgastinformation, zur verkehrsunternehmensübergreifenden Anschlusssicherung oder zur Fahrplanweitergabe genutzt.

Die VDV-Schnittstelle verwendet zur Datenübertragung ein Aboverfahren. Dabei meldet sich das Daten benötigende ITCS beim Daten bereitstellenden ITCS als Abonnent an. Liegen neue Daten vor, wird der Abonnent darüber informiert und kann nun seinerseits



die vorliegenden Daten abrufen. Daneben wird im sog. Alive-Handling durch regelmäßiges Polling der Zustand des jeweiligen Kommunikationspartners überprüft um auf einem Ausfall der Kommunikation reagieren zu können. Die VDV-Schnittstelle hat sich in den vergangenen Jahren zum Quasistandard für die Datenübertragung im öffentlichen Verkehr entwickelt. Sie wird durch entsprechende Arbeitskreise, die sich aus Anwendern, Systemanbietern und Wissenschaftlern zusammensetzen weiterentwickelt und an aktuelle Gegebenheiten angepasst. Die aktuellen Versionen (Stand 19.02.2013) sind VDV 453, Version 2.3 und VDV 454, Version 1.2.

Während die VDV 453 das Protokoll sowie die meisten Datenmodelle definiert, stellt die VDV 454 eine Erweiterung dar, die auf dem Protokoll der VDV 453 aufsetzt und neue Datenmodelle definiert. Die aktuelle Version der VDV-Schnittstelle kann sowohl in der herkömmlichen Variante als auch mit integriertem SIRI-Datenmodell verwendet werden.

### **Betriebskosten**

Die VDV-Schnittstelle ist für den nationalen Datenaustausch in Deutschland konzipiert und versucht die Anforderungen aller an der technischen Realisierung und Nutzung beteiligten Partner gemeinsam abzubilden. Dadurch müssen einige Kompromisse eingegangen werden, die einen erhöhten Aufwand für die Verbindung zweier ITCS mit sich bringen. Dazu zählt bspw. die Abstimmung darüber, welche Daten in den einzelnen XML-Tags hinterlegt sind. Darüber hinaus werden Verbindungen zwischen jeweils zwei ITCS in der VDV-Schnittstellenimplementierung explizit konfiguriert, sodass die einfache Anbindung neuer Systeme bisher nicht gegeben ist.

## **A.3.3 SIRI**

### **Kurzbeschreibung**

Betreiber des öffentlichen Verkehrs verwenden zunehmend informationstechnische Systeme um einen reibungslosen Betrieb sicherzustellen. Solche Systeme dienen unterschiedlichsten Zwecken wie Flottenmanagement, Fahrplanplanung und Anschlusssicherung. Damit liegen auch zunehmend dynamische Informationen des öffentlichen Verkehrs (ÖV) vor, die anderen Systemen zur Verfügung gestellt werden können. Basierend auf dem europäischen Referenzmodell für den öffentlichen Verkehr (TRANSMODEL) sind daher in verschiedenen europäischen Staaten unabhängig voneinander technische Schnittstellen zum Online-Austausch dieser Daten entstanden, in Deutschland z.B. VDV 453/454.

Im Rahmen der CEN TC278 WG3 hat man sich daraufhin zusammengesetzt, um einen gemeinsamen, auf den einzelnen nationalen Standards aufbauenden Zugriffsstandard zu definieren, welcher mittlerweile als Serie von Vornormen CEN TS 15531 unter dem Namen Service interface for real-time information (SIRI) verabschiedet worden ist. Neben einem einleitenden Teil 1 liegt ein Teil 2 vor, der eine allgemeine Kommunikations- / Dienste-Struktur definiert und einen Teil 3, in dem dieses für die Definition einiger spezifischer Zugriffsdienste auf dynamische ÖV-Daten genutzt wird. Speziell Teil 2 ist im We-



sentlichen nicht ÖV-spezifisch und bietet sich allgemein als Kandidat für die Bewertung im Kontext der Metaplattform an.

Auf Standardisierungsebene wird SIRI von CEN TC278 WG3 unterstützt. Dabei wird SIRI von einer breiten Gemeinde in Europa getragen, wobei SIRI faktisch die Nachfolge des ÖV-Anteils von TRIDENT (siehe auch DATEX-Kapitel) angetreten hat. In den jeweiligen Staaten stehen unterschiedliche, nationale Gruppen und Verbände hinter dieser Entwicklung, so etwa in Deutschland der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen VDV oder in England die Real Time Information Group RTIG. Damit ergibt sich zwar eine recht große Nutzer- und Unterstützergemeinde, wobei allerdings berücksichtigt werden muss, dass SIRI als „Migrationsstandard“ die jeweiligen nationalen Vorgänger (also VDV453/4; RTIG-XML, etc.) als technisch nicht unbedingt interoperable Option enthält. Die jeweiligen nationalen Nutzergemeinden unterstützen teilweise offen und erklärt nur das jeweils national präferierte Profile. Grenzüberschreitender Datenaustausch von ÖV-Echtzeitdaten dürfte damit noch weit von der Plug&Play-Interoperabilität entfernt sein, wie sie im Fahrplanauskunftsbereich z. B. durch durchgängig entwickelte Systeme wie die Deutschlandweite Fahrplaninformation DELFI und die europäische Fahrplanauskunft EU-SPIRIT bereits erreicht werden.

### **Betriebskosten**

Grundsätzlich ist in einigen Ländern (Deutschland, Frankreich, Großbritannien) bereits nach Synergien von SIRI und DATEX II gesucht worden, was auch dem Streben des gemeinsamen Vorfahren TRIDENT entsprochen hätte. Erste Untersuchungen z.B. in England haben ergeben, dass eine Einbettung von DATEX II Inhalten in SIRI-Dienste gemäß Teil 2 der Spezifikation relativ geradlinig umgesetzt werden können. Ein illustratives Beispiel ist der dynamische IV-/ÖV-Informationssdienst der Stadt Leicester (<http://leicestertravel.info>), der sowohl mit dynamischen ÖV-Informationen über Fahrpläne und Abfahrtszeiten (per SIRI), als auch mit Ereignissen, Baustellen und aktuellen Parkraumbelagungen des motorisierten Individualverkehrs (MIV) (aus dem städtischen IV-Verkehrsmanagementsystem, per in SIRI eingebettetem DATEX II Dienst) gespeist wird.

## **A.4 Weitere Standards**

### **A.4.1 OpenLR™**

#### ***Kurzbeschreibung***

OpenLR™ ist ein sich derzeit etablierender Standard zur dynamischen Georeferenzierung (der englische Begriff Location Referencing ist ebenso gebräuchlich). Unter der geographischen Referenz eines Ortes sind Angaben zu verstehen, die diesen Ort und dessen Bezug zu einer Karte oder auch zur realen Umgebung beschreiben und es einem Dritten ermöglichen durch die Referenz den Ort eindeutig zu identifizieren. Klassi-

schies Beispiel ist die Adresse zur Beschreibung des Wohnortes einer Person beim Versenden eines Briefs. Die Verwendung von geografischen Koordinaten z. B. im UMTS-Format, die auch eine Referenzierung darstellen, wäre auch möglich, aber Sender und Übermittler der Nachricht hätten durchaus Probleme mit dieser Referenz effizient umzugehen.

Unter einer dynamischen Georeferenzierung ist zu verstehen, dass nicht mit festen und vordefinierten Referenzen gearbeitet wird, wie es im Beispiel der Postanschrift oder bei TMC-Locations der Fall ist. Bei dieser Methode wird jedem Ort, wie z. B. dem Streckenabschnitt einer Straße, eine feste ID zugewiesen. Sender und Empfänger sind über die Zuordnung ID und Ort informiert. Der Nachteil dieser Methode ist das zeit- und kostenintensive Erstellen der TMC-Locations und die damit einhergehende Beschränkung auf eine bestimmte Anzahl an Locations. AGORA-C stellt eine dynamische Variante der Georeferenzierung dar. Hierbei fallen aber hohe Lizenzgebühren für die Verwendung des Standards an, so dass AGORA-C Probleme bei der Marktdurchdringung hat. Aus diesem Grund wird im Nachfolgenden nur auf OpenLR™ eingegangen.

Das Ziel einer Methode zur Georeferenzierung wie OpenLR™ ist, dass die Referenzierung von Sender und Empfänger leicht zu encodieren und decodieren ist. Im Falle von OpenLR soll dies erreicht werden, indem der nötige Algorithmus als OpenSource verfügbar ist, die zu übertragende Datenmenge möglichst klein ist, die Georeferenzen nicht vordefiniert sind, sondern dynamisch vergeben werden und elektronische Karten unterschiedlicher Hersteller einbezogen werden können. Das OpenLR™-Konzept beinhaltet daher die Möglichkeit einen Ort in ein bestimmtes Datenformat zu kodieren, um die Informationen zu verteilen und die Möglichkeit, das Datenformat auf der Empfängerseite zu dekodieren. Die Karte auf deren Basis kodiert wird und die Karte, welche die Grundlage zur Dekodierung bildet, müssen nicht identisch sein. Der OpenLR™-Standard bietet die Möglichkeit, den gleichen Ort eindeutig oder zumindest mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit in zwei unterschiedlichen Karten zu referenzieren. OpenLR™ kann innerhalb von DATEX II genutzt werden. Es besteht aber die Abhängigkeit von der Kommunikationstechnik, die dem eigentlichen OpenLR™-Datum zugrunde liegt.

### ***Betriebskosten***

Es entstehen neben Kosten für den Betrieb von Servern, deren Größe und Anzahl vom zu unterstützenden Service abhängt, keine weiteren Betriebskosten.

### ***Unterstützung (Support)***

Unter <http://www.openlr.org/> sind entsprechende nützliche Hinweise zu finden, wie z. B. FAQ, Dokumentationen, Beispieldatensätze. Grundsätzlich ist aber Eigeninitiative gefordert.

## A.4.2 DATEX II

### ***Kurzbeschreibung***

DATEX II ist eine Spezifikation einer Maschine-Maschine-Schnittstelle für den Austausch dynamischer Verkehrs- und Reisedaten zwischen unabhängigen, verkehrstelematischen Systemen. DATEX II enthält ein in UML ausgedrücktes, umfassendes Datenmodell für straßenverkehrsbezogene Daten, welches in einem zweiten Schritt durch ein Software-Werkzeug in ein XML-Schema basiertes Austauschformat umgesetzt wird. Für den Austausch dieser XML-kodierten Daten stehen dann in einer zweiten, unabhängigen Säule der Spezifikation verschiedene, auf Internet-Standards wie HTTP und Web Services (SOAP, WSDL) aufbauende, sogenannte Austauschprofile zur Verfügung. DATEX II ist damit technisch in die aktuellen Standardtechnologien zur Diensterbringung auf dem Internet eingebettet.

Als Ortsreferenz verwendet DATEX II, im Gegensatz zum Vorgänger DATEX, welcher auf Alert C Ortsreferenzen festgelegt war, ein Container-Konzept, welches der Quelle ermöglicht verschiedene Methoden zur Erzeugung von Ortsreferenzen zu nutzen, durchaus auch parallel. Es stehen Ortsreferenzen nach dem Alert C Standard (oft auch als Location Codes bezeichnet), eine auf den Straßenverkehr zugeschnittene Variante des mit TPEG eingeführten TPEG-Loc-Verfahrens (siehe unten), Kilometrierung/Stationierung oder geografische Koordinaten als zur Auswahl zur Verfügung.

Ein besonderes Kennzeichen von DATEX II ist die Erweiterbarkeit des Datenmodells. Obwohl das vorhandene Datenmodell sehr umfangreich ist und den Anspruch erhebt, viele Anwendungsbereiche von dynamischen Daten in der straßenbezogenen Verkehrstelematik abzudecken, besteht die Möglichkeit, das Modell noch durch anwendungsbezogene oder regionale/nationale Spezifika anzureichern. Solche Erweiterungen (sogenanntes Level B) bleiben mit Standardsoftware Plug&Play kompatibel, wenn sie einen in der Spezifikation vorgegebenen Satz von Modellierungsrichtlinien einhalten. Wenn komplett neue innovative Inhalte die Einhaltung dieser Regeln nicht erlauben, besteht immer noch die Möglichkeit der Benutzung der DATEX II Methodik und Werkzeuge (UML-Profil, XML-Schema-Generator, Austauschprotokolle), wobei man dann von Level C spricht. In diesem Fall sind Meldungen allerdings nur noch mit generischer (d.h. inhaltsunabhängiger) DATEX II-Software kompatibel.

DATEX II ist ein mehrteiliger Standard des CEN Technical Committee 278, CEN/TC278, (Road Transport and Traffic Telematics). Weitere Informationen auch unter <http://www.datex2.eu/datex-node>.

### ***Betriebskosten***

Für DATEX II fallen keine Lizenzkosten an. Pflegeaufwand entsteht ggf. durch die Anpassung an neue Versionen. Spezielle Tools oder professionelle Unterstützung werden aktuell nicht angeboten.

### ***Unterstützung (Support)***

Unterstützung zu DATEX II wird über die Webseite <http://www.datex2.eu/> organisiert. Es stehen ein Forum und ein Issue Tracker zur Verfügung.

## **A.4.3 Fahrzeug-zu-X Kommunikation**

### ***Kurzbeschreibung***

Die Fahrzeug-zu-X Kommunikation (im Folgenden kurz: V2X) bezeichnet nicht ein Protokoll im allgemeinen Sinne sondern einerseits eine Familie von Protokollen sowohl für die Kommunikation aus Zentralen heraus als auch zwischen Fahrzeugen und andererseits auch die dazugehörige Architektur. Der Begriff Fahrzeug-zu-X umfasst im Kontext dieses Abschnitts aber auch die Backend-Kommunikation.

Es gibt hierfür eine große Anzahl von Standards (zum Teil noch in der Entstehung) für die verschiedenen Kommunikationsarten. Konkrete Standards gibt es zurzeit für die Kommunikation auf der Fahrzeugseite. Die Kommunikation zur Zentralenseite befindet sich noch in der Standardisierung.

Es ist anzunehmen, dass die Einführung der Technologie zur Kommunikation über die Luftschnittstelle in der Anfangsphase mit größeren Aufwendungen verbunden ist, da es sich um eine neue Technologie handelt. Dies wird sich im Laufe der Jahre ändern, wenn mehr Erfahrung im Umgang mit der Technologie vorhanden sein wird und mehr Anbieter am Markt sein werden.

Es werden vermutlich von verschiedenen Anbietern fertige System zu erstehen sein, so dass die gesamte Komplexität der Luftschnittstellenkommunikation (ähnlich beim Kauf eine Access-Points heute) durch diese Produkte bereits abgedeckt wird. Die Implementierung von Anwendungen wird aufgrund der standardisierten Schnittstellen und dem anzunehmenden Einsatz weit verbreiteter Ausführungsumgebungen nur eine geringe Einarbeitungszeit erfordern. Bei Einsatz der dienstorientierten OSGi Technologie kann der Einsatz eines entsprechenden Rahmenwerkes zu Lizenzgebühren führen. Es sind hier aber auch kostenfrei Open-Source Implementierungen verfügbar.

Der Einsatz von ASN.1 erfordert für kommunikationserfahrene Programmierer nur eine geringe Einarbeitungszeit. Es können allerdings Kosten für einen ASN.1 Compiler anfallen, obgleich auch hier Open-Source-Alternativen existieren.

Für die Backendkommunikation sind die Protokolle und Schnittstellen noch nicht ausreichend definiert um eine spezielle Aussage tätigen zu können. Allgemein lässt sich aber sagen, dass höchstwahrscheinlich zumeist bereits vorhandene und etablierte Protokolle und Mechanismen eingesetzt werden, sodass sich der Aufwand auf die Implementierung der Funktionalität an und für sich beschränken wird.

V2X nutzt auf der Luftschnittstelle eine Kommunikation, die auf dem weit verbreiteten Standard IEEE 802.11 beruht und dort als IEEE 802.11p standardisiert ist. Die darauf aufbauenden Protokolle sind alle neu spezifiziert worden.

Auf der Backendseite kommen Protokolle auf Basis von IP (IPv4: RFC 791, IPv6: RFC 2460) bzw. Packet Data Convergence Protocol (PDCP: ETSI TS 125 323; im Mobilfunkbereich) zum Einsatz. Die genau eingesetzten Protokolle sind momentan noch offen.

Im Folgenden werden vier wichtige Nachrichtentypen für den Datenaustausch von Fahrzeugen mit Infrastruktureinrichtungen beschrieben:

#### CAM:

CAMs (Cooperative Awareness Message) enthalten aktuelle Zustandsdaten einer ITS Station (Fahrzeug / Infrastruktur). Die Nachricht informiert über die Präsenz der ITS-Station, die Position, grundlegende Eigenschaften und Zustandswerte. Alle ITS-Stationen, d.h. sowohl fahrzeugseitig als auch infrastrukturseitig, senden diese Daten periodisch aus. Die Nachrichteninhalte sind zum Teil einheitlich festgelegt und zu einem anderen Teil je nach Stationstyp unterschiedlich. Jede Station sendet ihre aktuelle Position und ihren Stationstyp. Ein Fahrzeug sendet beispielsweise zusätzlich Informationen über den Fahrzeugtyp, seine aktuelle Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung. CAM Nachrichten sind standardisiert nach TS 102 637-2 V1.2.1 (ETSI 2011).

#### DENM:

DENMs (Decentralized Environmental Notification Message) sind Nachrichten, die Information zu genau einem ortsgebundenen Ereignis enthalten, z.B. über eine Baustelle, ein Stauende oder Einsatz- bzw. Gefahrenstellen. Die DENM Nachrichten sind durch standardisiert nach EN 302 637-3 V1.2.1 (ETSI 2014) und werden nur unter der Voraussetzung eines eintretenden Ereignisses generiert und versendet,

#### MAP/TOPO:

Dieser Nachrichtentyp enthält Informationen zur Topologie einer Kreuzung wie Halteliniem und Fahrstreifen. Dieser Nachrichtentyp ist nach J2735 standardisiert (SAE 2007). Inhaltlich mit den MAP Nachrichten vergleichbar sind die zum Teil auch synonym genannten TOPO Nachrichten, die vom ETSI beschrieben werden.

#### SPaT:

Die SPaT (Signal Phase and Timing) enthält Daten zum aktuellen Signalbild einer LSA sowie den erwarteten Umschaltzeitpunkt zur nächsten Phase. Dieser Nachrichtentyp ist nach J2735 standardisiert (ebd.).

### **Unterstützung (Support)**

Hierzu lässt sich zum momentanen Zeitpunkt, da die Technologie noch nicht produktiv eingesetzt wird, noch keine Aussage machen. Die Standards in diesem Bereich werden hauptsächlich von vier verschiedenen Organisationen durchgeführt:

- ETSI (European Telecommunications Standards Institute) ITS Standards lassen sich in folgende Bereiche unterteilen: EN = European Norm, ES = ETSI Standard, TS = Technical Specification (Für die einzelnen Bereiche wurde nur beispielhaft ein Standard zur Verdeutlichung ausgewählt.)
- CEN (Comité Européen de Normalisation) / TC (Technical committee) 278 und ISO (International Organization for Standardization) / TC 204
- SAE (Society of Automotive Engineers)
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

### **Betriebskosten**

Für die Nutzung der Standards entstehen keine Lizenzgebühren. Die ETSI Standards sind unentgeltlich zugänglich. Die IEEE, SAE und OSI Standards sind zumeist nur entgeltlich zugänglich. Die Nutzung von Funktechnologien erfordert die einmalige Anschaffung von dedizierter Hardware. Es können betreiberabhängige Kosten bei der Nutzung von mobilfunkbasierenden Systemen anfallen.

Die Luftschnittstellenkommunikation über IEEE802.11p erfolgt in Europa im lizenzfreien ISM-Band (ISM = Industrial, Scientific and Medical Band). Für weitere Informationen hierzu wird auf die Standards ETSI EN 302 665 und ETSI ES 202 663 verwiesen.

## **A.5 Vergleich der Datenmodelle SPAT-ISO, DATEX II und TPEG TSI**

Die folgende Tabelle gibt übersichtsartig einen Vergleich der zuvor beschriebenen Datenmodelle SPAT-ISO, DATEX II und TPEG TSI am Beispiel von Informationen zu Schaltzeitpunkten.

	<b>SPAT-ISO</b>	<b>DATEX II</b>	<b>TPEG TSI</b>
Detaillierte Standardbezeichnung	noch nicht standardisiert	DATEX II – CEN TS 16157	ISO/TS 21219
Standardisierungsorganisation	ISO basierend auf ETSI und SAE	CEN	ISO / TISA
Standardart (VS, IKT, ...)	IKT + VS	IKT + VS	IKT + VS
Status des Standard (Draft, final, veröffentlicht)	draft	Published	Draft



	SPAT-ISO	DATEX II	TPEG TSI
-> Wenn nicht veröffentlicht, wann ist mit einer Veröffentlichung zu rechnen	voraussichtlich 2015/2016	/	/
Standards kostenpflichtig?	Ja	kostenpflichtig	?
Topologiedarstellung (MAP, proprietär...)	MapData und SPaT sind zusammengefasst und basieren auf SAEJ2735 und ETSI TS 102 894-2 V1.1.15	DateX II Traffic Light Information (Profile)	StopLineInfo innerhalb der TSIMessage
LSA-Schaltzeiten (SPAT, proprietär...)	SPaT	DateX II Traffic Light Information (Profile)	StopLineFixedTimingInfo & StopLineDynTimingInfo
Beschreibungssprache des Standards (XML, ASN.1, ...)	ASN.1	UML, XML (durch Tools in XML überführbar)	Binär, XML
Einbettung in eine andere Standardfamilie (z.B. ETSI Nachrichten)	DSRC Header	/	TPEG2
Offizieller Message Identifier	DSRCmsgID2 12(hex): MAP 13(hex): SPAT		?
Wie erfolgt die Verknüpfung mit MAP Nachricht? (ID, gleiche Nachricht, ...)	IntersectionReferenceID bestehend aus RegionID (RoadRegulatorID16bit) und einer KreuzungsID (IntersectionID 16bit)	StopLinePoint assoziiert mit SignalGroup	StopID verknüpft Topologie und Schaltzeit
Welches Koordinatenbezugssystem wird verwendet (WGS84, Gauß-Krüger, OpenLR, ...)?	WGS84	European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89)	Defined in TPEG LocationReferenceContainer
Ortsreferenzierungssystem	1/10 Micrograd für Lat und Long	ALERT-C, TPEG Loc, OpenLR	Defined in TPEG LocationReferenceContainer
Wie ist die Referenzposition der Kreuzung? (Mittelpunkt, südliches Ende, ...)	Referenzpunkt mit relativer Positionierung hierzu	"defined according to specific business rules"	undefined
Werden die Fahrspuren mit relativer oder absoluter Position angegeben?	Kann relativ und absolut positioniert werden	Kein Bezug zu Fahrspuren. Angabe implizit durch einen TrafficStream (absolut verortet durch Ortsreferenzierungssystem), allerdings nur Anzahl der Spuren und Nummer.	Lanes werden nur für ExitTurns einzelner StopLines definiert
Wie werden Fahrspuren identifiziert? (ID, Referenzposition, wo befindet sich diese? [vorne	LaneID und Name, Relative Positionierung	Nummerierung innerhalb eines TrafficStreams, aufsteigend nummeriert in Fahrtrich-	Anzahl und Nummerierung nur innerhalb eines ExitTurns (von rechts nach links in Fahrtrich-



	SPAT-ISO	DATEX II	TPEG TSI
Mitte, rechter Rand, ...]		tung rechts	tung)
Welche Fahrspurklassen gibt es und wie werden diese dargestellt? (gerade, kurve, Abbiegespur, ...) Beschreibung der Spur.	Wird durch Verbindungen zwischen Spuren dargestellt und die NodePositionen	entfällt durch Abstraktion zu TrafficStream	Bearing + Distance für StopLine & ExitTurn
Welche Klassen von Spuren gibt es? (Auto, ÖPNV, Fahrrad, Fußgänger, Bahn, ...) Und wie werde diese identifiziert?	LaneSharing Bitfeld	entfällt durch Abstraktion zu TrafficStream	/
Können mehrere Spuren zusammengefasst werden?	Ja (SignalGroupID)	Spuren werden immer nach TrafficStream zusammengefasst	StopLines für Intersection definiert & Lanes für ExitTurns definiert
Wie wird Information dargestellt, um welche Art von Signal es sich handelt? (Fußgänger, Bus/Bahn, Auto, ...)	Ist über die Spur geregelt. Spuren haben die Eigenschaft Fahrzeug, Fußgängerübergang, Fahrrad, ... (LaneTypeAttribute)	Wird nicht dargestellt	Wird nicht dargestellt
Wie erfolgt die Zuordnung von Spur und Signal?	MovementList [SPaT] (Auf welche Spuren die Vorhersage zutrifft) über SignalGroupID mit Connection [MAPData]	Durch die Zuordnung von SignalGroup zu StopLinePoint eines TrafficStream	StopID Zuordnung zwischen StopLineInfo & Timing
Welche Informationen (und in welchen Format) für die Schaltung stehen zur Verfügung?			Schaltinformationen für dynamische und feste Schaltzeiten getrennt definiert
-> Aktueller Schaltzustand (rot, gelb, grün, gelb blinkend, aus, ...)	MovementPhaseState Bitfeld	signalState in TrafficSignalGroupDynamicData	SignalTiming.signalType
-> Zeit (Vorhersage) wie lang der aktuelle Schaltzustand noch gültig ist?	TimeChangeDetails (Anfang, Ende, confidence, Zeit bis zur nächsten Phase), SpeedAdvice (wie schnell gefahren werden sollte)	SignalStateInformation in NextSignalStates	SignalTiming.duration
-> Wahrscheinlichkeit für das Zutreffen der Vorhersage.	TimeChangeDetails (confidence)	Wahrscheinlichkeiten für verschiedene Möglichkeiten einzeln erfasst in SignalStateInformation	Wahrscheinlichkeiten für verschiedene Möglichkeiten einzeln erfasst in SignalTiming
Gibt es eine Vorausschau auf den nächsten (langen) Zustand (rot, grün) und die Zeit hierin?	TimeChangeDetail (wann der aktuelle Zustand wieder erreicht wird)	NextSignalStates	Wahrscheinlichkeiten für verschiedene Möglichkeiten einzeln erfasst in SignalTiming
Wie werden spezielle Signale (Fußgänger, Bus/Bahn, Grüner Pfeil, ...) dargestellt?	MovementPhaseState [SPaT] Restriction-ClassList [MAP]	Wird nicht dargestellt	SignalTiming.signalDirection

## Anhang B– Erfahrungen bei der Einrichtung zentralenbasierter kooperativer Systeme am Beispiel Kassel

Vor Projektbeginn bestand in Kassel kein zentrales System für das Verkehrsmanagement. Im Rahmen der Einrichtung kooperativer Systeme wurden zentrale Verkehrsmanagementapplikationen eingeführt. Bezugnehmend auf die Referenzarchitektur handelt es sich somit um eine Erweiterung des Systems von Cluster 2 zu Cluster 1.

### B.1 Übersicht

Das Straßenverkehrs- und Tiefbauamt der Stadt Kassel hat zu Beginn des Projektes *UR:BAN* die bereits betriebenen Komponenten erweitert und angepasst:

- Verkehrssteuer- und -regelsystem (VSRS) der Fa. Siemens (dies beinhaltet 210 LSA, die zum überwiegenden Anteil per OCIT-O über die 3 bestehenden Untentralen an die Lichtsignalsteuerungszentrale angebunden sind)  
Das VSRS wird im Folgenden vereinfacht „Verkehrsrechner“ genannt, auch wenn das VSRS in Kassel Funktionalitäten beinhaltet, die über die allgemein bekannten Funktionen eines Verkehrsrechners hinausführen.
- Parkleitsystem der Fa. EBM

Im Rahmen des Projektes *UR:BAN* wurde eine Verkehrsmanagementsoftware inklusive der erforderlichen Hardware installiert und in Betrieb genommen. In diesem Zusammenhang war zu klären, wie dieses Verkehrsmanagementsystem (VMS) in das Datennetz der Stadt Kassel eingebunden wird. Da in einem städtischen EDV-Netz sensible Daten verwaltet werden, musste ein geeignetes Datensicherheitskonzept erstellt werden. Dies wurde mit der Abteilung Informationstechnologie des Personal- und Organisationsamts der Stadt Kassel abgestimmt und in einer internen Dokumentation „Systemintegration in das Netzwerk der Stadt Kassel“ festgehalten. Während der Projektlaufzeit wurde dieses Dokument mehrfach erweitert. Grundprinzip der Netzwerkeinbindung ist eine klare Trennung des *UR:BAN*-Netzes von dem vorhandenen Verwaltungsnetz der Stadt Kassel und dem Netzwerk Verkehrsrechner. Somit müssen drei durch Firewalls voneinander getrennte Netzwerke mit eigenen IP-Nummernbereichen unterschieden werden:

- Verwaltungsnetz Stadt Kassel
- Netz Verkehrsrechner
- *UR:BAN*-Netz (inkl. Verkehrsmanagement- und Experimentiersystem)

Das *UR:BAN*-Netz ist über das Verwaltungsnetz Stadt Kassel per RDP-Zugriff erreichbar. Genauso erfolgt der Zugriff für die Projektpartner für Wartungszwecke.

Für den automatisierten Datenaustausch der *UR:BAN*-relevanten Verkehrsdaten wurde eine Schnittstelle zum MDM eingerichtet. Damit findet der Datenaustausch mit Dritten nur über den MDM statt und nur über das vom Verwaltungsnetz getrennte *UR:BAN*-Netz. Im Zusammenhang mit der Datenschnittstelle zum MDM war die Registrierung und Einrichtung der Stadt Kassel im MDM-Portal erforderlich. Daneben waren Regelungen zu treffen, wer Ansprechpartner für die Belange des MDM ist und wer Datenüberlassungsverträge mit Datennehmern unterzeichnet.

Für den Austausch zwischen dem Verkehrsrechner und dem VMS wurde eine OCIT-I-PD-Schnittstelle mit dem Hersteller des VSRS projektspezifisch abgestimmt und eingerichtet. Die Spezifikation der Schnittstelle wurde in dem internen Papier „*UR:BAN*-Lastenheft VSR-Anbindung“ dokumentiert.

Über diese Prozessdatenschnittstelle (PD-Schnittstelle) werden folgende Daten mit OCIT-I/OTS 1.1 übermittelt:

- Ist-Vektor LSA OCIT-O
- Signalbild
- DetFlanke
- Sensormesswert
- OevAmliTelegramm
- AP-Werte des jeweiligen Steuerungsverfahrens (VS-Plus, Siemens-TL,...)
- Umlaufsekunde
- Betriebsmeldungen

Die Versorgungsdaten (VD) der LSA werden manuell in das VMS übertragen. Eine Automatisierung dieses Schrittes wäre wünschenswert, wurde aber im Rahmen des Projektes nicht umgesetzt. Zu unterscheiden sind:

- OCIT-I VD standardisierte Versorgungsdaten, die herstellerübergreifend versorgbar und auslesbar sind und
- OCIT-I VD teilweise standardisierte Versorgungsdaten, die nur proprietär versorgbar und auslesbar sind.

Im Rahmen des Projektes *UR:BAN* werden folgende OCIT-I VD standardisierten Versorgungsdaten (VD) aus dem VSRS als xml-Datei exportiert:

- Informationen über Detektoren (Detektorbezeichnung, Bauart)
- ÖV-Meldepunkte und -strecken
- Phasenbezeichnungen und Angabe der zugehörigen Signalgruppen
- Phasenübergänge mit Angabe von Phasenübergangsdauer, Schaltzeitpunkt und der betroffenen Signalgruppen

- Rahmenprogrammliste
- JAUT
- Signalgruppen
- Signalprogramme
- Unverträglichkeitsmatrix
- Zwischenzeitenmatrix

Die xml-Datei der Versorgungsdaten wird im VMS eingelesen. Die Daten sind für die im Rahmen des Projektes *UR:BAN-VV* entwickelten Applikationen „Schaltzeitprognose“, „Haltepunktprognose“ und „Grüne-Welle-Qualitätsmanagement“ erforderlich.

Die Georeferenzierung von verkehrsrelevanten Objekten ist erforderlich, damit zum Beispiel eine Zuordnung von Signalgruppen zu einer Haltlinie erfolgen kann. Die Objekte wurden manuell in der VMS-Software VTnet der Fa. GEVAS Software für die Stadt Kassel erzeugt und in einer GIS-Datenbank abgelegt. Die Basis dafür ist das vom Amt für Geoinformation und Vermessung geschaffene Knoten-Kanten-Modell. Dieses wurde im Rahmen der Aktivitäten zur Erarbeitung eines Verkehrsentwicklungsplans 2030 für die Stadt Kassel um zahlreiche Attribute erweitert und konnte im Rahmen von *UR:BAN* genutzt werden. Aufbauend auf dieser Grundlage mussten zahlreiche weitere Attribute ergänzt werden. Diese Attribute wurden in der Verkehrsmanagementsoftware VTnet gepflegt und an die Knoten und Kanten des Knoten-Kanten-Modells angehängt. Im Wesentlichen waren dies:

- fahstreifen- und abbiegestreifengenaue Detaillierung des Modells,
- Verortung von Haltlinien an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage und Zuordnung der jeweils zugeordneten Signalgruppe des am Knotenpunkt gültigen Signalprogramms,
- Kennzeichnung von Abbiegeboten und –verboten und
- Zuordnung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit an die einzelnen Kanten.

Insbesondere bei größeren Knotenpunkten sind diese Arbeiten zeitaufwändig und fehleranfällig.

Neben der Georeferenzierung der Objekte ist die Kenntnis des aktuell zur Verfügung stehenden Verkehrsnetzes wichtig. Dieses kann durch Baustellen und Veranstaltungen beeinträchtigt sein. Im VMS wird zu diesem Zweck die Komponente Eventmanager der GEVAS Software verwendet. Damit können im Verkehrsnetzmodell einzelne Streckenelemente gesperrt oder ihre Kapazität eingeschränkt werden. Diese Informationen werden über die Publikation „Verkehrsmeldungen“ an den MDM geschickt. Das Eingeben der Baustellen und Veranstaltungen in das System erfordert einen abgestimmten Arbeitsablauf in der Verwaltung und Fachwissen der versorgenden Mitarbeiter.

Im Folgenden werden die einzelnen Arbeitsschritte detailliert beschrieben und diskutiert.

## B.2 Technische Komponenten

### B.2.1 Technische Ausstattung der LSA-Zentrale

Die Lichtsignalanlagen in Kassel werden dezentral verkehrabhängig gesteuert. Dabei kommt das Steuerverfahren PDM (Phasenaufwurf mit dezentraler Modifikation) zum Einsatz. Dies ist ein Steuerverfahren der Fa. Siemens, basierend auf einem Lastenheft der Stadt Kassel. Die Lichtsignalanlagen sind an den Verkehrsrechner (bestehend aus „Unterzentralen“ und die Lichtsignalsteuerungszentrale) angeschlossen. Da die Funktionen des Systems über die eines klassischen Verkehrsrechners hinaus geht, wird das System in Kassel Verkehrssteuer- und -regelsystem (VSRS) genannt. Diese Bezeichnung wird auch im Folgenden verwendet. Im VSRS werden auch Prozessdaten der Steuergeräte in Datenbanken gesammelt. Die Steuerungsqualität der Lichtsignalanlagen kann damit überwacht werden.

Das Datenarchiv dient dazu systematische Fehleranalysen oder Qualitätsanalysen durchzuführen. Eine Beeinflussung der LSA-Steuerungen aus der Zentrale im Sinne eines Verkehrsmanagements war vor Beginn des Projektes *UR:BAN* nicht vorgesehen. Entsprechende technische Einrichtungen waren ebenfalls nicht vorhanden.

Das VSRS gliedert sich in LSA-Steuergeräte und deren Anbindung an jeweils eine von drei LSA-Unterzentralen (siehe Abbildung 36). In den Unterzentralen befinden sich jeweils „Intelligent Gateways“ (IG), die die Verbindung zur Lichtsignalsteuerungszentrale im Straßenverkehrs- und Tiefbauamt der Stadt Kassel herstellen. Die Verbindung zwischen Unterzentralen und Zentrale erfolgt breitbandig (1 GBit/s) per LWL. Das gesamte VSRS ist netzwerktechnisch über eine Firewall vom Verwaltungsnetzwerk der Stadt Kassel getrennt. Die Mitarbeiter des Sachgebiets Verkehrssteuerung arbeiten im Netzwerk der Stadt Kassel, haben per RDP aber Zugriff auf das VSRS.

Ergänzend dazu wird das Parkleitsystem betreut, das netzwerktechnisch getrennt von den beiden anderen erwähnten Netzen ist.

Im VSRS ist die „durchgängige Versorgungskette“ mit Prozesskontrolle realisiert. Damit ist gewährleistet, dass jede Änderung von Versorgungsdaten der LSA-Steuergeräte durch die Vergabe einer Versionsnummer eindeutig gekennzeichnet und dokumentiert wird. So ist an der Versionsnummer erkennbar, ob z.B. im LSA-Steuergerät im Feld dieselbe Version eingepflegt ist wie im Planungssystem in der Zentrale vorgehalten wird. Dies ermöglicht die eindeutige Zuordnung zwischen Steuerung und Dokumentation. Die „durchgängige Versorgungskette“ ist in dem System integriert, in dem Planungs- und Versorgungsdaten für die einzelnen Knotenpunkte verwaltet werden (Siemens Sitraffic Office).

In dem Verwaltungssystem enthalten sind z.B.:

- Lageplan
- vollständige Versorgungsdaten (inkl. Signalprogramme und VA-Steuerung)

- textliche Dokumentationen
- Versionsgeschichte

Neben den dort enthaltenen Dokumenten (u.a. auch dem Signallageplan) wird in der Verwaltungssoftware die Zuordnung von Signalgruppen zu einzelnen Baugruppen und Kanälen vorgenommen. Insbesondere diese Zuordnung ist von besonderem Interesse, wenn Schaltzeiten von Signalgruppen (z.B. an den MDM) gesendet werden.

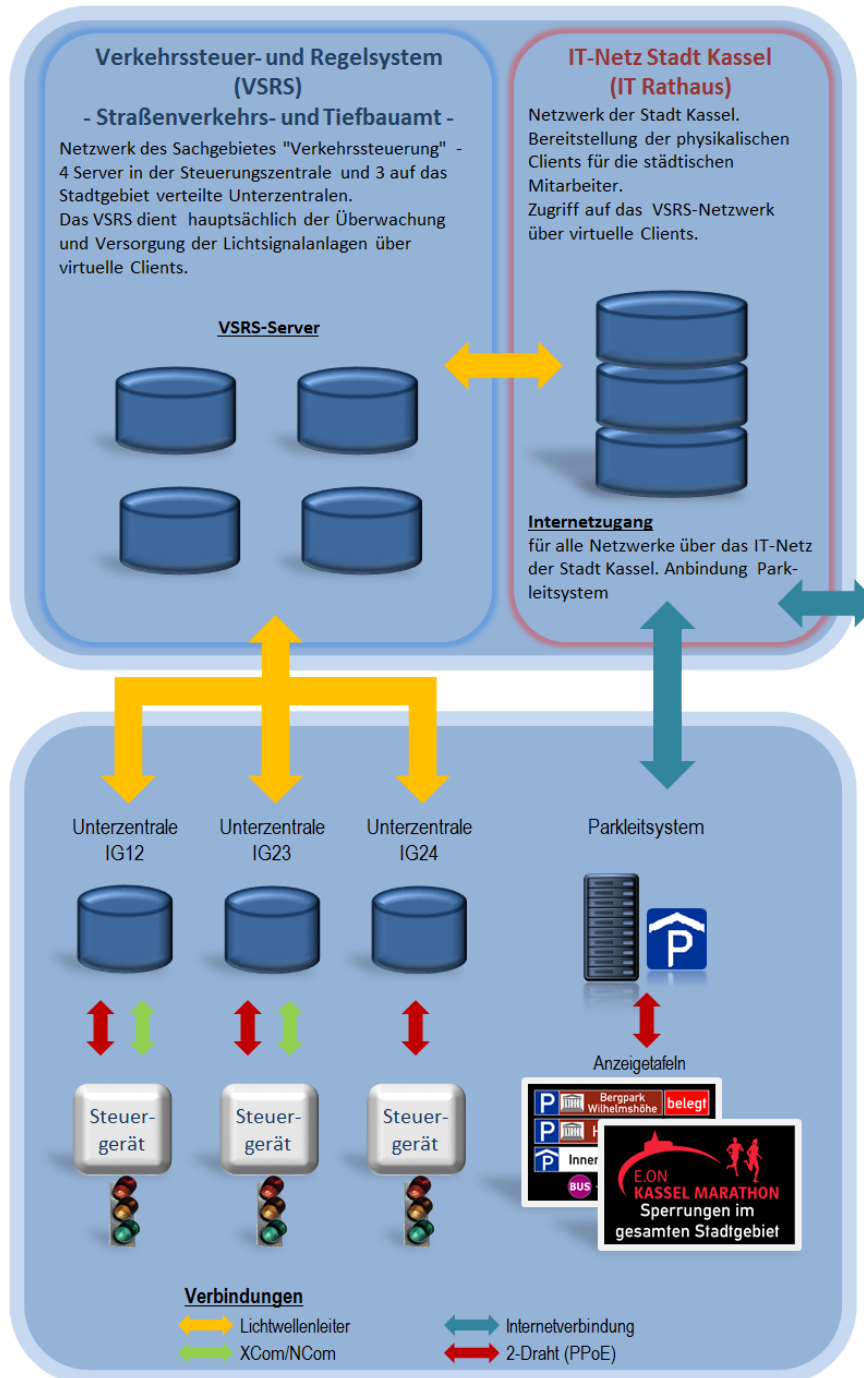


Abbildung 36: VSRS-Netzwerk und Verwaltungsnetzwerk in Kassel



Weiterhin findet ein Monitoring und Qualitätsmanagement der Verkehrssteuerung statt. Über das verwendete System Sittraffic Concert (darin der Teil „Scala“) werden Betriebsmeldungen der an die Zentrale angebotenen LSA an Operatoren weitergegeben. Betriebsmeldungen können sein:

- Mitteilung über die Umschaltung in ein anderes Signalprogramm
- Hinweis auf Störungen
- Hinweis auf schwere Störungen, wie z.B. ein Rotlichtausfall mit der damit verbundenen LSA-Ausschaltung

Sämtliche Meldungen werden in einem Betriebsmeldearchiv gespeichert und stehen für statistische Auswertungen zur Verfügung.

Über das System können außerdem Signalzustände und die Belegung von Detektoren eingesehen und untersucht werden.

Über ein Qualitätsmanagementsystem können unterschiedliche Tests durchgeführt werden, wie z.B.:

- IV-Freigabezeitenkontrolle:  
Damit wird geprüft, ob die Freigabezeit einer Signalgruppe im Zuge einer koordinierten Strecke im vorgesehenen Zeitbereich eines Umlaufs liegt.
- IV-Zustandsdauerkontrolle:  
Bei Festzeitsteuerungen wird der Zustand einer Signalgruppe auf eine mögliche Abweichung hin überprüft (z.B. Grünzeit).
- max. Zustandsdauerkontrolle:  
Bei Signalgruppen ohne Anforderungseinrichtungen wird geprüft, ob max. Sperrzeiten eingehalten werden.
- Anforderungswartezeitenkontrolle für alle Verkehrsarten:  
Bei Signalgruppen mit Anforderungseinrichtungen wird geprüft, ob die max. Anforderungswartezeit eingehalten wurde (Zeit zwischen Detektion und Beginn der Freigabezeit).
- IV-Grünzeitvarianzkontrolle  
Für die Verkehrsabhängigkeit wichtigen Signalgruppen wird geprüft, ob die Freigabezeiten variieren. Untersucht werden IV-Signalgruppen in der Hauptrichtung. Bei reinen Fußgänger-Anlagen wird dieser Test nicht angewendet.
- IV-Detektorwertkontrolle  
Es wird geprüft, ob für die Verkehrsabhängigkeit wichtige Detektoren eine Anzahl an Impulsen abgeben, die in einem vorgegebenen Rahmen liegen. Damit wird die Funktion des Detektors überprüft.
- ÖV-Meldepunkt Prozentkontrolle  
Damit wird überprüft, ob Meldekettens vollständig empfangen werden (d.h. Voranmelder, Hauptanmelder und Abmelder).



- **ÖV-Meldepunktanzahlkontrolle**  
Damit wird die absolute Anzahl der Telegramme überprüft; werden keine Telegramme registriert oder zu viele kann von einer Störung oder einem Defekt ausgegangen werden.
- **ÖV-Fahrzeitkontrolle**  
Für die Fahrt zwischen einem Anmeldepunkt und einem Abmeldepunkt wird planerisch eine Fahrzeit geschätzt. Mit dem Test wird geprüft, ob die tatsächliche Fahrzeit davon abweicht.

Die Tests dienen dazu die Qualität der Signalisierung zu überwachen. Nur wenn die Grundfunktionalitäten der verkehrsabhängigen Steuerungen einwandfrei arbeiten, können die Anwendungsfälle aus dem Projekt *UR:BAN* sinnvoll darauf aufbauen.

## B.2.2 Technischer Aufbau des Verkehrsmanagementsystems

### B.2.2.1 Serverstruktur

Für die geplanten Anwendungen im Projekt *UR:BAN* war eine Ergänzung des VSRS um ein Verkehrsmanagementsystem (VMS) erforderlich, das im Folgenden auch *UR:BAN*-Serversystem genannt wird. Im Vergleich zu einem klassischen Verkehrsmanagementsystem umfasst das *UR:BAN*-Serversystem in das VMS integrierte *UR:BAN*-Anwendungen, Testbereiche und Datenaustauschbereiche speziell für die Projektbearbeitung.

Das *UR:BAN*-Serversystem besteht aus 5 einzelnen Rechnern mit einer unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV). Den Rechnern sind jeweils eigene Aufgabenbereiche zugeordnet:

	SKURBAN1	SKURBAN2	SKURBAN3	SKURBAN4	SKURBAN5	SKURBANNAS
Aufgabe	Operative DB	Qualitätsanalyse DB	Schnittstellen	Verfahren	Terminalserver	Datensicherung
Prozessor	2x Intel Xeon 2,4 GHz, 16 GB	2x Intel Xeon 2,4 GHz, 16 GB	2x Intel Xeon 3,3 GHz, 16 GB	2x Intel Xeon 3,3 GHz, 16 GB	2x Intel Xeon 3,3 GHz, 16 GB	NAS
Festplatten	8 x 450 GB 2x2000 GB (RAID 10)	8 x 450 GB 8x600 GB (RAID 10)	2 x 450 GB (RAID 1)	8 x 450 GB (RAID 1)	8 x 450 GB (RAID 1)	2 TB (RAID 5)
Betriebssystem	Windows Server 2008 R2 Standard Service Pack 1					

Der netzgebundener Speicher (NAS) zur Datensicherung befindet sich ausgelagert am Standort der LSA-Unterzentrale Auestadion.

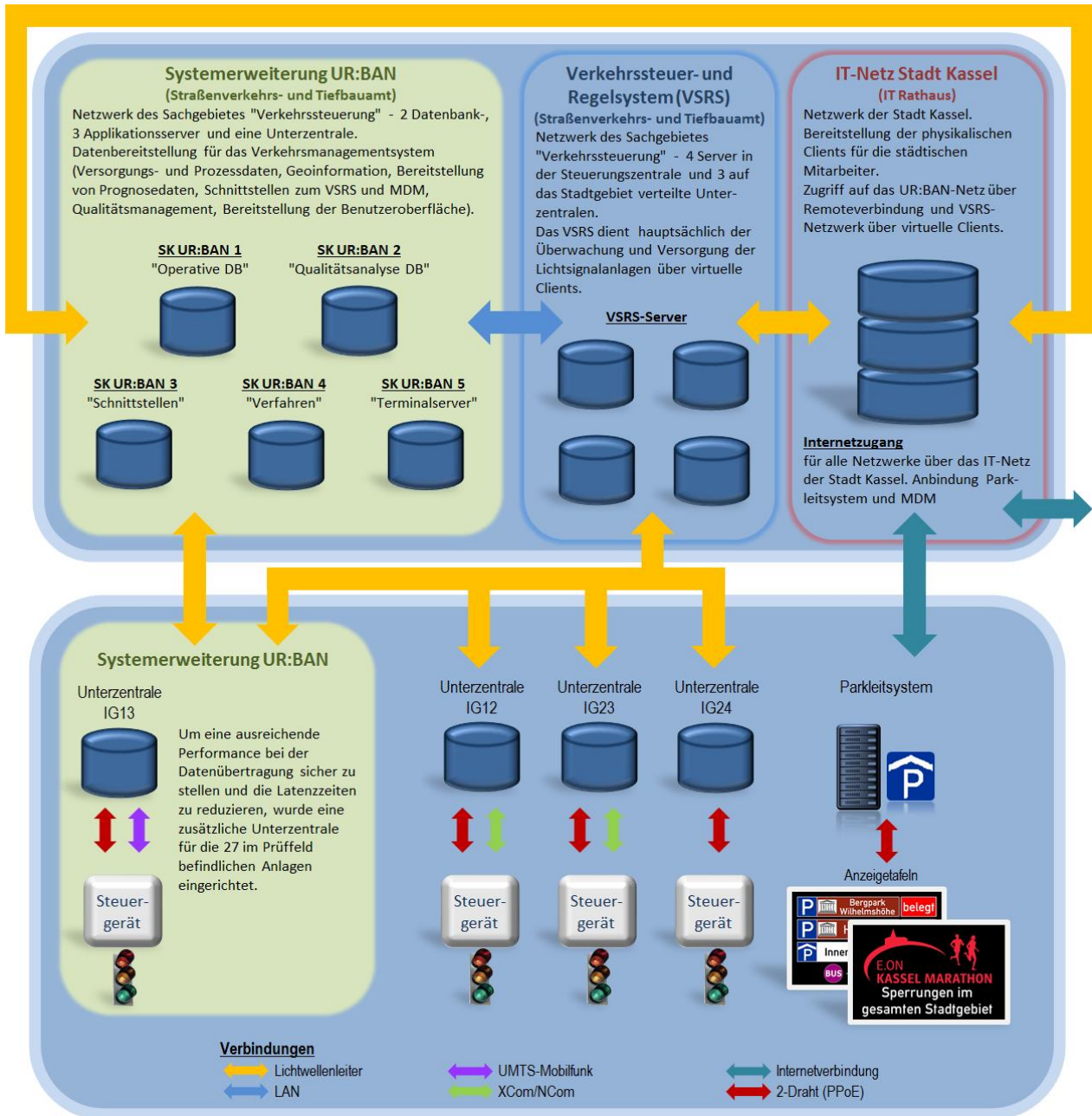


Abbildung 37: Serversystem Stadt Kassel nach Einrichtung von UR:BAN

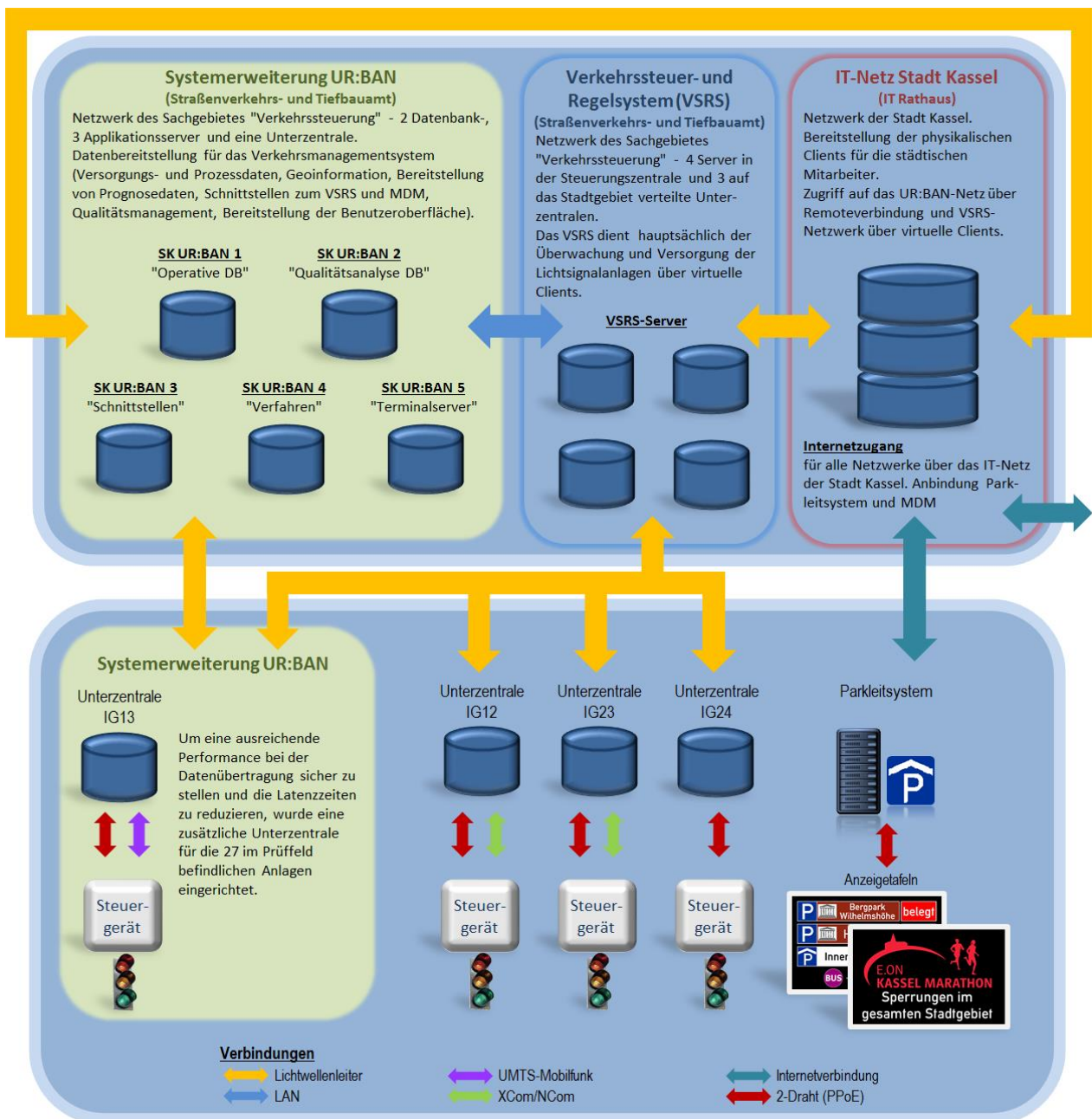


Abbildung 37 zeigt die durch die Komponenten des UR:BAN-Netzwerks im Straßenverkehrs- und Tiefbauamt der Stadt Kassel (grün gefärbte Bereiche) in Ergänzung zu den dem Verwaltungsnetzwerk der Stadt Kassel und dem Netzwerkbereich für das VSRS. Für die netzwerktechnische Abgrenzung wurden Vereinbarungen mit der Abteilung Informationstechnologie der Stadt Kassel getroffen. U.a. wurde eine klare Abgrenzung der Netzwerke durch Firewalls installiert.

Durch die Brisanz der in der öffentlichen Verwaltung anfallenden personenbezogenen Daten ist ein besonderer Schutz der Kommunikationswege zu beachten.

### B.2.2.2 Softwarestruktur

Auf den einzelnen Rechnern des *UR:BAN*-Serversystems wurde unterschiedliche Software (Datenbanken und Applikationen) eingerichtet. Details können der folgenden Tabelle entnommen werden.

Server	Software	Aufgabe / Daten
SKURBAN 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datenbank Oracle 10g Standard Edition One (2 CPU)</li> <li>• Messaging-System SwiftMQ</li> <li>• Middleware GEVAS VTmessenger inkl. operative Datenbank</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geo-Daten (Knoten-Kanten-Modell)</li> <li>• Versorgungs- und Prozessdaten</li> <li>• Darstellung für VTnet (z.B. aktuelle Knotenzustände, Verlustzeiten TomTom)</li> </ul>
SKURBAN 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datenbank Oracle 10g Standard Edition One (10 User)</li> <li>• GEVAS Traffic-IQ Qualitätsanalyse (VTanalyzer)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analysedaten</li> <li>• HOSTMON (Schnittstellenüberwachung)</li> </ul>
SKURBAN 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnittstellenapplikationen <i>UR:BAN</i></li> <li>• Monitoring System KS Host-Mon Professional</li> <li>• Dienste für Auslieferung und Bezug von MDM-Daten</li> <li>• Dienste zur Bestellung und Abholen von Prozessdaten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OCIT-Schnittstellen</li> <li>• MDM-Schnittstellen</li> </ul>
SKURBAN 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Applikationen <i>UR:BAN</i></li> <li>• Applikation TransVer</li> <li>• Applikation Uni Kassel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schaltzeit-, Haltezeit- und Haltepunktprognose</li> <li>• Grüne Welle Qualitätsmanagement</li> </ul>
SKURBAN 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GEVAS Bedienoberfläche VTnet</li> <li>• ESRI ArcEditor (Version 10)</li> <li>• Datenaustauschverzeichnisse Projektpartnern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terminalserver</li> </ul>

Tabelle 9: Übersicht der eingesetzten Software und Datenbanken auf den *UR:BAN*-Servern

### B.2.2.3 Anbindung an das Datennetz der Stadt Kassel

Die fünf *UR:BAN*-Server sind über einen Switch und einen Router mit Firewall über eine LWL-Verbindung mit der Unterzentrale Auestadion und dem dort installierten Rechner (IG13) und der *UR:BAN*-Datensicherung (SKURBANNAS) verbunden. Die berechtigten Benutzer arbeiten per Remotedesktop auf den *UR:BAN*-Servern.

Die Anbindung des *UR:BAN*-Netzwerks und der Software an das EDV-Netzwerk der Stadt Kassel wird in einem internen Dokument beschrieben und bei Änderungen aktualisiert.

Folgende Schnittstellen zum EDV-Netzwerk der Stadt Kassel sind vorhanden:

- Schnittstelle zum VSRS (Siemens)
- Export- und Importschnittstelle zum Mobilitätsdatenmarktplatz
- RDP-Zugriff auf *UR:BAN*-Server aus dem EDV-Netzwerk der Stadt Kassel
- Netzwerkzugriff (SMB) auf ein NAS für die Datensicherung
- Zugriff auf einen Mail-Server für das Monitoring System KS
- Fernzugriffe über Virtual Private Network (VPN) durch *UR:BAN*-Projektpartner (von mehreren Benutzern gleichzeitig)
- Zugriff auf einen Windows-Update-Service zum Windows-Update der *UR:BAN*-Server
- Update des Symantec Virenschutz
- Zugriff auf einen Zeitserver der Stadt Kassel über NTP
- Zugriff auf den ESRI Lizenzserver der Stadt Kassel für eine ArcEditor Lizenz

Durch die Einbindung der *UR:BAN*-Server und des NAS in das Netzwerk der Stadt Kassel führt die EDV-Abteilung der Stadt die notwendigen Anpassungen der Firewall durch. Änderungen werden im Systemintegration-Konzept dokumentiert.

### B.2.2.4 Datensicherung

Die Datensicherung der *UR:BAN*-Server findet bewusst auf einem NAS (RAID 5) in einem vom Straßenverkehrs- und Tiefbauamt unabhängigen Gebäude statt. Dazu wurde eine der LSA-Unterzentralen genutzt. Per Breitbanddatenleitung (LWL) wird folgendes automatisches Datensicherungskonzept durchgeführt:

- Tägliche Oracle-Pumps (Sicherung der Prozessdaten des aktuellen Tages)
- GIS-Datensicherung komplett (täglich, allerdings nur bei Änderungen)
- Sonstige (Benutzerverwaltung, ...)
- Konfigurationsdaten der einzelnen Anwendungen



Das Backup-Konzept geht bei den Datenbanken von zwei Ablaufschritten aus:

Backup-Schritt	Beschreibung	Durchführung
Vorbereitung	Datenbank-Exporte, Kopieren von Dateien	Windows Scheduler auf lokalem Rechner automatisch
Durchführung	Sicherung auf NAS	Robocopy automatisch oder manuell

Tabelle 10: UR:BAN-Backup-Konzept

Die Daten werden täglich nachts gezippt und anschließend auf das NAS verschoben.

### B.2.2.5 Anbindung zum MDM

Bereits zu Beginn des UR:BAN-Projektes war klar, dass der Datenaustausch zwischen der Verkehrsmanagementzentrale und Endnutzern (Fahrzeugen, Verkehrsteilnehmern) über den Mobilitäts Daten Marktplatz (MDM) erfolgen muss.

Der MDM ist gemäß *Action b* der EU Richtlinie 2010/40/EU der nationale Zugangspunkt/die Datenaustauschplattform für Verkehrsdaten in Deutschland. Die für das Projekt UR:BAN erforderlichen technischen Schnittstellen wurden vom Hersteller der verkehrstechnischen Software, GEVAS software, umgesetzt. Die administrative Umsetzung erfolgte durch Mitarbeiter der Stadt Kassel.

Als Testdaten wurden zunächst die Daten aus dem Parkleitsystem der Stadt Kassel genutzt, um sie Dritten anbieten zu können. In diesem Zusammenhang wurde auch der Datenüberlassungsvertrag mit potentiellen Datennutzern juristisch mit dem Rechtsamt der Stadt Kassel abgestimmt.

Zunächst musste die Stadt Kassel als Datengeber beim MDM eingerichtet und eine erste Publikation eingestellt werden. Der Datenfluss funktioniert nach anfänglichen Startschwierigkeiten problemlos.

In weiteren Schritten wurden zusätzliche Publikationen beim MDM eingestellt:

- Geometrieinformationen der Knotenpunkte

<b>Name*:</b>	Haltlinien und Signalgruppen Kassel - statisch	<b>ID:</b>	2069005
<b>Beschreibung*:</b>	Verortung von Haltlinien im Verkehrsnetz Kassel und Zuordnung der Signalgruppen		
<b>Gültig von:</b>	22.07.2013	<b>Gültig bis:</b>	Unbegrenzt
<b>Gültigkeit Datenpaket (Min.):</b>		<b>Recherchierbar:</b>	<input type="checkbox"/>
<b>Datenart*:</b>	Verkehrsdaten	<b>Vertragsfrei:</b>	<input type="checkbox"/>
<b>Format*:</b>	DATEXII	<b>Aktiv:</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Protokoll*:</b>	<input type="text" value="OTS2"/>		
<b>Anlieferungsmodus*:</b>	PUSH_PERIODIC		
<b>Aktualisierungsintervall*:</b>	24 h		

- **Prognose der Schaltzeiten**

<b>Name*:</b>	Schaltzeitprognose Stadt Kassel	<b>ID:</b>	2321000
<b>Beschreibung*:</b>	Prognose des Freigabezeitpunkts für eine Signalgruppe		
<b>Gültig von:</b>	16.06.2014	<b>Gültig bis:</b>	Unbegrenzt
<b>Gültigkeit Datenpaket (Min.):</b>		<b>Recherchierbar:</b>	<input type="checkbox"/>
<b>Datenart*:</b>	Verkehrsdaten	<b>Vertragsfrei:</b>	<input type="checkbox"/>
<b>Format*:</b>	DATEXII	<b>Aktiv:</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Protokoll*:</b>	OTS2 <input type="button" value="v"/>		
<b>Anlieferungsmodus*:</b>	PUSH_PERIODIC		
<b>Aktualisierungsintervall*:</b>	1 min		

- **Prognose der Haltepunkte**

<b>Name*:</b>	Haltepunktprognose Stadt Kassel	<b>ID:</b>	2320000
<b>Beschreibung*:</b>	Prognose der Haltepunkte vor einer Haltlinie		
<b>Gültig von:</b>	16.06.2014	<b>Gültig bis:</b>	Unbegrenzt
<b>Gültigkeit Datenpaket (Min.):</b>		<b>Recherchierbar:</b>	<input type="checkbox"/>
<b>Datenart*:</b>	Verkehrsdaten	<b>Vertragsfrei:</b>	<input type="checkbox"/>
<b>Format*:</b>	DATEXII	<b>Aktiv:</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Protokoll*:</b>	OTS2 <input type="button" value="v"/>		
<b>Anlieferungsmodus*:</b>	PUSH_PERIODIC		
<b>Aktualisierungsintervall*:</b>	1 min		

- **Baustelleninformationen**

<b>Name*:</b>	Verkehrsmeldungen	<b>ID:</b>	2055006
<b>Beschreibung*:</b>	Verkehrsmeldungen der Stadt Kassel		
<b>Gültig von:</b>	07.06.2013	<b>Gültig bis:</b>	Unbegrenzt
<b>Gültigkeit Datenpaket (Min.):</b>		<b>Recherchierbar:</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Datenart*:</b>	Verkehrsinformationen	<b>Vertragsfrei:</b>	<input type="checkbox"/>
<b>Format*:</b>	DATEXII	<b>Aktiv:</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Protokoll*:</b>	OTS2 <input type="button" value="v"/>		
<b>Anlieferungsmodus*:</b>	PUSH_PERIODIC		
<b>Aktualisierungsintervall*:</b>	1 min		

Die Daten werden im DATEXII-Format über ein OTS2-Protokoll zum MDM geschickt. Die statischen Daten der Haltelinien und Signalgruppen werden einmal täglich verschickt, alle anderen Daten mindestens im Minuten-Takt. Im MDM-Benutzerhandbuch steht für den Auslieferungsmodus PUSH\_PERIODIC, der für die Publikationen zum Einsatz kommt:



„Bei **PUSH\_PERIODIC** dient das Aktualisierungsintervall allein dem Informationszweck für den Datennehmer. Die Datenanlieferung zur Plattform wird durch Ihr datengebendes System initiiert, eine Überprüfung des Intervalls findet nicht statt.“ (BASt 2015)

Das Aktualisierungsintervall richtet sich nach dem Aktualisierungsgrad der Information. Bei statischen Daten kann eine Intervall von 1h bis 24h ausreichend sein: Dynamische Daten brauchen kürzere Intervallzeit im Minutenbereich.

Zur Georeferenzierung der Haltlinien in unterschiedlichen Knoten-Kanten-Modellen (Datengeber, Service Provider, Endnutzer) werden innerhalb des DATEXII-Formats OpenLR-Datenstrukturen genutzt. Damit soll sichergestellt werden, die in den Datenstrukturen der Stadt Kassel georeferenzierten und an einem Knoten-Kanten-Modell angeordneten Objekte an Knoten-Kanten-Modelle anderer Datenstrukturen mit hinreichender Genauigkeit zu übertragen. Abbildung 38 zeigt den Datenfluss im Prüffeld Kassel über den MDM.

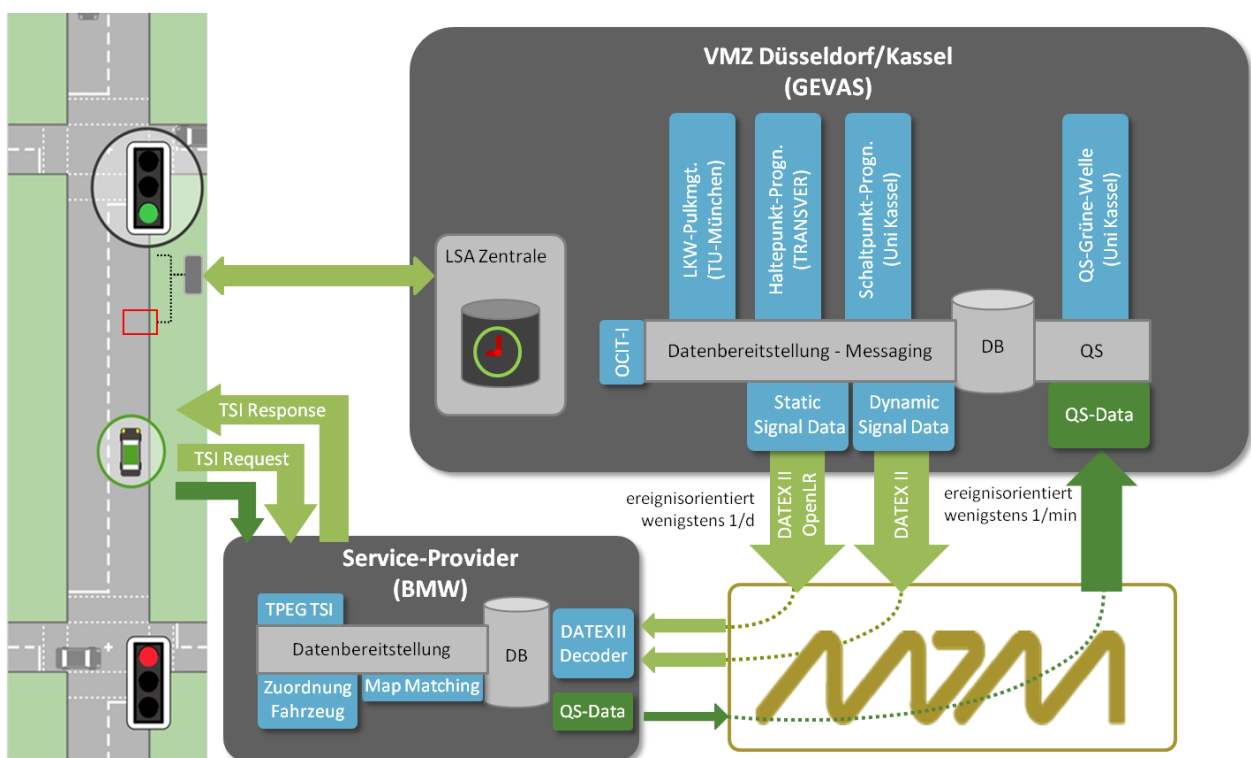


Abbildung 38: Datenfluss vom LSA-Steuergerät zum Verkehrsteilnehmer im Prüffeld Kassel

Die unterschiedlichen Datenlieferungen an den MDM werden technisch durch Export-Dienste auf dem SKURBAN3 ausgeführt. Ein Dienst versorgt sich mit seinen Lieferdaten aus der Operativen Datenbank und bereitet diese für den Transport zum MDM auf. Jeder Dienst überträgt die Daten in einem DATEX II definierten XML-Format mit einem gewählten Aktualisierungsintervall (PUSH\_PERIODIC) an eine Liefer-URL des MDM.

Die eindeutige Liefer-URL wird beim Einrichten einer Publikation vom MDM vergeben. Eine Strukturbeschreibung für den jeweiligen Datenlieferung-Typ wird als XSD-Datei vom MDM bereitgestellt.

Eine Übersicht der aktuellen MDM-Publikationen der Stadt Kassel zeigt Abbildung 39.

### Übersicht Publikationen

Organisation:	Stadt Kassel	Internetseite:	<a href="http://www.kassel.de">http://www.kassel.de</a>			
Meine Publikationen						
ID	Publikations-Name	Gültig bis	Rech.	Aktiv	Aufgabe	Konfiguration
2055006	Verkehrsmeldungen	Unbegrenzt	✓	✓		<a href="#">Details &gt;</a>
2069005	Haltlinien und Signalgruppen Kassel - statisch	Unbegrenzt		✓		<a href="#">Details &gt;</a>
2175000	Dynamische Parkdaten	Unbegrenzt	✓	✓		<a href="#">Details &gt;</a>
2176000	Statische Parkdaten	Unbegrenzt	✓	✓		<a href="#">Details &gt;</a>
2248002	Dynamische Parkdaten (SOAP)	Unbegrenzt	✓	✓		<a href="#">Details &gt;</a>
2249000	Statische Parkdaten (SOAP)	Unbegrenzt	✓	✓		<a href="#">Details &gt;</a>
2320000	Haltepunktprognose Stadt Kassel	Unbegrenzt		✓		<a href="#">Details &gt;</a>
2321000	Schaltzeitprognose Stadt Kassel	Unbegrenzt		✓		<a href="#">Details &gt;</a>
2398000	Dynamische Verkehrsdaten	Unbegrenzt	✓	✓		<a href="#">Details &gt;</a>
2398001	Statische Verkehrsdaten	Unbegrenzt	✓	✓		<a href="#">Details &gt;</a>

Abbildung 39: MDM-Publikationen der Stadt Kassel

Neben der Datenbereitstellung werden auch Daten für das VMS vom MDM bezogen. Ein Import-Dienst auf SKURBAN3 bezieht im Minutenabstand Verkehrsdaten vom Projektpartner TomTom zur Anzeige der Reisezeitverluste im städtischen Verkehrsnetz.

Für die Beschreibung der Datenmodelle und Protokolle (z.B. DATEX II, SOAP, OTS-2) wird auf Anhang A verwiesen.

Die Datenlieferungen können als einmalige, zyklische oder ereignisorientierte Lieferung beauftragt werden, und die Kommunikationsteilnehmer können als Bezieher (subscriber), Herausgeber (publisher) oder Verteiler (distributor) wirken.

### B.2.3 Einrichtung einer OCIT-Verbindung über Mobilfunk

Mit Ausnahme einer Lichtsignalanlage des Testfeldes sind alle über das eigene Kommunikationsnetz des Straßenverkehrs- und Tiefbauamts der Stadt Kassel an die Zentrale angebunden. Die LSA 321 (Schützenstraße /Am Werr) war zu Beginn des Projektes über eine proprietäre GSM-Mobilfunkanbindung mit der Zentrale verbunden. Diese Datenverbindung ermöglichte jedoch keine kontinuierlich Datenübermittlung der Signal- und Detektorzustände an die Zentrale. Daher musste eine OCIT-kompatible (Profil 3) Anbindung über das UMTS-Mobilfunknetz erfolgen. Hierfür erfolgten Anpassungen im LSA-Steuergerät und in der LSA-Unterzentrale Auestadion.

Die benötigten Daten werden vom LSA-Steuergerät per OCIT-O-Protokoll über UMTS-Mobilfunk in einem VPN-Tunnel an einen DSL-Anschluss übermittelt (vgl. Abbildung 40). Dort werden die Daten innerhalb des VSRS bis zum Intelligent Gateway (IG) 13 weiter-

geben. Von dort werden die Daten abgerufen und an das Verkehrsmanagementsystem für die *UR:BAN*-Anwendungen weitergeleitet. Die Prozessdaten stehen dann auf dem Rechner SK-URBAN 3 für die *UR:BAN*-Anwendungen zur Verfügung.

Die Einrichtung und Inbetriebnahme der UMTS-Anbindung erfolgte im November 2014. Der Aufbau der erforderlichen VPN-Verbindung erfolgt derzeit proprietär und wird manuell verwaltet. Die OCIT-konforme Verwaltung von VPN-Verbindungen ist für die OCIT-O Version 3 zwar vorgesehen, diese Version ist aber bis Projektende weder definiert noch verfügbar.

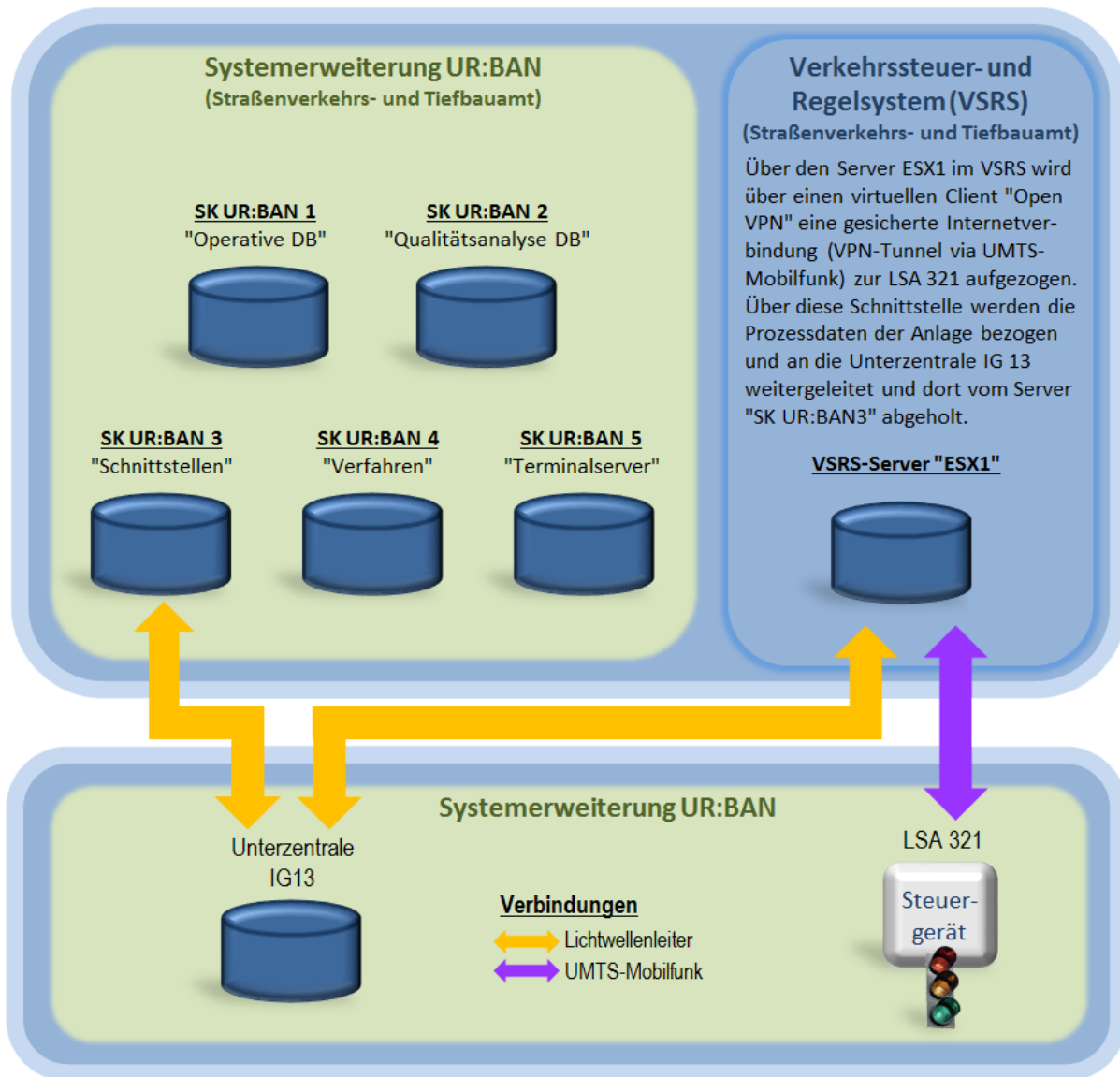


Abbildung 40: Anbindung der LSA 321 per UMTS an das VSRS Kassel

## B.3 Datengrundlagen

### B.3.1 Straßennetz der Stadt Kassel

#### *Vorhandenes GIS-Straßennetz der Stadt Kassel*

Im GIS-Bestand der Stadt Kassel wurden bereits in den Jahren 2006 bis 2009 die Sachdaten für ein Straßennetz, bestehend aus Netzkanten (Linien) und Netzknoten (Punkte), beim Fachamt für Vermessung und Geoinformation (-62-) erfasst. Die Geometrie dieses Modells wurde anhand von Topografie, ALKIS-Daten und hochauflösenden Orthofotos erstellt. Die Netzkanten verlaufen dabei in der Regel auf der Mittelachse der Straße und enden immer in Netzknoten. An Einmündungen oder Kreuzungen befindet sich der Netzknoten in der Regel in deren Zentrum. Ursprünglich wurde dieses Knoten-Kanten-Modell (KKM) für ein Fußgängerouting erstellt, so dass sich in diesem Modell neben den öffentlichen Straßen und Wegen auch Zufahrten und Privatwege finden. Hin- und Rückrichtung einer Straße werden durch ein einziges Kantenelement dargestellt.

Im Zuge der Erstellung eines Verkehrsmodelles für den Verkehrsentwicklungsplan (VEP) 2030 der Stadt Kassel wurde dieses Knoten-Kanten-Modell (Netzgraph) überarbeitet, mit dem Ziel einen Netzgraphen für die Verkehrsfluss-Simulationssoftware "VISUM" zu erzeugen. Das Netz (Kanten / Knoten) wurde vervollständigt und die Attribute entsprechend angepasst.

### B.3.2 Aufbereitung der Daten

Das überarbeitete Knoten-Kanten-Modell des VEP 2030 diene als Grundlage für das Traffic-Data-Model in der VTnet-Anwendung (GEVAS software) und bildet die Basis für die Anwendungen im Verkehrsmanagementsystem und in der Folge auch für die Anwendungen im Projekt *UR:BAN*. Hierzu wurde der Netzgraph aus dem VEP 2030 einer weiteren umfangreichen Modifizierung unterworfen. Neben der Anpassung der Attribute ist besonders die doppelte Kantenführung hervorzuheben, d.h. jede Fahrtrichtung einer Fahrbahn wird nun durch eine gesonderte Kante (Polylinie) dargestellt. Ein in beide Richtungen befahrbarer Straßenabschnitt zwischen den Punkten A und B wird nun durch eine Kante von A nach B und eine Kante von B nach A dargestellt, die deckungsgleich aufeinander liegen.

Die Attributliste des Netzgraphen wurde stark erweitert, nicht benötigte Attribute entfernt. In Teilbereichen wurde die Netzstruktur vereinfacht, d.h. Streckenabschnitte, die aus mehreren aufeinanderfolgenden Kanten bestehen und nicht abzweigen, wurden zu einer Kante zusammengefasst. Aufgrund der geometrischen Modifikation sind die Kanten nicht mehr deckungsgleich mit dem Ursprungsnetzgraphen aus dem VEP 2030.

Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen der Systeme „Visum (VEP2030)“ und „*UR:BAN*-Applikationen“ an den Netzgraphen ist es derzeit nicht möglich, ein gemeinsames KKM zu nutzen. Für die Stadt Kassel bedeutet dies, dass zwei routingfähige

Knoten-Kanten-Modelle gepflegt werden. Die Möglichkeit eines von allen Systemen gemeinsam genutzten KKM wird derzeit überprüft, nicht nur hinsichtlich des Pflegeaufwandes, sondern auch in Hinblick auf die Konsistenz der Daten aus den unterschiedlichen Systemen, ist die Verwendung eines kongruenten KKM anzustreben.

Sämtliche von der Stadt Kassel verwendeten Knoten-Kanten-Modelle werden im Koordinatensystem "Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989 (ETRS89)" gehalten.

### B.3.3 Attributstruktur der verschiedenen Knoten-Kanten-Modelle

Attributfeld	Beschreibung	Modelle		
		Geoinfo KS	VEP 2030	VT-Net
Shape	Geometrie des Zeichnungsobjektes (Polylinie)	x	x	x
OBJECTID	vom GIS-System automatisch vergebene, fortlaufende ID-Nummer	x	x	x
Description	Eine Beschreibung des Objekts	-	-	x
Eigentümer	Eigentümer der Fahrbahn	x	-	x
Name	Straßenname	-	x	x
IsSplit	Der Netzgraph von VTcenter ist zwingend richtungsgetrennt, d.h. es existiert für jede Richtungsfahrbahn ein eigenes Objekt. Dieses Feld wird typischerweise bei der Erstversorgung gesetzt, wenn beim Import eines externen Netzes eine in zwei Richtungen befahrbare Kante in zwei Kanten aufgesplittet wurde.	-	-	x
PermanentIDNumber	vom Bearbeiter vergebene ID-Nummer	-	-	x
ModifiedBy	angepasst von (letzter Bearbeiter)	-	-	x
ModifiedLast	zuletzt angepasst (Datum)	-	-	x
Created	erstellt (Datum)	-	-	x
Source	Dieses Feld nimmt Informationen über die Herkunft der Daten auf. Wenn die einzutragenden Daten aus einer anderen Datenquelle stammen und es hilfreich oder sinnvoll ist, diese Datenquelle zu vermerken, dann sollte dafür das Feld [SOURCE] verwendet werden	-	-	x
SourceID	Quell-ID (Streckenschlüssel) im Ursprungsmodell	x	x	x
InOPDB	Das Feld wird für manche Tabellen vom Internet-Auftritt VTinfo gelesen, um festzustellen, welche Datensätze auch dem operativen System bekannt sind.	-	-	x
OCIT_UnitNR	Wenn das Objekt als OCIT-Unit angesprochen werden soll, dann muss hier die Nummer der Unit eingetragen werden	-	-	x
SubsystemPIDNumber	Wenn das Objekt als OCIT-Unit angesprochen werden soll, dann muss hier die Nummer des Subsystems eingetragen werden.	-	-	x
FromID	von Netzknoten (PermanentIDNumber des Netzknotens)	-	x	x
ToID	nach Netzknoten (PermanentIDNumber des Netzknotens)	-	x	x
Übergangsnetz	Dieses Feld kann zur Definition eines speziellen Netzes verwendet werden.	-	-	x
RoadPIDNumber	RoadElements können zu übergeordneten Roads zusammengefasst werden. Das Feld [RoadPIDNumber] verweist auf das zugeordnete Objekt vom Typ Road.	-	-	x
UndirRoadElem-PIDNumber	Mit Hilfe dieses Feldes wird einem RoadElement ein ungerichtetes RoadElement zugeordnet.	-	-	x

Attributfeld	Beschreibung	Modelle		
		Geoln fo KS	VEP 2030	VT- Net
Nummer	Dieses Feld wird gesetzt, wenn der nicht richtungsgetrennte Netzgraph (Tabelle UndirectedRoadElements) über OCIT angesprochen werden soll. Die Elemente der Tabelle RoadElement werden dann als OCIT-Objekte behandelt und im Feld [Nummer] wird die Objektzahl abgelegt. Entspricht das RoadElement der Hinrichtung des ungerichteten RoadElements, so wird als Objektzahl die 1 verwendet. Handelt es sich um die Gegenrichtung, so wird als Objektzahl die 2 verwendet.	-	-	x
FunktionaleStrassenklasse	Der Wert dieses Feldes legt die funktionale Bedeutung des RoadElements im Verkehrsnetz fest.	-	-	x
Strassenklasse	Der Wert dieses Feldes legt die Kategorie der zugehörigen Straße fest.	x	-	x
Streckentyp	Der Wert dieses Feldes legt den Streckentyp der Kante für VISUM fest. Die existierenden Typen sind in der VISUM-Versorgung festgelegt.	-	-	x
Baulastträger	Legt den Baulastträger für das RoadElement fest.	-	-	x
Länge	Hier wird die gemessene Länge des RoadElements eingetragen. Im Gegensatz dazu steht die Länge der Polylinie im Feld [Shape.Length], welches von der GISDB automatisch erzeugt wird.	-	-	x
DTV	Die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke für das RoadElement in Kfz/Tag.	-	-	x
Schwerlastanteil	Der Anteil des Schwerverkehrs am DTV als Prozentwert	-	-	x
Spitzenstundenanteil	Der Spitzenstundenanteil am DTV in der Einheit Kfz/h	-	-	x
Parkregelung	Legt die Parkregelung des RoadElements in Form einer Aufzählung fest.	-	-	x
Stellplätze	Die Anzahl der Stellplätze entlang der Straße	-	-	x
Fahrbahntyp	Der Fahrbahntyp des RoadElements.	-	-	x
Normalgeschwindigkeit	Die durchschnittliche gefahrene Geschwindigkeit auf der Kante in km/h	-	-	x
Höchstgeschwindigkeit_Hin	maximal zulässige Höchstgeschwindigkeit in Richtung der Streckengeometrie	x	x	x
Höchstgeschwindigkeit_Rück	maximal zulässige Höchstgeschwindigkeit entgegen der Richtung der Streckengeometrie	x	x	-
Fahrspuren_Hin	Anzahl der Fahrspuren in Richtung der Streckengeometrie	-	x	x
Fahrspuren_Rück	Anzahl der Fahrspuren entgegen der Richtung der Streckengeometrie	-	x	-
Fahrbahnoberfläche	Oberflächenmaterial	x	-	x
MaximaleAchslast	maximale Achslast für den aktuellen Abschnitt	-	-	x
Maximale erlaubte Höhe	maximale erlaubte Fahrzeughöhe für den aktuellen Abschnitt	-	-	x
Maximale erlaubte Breite	maximale erlaubte Fahrzeugbreite für den aktuellen Abschnitt	-	-	x
Maximale erlaubte Länge	maximale erlaubte Fahrzeuglänge für den aktuellen Abschnitt	-	-	x
Maximale Gesamtlast	maximale Gesamtlast für den aktuellen Abschnitt	-	-	x
Steigung	Steigung im aktuellen Abschnitt	-	-	x



Attributfeld	Beschreibung	Modelle		
		Geoinfo KS	VEP 2030	VT-Net
Ramp	Wenn das Feld auf 1 gesetzt wird bedeutet dies, dass es sich bei dem RoadElement um ein Auf/Abfahrtsrampe handelt.	-	-	x
Radweg	Beschreibt in Form eines Aufzählungswertes, ob ein Radweg für das RoadElement existiert.	-	-	x
Richtungstrennungstyp	Beschreibt, ob es eine Richtungstrennung für das RoadElement gibt.	-	-	x
ForOPDB	Dieses Feld legt das Hauptstraßennetz fest, welches von VTnet gelesen und in die OPDB exportiert wird. Nur wenn das Feld auf "True" gesetzt wird bedeutet dies, dass das RoadElement zum Hauptstraßennetz gehört.	-	-	x
VTI_Verbergen	Soll das RoadElement im Internet Auftritt VTinfo nicht dargestellt werden, so muss der Wert des Feldes auf "True" gesetzt werden.	-	-	x
Verkehrsstärke	Legt den Wert für die Kapazität des RoadElements in Kfz/h fest.	-	-	x
StrassenKennziffer	Die Straßenkennziffer dient einer städtischen, amtsübergreifenden Identifizierung des RoadElements.	x	x	x
InPlanung	Legt fest, ob das RoadElement lediglich in Planung und noch nicht gebaut ist. Falls nichts angegeben ist wird angenommen, dass das RoadElement bereits existiert.	-	-	x
Modellkapazität	Legt für VISUM die Kapazität der Kante in Fz/h fest. Der Wert ist kantenbezogen	-	-	x
LOSGebiet	Über diese Eigenschaft kann gefiltert werden, ob der LOS dieser Kante angezeigt wird oder nicht.	-	-	x
Shape_Length	Länge des Zeichnungsobjektes (Polylinie)	x	x	x
Hauptstraße	Unterscheidung des Hauptstraßennetzes von den übrigen Wegen und Straßen	x	-	-
Kraftfahrzeugverkehr	Unterscheidung, ob Streckenstück vom motorisierten Individualverkehr befahren werden darf	x	-	-
Gehweg	Angabe über straßenbegleitende Gehwege	x	-	-
(Private) Zusatzwege	Informationen für das Fußgängerouting – Info wurde inzwischen in ein eigenes Netz ausgelagert	x	-	-
Schlüssel 66 Zustand	Zuordnungs-Schlüssel zur Tabelle Straßenzustand	x	-	-
Abschnitt 66 Wege	Zuordnungs-Schlüssel für die vom Straßenverkehrsamt betreuten Wege	x	-	-
Struktur	In dem Streckenteil überwiegend vorhandene Fahrbahnsituation	x	-	-
Gesperrt_Hin	Einbahnstraße in Richtung der Streckengeometrie (true / false)	-	x	-
Gesperrt_Rück	Einbahnstraße entgegen der Richtung der Streckengeometrie (true / false)	-	x	-
Datenquelle	von GGR bearbeitet (true / false)	-	x	-

x = Attribut vorhanden - = Attribut nicht vorhanden

\* Fachamt für Vermessung und Geoinformation der Stadt Kassel (-62-)

### B.3.4 Anpassung der Datengrundlage für das Verkehrsmanagementsystems

Um Prozessdaten der Verkehrssteuerung für kooperative Systeme automatisch verwenden zu können, ist deren räumliche Verortung notwendig. Im VTnet geschieht dies über das eingangs beschriebene georeferenzierte, routingfähige Knoten-Kanten-Modell (KKM).

Nachfolgend werden Arbeitsschritte und Anpassungen des Knoten-Kanten-Modells für die Zwecke des Verkehrsmanagementsystems und der Liefermöglichkeit für die UR:BAN-Anwendungen dargestellt.

#### Grundlegende Arbeiten:

- Aufbereitung und Erweiterung des Knoten-Kanten-Modells für das Verkehrsmanagementsystem (VMS-KKM):
  - Das VMS-KKM benötigt für jede Fahrtrichtung eines Straßenabschnitts eine Kante. Dafür wird jeweils zusätzlich zu der vorhandenen Kante eine zweite Kante mit entgegengesetzter Richtung generiert. Die Anzahl der Kanten wird im VMS-KKM verdoppelt.
  - Ein Straßenabschnitt kann, je nach Quelle des KKM durch weitere Objekte wie Brücken, private Einfahrten, Fußgänger- oder Radwege etc. zusätzlich segmentiert sein.
- Erweiterung des KKM um für das Verkehrsmanagement erforderlich zusätzliche Attribute
  - Im Knotenpunktbereich werden alle Fahrstreifen (z.B. Nahverkehrsfahrstreifen, Linksabbiegestreifen, Rechtsabbiegestreifen, Fußgängerfurt) als Attribute an die zugehörige Kante ergänzt.
  - Ebenso werden durch Attribute an die Kante Fahrstreifeninformationen (Anzahl und Länge von Fahrstreifen, zugelassene Fahrzeugarten (IV, Bus, Bahn...)) und Streckenbeschränkungen (z.B. Geschwindigkeitsbegrenzungen) versehen.
  - Geo-Positionen der Knotenobjekte (Detektoren, Wirkungspunkt der Signalgruppen – z.B. Haltlinien, Taster, Detektionsschleifen) werden dem VMS-KKM separat eingepflegt, und sind nicht Bestandteil der Versorgungsdaten (VD) des Knotens. Hierzu werden aktuelle georeferenzierte Lagepläne des Knotens und aktuelle georeferenzierte Luftbilder genutzt.
- Die Objekte werden anhand ihrer Bezeichnung (z.B. Detektor ‚D1‘) verortet. Damit können später die Prozessdaten eindeutig dem Objekt zugeordnet werden.

### Arbeiten im laufenden Betrieb:

- Nach jeder Versorgungsänderung muss die Versorgungsdatei im VMS neu importiert werden um diese Beziehung aktuell zu halten. Hierbei müssen bestehende Objekte manuell auf ihre Funktion und Verortung geprüft und gegebenenfalls neu eingepflegt werden.
- Bauliche Änderungen (Anzahl von Fahrstreifen), Änderungen der Position von Haltlinien oder Änderungen der Ge- und Verbote (z.B. Geschwindigkeitsbegrenzungen, Abbiegegebote) sind im System zeitnah zu pflegen. (Kurzzeitige Verkehrseinschränkungen können über den Eventmanager minutengenau dem VMS mitgeteilt werden).
- Logische/elektrische Änderungen müssen in ihrer Georeferenzierung angepasst werden (z.B. wenn sich die Kanalnummer eines Signalgebers ändert).
- Gerade im Falle von Baustellen stehen oft einzelne Fahrstreifen nicht zur Verfügung, Abbiegemöglichkeiten können entfallen. Diese Informationen können über einen Baustellen- und Eventmanager in das System eingepflegt werden, so dass für den relevanten Zeitraum diese Informationen zur Verfügung stehen.

## **B.4 Betrieb**

### **B.4.1 Pflegeaufwand beim Einrichten und dem Betrieb des Verkehrsmanagementsystems**

Die Tabelle 11 gibt einen Eindruck über den Aufwand der Datenbereitstellung für das VMS (+++: hoher Aufwand; ++: mittlerer Aufwand; +: geringer Aufwand; -: kein Aufwand).

- Das Einrichten des VMS-KKM ist stark abhängig von der Qualität des UrsprungskKM und dem Umfang an Verkehrswegen, die versorgt werden sollen.
- Für den Betrieb ergibt sich für das VMS-KKM ein Pflegebedarf, wenn Verkehrswege geändert werden (selten) oder zusätzliche Verkehrswege benutzt werden sollen.
- Beim Einrichten müssen alle Fahrstreifeninformationen (Anzahl, Länge, Richtung...) eingepflegt werden. Im Betrieb ist bei entsprechender Änderung der Fahrstreifeneigenschaften eine Pflege notwendig. Die Versorgung der signalisierten Knoten und signalisierten Fußgängerüberwege werden durch den Import der jeweiligen VD-Datei und anschließender Verortung von Signalgruppen, Detektoren, Furten ausgeführt.
- Für den Betrieb ist bei Versorgungsänderung die aktuelle VD-Datei zu importieren und Änderungen zwischen Alt und Neu zu prüfen und einzupflegen. Interne

Abläufe müssen gewährleisten, dass jede Versorgungsänderung eines Knotens zur Prüfung der Versorgungsdaten im VMS führt.

- Prozessdaten (PD) werden über einen Webservice vom VSRS bezogen. Diese Datenlieferung muss beim Einrichten des VMS eingestellt werden und bleibt für den laufenden Betrieb bestehen.

Arbeitsschritt	Aufwand beim Einrichten	Aufwand im Betrieb
KKM	+++	+
Spuren	+++	++
Knotenobjekte (VD)	+++	++
PD-Lieferung	+	-

Tabelle 11: Pflegeaufwand beim Bereitstellen der Daten für das VMS

Neben dem Aufwand, der bei Versorgung des KKM mit differenzierten Informationen erforderlich ist, entsteht ein Aufwand bei der täglichen Nutzung des Systems. Dabei ist in einem Baustellen- und Veranstaltungssystem zu hinterlegen, wann z.B. Fahrstreifen nicht zur Verfügung stehen. Diese Informationen können in der Software VTnet verortet und zeitlich definiert werden.

## B.4.2 Berücksichtigung von Veränderungen im Prüffeld

### B.4.2.1 Austausch von Steuergeräten zur Betriebssicherung der Lichtsignalanlagen

Das Prüffeld Kassel befindet sich nicht in einem abgeschlossenen Bereich unter Laborbedingungen sondern ist Teil des städtischen Straßennetzes. Damit ist es auch den üblichen Veränderungen in einer Stadt unterworfen. Baustellen, Veranstaltungen und Modernisierungen verändern die Verkehrssituation und die Möglichkeiten der Datenübertragung.

Turnusmäßig betrifft dies auch die Lichtsignalanlagen und deren Technik. Bei einigen Lichtsignalanlagen wurde während der Projektlaufzeit das Steuergerät ausgetauscht und die LSA-Steuerung angepasst, um den störungsfreien Betrieb der Signalisierung langfristig zu sichern. Dies hat zwangsläufig auch Folgen für die Daten, die für die UR:BAN-Anwendungen zur Verfügung gestellt werden.

Wird ein gesamter Knotenpunkt neu gestaltet, ist zu überprüfen, in welchem Umfang sich Geometrie und Technik verändert haben. So kann sich z.B. die Lage der Haltlinien gegenüber dem bisherigen Zustand ändern. Auch die den Haltlinien zugeordneten Signalgruppen können sich ändern, es können neue Signalgruppen hinzukommen, andere weggefallen. Von besonderer Bedeutung ist die technische Kanalbelegung der Signalgruppen im Steuergerät. Selbst bei identischer Lage der Haltlinien und Zuordnung der Signalgruppen ist eine veränderte Kanalzuordnung im Steuergerät wahrscheinlich. Damit würden die Signalzustände durch die UR:BAN Applikationen (z.B. Schaltzeitprognose)

se) einer Signalgruppe falsch zugeordnet. In diesem Fall würden dann völlig falsche Informationen an den MDM übertragen.

Während der *UR:BAN*-Projektlaufzeit wurden folgende Lichtsignalanlagen modernisiert:

- LSA 002 - Katzensprung
- LSA 043 - Steinweg / Du-Ry-Straße
- LSA 050 - Steinweg / Oberste Gasse (Staatstheater)
- LSA 003 - Altmarkt (alte Anlage ausgeschaltet 06/2014; neue Anlage ging in 10/2015 in Betrieb)
- LSA 149 – Tränkeforte (ausgeschaltet vom 07.04.2015-31.07.2015 wegen Erneuerung)

Eine weitere Anlage ist bereits zu Projektbeginn neu hinzugekommen (07/2012):

- LSA 172 - Dresdener Straße / SMA

Im Laufe des *UR:BAN*-Projektes wurde die Implementierung der Systeme und der Arbeitsabläufe getestet. Dabei wurden wichtige Erkenntnisse gewonnen und der Prozess kontinuierlich optimiert. Im Vorfeld nicht erkannte Probleme waren z.B.:

- Obwohl eine Versorgungsänderung an einer LSA vorgenommen wurde, waren die Änderungen im VMS nicht bekannt und noch nicht nachgepflegt. Die Folge war, dass fehlerhafte Signalzustände verbreitet wurden.
- Der Bediener des VMS muss zeitnah von einer Versorgungsänderung und deren Umfang Kenntnis erhalten und diese im VMS einpflegen.
- Jeder Versorgungsänderung einer LSA muss eine Versorgungsänderung (Import der VD-Datei) im VMS mit einer Überprüfung der Verortung der Objekte am Knotenpunkt erfolgen. Da sich mit einer Versorgungsänderung Objektverortung und Objektnummer ändern kann, können fälschlicherweise bereits bekannte Objektbezeichnungen an einem neuen Ort verwendet werden. Dies muss dem VMS bekannt gemacht werden. Da die Prozessdaten, die vom VSRS geliefert werden, immer in Bezug zu den Objektbezeichnungen stehen, führen Ortsveränderungen dazu, dass fehlerhafte Daten abgegeben werden.

Als Fazit des Prüffeldbetriebes kann festgehalten werden, dass die Aktualisierung der Konfigurationsdaten zeitaktuell erfolgen und mit der Inbetriebnahme der geänderten Signalisierung aktiviert werden muss. Hier ergeben sich hohe Anforderungen an den Prozessablauf. Im Rahmen des Projektes *UR:BAN* war dies ein manueller Aufwand mit hohem Personaleinsatz. Wünschenswert wäre auch hier eine Automatisierung in Form einer durchgängigen Versorgungskette, da nur so ein wirtschaftlicher Betrieb kooperativer Systeme zu erreichen ist.

### **B.4.2.2 Baustellen**

Sperrungen von einzelnen Fahrstreifen, Abbiegebeziehungen oder ganzen Fahrbahnen im städtischen Verkehrsnetz lassen sich über den VTnet- Eventmanager im VMS einpflegen.

Notwendig sind ein Startzeitpunkt und ein Name für die baustellenbedingte Störung. Ein Endzeitpunkt kann gewählt oder offen gelassen werden (automatisches Ende 2099).

Die Art der Störung (Unfall, Baustelle, Veranstaltung...) wird aus einer umfangreichen Liste ausgewählt und kann zusätzlich mit Textinformation ergänzt werden.

Eine zyklische Meldung an den MDM kann auf Wunsch aktiviert werden (Normalfall). In Ausnahmefällen kann die Meldung an den MDM aber auch unterbunden werden, z.B. wenn bekannt wird, dass Falschinformationen verbreitet werden.

Eine grafische Verortung der Störung ist über eine hinterlegte Stadtkarte mit der im VMS freigeschalteten (niedrig priorisierte Strecken sind z.B. nicht freigeschaltet) Strecken möglich. Die Baustellen-Verortung kann auf Teilstrecken und/oder Fahrspuren weiter eingeschränkt werden.

Unterschiedliche Sperrqualitäten lassen sich auswählen:

- Vollsperrung (beide Fahrrichtungen)
- Einseitige Sperrung oder Kapazitätseinschränkungen für eine Fahrtrichtung
- Sperrungen oder Kapazitätseinschränkungen von Spuren
- Kapazitätseinschränkungen für einen Teil einer Strecke

Bei entsprechender Datenpflege lassen sich Strecken auch mit Hilfe der Location-Code-Liste (LCL) zur Verortung von Verkehrsmeldungen beschreiben.

Die eingepflegte Baustelleninformation wird z.Zt. ausschließlich für eine Publikation an den MDM genutzt.

## **B.5 Testbetrieb**

Seitens des Prüffeldmanagements Kassel endet die Datenbereitstellung jeweils mit der Übermittlung der Daten an den MDM. Dort werden die Daten dann von Diensteanbietern (für das Prüffeld Kassel der Projektpartner BMW) abgeholt.

Der Testbetrieb wurde 2013/2014 in Betrieb genommen.

Seit Juli 2013 werden Daten zur Haltlinien- und Signalgruppen-Verortung zum MDM gesendet. Diese werden aus der Verkehrsmanagementsoftware VTnet entnommen. Seit Juni 2014 werden Schaltzeitprognosen und Haltepunktprognosen an den MDM abgegeben. Zunächst wurden nur Testdaten zur Verfügung gestellt. Nach und nach werden unterschiedliche Versionen der Softwarekomponenten zur Prognose der Schaltzeiten

und der Haltepunkte im *UR:BAN*-System in Kassel implementiert. Rückmeldungen von Datennehmern wurden entgegen genommen und mündeten in Verbesserungen.

Im Rahmen der Überprüfung des Datenflusses wird jede MDM-Publikation von der Stadt Kassel auch selbst abonniert. Damit kann geprüft werden, ob die Datenabgabe ordnungsgemäß funktioniert. Über eine Überwachungssoftware werden Fehlermeldungen per E-Mail abgesetzt, wenn der Datenfluss unterbrochen ist.

Im Rahmen des bisherigen Testbetriebs mussten auch einzelne Anpassungen von Regeln in Firewalls oder Rechtevergaben durchgeführt werden. Dabei konnten wertvolle Erfahrungen gesammelt werden, wie ein modernes Verkehrsmanagementsystem mit Anwendungen für C2X-Kommunikation sicherheitstechnisch mit dem Verwaltungs-EDV-Netz einer Stadt und dem Verkehrssteuer- und Regelsystem der Stadt Kassel verknüpft werden kann.

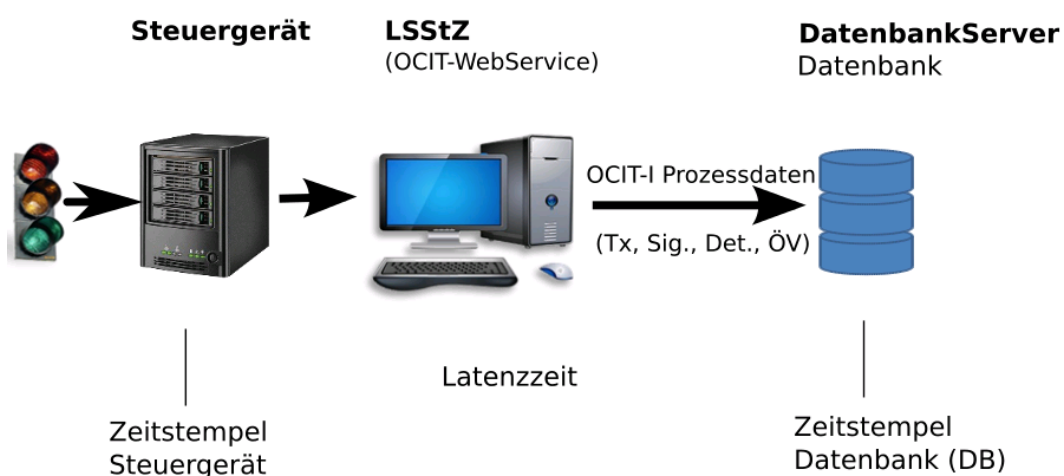
## B.5.1 Datenflusstests

### B.5.1.1 Latenzzeiten

Die Prozessdaten (Detektorflanken, Signalgruppenzustände, ÖV R09-16 und Umlaufsekunde werden bei der Unterzentrale (IG13) bestellt und in einem gewählten Intervall bezogen.

Die Unterzentrale liefert die Prozessdaten über eine Webservice-Schnittstelle (Softwareschnittstelle zur Kommunikation über ein Netzwerk) nach OCIT-I/OTS 1.1 an den Besteller aus.

Zum Lieferungsbeginn wird durch eine OCIT-Bestellung der Umfang (Knoten, Datenarten) und die Lieferparameter (Lieferintervall, Datenformat) festgelegt. Mit dem bei der Bestellung festgelegten Lieferintervall wird der Webservice zyklisch zur Lieferung aufgefordert.



$$\text{Latenzzeit} = \text{Zeitstempel\_DB} - \text{Zeitstempel\_Steuergerät}$$



Abbildung 41: Definition der untersuchten Latenzzeit

Die Lieferung der Prozessdaten erfolgt nach OCIT-I-Spezifikation in einer XML-Datei und wird vom VMS in die OPDB auf SKURBAN1 übernommen.

Jeder Prozesswert (Detektorflanke, Signalgruppenzustand, ÖV-Meldung, Umlaufsekunde) wird vom Steuergerät des Knotens mit einem aktuellen Zeitstempel versehen und ist Bestandteil der Datenlieferung an das VMS.

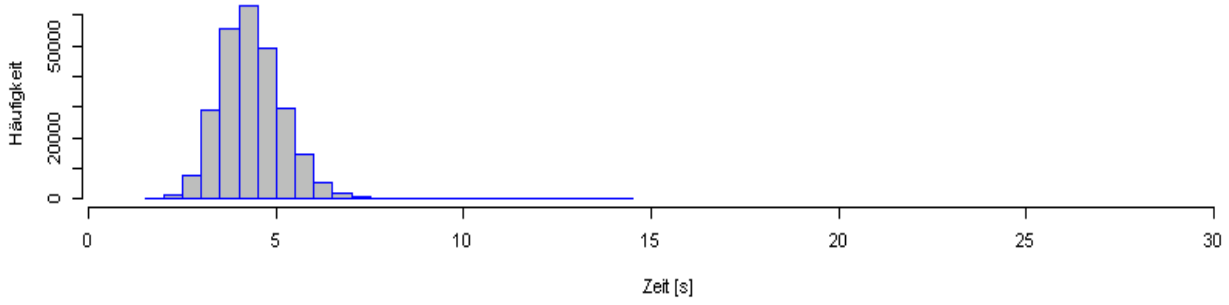
Zur Untersuchung der Latenzzeit (Zeitdifferenz zwischen Zeitstempel des Steuergerät und der Verfügbarkeit im VMS, siehe Abbildung 41) wurden Auswertungen mit unterschiedlichen Lieferintervallen (1s, 2s, 3s, 4s, 5s) mit einer Bestellung über alle Knoten und Datenarten (Detektoren, Signalgruppen, ÖV, Umlaufsekunde) durchgeführt.

Die Auswertung zeigt, dass die Latenzzeit bei Detektoren, Signalgruppen und Umlaufsekunde unabhängig vom gewählten Lieferintervall bis 10s beträgt und die ÖV-Meldekette bis 20s benötigen, um im VMS zur Verfügung zu stehen (siehe Abbildung 43 und Abbildung 43).

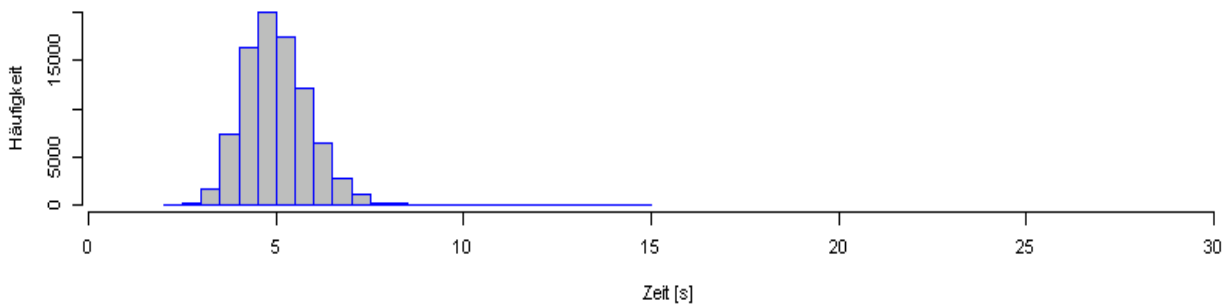
Wie bereits in Kapitel 4.2.1.2. beschrieben benötigen die Prognoseverfahren möglichst geringe Latenzzeiten. Eine Softwareänderung (4/2015) seitens des Herstellers reduzierte die Latenzzeit auf ca. 6-7s. Für eine optimale Prognose der Schaltzustände wurde eine Latenzzeit von 2s angestrebt.

Fazit: die gesamte Datenlage am Knoten steht erst nach 6-7s (ÖV-Meldekette bis zu 20s) dem VMS zur Verfügung. Einen Einfluss auf die Latenzzeit hat unter anderem der technische Stand des Steuergeräts. Neuere Steuergeräte liefern ihre Prozessdaten kontinuierlicher an die Zentrale. Weiterhin besteht die Lieferkette (Steuergerät – OCIT-I) aus nicht synchronisierten Einzellieferungen.

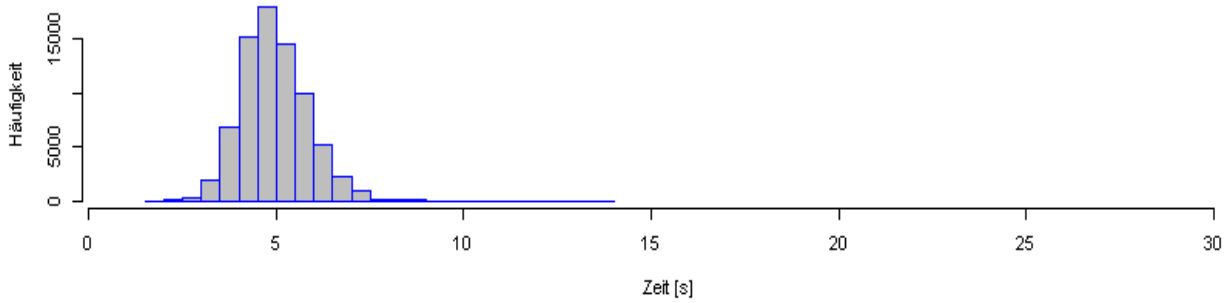
Verteilung d. Latenzzeiten; Intervall: 1s Signalart: Detektoren ; Knoten: 18



Verteilung d. Latenzzeiten; Intervall: 1s Signalart: TX ; Knoten: 18



Verteilung d. Latenzzeiten; Intervall: 1s Signalart: Signalgruppen ; Knoten: 18



Verteilung d. Latenzzeiten; Intervall: 1s Signalart: ÖV ; Knoten: 18

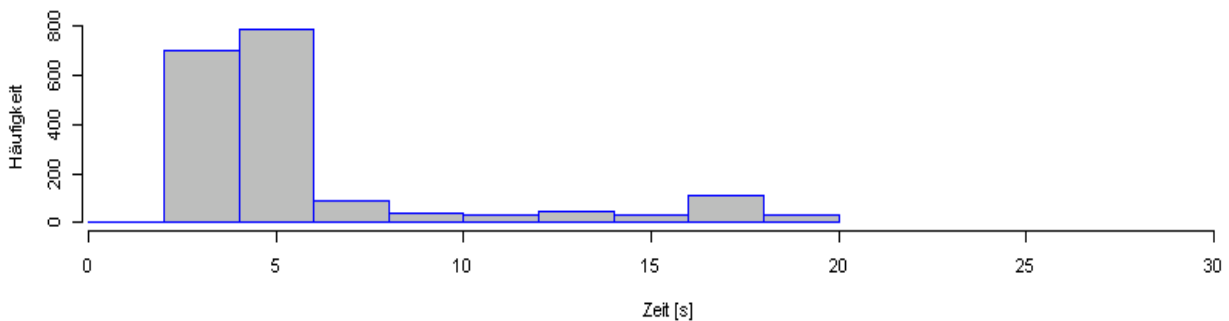


Abbildung 42: Latenzzeiten-Verteilung von Knotenpunkt K18 (mit ÖV) nach Softwareänderung mit Abfrageintervall 1s

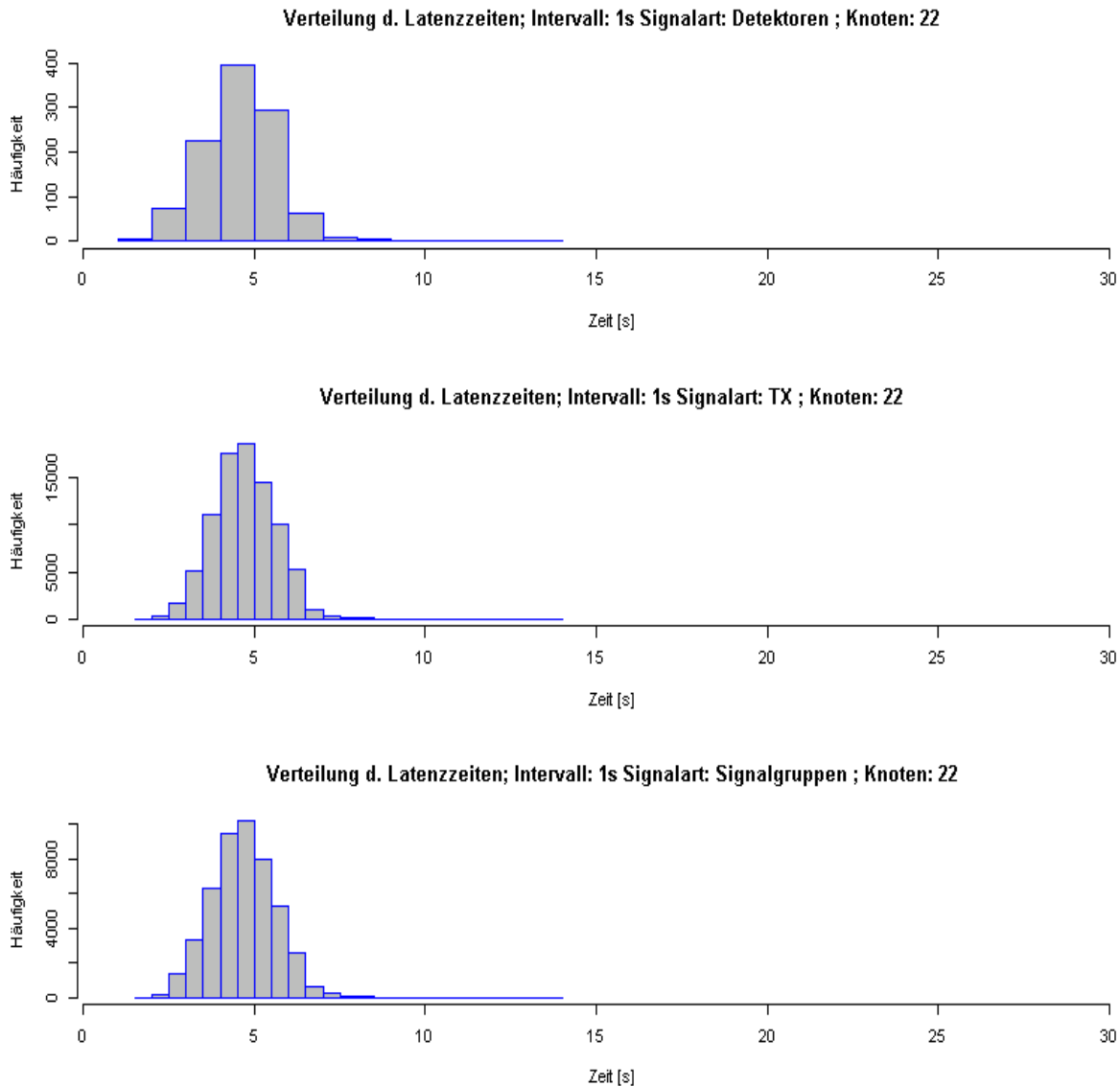


Abbildung 43: Latenzzeiten-Verteilung von Knotenpunkt K22 (ohne ÖV) nach Softwareänderung mit Abfrageintervall 1s

Auswertungen zu Datenlieferungen für nur einen Knoten oder für eine eingeschränkte Knotenzahl führten zum gleichen Zeitverhalten.

Stichprobenhafte Zeitmessungen zwischen dem Steuergerät und der Lichtsignalsteuerungszentrale zeigten, abhängig von der Hardwareausstattung des Steuerrechners die Latenzzeiten nur bis zu 2 s betragen. Da dies der kleinere Anteil an den Gesamtlatenzzeiten ist, wird vermutet, dass der Webservice, über den die Daten von der Lichtsignalsteuerungszentrale angefordert werden, für die schnelle Bereitstellung der Prozessdaten nicht optimiert ist. Hier erfolgte zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Dokumentes eine Rücksprache mit dem Hersteller.

### **B.5.1.2 Datenmengen**

Die Lieferung der Prozessdaten erfolgt per LWL-Verbindung von der Unterzentrale Auestadion zum VMS im Hölkschen Haus. Das VMS fordert die Prozessdaten an und bezieht diese im 2-Sekundenrhythmus.

Jede Datenlieferung enthält die sich veränderten Prozessdaten (Delta-Lieferungen) aller *UR:BAN*-Knoten und der Signalarten Detektoren, Signalgruppen, ÖV und Umlaufsekunde.

Über einen Tag werden ca. 86400 Dateien mit einem Datenvolumen von 2,6 GByte (abhängig von der Verkehrslage) über die LWL-Verbindung ausgetauscht.

Eine mittlere Datenrate von ca. 30KByte/s ist so für den Austausch der Prozessdaten zwischen VMS und VSRS notwendig.

### **B.5.1.3 Störungen**

Im alltäglichen Betrieb des VSRS treten mitunter Störungen auf. Dies können Kommunikationsstörungen zwischen LSA-Steuergerät und LSA-Zentrale oder –Unterzentrale sein, Lampenausfälle und Ausfälle von anderen technischen Komponenten. Für diese Fälle ist jeweils zu definieren, wie einzelne *UR:BAN*-Anwendungen darauf reagieren. Die genaue Festlegung der Störungstypen zu geeigneten Aktionen ist zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Dokumentes noch nicht erfolgt. Für einen funktionalen Alltagsbetrieb ist dies aber unerlässlich.



Urbaner Raum:  
Benutzergerechte Assistenzsysteme  
und Netzmanagement

**Aktuelle Informationen unter:** <http://www.vt.bgu.tum.de/urban-leitfaden/>

---

**Beteiligte Partner:** Technische Universität München, GEVAS software GmbH, Heusch/Boesefeldt GmbH, Landeshauptstadt Düsseldorf, Kassel documenta Stadt, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, ifak Magdeburg e.V., TRANSVER GmbH, TomTom Development Germany GmbH