

Forschungsprojekt

UR:BAN – Vernetztes Verkehrssystem

Schlussbericht

**Beitrag des
Zwendungsempfängers:** DLR e.V.
Institut für Verkehrssystemtechnik
Lilienthalplatz 7
38108 Braunschweig

zu den Teilprojekten: SK – Smarte Kreuzung
KI – Kooperative Infrastruktur

Laufzeit: 01.01.2012 – 31.12.2015

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen **19 P 1100 7 F** gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

DLR-Autoren: Henning Mosebach (federführend), Tobias Frankiewicz, Meike Möckel, Michael Kürschner, Sandra Detzer, Sten Ruppe, Louis Touko Tcheumadjeu

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Braunschweig, 01.05.2016

Inhalt

1. Kurzdarstellung des Vorhabens	3
1.1 Aufgabenstellung in den Teilprojekten SK und KI	3
1.2 Voraussetzungen für das Vorhaben.....	4
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	5
1.3.1 Smarte Kreuzung	5
1.3.2 Kooperative Infrastruktur.....	7
1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand	9
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	11
2. Eingehende Darstellung.....	12
2.1 Erzielte Ergebnisse im Einzelnen	12
2.1.1 Teilprojekt „Smarte Kreuzung“	12
2.1.2 Teilprojekt „Kooperative Infrastruktur“	24
2.2 Nutzen und Verwertbarkeit	52
2.3 Bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens	56
2.4 Veröffentlichung der Ergebnisse	57

1. Kurzdarstellung des Vorhabens

1.1 Aufgabenstellung in den Teilprojekten SK und KI

Unter dem Leitthema des Ausbaus intelligenter Infrastruktur zur Optimierung der Verkehrseffizienz und Emissionsminderung im urbanen Raum, speziell im Hinblick auf die Vernetzung der Informationen aus Fahrzeugen und Infrastruktur über innovative Car2X-Protokolle, oblagen dem DLR die folgenden Hauptschwerpunkte der Arbeiten:

- Entwurf einer innovativen Systemarchitektur mit dem Ziel, Kooperation zwischen Fahrzeugen und infrastrukturellen Einrichtungen durch gezielte Informationsaufbereitung und standardisierte Protokolle zu fördern und entsprechende Vorgehensweisen zur Implementierung von kooperativen Fahrerassistenzsystemen vorzuschlagen
- Ausbau und Adaption von bereits vorhandener intelligenter Infrastruktur im Testfeld Braunschweig und im Prüffeld Düsseldorf mit dem Ziel, die durch die Projektpartner entwickelten fahrzeugseitigen Applikationen durch entsprechende infrastrukturelle Daten in Echtzeit zu unterstützen und dabei die Skalierbarkeit der Implementierungen auf weiteren Testfeldern sicherzustellen.
- Entwicklungsarbeiten zur infrastrukturellen Datenaufbereitung sowie Planung und Durchführung von Systemtests auf den UR:BAN Test- und Prüffeldern mit dem Ziel, die durch die Partner entwickelten Fahrzeugapplikationen zu testen, die Testergebnisse auf in die Protokollentwicklungen rückwirken zu lassen und somit eine Optimierung der infrastruktureseitigen kooperativen Algorithmen zu erreichen
- Entwicklung und Beschreibung von Referenzarchitekturen für kooperative Systeme, Analyse vorhandener kommunaler Ausgangsbedingungen, Definition von Prozessschritten zur Integration von kooperativen Applikationen in kommunale Umfelder unter Berücksichtigung des heutigen Ausbauszustandes, Analyse und Bewertung der kooperativen Systeme.

Zur Bewältigung dieser Hauptschwerpunkte standen dem DLR neben den bereits durch die DLR-Forschungsschwerpunkte gegeben Expertisen die in Kapitel 1.2 aufgeführten, förderlichen Rahmenbedingungen zur Verfügung.

1.2 Voraussetzungen für das Vorhaben

Das DLR Institut für Verkehrssystemtechnik verfügt über eine langjährige Expertise in den Bereichen Fahrzeugautomatisierung, Unterstützung des Fahrers durch situationsgerechte Assistenz sowie infrastrukturseitige Unterstützung von Fahrmanövern. Belegt ist diese Expertise beispielsweise durch die Entwicklung einer Plattform für hochautomatisierte Fahrmanöver im EU Projekt HAVEit (<http://www.haveit-eu.org>) durch

Die am DLR Standort Braunschweig bereits aufgebaute Großforschungsanlage AIM bietet für das Projekt UR:BAN infrastrukturelle Einrichtungen wie z.B. Roadsise-Units, Anbindungen des DLR-Entwicklungsframework Dominion® sowie Datenverwaltungssysteme an, die bereits operativ einsatzfähig sind, so dass die UR:BAN-Projektmittel nahezu vollständig in die Entwicklung der lokalen UR:BAN-Dienste fließen können.

Zusätzlich sind auf der AIM-Referenzstrecke sowie an der AIM-Forschungskreuzung Datenverarbeitungseinheiten in Hardware und Software installiert, die in vollem Umfang für das UR:BAN Konsortium nutzbar sind und durch das DLR-Forscherteam an die UR:BAN-spezifischen Lösungen angepasst werden.

Dabei sind bidirektionale Kommunikationskanäle vorgesehen, sowohl von der Infrastruktur zu den Fahrzeugen zur Übertragung der Stati und Laufzeiten der Lichtsignalanlage als auch von den Fahrzeugen zur Infrastruktur hin zwecks Verkehrslageerfassung über Funksignale (Car2X-Standard).

Der Austausch von Informationen zwischen Lichtsignalanlage, Fahrzeugen sowie Radfahrern und Fußgänger zur verkehrs- und energieoptimierten Verkehrsabwicklung ist bereits zum Projektstart in Forschungsansätzen am Institut TS vorhanden und kann unter UR:BAN zielgerichtet gemeinsam mit den Automobilherstellern sowie den weiteren Partnern in ihrem Reifegrad erhöht werden. Der TRL zu Projektstart steht bei etwa 4-5 und soll durch UR:BAN auf TRL 6-7 angehoben werden. Dabei stehen Applikationen im Vordergrund, die auf die exakten Wartezeiten an der LSA abgestimmt sind, die mikroskopische, spurfeine, lokale Verkehrslagen erkennen und die dadurch den im Zusammenhang mit der Kreuzung stehenden Fahrmanöver eine mikroskopische Optimierung ermöglichen.

Neben der kooperativen Infrastruktur in AIM unterhält das DLR auch eigene Forschungsfahrzeuge, die zu Inbetriebnahmezwecken für UR:BAN zur Verfügung gestellt werden und die Möglichkeit bieten, prototypische Softwarestände auch ohne Anwesenheit der Realfahrzeuge der Kooperationspartner zu testen. Dadurch können die Reiseaufwände reduziert werden. Eine umfassende Systemtest- und Analysesoftware für die Tests mit Partnerfahrzeugen ist ebenfalls vorhanden und wird auf die Spezifikation aus UR:BAN erweitert.

In dem BMBF-geförderten Projekt „Kooperative und Optimierte Lichtsignalsteuerung in städtischen Netzen“ (KOLINE) wurden bereits Grundsteine für kooperative Fahrerassistenz gelegt und werden vom

Projekt UR:BAN aufgegriffen. Speziell aus dem letztgenannten Projekt welches im Stadtbereich von Braunschweig durchgeführt wurde sind Funktionsmodule vorhanden die in UR:BAN weitegenutzt werden.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Im Teilprojekt Smarte Kreuzung wurden unter Anderem infrastrukturseitige Applikationen entwickelt, die mit Hilfe von Fahrerassistenzsystemen einen effizienteren und ökologischeren Verkehrsablauf im Umfeld von Kreuzungen ermöglichen. Der Hauptschwerpunkt des DLR lag hierbei in der Vernetzung von Straßeninfrastruktur und Verkehrsteilnehmern durch entsprechende Datenanreicherungs- und Kommunikationseinrichtungen. Hierzu stand im Testfeld Braunschweig bereits eine kooperative Infrastruktur basierend auf ITS G5 zur Verfügung die an vom DLR betriebene Backend-Datenbanken zum Verwalten der Daten angeschlossen ist.

Während die im Teilprojekt smarte Kreuzung entwickelten Applikationen und Prozessschritte auf die Optimierung der lokalen Kreuzung im Testfeld Braunschweig dienten lagen die DLR-Schwerpunkte im Teilprojekt kooperative Infrastruktur auf der Einbettung von kooperativen Knoten in weitere Systemarchitekturen außerhalb des Bestandssystems Braunschweig sowie der Generalisierung von Entwicklungsprozessen und Schnittstellen. Zur Validierung der Skalierungsfähigkeit der entwickelten Architektur wurde gegen Projektende eine smarte Kreuzung in Düsseldorf implementiert und die in Braunschweig entwickelten fahrzeug- und infrastrukturseitigen Applikation auch in Düsseldorf demonstriert.

Die zeitlichen und inhaltlichen Abläufe der geschilderten Schwerpunkte werden in den folgenden beiden Kapiteln detaillierter erläutert.

Während des Projektverlaufs gab es in allen Teilprojekten die folgenden regelmäßigen Nachweise über die erbrachten Arbeiten sowie deren Qualitäten:

- Halbjährliche Berichte an das BMBF sowie an den jeweiligen Teilprojektleiter
- Jährliche Meilensteinberichte
- Eine Zwischenpräsentation als Messeveranstaltung in Braunschweig zur Halbzeit des Projekts
- Eine Abschlußpräsentation als Messeveranstaltung in Düsseldorf zum Projektende

1.3.1 Smarte Kreuzung

Die Arbeiten auf dem Prüffeld Braunschweig gliedern sich in die in Abbildung 1 dargestellten Arbeitspakete.

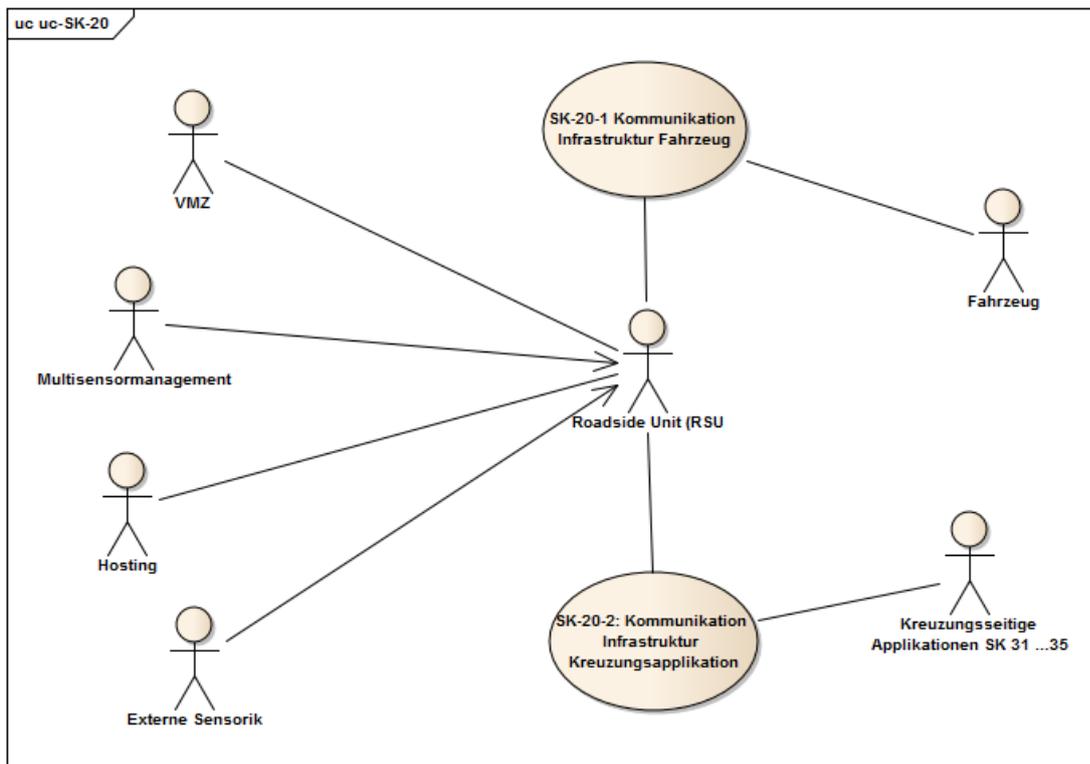


Abbildung 2: Akteure bei Aufbau und Betrieb der smarten Kreuzung

1.3.2 Kooperative Infrastruktur

Die in Abbildung 3 dargestellte technisch-organisatorische Systemarchitektur ist prinzipiell in allen Kommunen verfügbar jedoch sind die eingesetzten Geräte und Standards in der Regel sehr heterogen und teilweise nur zur Implementierung innovativer kooperativer Applikationen geeignet. Die Arbeiten des DLR dienen der Herstellung der Migrationsfähigkeit der smarten Kreuzung in Braunschweig auf das Prüffeld Düsseldorf, der Erarbeitung von Referenzarchitekturen und Schnittstellen sowie der Beschreibung der zugehörigen Verfahrensschritte.

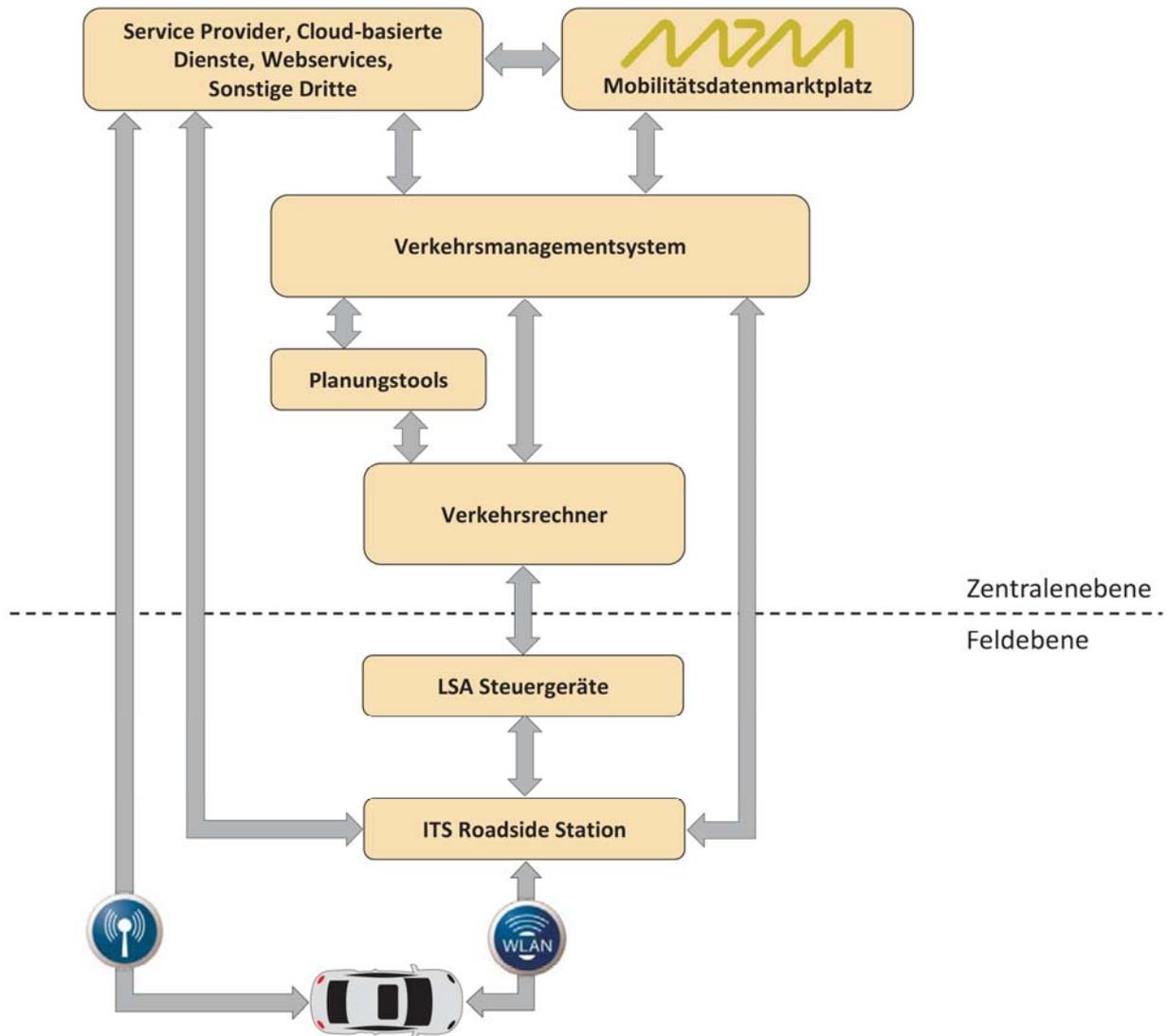


Abbildung 3: Technisch-organisatorische Systemarchitektur eines kooperativen Systems

Der zeitliche Ablaufplan der durch das DLR geleisteten Arbeiten im Teilprojekt kooperative Infrastruktur ist in Abbildung 4 in einen inhaltlichen und zeitlichen Kontext gestellt.

grundlegende Technologien voranzutreiben um die für ITS wichtigen Basistechnologien für intelligente Verkehrssysteme vorzubereiten.

Dieser Plan fand seine Entsprechung in der Richtlinie 2010/40/EU „Rahmen für die Einführung intelligenter Verkehrssysteme“ und den dort genannten Handlungsfeldern und Haupteinsatzgebieten von IVS. Diese Richtlinie gibt auch rechtliche Verpflichtungen für die Länder vor.

Ebenso diene der IVS-Aktionsplan „Straße“ vom Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung 2012, der die koordinierte Weiterentwicklung bestehender und die beschleunigte Einführung neuer IVS in Deutschland bis 2020 beschreibt, als planerische Grundlage für die Aktivitäten im Projekt UR:BAN.

Um dem ITS Aktionsplan Rechnung zu tragen wurden die folgenden Regelwerke und Standards als Ausgangspunkt für die technischen Entwicklungen in dem Projekt gesetzt und eine Harmonisierung der im Projekt erarbeiteten Ergänzungen mit eben diesen Standards erreicht.

Die bereits für Europa definierten proprietären Car2X-Kommunikationsprotokolle die z.B. vom European Telecommunications Standards Institute (ETSI) entwickelt wurden und als Standards für die Informations- und Kommunikationstechnik anerkannt werden.

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.

Neben diesen Standards werden auch die Standards von großen nationalen Projekten im IST-G5-Kontext herangezogen. Eine Auflistung des wissenschaftlichen Stands und technischer Regeln sowie von Referenzprojekten ist im Folgenden aufgeführt:

- IEEE 802.11p als publizierter Standard zur Erweiterung der IEEE 802.11-Norm, um die [WLAN](#)-Technik in Personen-Kraftfahrzeugen zu etablieren und eine zuverlässige Schnittstelle für Anwendungen intelligenter Verkehrssysteme (engl. [Intelligent Transport Systems](#), ITS) zu schaffen
- ITS G5 als Referenzarchitektur zu auf ad-hoc-Kommunikation basierenden kooperativen Verkehrssysteme
- ETSI Basic Set of Applications (BSA). 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.
- SimTD Projekt: Nationales Projekt in Deutschland mit dem Ziel die aktuellen ITS G5 Spezifikation in einem großen Feldversuch zu pilotieren
- Funktions- und Softwarekomponenten aus dem vom BMBF geförderten Projekt KOLINE („“)

- Architekturkomponenten und Funktionsbeschreibungen aus dem ITS G5 Projekt CONVERGE (<http://www.converge-online.de/>)

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Um die im Projekt definierten Ziele umsetzen zu können waren enge Abstimmungs- und Realisierungsarbeiten mit den folgenden Stellen und Projektpartnern erforderlich und wurden erfolgreich umgesetzt:

- Den Projektpartnern in den Teilprojekten SK und KI, namentlich
 - GEVAS AG, München
 - Ifak GmbH, Magdeburg
 - TransVer GmbH, München
 - TU Braunschweig, Institut für Verkehr und Stadtbauwesen
 - Volkswagen AG, Wolfsburg
 - Opel AG, Rüsselsheim
 - Continental AG, Hannover
 - TU München, Lehrstuhl für Verkehrstechnik
- Der Stadt Braunschweig und dessen Serviceunternehmen BELLIS GmbH als ausführendes Unternehmen bei Montage- und Inbetriebnahmearbeiten an den Sensor- und Kommunikationseinheiten an der smarten Kreuzung Braunschweig
- Dem Amt für Verkehrsmanagement der Stadt Düsseldorf und dem Unternehmen Siemens AG als ausführendes Unternehmen bei Montage- und Inbetriebnahmearbeiten an den Sensor- und Kommunikationseinheiten an der smarten Kreuzung am Oberbilkler Markt
- Dem Sensorhersteller smart microwave systems (s.m.s.), Braunschweig, zur Auslegung und Inbetriebnahme der Objekterfassenden Radarsensoren
- Der Firma ESE, Braunschweig, für Entwicklungsarbeiten und zur Adaptionen von Komponenten des DLR Software-Verwaltungssystems zum Konfigurationsmanagement der RSUs
- Der Firma Nordsys GmbH für Diskussionen und Unterstützung im Rahmen der ITS G5 Kommunikationsprotokolle sowie zu Details der im Projekt verwendeten Communication Units

2. Eingehende Darstellung

2.1 Erzielte Ergebnisse im Einzelnen

2.1.1 Teilprojekt „Smarte Kreuzung“

Ziel des Teilprojektes „Smarte Kreuzung“ war es, eine komplexe Kreuzung im realen Verkehr einer deutschen Großstadt mit moderner Kommunikationstechnik auszurüsten und durch den Einsatz von ITS-Applikationen verkehrstechnisch zu verbessern.

2.1.1.1 Architektur der smarten Kreuzung

Der Hauptbestandteil der Arbeiten des DLR war dabei die Bereitstellung der sog. Road Side Unit (RSU) als Basisdienst aller kooperativen Applikationen auf der Seite der Verkehrsinfrastruktur. Die Road Side Unit ist dabei einerseits die Infrastrukturkomponente, die Informationen der vorhandenen Verkehrsinfrastruktur, insbesondere der Lichtsignalanlagen, empfängt, verarbeitet und den Verkehrsteilnehmern auf verschiedenen Kommunikationswegen zur Verfügung stellt. Andererseits beinhaltet die RSU eine Recheneinheit, auf der die von den Projektpartnern entwickelten Applikationen ausgeführt werden. Somit ist die RSU eine dezentrale (weil an den LSA bereitgestellte) Infrastruktureinheit, die die Interaktion zukünftiger Serienfahrzeuge mit der weiteren intelligenten Verkehrsinfrastruktur ermöglicht. Hierdurch werden fahrzeugseitig neuartige Assistenzfunktionen ermöglicht und auf der Seite des Verkehrsmanagements eine bisher nicht erreichte Regelungstiefe und Informationsgrad ermöglicht. Konkrete Beispiele sind die nachfolgend aufgeführten einzelnen Applikationen des Teilprojektes mit Bezug zur Road Side Unit.

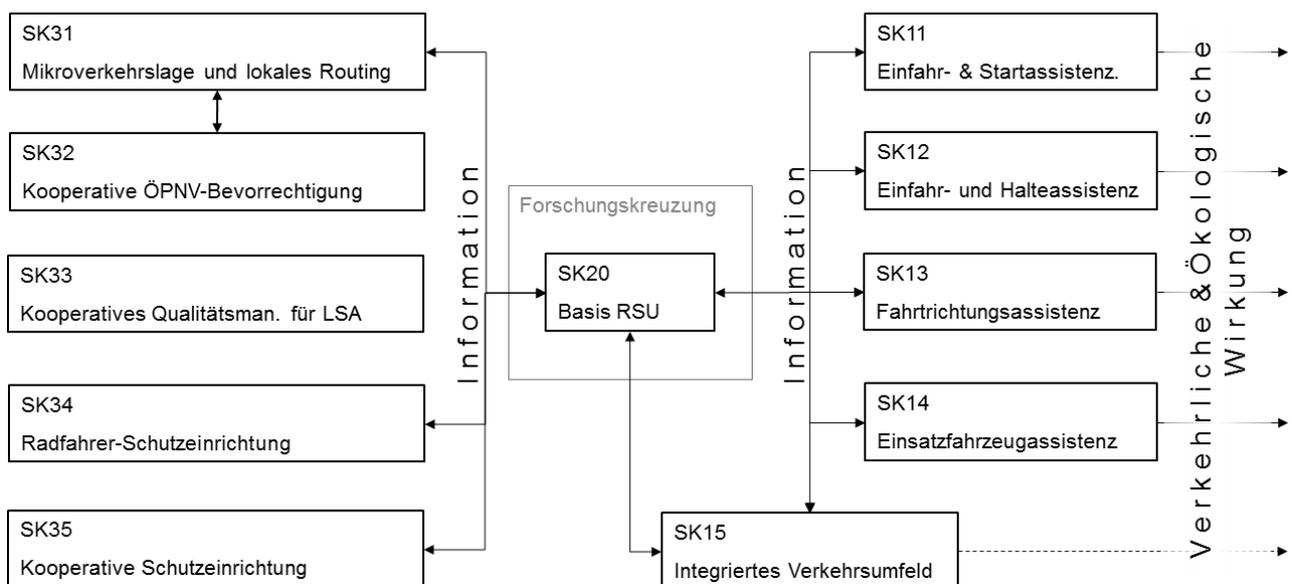


Abbildung 5: Informationen und Wirkung der Applikationen im TP Smarte Kreuzung

Aus Abbildung 5 geht hervor, dass die RSU aus der Sicht der im Teilprojekt SK entwickelten Applikationen das zentrale Informationsgateway zwischen den Fahrzeugen und der Infrastruktur darstellt. Mit Ausnahme der Applikationen SK32 und SK33 beziehen alle Applikationen Informationen von der RSU oder stellen dieser Informationen bereit.

Zu Beginn der Projektlaufzeit wurde zunächst die Architektur der Road Side Unit entwickelt, welche als wesentliche Grundlage den spezifischen Aufbau der vorhandenen (herkömmlichen) Verkehrsinfrastruktur der Stadt Braunschweig als technisches Prüffeld sowie der Stadt Düsseldorf als Testfeld hatte. Hierbei konnte auf die Erfahrungen aus dem Aufbau des Testfeldes für kooperative Verkehrssysteme, der AIM-Referenzstrecke des DLR aufgebaut werden. Da in diesem Projekt jedoch nicht konkrete urbane Applikationen im Vordergrund standen, musste die Architektur wesentlich verändert werden, um den Anforderungen der UR:BAN Applikationen und der Projektpartner gerecht zu werden. In Abbildung 6 ist diese als Übersichts-Schaubild dargestellt. Ein wesentlicher Unterschied zur vorher entwickelten Architektur des RSU aus dem Testfeld AIM sind die vielen Schnittstellen zu anderen Teilsystemen, die die einzelnen UR:BAN Applikationen erst ermöglichen.

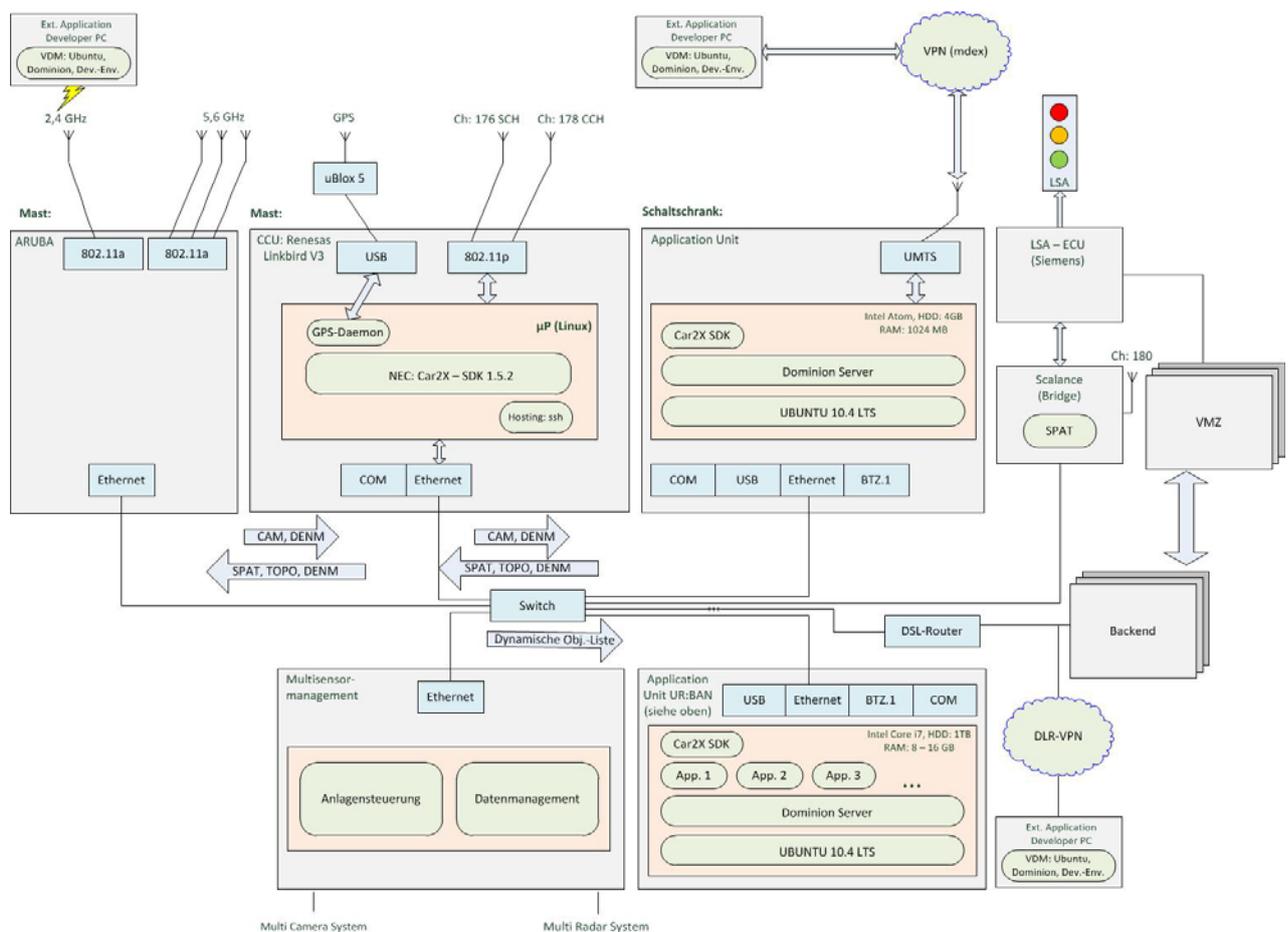


Abbildung 6: Hardware-Architektur der Road Side Unit an der smarten Kreuzung

2.1.1.2 Implementierung der Car2X-Nachrichten Architektur

Im Anschluss an die Architekturdefinition erfolgte die Anpassung der bereits im Prüffeld Braunschweig installierten RSU an der sog. Forschungskreuzung. Hierbei handelt es sich um eine Kreuzung im Braunschweiger Stadtgebiet, die im Rahmen des Aufbaus der Anwendungsplattform Intelligente Mobilität u.a. mit Sensoren zur Verkehrsüberwachung und mit Car2X Kommunikationstechnik ausgestattet wurde. Die vorhandene RSU der Forschungskreuzung wurde um eine weitere Recheneinheit ergänzt, die die projektspezifischen Applikationen von UR:BAN-SK übernehmen sollte. Des Weiteren wurden die neuen benötigten Schnittstellen geschaffen und verschiedene Applikationen entwickelt, um die UR:BAN Use Cases zu unterstützen bzw. zu ermöglichen. Exemplarisch für diese Entwicklungen wird hier die Erstellung der *Intersection*-Nachricht erläutert. Dies ist eine standardisierte² Car2X-Nachricht, die eine digitale Repräsentation der Kreuzungstopologie liefert. Diese Nachricht ist notwendig, da momentan nicht angenommen werden kann, dass ein aktuelles Serienfahrzeug mit einer hinreichend genauen und aktuellen digitalen Karte ausgerüstet ist, die eine zweifelsfreie Zuordnung von übertragenen LSA-Signalbildern zu den Fahrstreifen der Kreuzung ermöglichen würde. Dies gilt auch für Neufahrzeuge, die in naher Zukunft auf den Markt kommen werden. Aus diesem Grunde muss die Road Side Unit lokal ein aktuelles Bild der Fahrstreifen, der Konfliktfläche der Kreuzung, zulässige Fahrbeziehungen und zahlreiche weitere Informationen vorhalten und periodisch an die Fahrzeuge im Empfangsbereich kommunizieren. Um dieses digitale Abbild zu liefern wurde die betreffende Kreuzung hochgenau vermessen und die markierten Fahrstreifen wurden in eine digitale, dem Standard entsprechende Repräsentation umgewandelt. Abbildung 7 zeigt die erstellte Repräsentation der Forschungskreuzung mit den eingemessenen Referenzpunkten sowie den eingehenden und ausgehenden Fahrstreifen. Diese digitale Karte der Kreuzung musste im Verlauf des Projektes für eine weitere Kreuzung in Braunschweig (s.u.) sowie für die Zielkreuzung in der Stadt Düsseldorf und die Demonstrationsfläche auf dem Messegelände Düsseldorf ebenfalls auf diese Weise erstellt werden.

² Die Standardisierung der Nachrichten *Intersection* und *Signal, Phase and Timing* ist noch nicht abgeschlossen. Im Projekt wurden daher die jeweils aktuellen Entwurfsversionen genutzt.

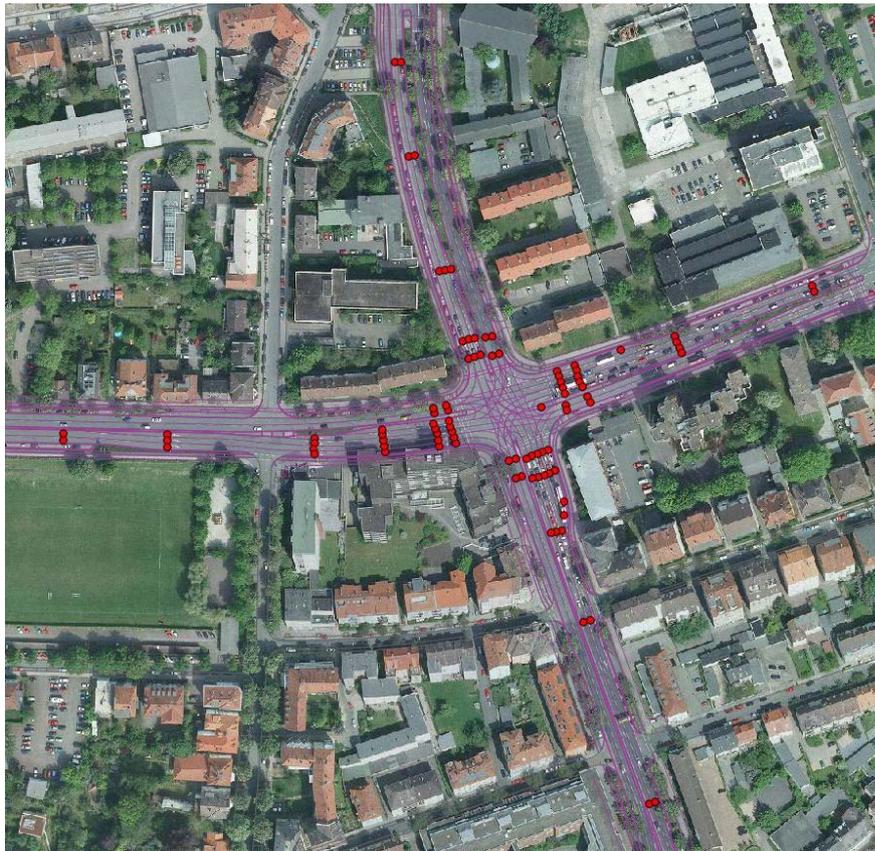


Abbildung 7: Smarte Kreuzung in Braunschweig mit Referenzpunkt und Fahrstreifendefinitionen für die Car2X Nachricht Intersection

Die Car2X-Nachricht für die Übertragung des aktuellen LSA-Status erfolgt auf ähnliche Art- und Weise, jedoch ist der notwendige manuelle Aufwand deutlich geringer. Über das in Braunschweig vorhandene Gateway zwischen RSU und LSA-Steuergerät des Herstellers Siemens ist eine automatische Übertragung der Signalzustände zur RSU möglich. Die Zuordnung von LSA-Signalgruppe zu den passenden Fahrstreifen und deren digitale Repräsentation in der *Intersection*-Nachricht ist jedoch ebenfalls ein manueller Eingriff notwendig. Diese sogenannte *Signal, Phase and Timing* (SPaT) Nachricht konnte also automatisiert erstellt werden.

Nach der Erstellung und Überprüfung der genannten Car2X-Nachrichten erfolgte die Implementierung von Applikationen, die diese Nachrichten periodisch erzeugen und versenden. Insbesondere für die SPaT-Nachrichten, deren Inhalt sich in jeder Sekunde ändert, war dazu die Entwicklung einer automatischen Kontrollmethode erforderlich. Diese stellt sicher, dass die ausgehenden Car2X-Nachrichten zu jedem Zeitpunkt gültig sind, also dem Standard entsprechend, und inhaltlich plausible Daten enthalten. Aufgrund der verkehrsabhängigen Steuerung, die in der LSA der Forschungskreuzung implementiert ist, besteht die Möglichkeit, dass sich die Restlaufzeiten der LSA-Zustände sprunghaft ändern. Das LSA-Programm wurde bereits vor der Installation des Car2X-Systems erstellt und daher nicht auf die Anforderungen der kooperativen Systeme hin optimiert. Dieser Umstand wurde im Projekt dokumentiert und als Anforderung an die neu zu erstellende LSA-Steuerung für die Anlagen in Düsseldorf aufgenommen.

2.1.1.3 Erhebung qualitätsrelevanter Car2X-Parameter

Nach der Implementierung der genannten Car2X-Nachrichten und den entsprechenden Applikationen zur Datenaufbereitung und zum Versand der Nachrichten erfolgte die Messung der Empfangsreichweiten im Prüffeld Braunschweig. Dazu wurde ein Forschungsfahrzeug des DLR mit einer speziellen Messplattform ausgerüstet. Diese beinhaltet neben der Car2X On-Board Unit (OBU) zum Empfang der Nachrichten eine hochgenaue Ortungsplattform sowie eine hochgenaue Zeitquelle zur exakten Erfassung der Empfangspositionen und zur Messung der Latenzen.

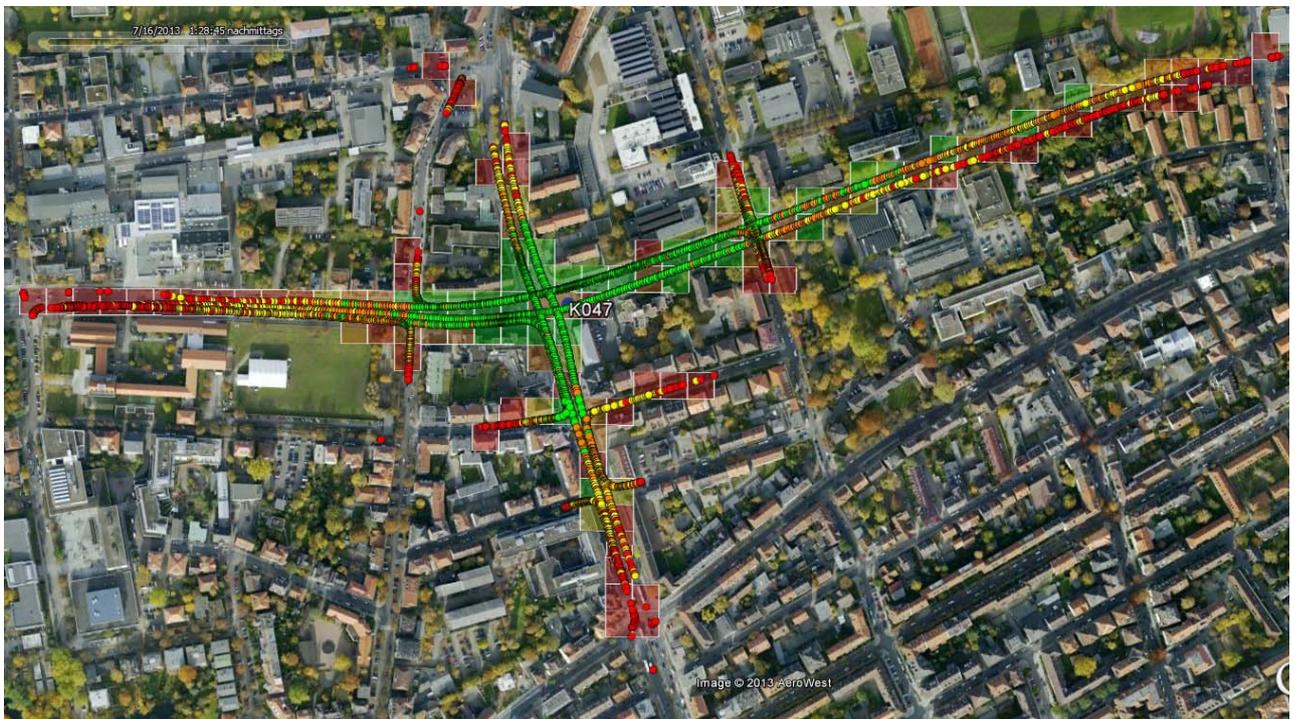


Abbildung 8: Smarte Kreuzung in Braunschweig mit quantitativer Darstellung der Qualitätsparameter „RSSI“ und „Packet Loss Rate“

Diese Maßnahme ist wesentlich, um die Qualität der betreffenden Installation feststellen und ggf. optimieren zu können. Die ermittelten Reichweiten der RSU dienen ebenfalls als erste Möglichkeit der Validierung von Systemeigenschaften gegen die zuvor definierten Anforderungen der einzelnen UR:BAN-SK Applikationen. Abbildung 8 zeigt beispielhaft ein Messergebnis der Forschungskreuzung. Hierbei fällt auf, dass die Reichweiten insbesondere in Ost-West-Richtung sehr groß ausfallen und weit über die erwarteten Reichweiten von ca. 300m hinausgehen. Weiterhin fällt positiv auf, dass, entgegen der Annahmen zu Projektbeginn, an vielen Stellen auch trotz nicht vorhandener Sichtlinie zwischen Sender und Empfänger (Non Line-of-Sight) eine Kommunikation möglich war.

Im Nord-Süd-Bereich ist jedoch mit deutlich geringerer Reichweite zu rechnen, was sich v.a. aus baulichen Gründen innerhalb des Projektes nicht verbessern lässt. Hier wird ein typisches Problem von Ad-Hoc-

Netzen in innerstädtischen Umgebungen deutlich: Durch die vorhandene Bebauung und Vegetation sind vielerorts aufgrund von Abschattungen nur unzureichende Empfangsreichweiten festzustellen. Eine Verbesserung der Reichweiten kann dabei häufig nur durch eine andere Positionierung der Sendeantenne, durch Einsatz mehrerer Antennen oder durch bauliche Veränderung / Beseitigung von Hindernissen erreicht werden. Alle diese Optionen konnten jedoch an der bestehenden Installation der Forschungskreuzung nicht durchgeführt werden. Für die Anforderungen der UR:BAN SK-Applikationen konnten jedoch mithilfe der Messergebnisse stets geeignete Startpositionen für die Tests und Demonstrationen gefunden werden.

2.1.1.4 Interoperabilitätstests

Die vorab beschriebenen Messungen der Empfangsreichweiten sind ein wichtiger Baustein zur Sicherstellung der Funktionalität des Gesamtsystems. Dennoch belegen diese Messungen lediglich, dass die Nachrichten an den markierten Positionen prinzipiell empfangen werden können. Daraus kann jedoch nicht geschlossen werden, dass die Systeme in den Fahrzeugen der Projektpartner die Nachrichten tatsächlich empfangen und korrekt dekodieren können. Aus diesem Grund wurde eine Reihe von Interoperabilitätstests mit den beteiligten Partnern geplant und durchgeführt. Nachdem eine Applikation einen solchen Test („Plugtest“) erfolgreich absolvierte, wurden die Softwarestände der betreffenden Applikationsteile auf der Sender- und Empfängerseite eingefroren, sodass diese nach Weiterentwicklung der eigentlichen Funktionalität nicht erneut getestet werden mussten.

Tabelle 1 zeigt einen exemplarischen Auszug aus dem Testprotokoll eines Funktions- und Interoperabilitätstests im Prüffeld Braunschweig. Hier wurden die genannten Schnittstellen auf ihre Funktionalität geprüft und weiteres Entwicklungspotential erkannt.

Tabelle 1: Übersicht über die Schnittstellen beim Funktionstest am 25.03.2015 in Braunschweig

Schnittstellen SK-20	nutzt SK-20	wird bedient	dekodierbar	inhaltlich korrekt	Bemerkung
I. ITS-G5.CAM.RSU.i II. I.ITS-G5.CAM.SEF.out	x	x	x	x	Korrektheit anhand von ASN1 geprüft
I. ITS-G5.DENM.RSU.i II. I.ITS-G5.DENM.SEF.out	x	-	-	-	Applikation zum Empfang noch in der Entwicklung
I. ITS-G5.DENM.RSU.o	-	x	x	x	Korrektheit anhand von ASN1 geprüft
I. ITS-G5.INTERSECTION.RSU.o	-	x	x	x	Korrektheit anhand von ASN1 geprüft
I. ITS-G5.SPAT.RSU.o II. ITS-G5.SPAT.LSA.out	-	x	x	x	Korrektheit anhand von ASN1 geprüft

2.1.1.5 Priorisierungsschaltung zur Car2X-Bevorrechtigung

Das Ziel der Priorisierungsschaltung bestand darin, ein Einsatzfahrzeug auf seinem Fahrweg zu beschleunigen, wenn es in eine innerstädtische Kreuzung einfährt. Dazu muss das Einsatzfahrzeug per Car2X Kommunikation Nachrichten über seinen aktuellen Zustand (Sondersignal ein-/ausgeschaltet), seine aktuelle Position und den Fahrweg an die RSU senden. Diese wiederum veranlasst die Schaltung eines speziellen LSA-Programms, damit das Einsatzfahrzeug die Kreuzung bei *grün* passieren kann und ein eventuell vorhandener Rückstau idealerweise abgebaut ist, bevor das Einsatzfahrzeug die Haltlinie erreicht.

Die Implementierung dieser Funktion im Prüffeld Braunschweig erforderte mehrere Entwicklungsschritte und Iterationen, da es sich um einen sicherheitskritischen Eingriff in die Steuerung der Lichtsignalanlagen handelt. Abbildung 9 zeigt die wesentlichen Schritte im Prozess der Funktionsentwicklung und Abnahme der Funktionen durch die Stadt Braunschweig.

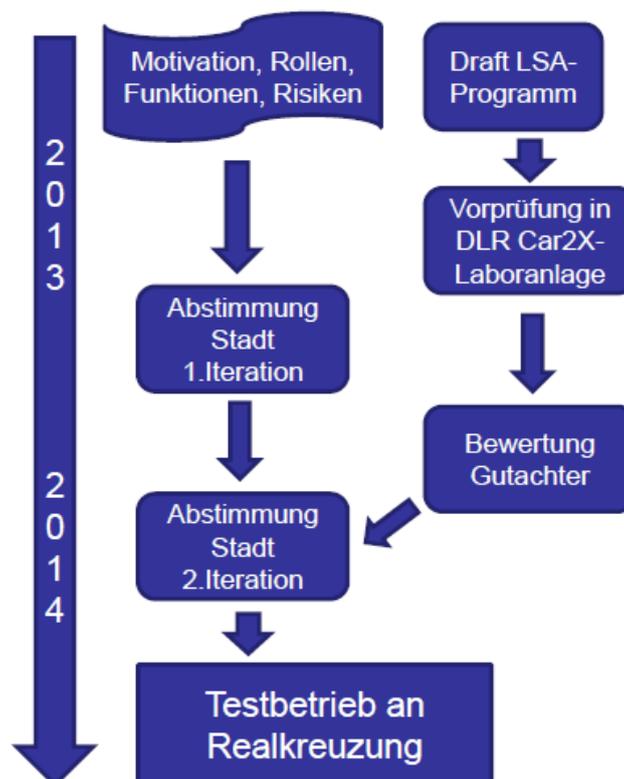


Abbildung 9: Vorgehensweise zur Umsetzung einer Car2X-Bevorrechtigungsschaltung an einer Kreuzung

Zu Beginn der Arbeiten an diesem Teilvorhaben fand ein Expertengespräch mit den zuständigen Kollegen der Projektpartner Volkswagen und DLR sowie Vertretern der Bellis GmbH als Dienstleister für Verkehrstechnik der Stadt Braunschweig statt. Die Umrüstung der LSA-Schaltung der Forschungskreuzung

wurde von den Projektpartnern ursprünglich als Ziel des Vorhabens avisiert und sollte hier projiziert werden. Aufgrund der hohen Komplexität des Knotens und der starken verkehrlichen Belastung wäre eine Umrüstung der LSA-Steuerung mit dieser prototypischen sehr aufwändig geworden und die dafür vorgesehenen Mittel und Ressourcen hätten dafür nicht ausgereicht. Daher wurde beschlossen, diese Arbeiten, die als Vorarbeiten für die Produktivinstallation in Düsseldorf geplant waren, an einem weniger komplexen Knoten durchzuführen. Die Kreuzung Altstadttring / Madamenweg wurde als geeignet identifiziert, da diese deutlich weniger komplex ist und die verkehrliche Belastung ebenfalls geringer ist. Des Weiteren konnte die dort vorhandene verkehrsabhängige Steuerung dort einfacher angepasst werden, was insgesamt zu deutlich geringeren Umrüstungskosten führte.

Vor der Umrüstung der genannten Lichtsignalanlage wurde das technische Konzept zusätzlich in der vorhandenen Labor-LSA auf dem DLR-Gelände implementiert. Auf diese Weise konnte das technische Konzept der LSA-Beeinflussung vor dem Eingriff in eine produktive LSA getestet werden. Mögliche Seiteneffekte und technische Risiken für den Wirkbetrieb konnten so identifiziert bzw. durch intensive Tests weitestgehend ausgeschlossen werden. Dies erleichterte auch die Erwirkung der verkehrsbehördlichen Genehmigung für die Implementierung in der Produktiv-LSA durch die Stadt Braunschweig. Abbildung 10 zeigt die Labor-LSA, die auch für die Halbzeitpräsentation beim DLR in Braunschweig eingesetzt wurde und dabei die Fahrzeugdemonstratoren mit Car2X-Nachrichten versorgte.



Abbildung 10: UR:BAN Halzeitpräsentation: Car2X-Laboranlage versorgt Partnerfahrzeuge mit Car2X Nachrichten. Mit dieser LSA wurden auch Sende- und Empfangstests sowie Tests der Einsatzfahrzeug-Priorisierung durchgeführt.

Analog zu den oben beschriebenen Messungen an der Forschungskreuzung mussten Reichweitenmessungen nach demselben Prinzip auch an der neuen Kreuzung Altstadttring / Madamenweg durchgeführt werden. Im Anschluss wurden die Reichweiten- und Empfangstests mit dem Einsatz des Projektpartners Volkswagen durchgeführt und die Resultate aufgezeichnet. Die Resultate für eine Fahrt in Nord-Süd-Richtung ist in Abbildung 11 zu sehen. Die resultierende Reichweite ist aufgrund der Antennenposition an der RSU, der Bebauung in der Straße sowie der Antennenkonfiguration im Einsatzfahrzeug deutlich geringer als bei den Tests an der Forschungskreuzung. Dennoch konnte die Funktionalität erfolgreich getestet werden.



Abbildung 11: Ergebnis der Empfangstests mit dem Einsatzfahrzeug

Das technische Verfahren der Einsatzfahrzeug-Priorisierung ist in der Lichtsignalanlage nach dem folgenden Ablaufschema implementiert:

- Das Einsatzfahrzeug sendet eine Nachricht mit seiner Position und der Information über das aktive Sondersignal aus (Einsatzfahrzeug-CAM³).
- Beim Empfang der Einsatzfahrzeug-CAM bestimmt die RSU die Richtung, aus der das Einsatzfahrzeug auf die Kreuzung zufährt und ermittelt aus dieser Information die passende LSA-Signalgruppe.
- Die RSU teilt der LSA-Steuerung die betreffende Signalgruppe mit, indem ein potentialfreier Kontakt am LSA-Steuergerät über einen Relaiskontakt angesteuert wird. Auf diese Weise ist eine rückwirkungsfreie Interaktion zwischen RSU und LSA-Steuergerät sichergestellt.
- Das LSA-Steuergerät schaltet die Signalgruppe aus der Richtung des Einsatzfahrzeuges zum nächst möglichen Zeitpunkt auf *grün*, alle anderen Signalgruppen (einschl. entgegenkommender Fahrzeuge und Fußgänger) erhalten *rot*.
- Die RSU quittiert die erfolgreiche Schaltung des Einsatzfahrzeug-Programms durch das Senden einer veränderten SPaT Nachricht. So ist mithilfe einer standardkonformen Nachricht

³ CAM: Cooperative Awareness Message nach dem ETSI-Standard

sichergestellt, dass das Assistenzsystem im Einsatzfahrzeug die Information über die erfolgreiche Priorisierung erhält und dem Fahrer anzeigen kann.

- Zur optischen Kontrolle wurden zusätzliche Signalgeber installiert, die dem Fahrer des Einsatzfahrzeuges durch einen grünen Leuchtpfeil (gem. §37 Abs. 2 StVO) angezeigt. Durch diese zusätzlichen Signale wird ein effizienter Test des LSA-Programms erleichtert.
- Nachdem das Einsatzfahrzeug die Haltlinie passiert hat wird das Relais durch die RSU erneut angesteuert und die LSA-Steuerung schaltet daraufhin über eine definierte Transition zurück in den Normalzustand. Die Erkennung der Position des Einsatzfahrzeuges erfolgt ebenfalls über die CAM, die periodisch vom Einsatzfahrzeug gesendet wird. Anhand der dort enthaltenen Koordinaten wird das Überfahren der Haltlinie indirekt von der RSU ermittelt.

Abbildung 12 zeigt ein Foto der Kreuzung mit aktivierter Priorisierung aus der Perspektive des einfahrenden Einsatzfahrzeugs. Der aktivierte Grünpfeil zeigt dem Fahrer optisch an, dass der Gegenverkehr angehalten wird und die Kreuzung daher sicher passiert werden kann.



Abbildung 12: Test der Einsatzfahrzeug-Priorisierung in Braunschweig

Bei den Tests der Einsatzfahrzeug-Priorisierung in Braunschweig wurden verschiedene Herausforderungen identifiziert, die bei einem weiteren Ausbau für den Wirkbetrieb adressiert werden müssen. Darunter fiel insbesondere die Parametrierung des LSA-Programms und die dort hinterlegte Priorität des Eingriffs in die Phasensteuerung bei Aktivierung der Priorisierung. Das LSA-Steuergerät reagierte in einigen Situationen sehr träge auf die Priorisierungsanforderung, sodass das Einsatzfahrzeug beim Erreichen der Haltlinie mehrfach kein *grün* erhielt und die Priorisierung erst nach Passieren der Konfliktfläche aktiv wurde. Aus Zeit- und Kostengründen konnte eine verbesserte Parametrierung der LSA-Steuerung im Prüffeld

Braunschweig nicht mehr realisiert werden. Die Anforderungen und erkannten Verbesserungspotentiale wurden jedoch dokumentiert und für den Transfer ins Testfeld Düsseldorf aufgenommen. Die spätere Implementierung in Düsseldorf zeigte, aufgrund der hier gesammelten Erfahrungen, eine deutlich höhere Performanz und Wirkung auf das zu priorisierende Einsatzfahrzeug.

2.1.1.6 Transfer der smarten Kreuzung in das Testfeld Düsseldorf

Neben dem Aufbau der RSU als Basisdienst für die SK-Applikationen lag ein weiterer Schwerpunkt auf dem Transfer der Komponenten vom Prüffeld Braunschweig in das Testfeld Düsseldorf. Da bei der Entwicklung der Applikationen im Prüffeld Braunschweig auf die umfangreichen Vorarbeiten der Anwendungsplattform Intelligente Mobilität aufgebaut werden konnte, waren die Installationsarbeiten dort vergleichsweise gering. Im Testfeld Düsseldorf war jedoch lediglich eine herkömmliche Lichtsignalanlage vorhanden, die am Oberbilker Markt einen verkehrlich deutlich komplexeren Knoten regelt.

Dieser Knoten wurde für die Arbeiten im Projekt ausgewählt, da er hinsichtlich vieler Parameter einen typischen innerstädtischen Knoten in einer deutschen Großstadt repräsentiert und auch technisch gute Voraussetzungen für die Installation eines kooperativen Systems bietet.

Die Eigenschaften dieses Knotens sind:

- hohe verkehrliche Komplexität
 - Hauptverkehrsrichtung stadtauswärts (süd-west / nord-ost)
 - signalisierte Straßenbahnlinie inkl. vorhandener LSA-Priorisierung
 - kreuzende Radfahrer- und Fußgängerströme
 - zahlreiche Frequentierung durch Einsatzfahrzeuge
- ganztags hohe bis sehr hohe verkehrliche Belastung
- hohe Bedeutung für den ein- und ausströmenden Verkehr durch die Lage in der Stadt Düsseldorf
- Einsatz eines LSA-Steuergerätes der aktuellen Generation (Siemens C940 Serie)

An Knoten Oberbilker Markt wurde unabhängig vom Projekt UR:BAN ein LSA-Steuergerät der aktuellen Generation (Siemens Serie C940) verbaut. Aus diesem Grunde musste die vorhandene Installation nicht erst technisch für den Einsatz eines kooperativen Systems ertüchtigt werden. Bei vielen Knoten in anderen deutschen Städten wäre jedoch die Erneuerung des LSA-Steuergerätes Voraussetzung für die Anbindung der RSU.

Eine detailliertere Darstellung der mit dem Transfer der smarten Kreuzung verbundenen Tätigkeiten erfolgt im Kapitel 2.1.2.

2.1.2 Teilprojekt „Kooperative Infrastruktur“

Ziel des Teilprojektes „Kooperative Infrastruktur KI“ aus der Projektsäule „Vernetzte Verkehrssysteme – VV“ war es, Methoden und Werkzeuge zu entwickeln, die sowohl die Einführung als auch das Testen kooperativer Systeme für Kommunen erleichtern. Dabei sollte eine anwendungsfallübergreifende Bewertung ermöglicht werden, die eine Entscheidung für oder gegen die Einführung von kooperativen (Teil-)Systemen aus Sicht einer Kommune unterstützt. Bei der Konzeption des Testframework lag ein wichtiger Aspekt auf der einheitlichen Spezifikation der zu bewertenden Daten. Ein anderer Aspekt lag auf der Konzeption einer einheitlichen Testmethodik, um die Übertragbarkeit von Integrations- und Testszenarien möglich zu machen.

Wichtigstes Ergebnis des Teilprojektes ist ein Leitfaden für die Einführung kooperativer Verkehrssysteme, der Kommunen und Regionen dabei unterstützt, kooperative Systeme je nach lokalen Anforderungen einzuführen.

2.1.2.1 Analyse der Testfelder, zu übertragende Komponenten

Wichtige Voraussetzung in der ersten Phase des Forschungsvorhabens war die Analyse der ausgewählten Test-/Prüffelder bezüglich der Bestandsituation. Ziel war es, etwaigen Anpassungsbedarf für die kooperativen Komponenten aus UR:BAN zu ermitteln. Schwerpunkte dabei waren, die Bandbreite der kooperativen Verkehrssysteme hinsichtlich technischer Realisierbarkeit, Funktion und Bewertbarkeit möglichst optimal über die Felder abbilden zu können. Die Erhebung wurde nach folgenden Kriterien durchgeführt:

- Analyse aus technischer Sicht
 - Analyse anhand der Vorgaben des ITS Action Plans und des OTS-Systemmodells.
 - Verfügbarkeit von Standards und Schnittstellen
 - Vergleich der Felder mit aktuellen Referenzarchitekturen
- Funktionelle Analyse gegen Funktionen der Teilprojekte

Die beteiligten Test-/Prüffelder wurden nach dieser Methode durch die Betreiber selbst erhoben und in einem abschließenden Schritt konsolidiert. Die Architektur der relevanten Systeme in Braunschweig zeigt Abbildung 14.

Als Leitlinie für den Vergleich der spezifischen Ausprägungen der Prüf- und Testfelder diente das allgemein anerkannte OTS-Architekturmodell. In Abbildung 13 sind die Ergebnisse der Analyse farblich markiert. Die Grafik verdeutlicht, dass die Systembestandteile des OTS-Modells in Summe über die Test- und Prüffelder größtenteils abgedeckt sind, dass aber regional starke Unterschiede im Ausprägungsgrad sichtbar sind. Im weiteren Projektverlauf mussten hier die Test- und Bewertungsverfahren auf die Realität abgestimmt werden. Das Testfeld Düsseldorf bietet die breiteste Ausprägung und da insbesondere ein

Transfer von Komponenten der smarten Kreuzung nach Düsseldorf ohnehin vorgesehen war, wurden hier die besten Voraussetzungen für die Analyse und Bewertung der Einzelsysteme gesehen.

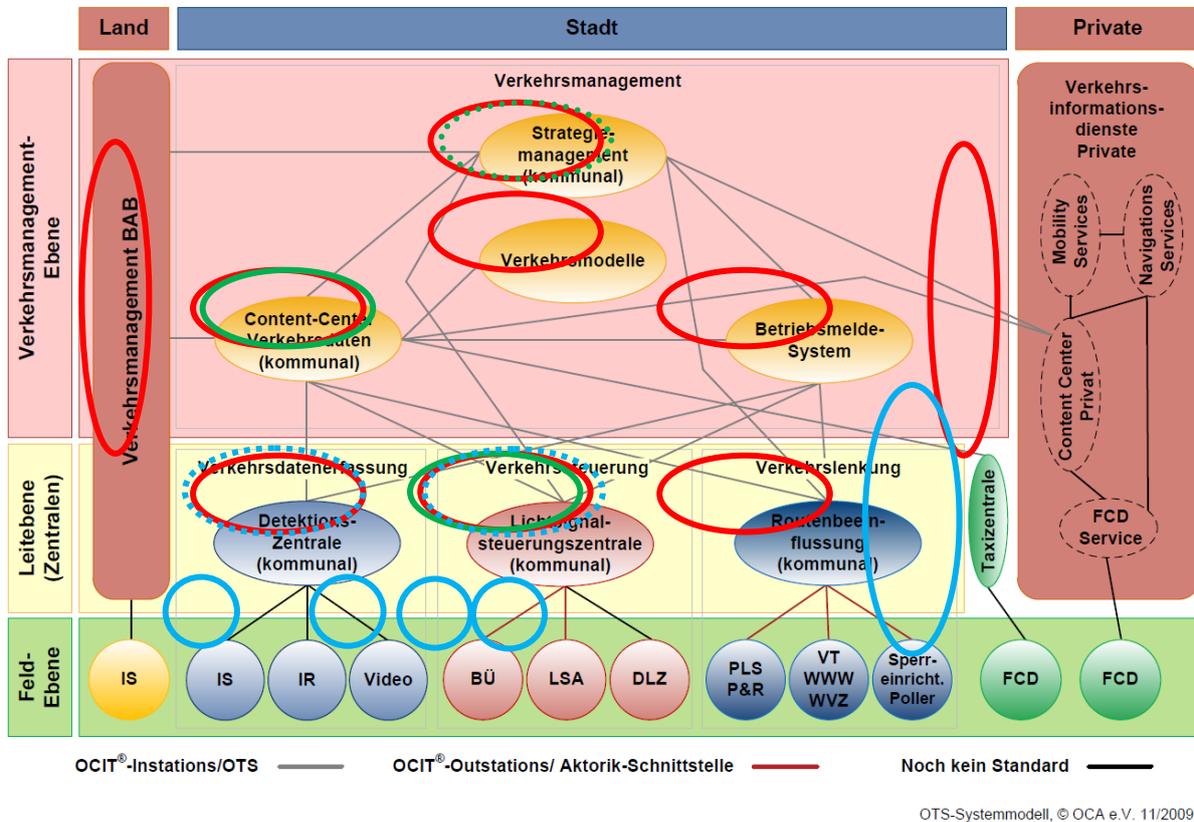


Abbildung 13: Systembestandteile der Test- und Prüffelder anhand des OTS-Systemmodells. Durchgezogene Linie: vorhanden, gestrichelte Linie: teilweise vorhanden. (Düsseldorf: rot, Kassel, grün, Braunschweig: blau).

Im nächsten Schritt wurden die im ermittelten Standards und Schnittstellen dem Ist-Bestand der Prüf- und Testfelder gegenübergestellt. Die daraus resultierenden Übereinstimmungen und Differenzen sind in Tabelle 2 dargestellt.

Standard/Schnittstelle	Kriterium o.ä.	BS	KS	DD
OTS 1	Anbindung LSA, Infotafeln, Parkdaten, Detektion	●	●	●
OTS 2	Anbindung MDM und BMW	●	●	●
OCIT-C	-	●	●	●
OCIT-O	Anbindung LSA	●	●	●

MDM	Anbindung per OTS 2	●	●	●
DATEX II	In MDM-Anbindung	●	●	●
TMC	Anbindung VIZ NRW	●	●	●
TPEG	-	●	●	●
ETSI G5		●	●	●
sVDV	-	●	●	●
VDV	-	●	●	●
SIRI	-	●	●	●
Open-LR	-	●	●	●
AGORA-C	-	●	●	●
GEWI TIC-ML	Anbindung VIZ NRW	●	●	●

Tabelle 2: Verfügbarkeitsgrade kooperativer Standards in den Prüf- und Testfeldern

Die Analyse des Prüffeldes Braunschweig hat zu folgendem Anpassungsbedarf geführt:

- Einrichtung eines skalierbaren IT-Konzeptes
 - Im Rahmen der Einrichtung des Zugangs zur smarten Kreuzung durch externe Entwickler wurden verschiedene Modelle bzgl. Datenschutz und Lizenzierung projiziert. Diese mussten für eine Lösung, die auch auf andere Test-/Prüffelder transferiert werden kann, optimiert werden.
- Einbeziehung der Sensorik benachbarter Knotenpunkte
 - Für eine Verbesserung der lokalen Verkehrslageerkennung war die Anbindung der benachbarten relevanten Knotenpunkte nötig. Hierzu wurden entsprechende Zugangskanäle geöffnet und die Datenformate festgelegt.
- Optimierung der LSA-Prognose
 - Um den Fahrzeugapplikationen einen angemessenen Zeithorizont für die Applikationsentwicklung zu bieten, musste sowohl die lokale LSA-Prognose verbessert als auch das Car2X-Protokoll hinsichtlich der Übertragung der Prognosewerte überprüft werden

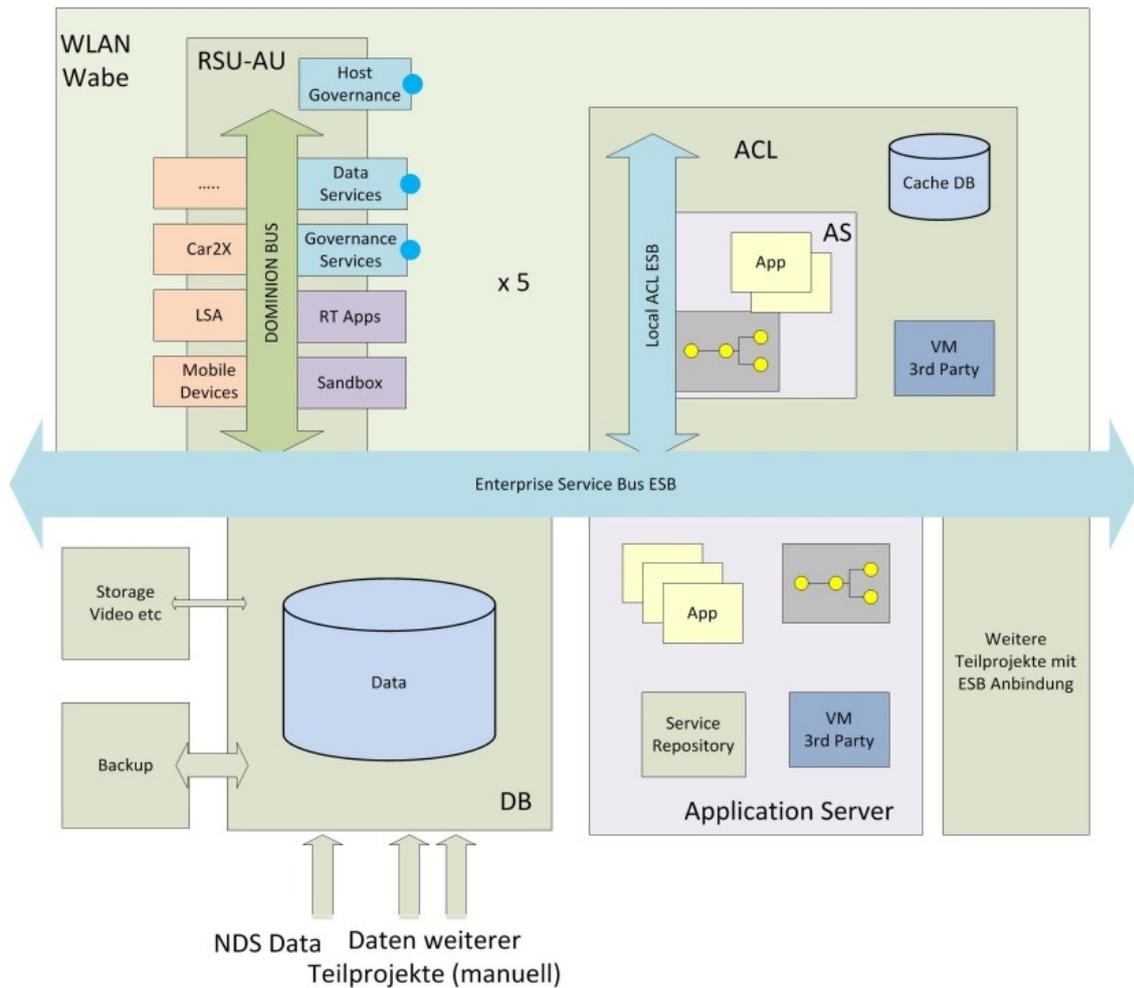


Abbildung 14: Architektur des Prüffeldes Braunschweig

Für die Umsetzung des Anpassungsbedarfs wurde ein Integrationskonzept erarbeitet, das in die Spezifikation der kommunalen Teilsysteme integriert wurde.

2.1.2.2 Referenzarchitektur: Smarte Kreuzung

Zentraler Teil des Teilprojektes „Smarte Kreuzung“ ist der Basisdienst Road-Side-Units (RSU). Dieser ermöglicht die Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmer und Infrastruktur, indem Datenverbindungen zu allen Teilnehmern aufgebaut werden. Er stellt Informationen über die Infrastruktur und deren aktuellen Zustand zur Verfügung, wie z.B. LSA-Phasen, Kreuzungstopologie, Störungen oder Trajektorien der Verkehrsteilnehmer. Zusätzlich ist eine Verbindung an das Backend-System des Verkehrsmanagements vorhanden.

Es wurden zwei Use-Cases unterschieden, die logisch als getrennte Systeme betrachtet werden können:

Der Use-Case SK-20-1 beschreibt den Informationsaustausch zwischen Infrastruktur und Fahrzeugen und den damit verbunden Gewinn an verfügbaren Informationen im Fahrzeug.

Der Use-Case SK-20-2 beschreibt den Informationsaustausch zwischen Infrastruktur und lokal angebundener Rechnerkapazität. Auf diesem Rechner sind Kreuzungsapplikationen implementiert die als weitere Use-Cases (SK-31 bis SK-35) beschrieben sind.

Die Komponenten des Basisdienstes Roadside Unit sind aufgeteilt in die Kommunikationseinheit (F.RSU) und Informationsquellen. F.RSU übernimmt im Wesentlichen die Kommunikation zwischen allen Teilnehmern der smarten Kreuzung und stellt die Plattform für alle kreuzungsseitigen Informationen zur Verfügung. Die Informationsquellen wie Lichtsignalanlage, Verkehrsmanagementzentrale, Multisensormanagement (AIM-Forschungskreuzung) bis hin zu externer Sensorik und Hosting-PC sind als weitere Komponenten des Basisdienstes in Abbildung 15 mit berücksichtigt.

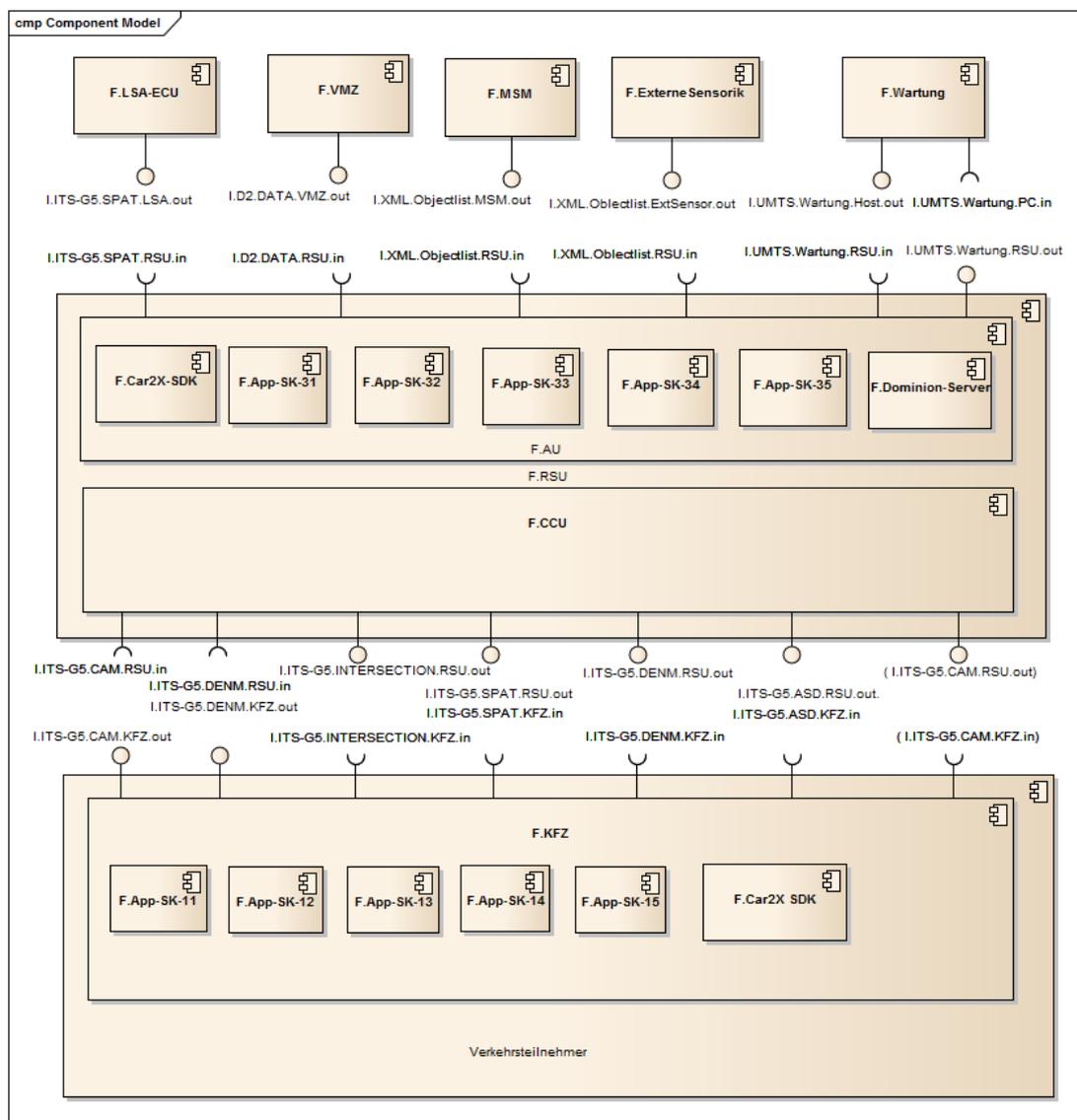


Abbildung 15: SK-20 - Wesentliche Komponenten des RSU-Basisdienstes

Der Informationsaustausch zwischen RSU und kreuzungsseitigen Applikationen SK-31 bis SK-35 findet über den Datenkern der DominionCore-Middleware auf der Application-Unit(AU) statt, der sowohl als

Datensenke und -quelle zur Verfügung steht. Diese Applikationen sind als Dominonapplikationen implementiert.

Funktion	Beschreibung
F.LSA-ECU	Die Lichtsignalanlage liefert Schaltzeiten, -prognosen und -status
F.VMZ	Die Verkehrsmanagementzentrale liefert Daten zu Verkehrsflüssen
F.MSM	Das Multisensormanagementsystem (MSM) verarbeitet die Daten der infrastrukturseitigen Sensorik (Kameras, Radar, etc.) und stellt z.B. dynamische Objektlisten zur Weiterverarbeitung zur Verfügung
F.ExterneSensorik	Externe Sensoren zur Erfassung von Verkehrsteilnehmern und Verkehrsfluss
F.Wartung	Rechner zur Wartung und Entwicklung von Applikationen und Basissoftware aus der RSU
F.RSU	Die RSU ermöglicht den Informationsaustausch sowohl innerhalb der Infrastruktur als auch zwischen Infrastruktur und Verkehrsteilnehmer
F.AU	Application Unit, Plattform für kreuzungsseitige Applikationen
F.CCU	Communication Unit, Kommunikationseinheit der RSU, Infrastruktur <->Fahrzeug
F.Dominion-Server	Verwaltet alle Verkehrsdaten auf der RSU und stellt sie den einzelnen kreuzungsseitigen Applikationen in einem Datenkern zur Verfügung
F.App-SK-31 ... 35	Kreuzungsseitige Applikationen in SK
F.Car2X-SDK	Applikation zur Kommunikation zwischen Infrastruktur und Fahrzeug über SimTD
F.KFZ	Fahrzeuge mit Fahrerassistenz und Car2X-Kommunikation
F.App-SK-11 ... 35	Fahrzeugseitige Applikationen zur Fahrerassistenz

Tabelle 3: SK-20 - Wesentliche Komponenten der RSU

Schnittstelle	Verbindet	Ausgetauschte Information	Richtung
I.ITS-G5.SPAT.LSA.out	LSA > RSU	LSA-Informationen (Ampelphasen, -prognosen und -status)	in
I.ITS-G5.SPAT.RSU.in			out
I.D2.DATA.VMZ.out	VMZ > RSU	Verkehrsmanagementdaten	out
I.D2.DATA.RSU.in			in
I.XML.Objectlist.MSM.out	MSM > RSU	Dynamische Objektliste aller Verkehrsteilnehmer im Kreuzungsumfeld vom Multisensormanagementsystem	out
I.XML.Objectlist.RSU.in			in

I.XML.Oblectlist.ExtSensor.out	Externe Sensorik > RSU	Objektlisten aus externer zusätzlicher Sensorik	in
I.XML.Oblectlist.RSU.in			out
I.UMTS.Wartung.Host.out	RSU > Hosting PC	Entwicklerdaten	out
I.UMTS.Wartung.RSU.in			in
I.UMTS.Wartung.PC.in	Hosting PC > RSU	Entwicklerdaten	in
I.UMTS.Wartung.RSU.out			out
I.ITS-G5.CAM.RSU.in	KFZ > RSU	Fahrzeuginformationen (C2X)	in
I.ITS-G5.CAM.KFZ.out			out
I.ITS-G5.DENM.RSU.in	KFZ > RSU	Ereignisinformationen (C2X)	in
I.ITS-G5.DENM.KFZ.out			out
I.ITS-G5.SPAT.RSU.out	RSU > KFZ	LSA-Informationen (C2X)	out
I.ITS-G5.SPAT.KFZ.in			in
I.ITS-G5.INTERSECTION.RSU.out	RSU > KFZ	Kreuzungstopologie (C2X)	out
I.ITS-G5.INTERSECTION.KFZ.in			in
I.ITS-G5.DENM.RSU.out	RSU > KFZ	Ereignisinformation (C2X)	out
I.ITS-G5.DENM.KFZ.in			
(I.ITS-G5.CAM.RSU.out)	(RSU > KFZ)	(Fahrzeuginformationen (C2X))	out
(I.ITS-G5.CAM.KFZ.in)			IN
I.ITS-G5.ASD.RSU.out.	RSU > KFZ	Informationen zu SEF, Mikrorouting, Radfahrerschutz aus den kreuzungsseitigen Applikationen (SK-11 ... 15)	out
I.ITS-G5.ASD.KFZ.in			in

Tabelle 4: SK-20 – Schnittstellen aus Sicht der RSU

Abbildung 16 zeigt die zeitlichen Abläufe von Kommunikation und Verarbeitungsschritten der einzelnen Applikationen auf der Roadside-Unit bestehend aus Application-Unit(AU) und Communication-Control-Unit(CCU) mit den beteiligten Einheiten wie:

- Verkehrsmanagementzentrale
- verkehrserfassender Sensorik
- Lichtsignalanlage,
- Fahrzeuge

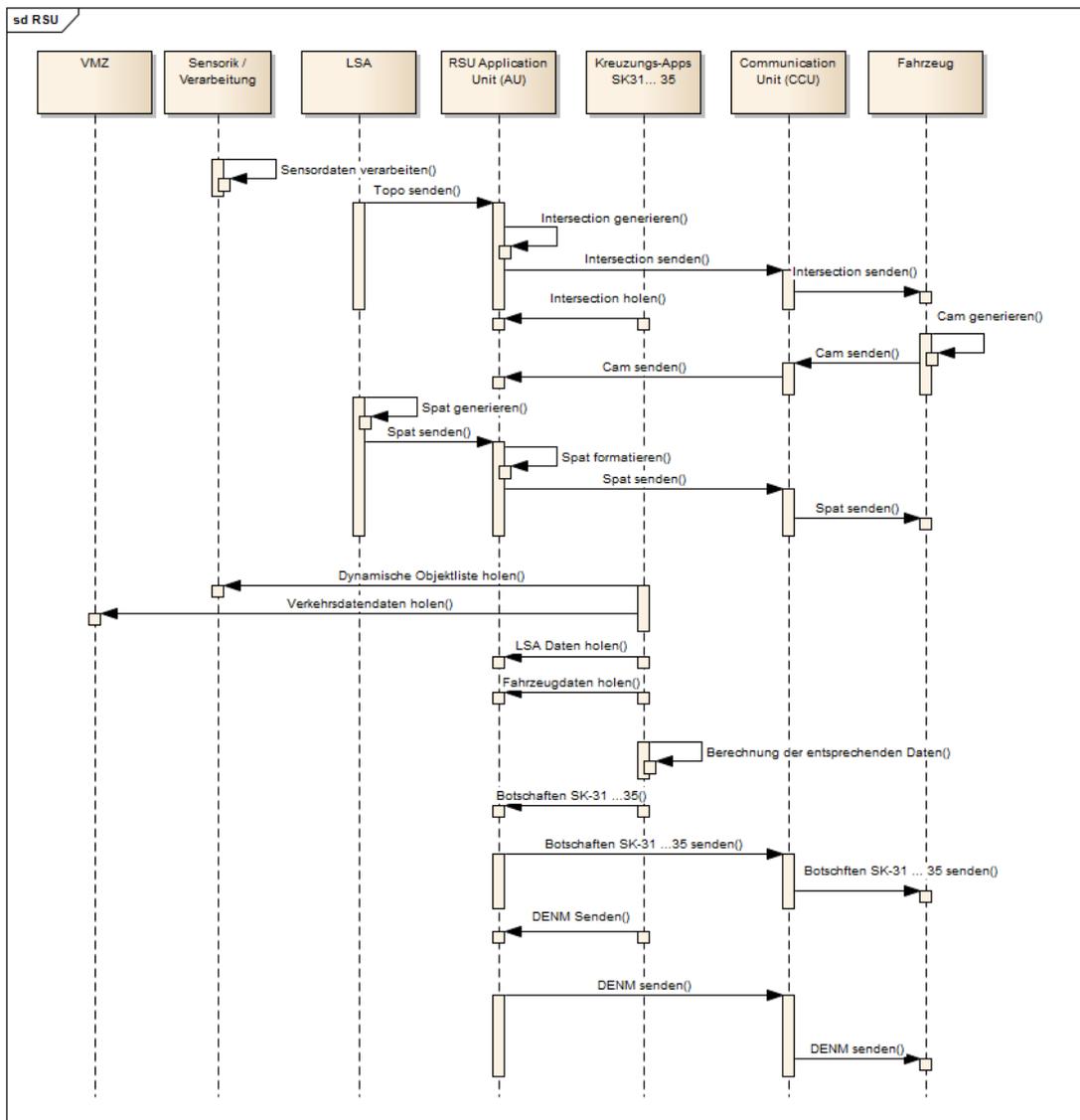


Abbildung 16: SK-20 - Sequenzdiagramm des Basisdienstes Roadside Unit

2.1.2.3 Prüffeldmanagement

Zur Einbindung des smarten Knotens, insbesondere der RSU, in die betreuende IT-Infrastruktur wurden infrastrukturelle Komponenten eingerichtet und in Betrieb genommen. Dazu zählt ein Rahmenwerk mit dem sowohl die RSU der smarten Kreuzung als auch die benachbarten Knoten vom DLR-Zentralrechner aus teilweise bedient werden können. Zu den Funktionalitäten gehören

- Ein-/Ausschalten der RSU sowie seiner Komponenten über ein User-Interface
- Monitoring des Datenverkehrs an der smarten Kreuzung sowie Logging-Funktionalitäten
- Fernwartung für Aktualisierungszugriffe und Installationen von Softwarekomponenten
- Betriebskonzept für die Zugriffe der externen Partner aus UR:BAN, im Wesentlichen für die infrastrukturseitigen Dienste.

Das zugrundeliegende IT-Konzept, das Die Routingregeln und Zugriffsverfahren festlegt ist in Abbildung 17 dargestellt. Dies beinhaltet die folgenden Regeln:

- Für das Nutzungsszenario UR:BAN wird in der AIM Topologie ein eigener gleichnamiger Routing-Kontext geschaffen. Dieser Kontext ist von den bestehenden Kontexten isoliert und existiert nur in der Ampelanlage K47 (Smarte Kreuzung im Prüffeld Braunschweig) sowie im zentralen Rechenzentrum EIP.
- Innerhalb dieses Kontextes gibt es eine ungefilterte Kommunikation. Dies bedeutet, dass das LAN Segment von UR:BAN im EIP mit dem LAN Segment in der Ampelanlage direkt kommunizieren kann.
- Der Zugang zu diesem Kontext wird über einen Terminal-Server realisiert. Die Anwender aus dem Internet melden sich mittels Remote Desktop Session auf diesem Terminal-Server an. Nach erfolgreicher Authentifizierung steht auf dem Terminal-Server ein virtueller Arbeitsplatz zu Verfügung.
- Von den virtuellen Arbeitsplatz aus, kann der Nutzer eine SSH oder SCP Verbindung zu dem Entwicklungsrechner im UR:BAN LAN der Ampelanlage aufbauen.
- Eine Übertragung von lokalen Arbeitsdaten auf dem Terminalserver kann durch die Remote Desktop Session erfolgen.
- Der Terminalserver ist einerseits ist für den öffentlichen Zugriff aus dem Internet einem DMZ Segment einer UAG-Firewall angebunden. Ein weiteres Interface befindet sich in einem LAN Segment des UR:BAN Kontextes.
- Die Benutzer-Authentifizierung erfolgt auf der vorgeschalteten Firewall um eine direkten Zugriff auf den Terminal-Server aus dem Internet zu minimieren. Für die Anmeldung eines Nutzers wird die Methode Integration UR:BAN AIM © T-Systems Solutions for Research GmbH Seite 6 von 7 der Mutual Authentication auf Basis von digitalen Zertifikaten empfohlen. Hierbei muss auch der Benutzer ein digitales Zertifikat vorweisen um eine Verbindung aufbauen zu können. Welche CA für die Ausstellung der Zertifikate verwendet wird, muss in einer weiteren Phase geklärt werden.
- Es wird empfohlen auf dem virtuellen Arbeitsplatz die komplette Entwicklungsumgebung bereitzustellen. Hierdurch kann die Software komplett auf dem virtuellen System erstellt werden und es muss nur noch das fertige Produkt auf den eigentlichen Zielrechner in der Ampel K 47 übertragen werden. Dieses Vorgehen entlastet erheblich die WAN- Anbindung der Ampel K 47 sowie die Auslastung des Zielrechners.
- Der Entwicklungsrechner in der Ampelanlage hat den Bedarf mit der Application-Unit im I-LAN AIM zu kommunizieren sowie mit der Funkanlage LinkBird im C2X Netz. Die notwendigen Kommunikationsbeziehungen sind definiert und beschränken sich auf eine überschaubare Anzahl von Ports und Protokollen. Der Übergang zwischen diesen unterschiedlichen Netzsegmenten erfolgt direkt in dem Router der Ampelanlage und ist durch Filterlisten abgesichert. Erlaubt werden nur die oben angegebenen Verbindungen.

- Die verwendeten Protokolle bei dem Zugriff auf die AU enthalten keine Management Protokolle. Somit ist ein administrativer Zugriff oder interaktive Anmeldung an dem System nicht möglich.
- Für das neue UR:BAN LAN Segment ist in dem AIM IP-Adressschemata ein neues Segment entsprechend der bestehenden Nomenklatur vorzusehen. Sollten weitere öffentliche Dienste im UR:BAN Netz Segment angeboten werden, müssen diese, wie der Terminal Server, in der zentralen DMZ installiert werden.

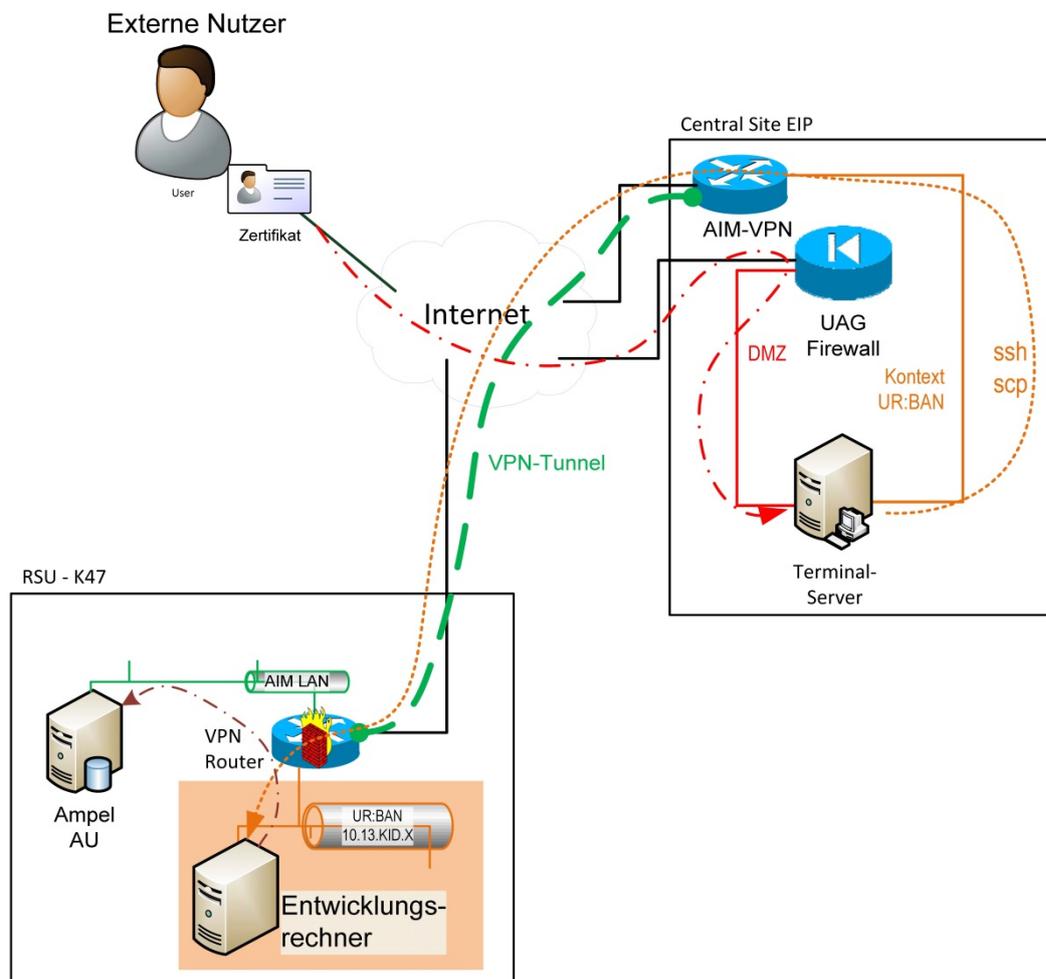


Abbildung 17: IT-Konzept für externen Zugriff auf die RSU an der smarten Kreuzung durch UR:BAN Partner

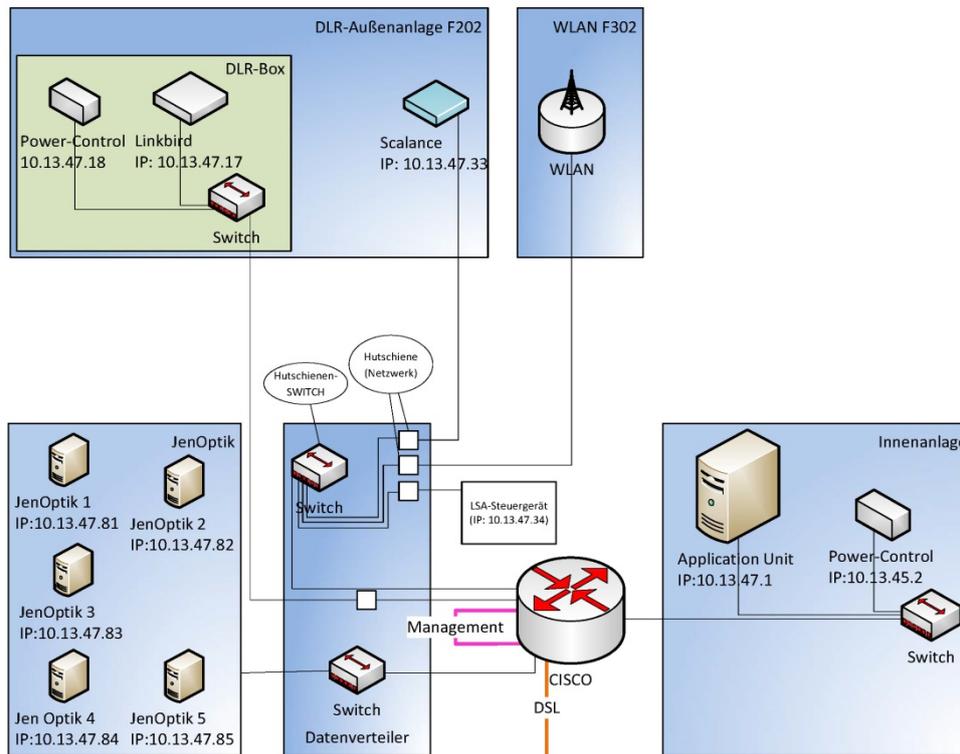


Abbildung 18: Einbettung der Komponenten der smarten Kreuzung in die IT-Struktur des DLR

Die Fernwartungszugriffe auf die smarte Kreuzung erfolgen über einen DSL-Uplink und den in Abbildung 18 dargestellten Router. Diese Architektur ist übertragbar auch auf andere kooperative Testfelder, wie es auch für den Transfer der smarten Kreuzung auf das Testfeld Düsseldorf geplant ist.

Durch die Arbeiten im Teilprojekt KI wurde ein skalierbares Testfeldmanagement Zentrum an verschiedenen UR:BAN Kommunen aufgebaut, mit dem charakteristische Parameter bei kooperativen Szenarien hinsichtlich ihrer qualitativen Anforderungen beschrieben, erhoben und einer abschließenden Bewertung zugeführt werden können. Um eine Einbettung einer generischen smarten Kreuzung in das Testfeldmanagement zu ermöglichen, wurden Komponenten der smarten Kreuzung den Komponenten des Testmanagers zugeordnet (vgl. Abbildung 19). Diese Zuordnung nach der Umsetzung auf Skalierbarkeit auf weitere kommunale Felder erfolgreich geprüft.

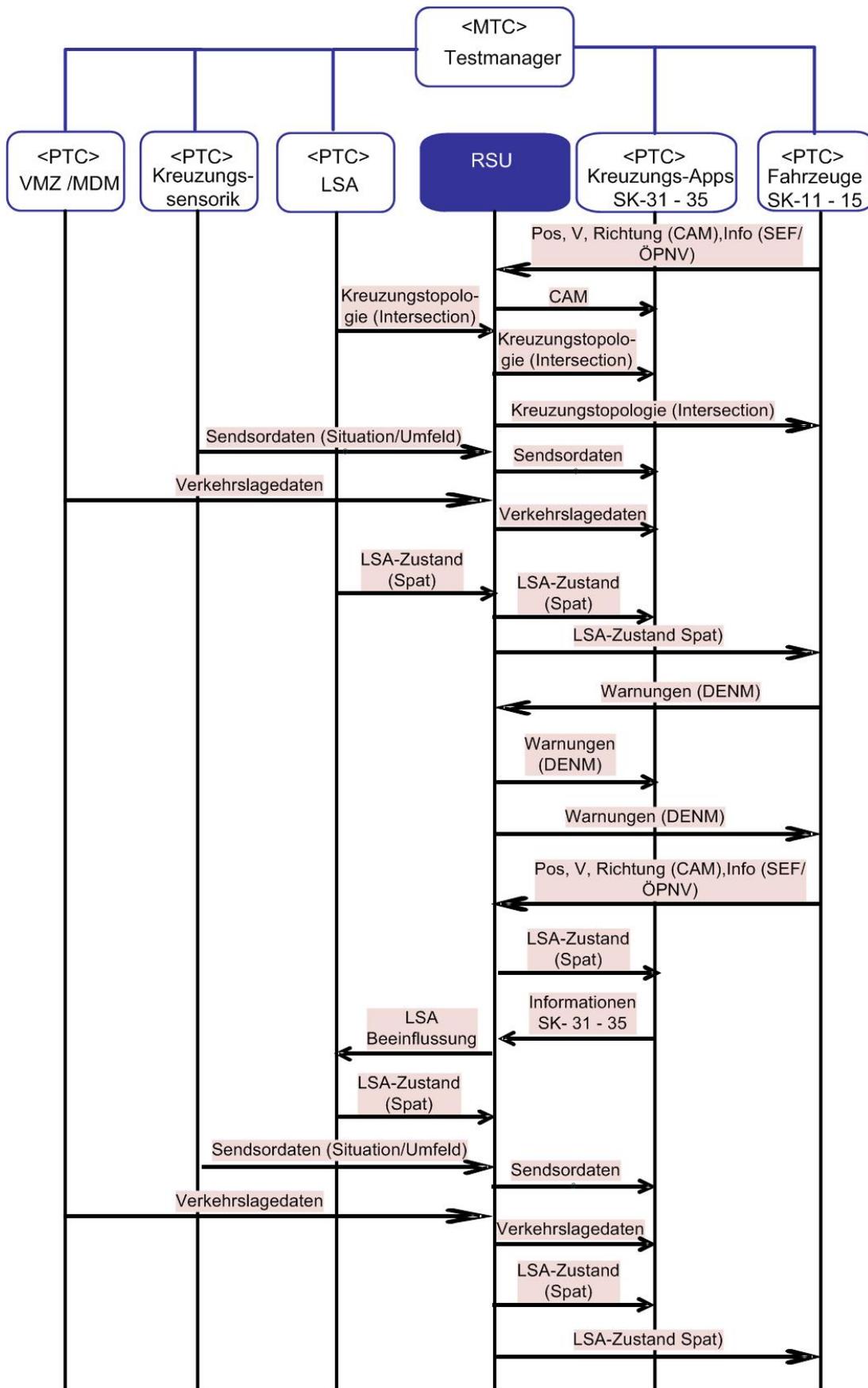


Abbildung 19: Sequenzdiagramm der smarten Kreuzung als Vorbereitung zur Integration in das Testfeldmanagement Zentrum

2.1.2.4 Testen kooperativer Systeme

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. 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 Fehlverhalten spezifiziert werden müssen. Hierzu ist die Spezifikation des geforderten Verhaltens der einzelnen Komponenten an den zugänglichen Schnittstellen notwendig.

Als Beispiel für die Demonstration der Testen kooperativer Systeme diene die knotenpunktbasierte UR:BAN-VV Applikation Radfahrerschutz (siehe Abbildung 20)

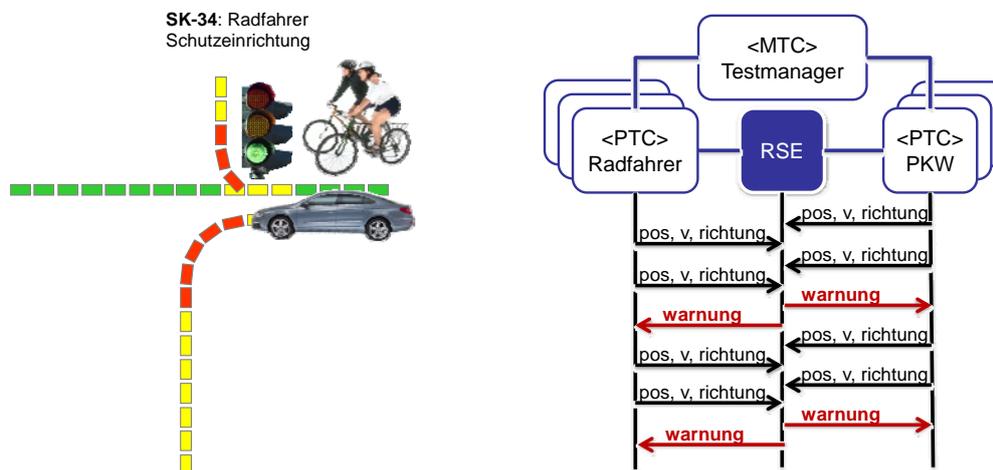


Abbildung 20: Schematische Darstellung der UR:BAN-VV Applikation Radfahrerschutz (SK-34)

Interview mit Fachexperten

Für die quantitative Verbesserung des Teilleitfadens „Testen kooperative System“ wurden zusätzlich Experteninterviews durchgeführt. Mithilfe der Experteninterviews wurde die Anwendungsnahe und Praktikabilität des Testsystems sichergestellt sowie Hypothesen zur Durchführung eines Abnahmetests abgesichert. Zudem half das Wissen/die Erfahrung der Experten den Leitfaden zu präzisieren und fehlende

Punkte aufzudecken. Für die Befragung wurde sich für die Methodik eines qualitativen Experteninterviews entschieden, da hier die Experten offen sprechen können⁴. Hierfür wurden die geeigneten Experten hauptsächlich mit offenen Fragen (W-Fragen) zu einem festgelegten Thema befragt. Dies ermöglichte es mit den Experten in ein Gespräch zu kommen und ein breites Meinungsbild, Anmerkungen sowie Verbesserungsvorschläge zum Testsystem und dem Prozess zu erhalten. Der Fokus der Befragung lag darin individuelle Meinungen und Erfahrungswerte zu erhalten, weswegen die Anzahl der Befragten im Vergleich zu einer quantitativen Befragung sehr klein war. Die Befragungen wurden mündlich (1x per Telefon und 3x face-to-face) durchgeführt. Als Experten, wurden Personen verstanden, die über spezifisches Erfahrungs- und Handlungswissen im Untersuchungsfeld: Abnahmetests für (kooperative) Infrastruktursysteme im Verkehr verfügen. Da der Bereich Verkehr eine hoheitliche Aufgabe ist, beschränkte sich die Auswahl der Experten auf zwei Gruppen: Stadt/Kommune (Endanwender) & Testdienstleister (Fachexperten). Insgesamt wurden drei Experteninterviews (eine Stadt, zwei Testdienstleister) durchgeführt. Die Informationen aus den Experteninterviews sind in den Teilleitfaden „Testen kooperative System“ eingeflossen und können dort nachgelesen werden.

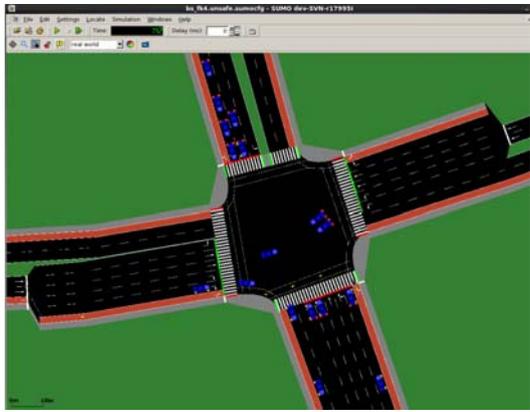
Nr.	Aufgabe	Details
1	Erstellung des Fragebogens inkl. Leitfadens	<ul style="list-style-type: none"> • Identifikation des Untersuchungsziels der Befragung • Erstellung der Methodik • Identifizierung geeigneter Experten sowie Kontaktaufnahme •
2	Durchführung der Befragung	<ul style="list-style-type: none"> • Befragung der ausgewählten Experten zusammen mit ifak • Protokollierung + Dokumentation der Befragung •
3	Auswertung	<ul style="list-style-type: none"> • Auswertung der Interviews zusammen ifak

Simulation der Radfahrschutzeinrichtung mit SUMO

Für die Simulation der Radfahrschutzeinrichtung (Kooperative Systeme), wurde die vorhandene Verkehrssimulationssuite "SUMO - Simulation of Urban Mobility" verwendet. SUMO ist eine freie Software und ermöglicht die Modellierung intermodaler Verkehrssysteme. In der Modellierung von SUMO können sowohl einzelne Personen als auch öffentlicher Verkehr abgebildet und für die Simulation verwendet werden. SUMO enthält verschiedene Werkzeuge zur Routensuche für Fahrzeuge, zur Visualisierung der Simulation und zur Berechnung von Schadstoffemissionen. Die Toolsuite enthält eine umfangreiche Funktionsbibliothek und erlaubt die Erweiterung durch eigene Modelle. SUMO ist hauptsächlich durch das DLR entwickelt und kann durch kundenspezifische Modelle erweitert werden.

⁴ Universität Trier, „Methodische Überlegungen zu qualitativen Befragungsmethoden, insbesondere Experteninterviews,“ 2002. [Online]. Available: <http://www.uni-trier.de/fileadmin/fb4/prof/VWL/APO/4207ws0102/efstudien.pdf>. [Zugriff am 13 02 15].

Tabelle 5: Simulation der Radfahrschutzeinrichtung mit SUMO

Input	SUMO	Output
Fahrzeug  Radfahrer  LSA  Straßennetz, Fahrspuren 		Simulationsdaten

In den Abbildung 21 ist die Umsetzung der Simulation für die Radfahrschutzeinrichtung in SUMO am Beispiel der DLR Forschungskreuzung in Braunschweig dargestellt.

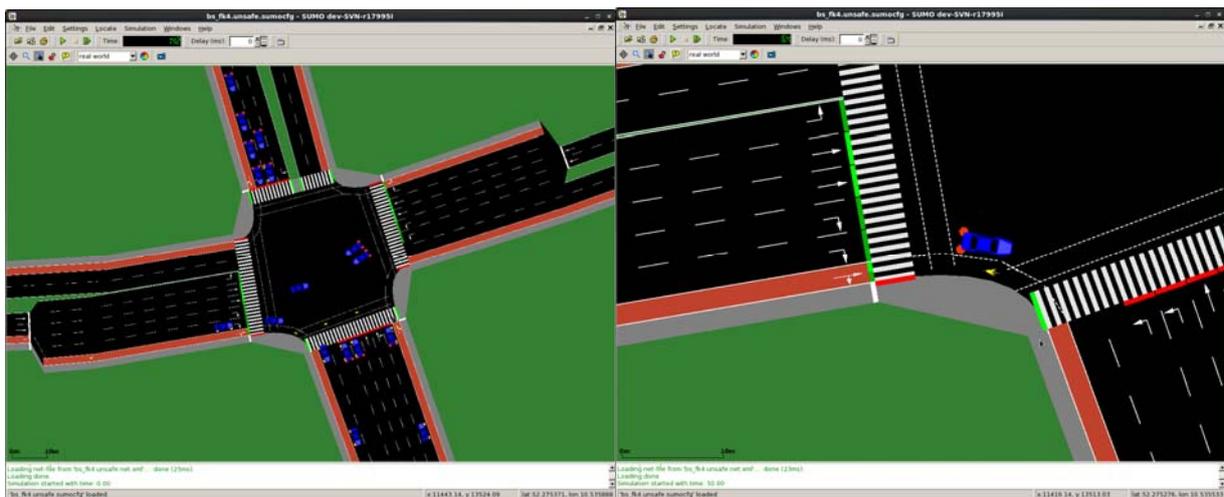


Abbildung 21 – Modellierter Forschungskreuzung in Braunschweig (Rebenring/Hagenring) für den Test der Radfahrschutzeinrichtung umgesetzt mit der mikroskopischen Simulationssoftware SUMO

In Tabelle 6 sind die geleisteten Aufgaben durch DLR aufgelistet.

Tabelle 6: DLR Aufgaben für die Simulation der Radfahrschutzeinrichtung mit SUMO

Nr.	Aufgabe	Details
1	Szenario Aufbau	Auswahl der Straßenkreuzung: DLR Forschungskreuzung in Braunschweig (BS) Szenarien für die Testfälle definieren und dokumentieren Mit Kollision (Fahrzeug / Fahrrad) Ohne Kollision (Fahrzeug / Fahrrad) Topologie der Straßenkreuzung und Fahrspuren konfigurieren LSA im Szenario Anbinden (Festzeitsteuerung)

		Routenkombinationen Trajektorien für Fahrzeug und Radfahrer definieren
2	Simulation Aufbau	Einsatz von SUMO Tools Nachfrage definieren: Fahrzeug und Fahrrad in verschiedenen Routenkombination Ableitung der Trajektorien für Fahrzeug und Radfahrer aus der Nachfrage durch die Simulation Zeitstempel, Geopositionen, Signalisierung (Blicker), Winkel, Geschwindigkeit Import der Topologien der Straßenkreuzung bzw. der Fahrspuren Import der LSA Positionen
3	Test und Simulation	Offline Simulation der Fahrzeuge und Fahrräder für die verschiedenen Routenkombinationen Bereitstellung der Simulationsdaten als Datei in XML Format
	Bereitstellung eine Video für die Simulation	Mit Kollision (Fahrzeug - Fahrrad) Ohne Kollision (Fahrzeug - Fahrrad)
4	Dokumentation	Dokumentation der Arbeit Für die Übertragbarkeit: Detaillierte Beschreibung der Prozessschritte für die Simulation eine kooperativer Systeme am Beispiel der Radfahrerschutzeinrichtung) mit Hilfe von SUMO

2.1.2.5 Einrichtung knotenpunktbasierter kooperativer Systeme

Die Erfahrungen aus dem Aufbau, dem Transfer und dem Betrieb der Smarten Kreuzung als knotenpunktbasiertes System flossen in den Leitfaden für die Einrichtung kooperativer Systeme ein. Insbesondere wurde bei der Formulierung der Inhalte besonderes Augenmerk auf die Skalierbarkeit und die Übertragbarkeit gelegt.

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, ÖPN⁵V, 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 Anwendungsfälle Kreuzungslotse, Radfahrer-Schutzeinrichtung, Kooperative Schutzeinrichtung, Kooperative ÖPNV-Bevorrechtigung und Automatisches Qualitätsmanagement für LSA.

Die hierfür entwickelte Referenzarchitektur kam im Prüffeld Braunschweig und im Testfeld Düsseldorf zur Anwendung.

Eine schematische Übersicht über die Komponenten einer Smarten Kreuzung ist in Abbildung 22 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.

⁵ <http://www.vt.bgu.tum.de/urban-leitfaden/>

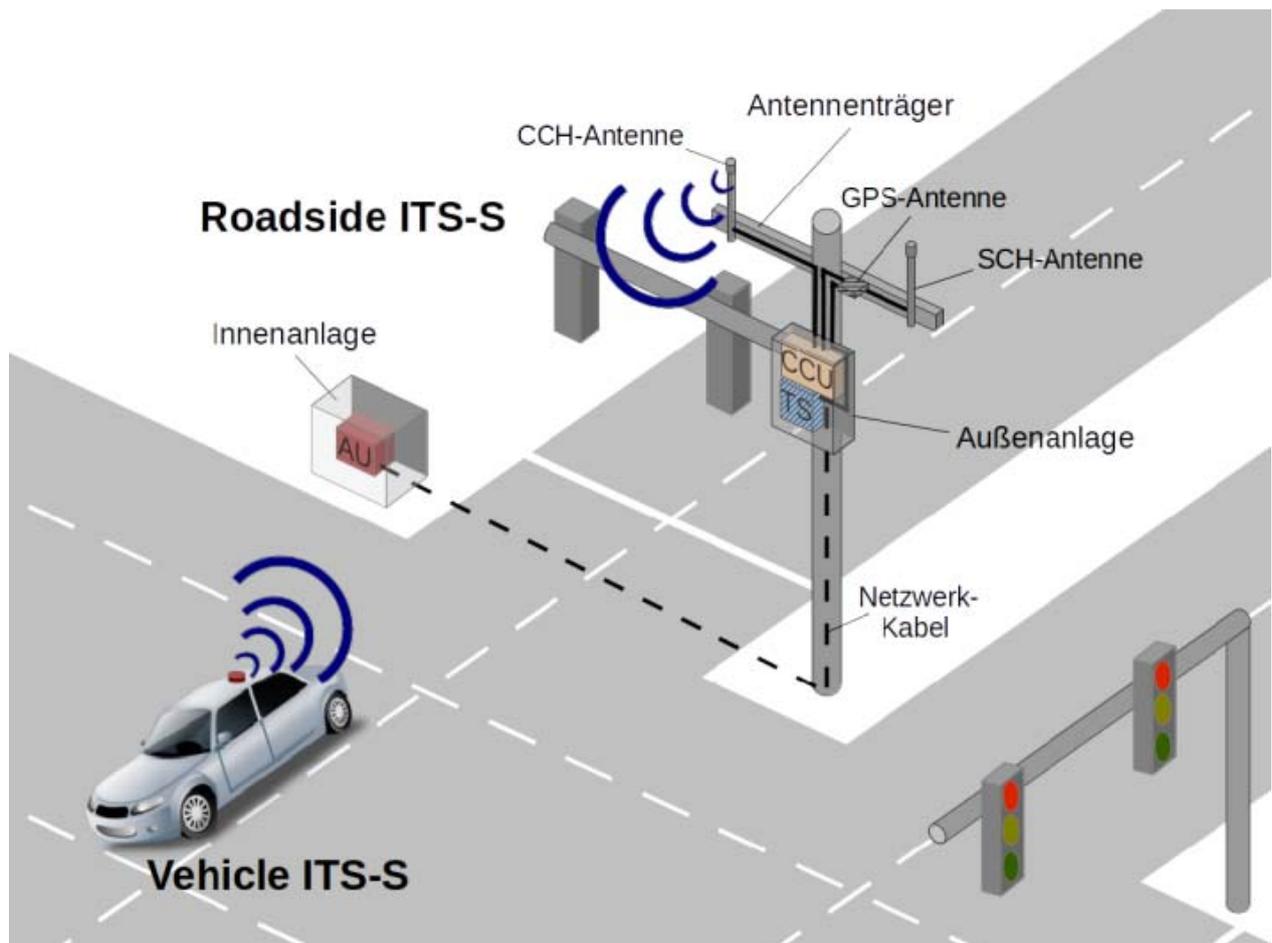


Abbildung 22: Smarte Kreuzung mit den Komponenten IRS (Roadside ITS-S), Außenanlage (AU+CCU), Innenanlage sowie IVS (Vehicle ITS-S) als Applikationsnutzer

In Abbildung 23 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 Knotenpunktentwurf verantwortlich ist
- Dem 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 darauf implementierten Applikationen
- Den Lieferanten der verkehrserfassenden Sensorik, die an der Kreuzung verbaut werden soll

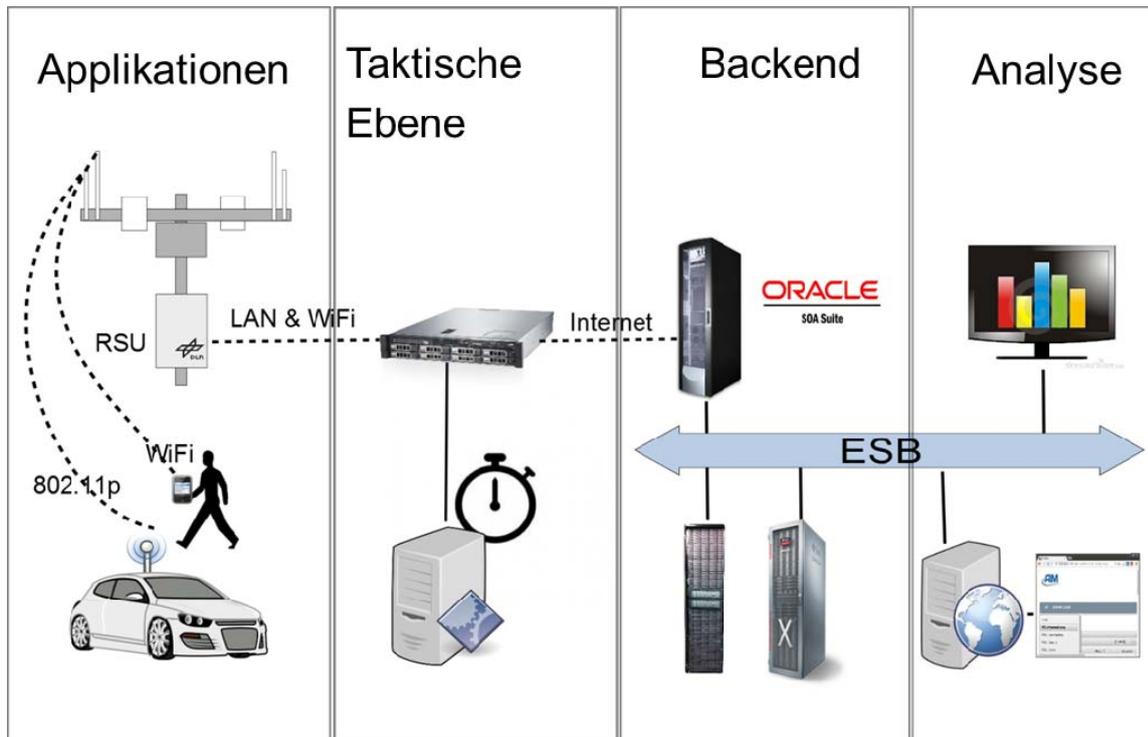


Abbildung 23: Schichtenmodell des Prüffeldes Braunschweig zur Unterstützung kooperativer Systeme

Bei der Auslegung und Planung einer dezentralen Smarten Kreuzung mitsamt Applikationen ist es hilfreich, ein Schichtenmodell ähnlich wie in Abbildung 23 aufzusetzen um die zuständigen Entwicklungsebenen zu identifizieren.

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 kann.

Die genannten Grundanforderungen waren am Oberbilker Markt vollständig erfüllt, sodass 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

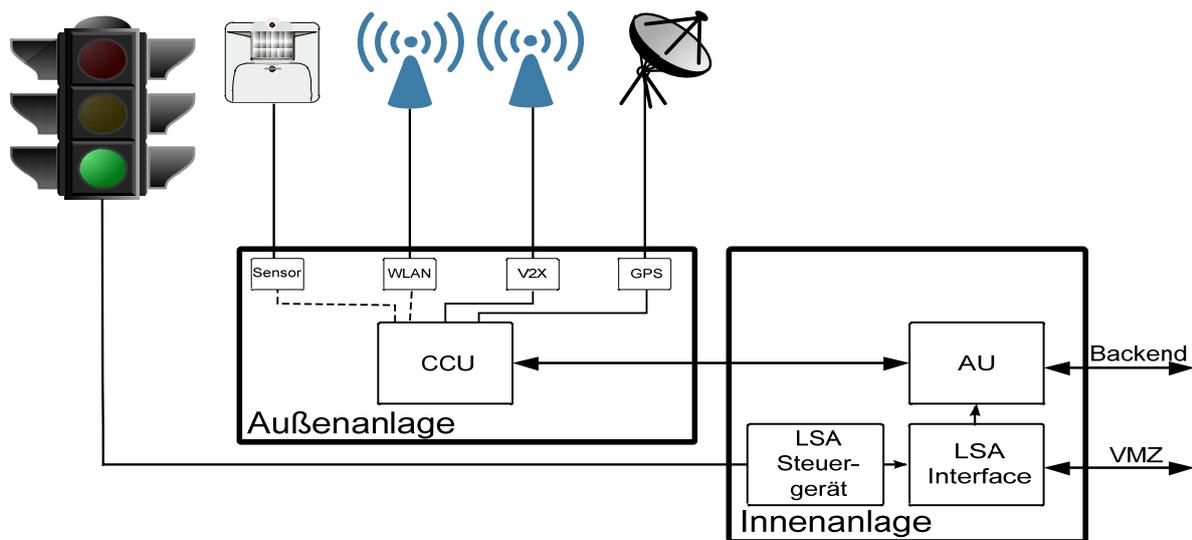


Abbildung 24: Komponenten einer ITS Roadside Station mit Außenanlage, Innenanlage, LSA-Komponenten und Erfassungssensoren

In der Umsetzung der schematischen Darstellung aus Abbildung 24 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 22) 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 Netzkabel 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 Auslegearm befestigte CCU, ein separater Schaltschrank zur Aufnahme der AU sowie die zugehörigen Kabelwege verbaut.

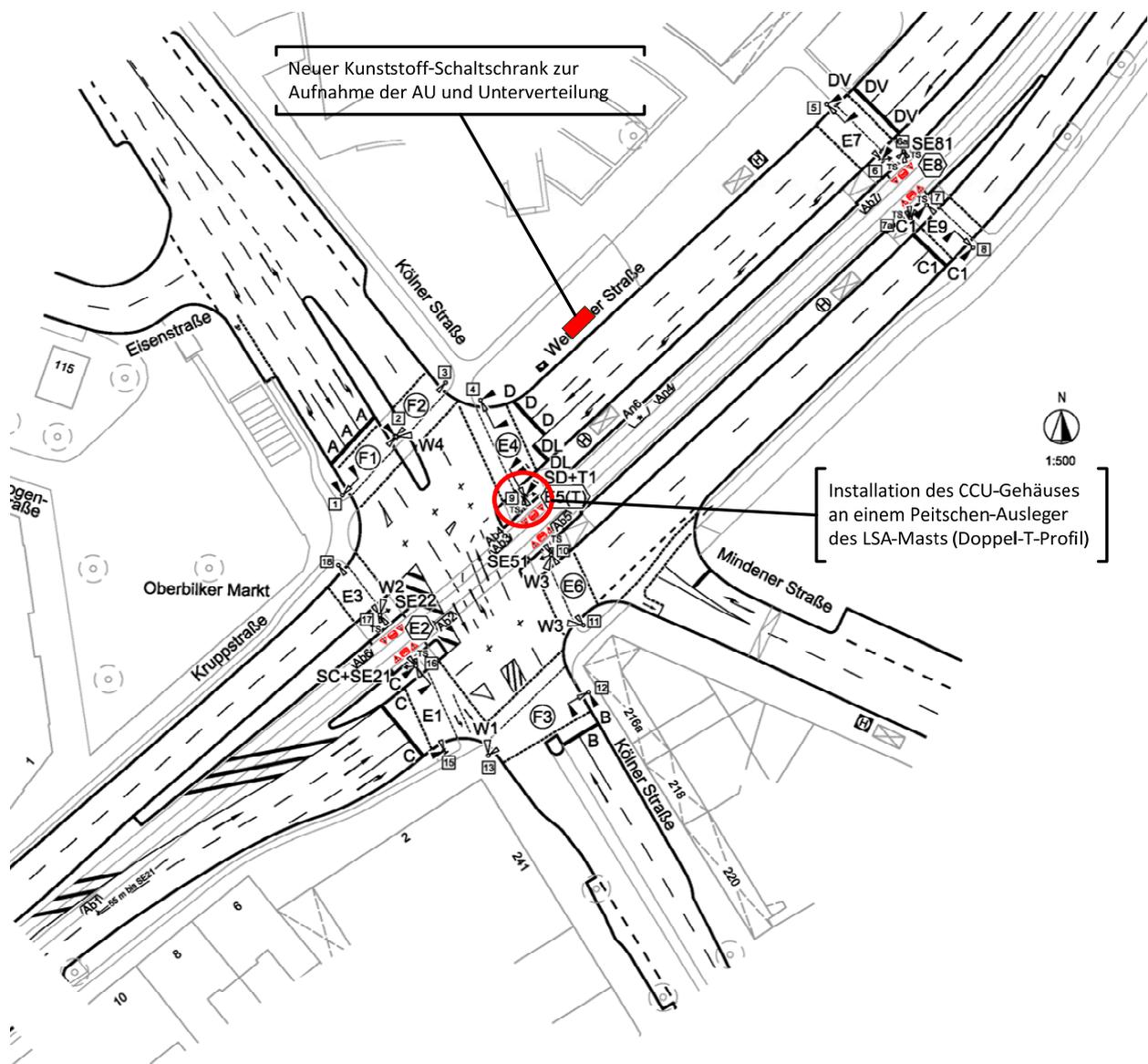


Abbildung 25: Lageplan des Oberbilkler Marktes mit eingezeichneten Verbauorten der Komponenten

Abbildung 25 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 Netzwerkkabel (Patchkabel) sowie ein Stromkabel (beispielsweise NYM-J 3*1,5 mm²) 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 Netzwerkkabel. Als Netzwerkkabel wurde ein Installationskabel der Kategorie 7 verwendet. Die Länge dieses Kabels darf 100m nicht überschreiten, da ansonsten Repeater eingesetzt werden müssten.

In Abbildung 26 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.

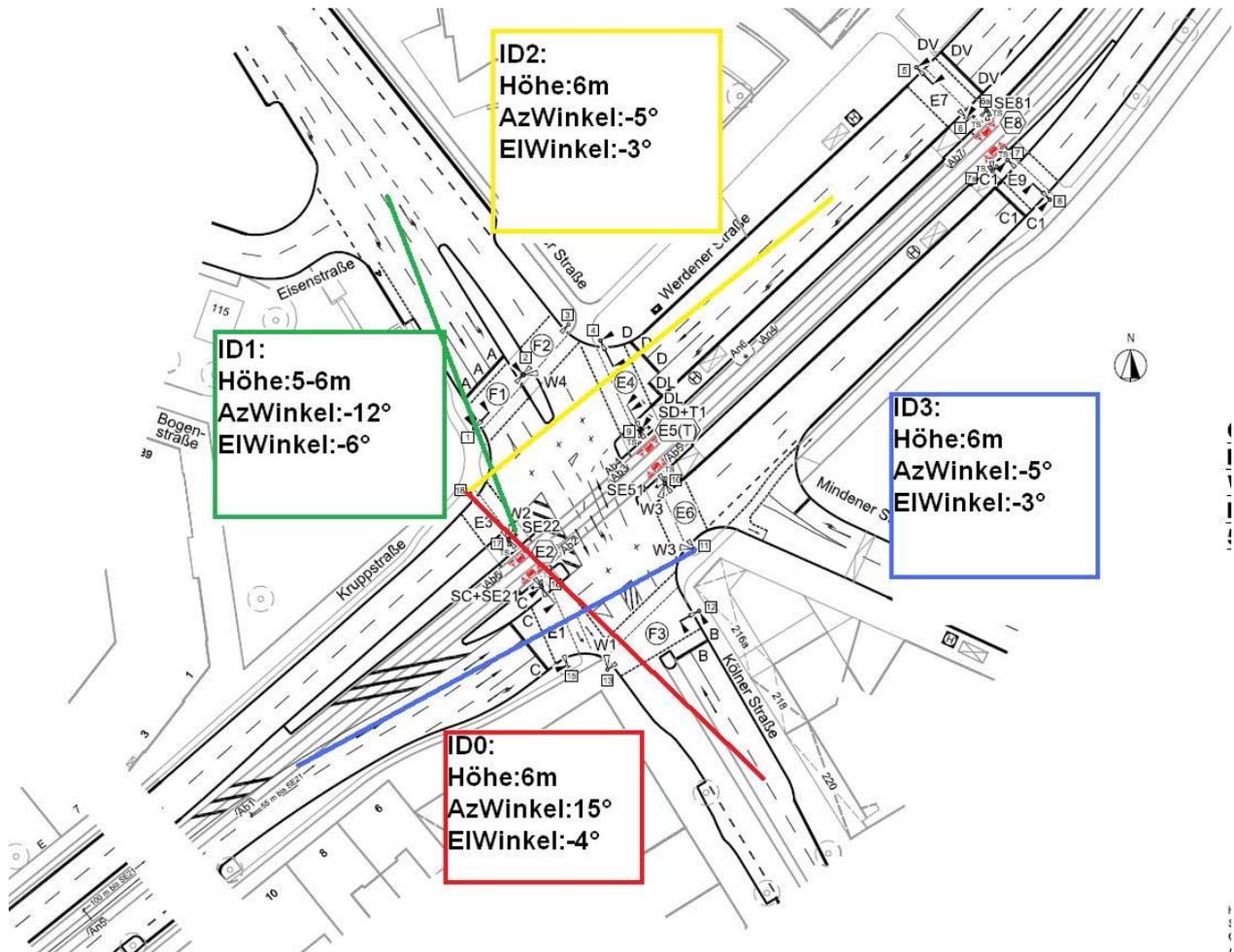


Abbildung 26: Montageorte und Ausrichtungen der objekterkennenden Radarsensoren

Das Detailbild der Innenanlage am Oberbilker Markt ist in Abbildung 27 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 infrastrukturseitigen Applikationen. Die weiteren sichtbaren Komponenten dienen der Energieversorgung sowie der Kommunikation zur LSA und zur Außenanlage.

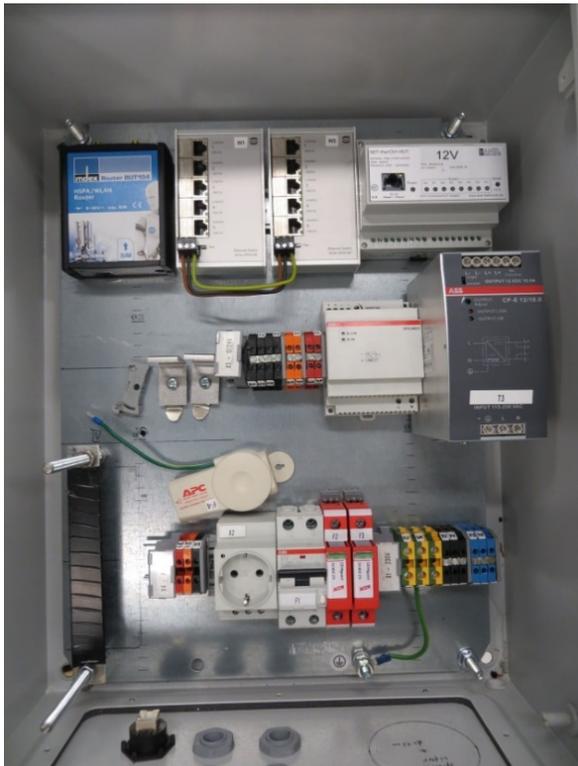


Abbildung 27: Teile der Innenanlage am Oberbilker Markt Düsseldorf. (BxHxT): 0,4m x 0,6m x 0,2m

Ein Überblick über die Montageorte am Oberbilker Markt ist aus Abbildung 28 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 knotenpunktbasierte kooperative Applikationen wirksam werden als auch weitere kooperative Applikationen auf Basis einer V2X-Kommunikation sowie der begleitenden Technologien.



Abbildung 28: Komponenten der IRS am Oberbilker Markt in Düsseldorf

Nötige Anpassung von Verwaltungsprozessen

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

Aufgrund 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 notwendigen 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. 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. 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 Intersection 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.

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 „Oberbilker 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.

2.2 Nutzen und Verwertbarkeit

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurden technische und organisatorische Module entwickelt, funktionell getestet, teilweise den Partnern zur Verfügung gestellt und für die weitere Verwertbarkeit vorbereitet. In Tabelle 7 ist eine Gegenüberstellung der Erfolgsaussichten aus dem Verwertungsplan mit den tatsächlich erreichten Zielen dargestellt. Hier zeigt sich insgesamt ein hoher Erfüllungsgrad gegenüber den zu Projektbeginn aufgestellten Prognosen.

Tabelle 7: Gegenüberstellung der Ziele aus dem Verwertungsplan sowie der entsprechenden Ergebnisse

Auszug aus DLR Verwertungsplan	DLR Ergebnis in UR:BAN
<p>Die Bereitstellung und Weiterentwicklung der Großforschungseinrichtung AIM (Anwendungsplattform Intelligente Mobilität) sowie der damit verbundenen Basisdienste Forschungskreuzung und Road-Side-Units umfassen einen wesentlichen Anteil der Projektaufgaben und bieten mehrere Potentiale der Wertschöpfung.</p>	<p>Die in AIM bereits durch DLR-Eigenmittel eingebrachten Technologien und Lösungen wurden anhand der Anwendungsfälle in UR:BAN auf marktnahe Anwendungen hin optimiert. Dies ist sowohl für das DLR ein Vorteil im Sinne künftiger Verwertungen als auch für die Projektpartner, die auch künftig die Softwarestände des Projektes nutzen können. Dies ist zum Beispiel das Softwareverwaltungssystem welches zum Konfigurieren und Monitoren des smarten Knotens eingesetzt wurde und speziell auf die am smarten Knoten durchgeführten Testreihen optimiert wurde.</p>
<p>Einerseits stellt AIM eine adäquate Versuchsinfrastruktur und ein leistungsfähiges Instrumentarium für technologisch motivierte und mensch-zentrierte Analysen kooperativen Verkehrsverhaltens zur Verfügung. Auf der anderen Seite werden im Rahmen von AIM technische und informationstechnologische Basistechnologien für die Entwicklung, Implementierung und Tests von Fahrzeugapplikationen, korrespondierender Funktionen und Dienste bereitgestellt. Durch die Verknüpfung beider genannten Aspekte können die Fernziele Erhöhung der Verkehrssicherheit im urbanen Kontext, Zunahme der Effizienz im innerstädtischen Verkehr und damit einhergehend eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit erreicht werden.</p>	<p>Die in AIM bereits vorhandenen Technologien wie zum Beispiel die Kommunikation der Ampeln zu Fahrzeugen, der sensorischen Erfassung von Objekten oder der Softwareentwicklungsumgebung Dominion® konnten angesichts der Anwendungsfälle, die gemeinsam mit den Industriepartnern in UR:BAN spezifiziert wurden, optimiert werden und somit in einen höheren Reifegrad überführt werden.</p>
<p>Die prototypische Anbindung von Teilsystemen der kooperativen Infrastruktur an das MDM-Portal in</p>	<p>Durch die Anbindung der kooperativen RSU am Oberbilker Markt in Düsseldorf konnte eine</p>

<p>der Stadt Düsseldorf legt einen Grundstein zur Durchgängigkeit der kooperativen Infrastruktur zu einem Verkehrsmanagement-Datenmarktplatz. Diese Schnittstelle kann im Anschluss an das Projekt auch zum Start von kommerziellen Aktivitäten dienen</p>	<p>bidirektionale Verbindung zum MDM-Server hergestellt werden, so dass ein Datenaustausch zur RSU sowie zurück zum MDM-Server möglich wurde. dadurch kann auf der einen Seite die RSU ihre eigens gewonnenen Daten nutzbringend in den MDM einspeisen und auf der anderen Seite profitiert die RSU-seitige Rückstauschätzung von den Detektordaten die über den MDM verfügbar sind.</p>
<p>Das Fundament der Basisdienste wird weiterhin eine Verbesserung und Erweiterung vorhandener Mobilitätsdienste in der Gesamtregion Braunschweig bewirken, da die in UR:BAN mittels Nutzung von AIM erzielten Forschungsergebnisse auch unmittelbar praktisch umgesetzt werden können. So können bspw. Innovationszyklen für im Teilprojekt „smarte Kreuzung“ entwickelte Fahrzeug- und Infrastrukturapplikationen verkürzt werden und damit eine rasche und verantwortungsvolle Überführung wissenschaftlicher Erkenntnisse, fortschrittlicher Technologien und leistungsfähiger Applikationen in den Alltag gefördert werden.</p>	<p>Die durch die Entwicklungsarbeiten in UR:BAN geschaffenen Optimierungen des DLR Bestandssystems stärken auch die künftigen Entwicklungsarbeiten in dem Themenbereich kooperative Systeme zwischen Infrastruktur und Fahrzeugen. Sowohl die Datenaggregationen, das Test- und Verwaltungssystem als auch das Entwicklungsframework Dominion® mit den entsprechenden Schnittstellen agieren auch weiterhin als Grundlage für ähnliche Forschungsprojekte. So werden die im Rahmen der DLR Projekte entwickelten Eigensysteme auf dem Stand der Technik an dem smarten Knoten aufsetzen.</p>
<p>Durch die Bereitstellung und projektspezifische Anpassung von AIM sammelt das DLR weiterführende Erfahrungen und generiert Erkenntnisse hinsichtlich offener, kooperativer Infrastrukturen. Insbesondere die Übertragbarkeit von Architekturen, Teilkomponenten, Systemen, und Dienste zur Einführung kooperativer Systeme in Kommunen und anderen Forschungs- und Anwendungsregionen, werden zu einem vermehrten Erkenntnisgewinn im Bereich Testfelder führen.</p>	<p>Die in UR:BAN geschaffene Referenzarchitektur des kooperativen Knotens, die Transferverfahren bei der Migration nach Düsseldorf sowie die entsprechenden Softwarestände erlauben es dem DLR auch künftig, Knoten außerhalb von AIM aufwandsarm mit kooperativen RSUs auszustatten. Dies wurde bereits erfolgreich in Projektanträge mit nationaler Förderung eingebracht.</p>

<p>Durch die vorhandene Infrastruktur AIM zur Erforschung, Entwicklung und Erprobung intelligenter Mobilitätsdienste im realen urbanen Raum wird die Bearbeitung fachlich und wissenschaftlich breit angelegter Forschungsfragen möglich. Die erzielten Resultate können weiterhin die Bearbeitung interdisziplinärer Fragestellungen ermöglichen und vorbereiten, z.B. mit starkem gesellschaftlichem Bezug. Beispielhaft kann hier der Aspekt des Mobilitätsbewusstseins genannt werden.</p>	<p>Aus Eigenmittel finanziert wurde eine Simulationsstudie in den vernetzten DLR-Fahrsimulatoren durchgeführt mit dem Ziel, die fahrzeugseitigen Applikationen der smarten Kreuzung zu einer optimierten Ausführung zu bringen. Das Verstehen der interdisziplinären Frage, welche Schlüsselp Parameter der Kooperation bei durch Menschen gesteuerte Fahrzeuge existieren, wurde hierdurch begonnen und wird durch das in UR:BAN entwickelte Simulationsumfeld weiter ausgebaut werden. Die Resultate der Simulationsstudie wurden auf mehreren Fachtagungen verwertet und wissenschaftlich diskutiert.</p>
<p>Aus technischer und informationstechnologischer Sicht kann durch die Nutzung, Weiterentwicklung und Übertragung der Anwendungsplattform die Sichtbarkeit des DLR und der in UR:BAN beteiligten Partnern im nationalen und internationalen Markt gefördert werden. Es werden weiterhin durch die Schaffung der Demonstrationsplattform die Entwicklung innovativer Methoden, Technologien und Applikationen im Bereich intelligenter und effizienter urbaner Mobilität ermöglicht und gefördert.</p>	<p>Durch die Ausrichtung des UR:BAN Halbzeitevents in Braunschweig mit entsprechenden Gästen, durch das Einbringen des DLR in die Düsseldorfer Abschlußpräsentation mit insgesamt 4 Exponaten sowie durch zahlreiche Projektpräsentationen auf Tagungen und in Expertengremien auf denen das DLR seine UR:BAN – Ergebnisse vorgestellt hat wurde eine große Sichtbarkeit des DLR im Kontext mit der Entwicklung kooperativer, intelligenter Verkehrssysteme erwirtschaftet.</p>
<p>Auch eine durch ein wissenschaftliches Forschungsprojekt getriebene und unterstützte Entwicklung in Richtung einer Standardisierung der angewandten Techniken und Technologien scheint möglich. Auch hierdurch würden nationale und</p>	<p>Die gemeinsam in UR:BAN entwickelten Car2X-Kommunikationsprotokolle und Verfahren zur Umsetzung von Funktionen und Kreuzungstopologien in die entsprechenden Kommunikationsstandards sind auch nach</p>

<p>internationale Kooperationen gestärkt werden. Die gewonnenen Erfahrungen liefern somit Grundlagen für den kontinuierlichen Wissensaufbau im DLR, welcher zusätzlich durch den fachlichen und wissenschaftlichen Austausch im nationalen und internationalen Forschungsumfeld gefördert wird.</p>	<p>Projektende UR:BAN verfügbar und werden durch das DLR in entsprechende Gremien wie z.B. das Car2Car Communication Consortium zur weiteren Standardisierung zur Verfügung gestellt.</p>
<p>Die Unterstützung der Forschung im Bereich Verkehrszusammenbruchsszenarien vor Ampelanlagen liefert einen wichtigen Beitrag zu einer Optimierung des Zusammenspiels zwischen kooperativer Infrastruktur und individuellen Verkehrsaufkommen im LSA-Bereich. Die Erkenntnisse daraus können zu effizienteren Ampelsteuerungen und zu optimierten Verkehrsfluss beitragen.</p>	<p>Speziell im Teilprojekt RN wurde Messtechnik zur feingranularen Detektion von Objekten und der damit verbundenen Messung von Oszillations-Effekten und Schlüsselkriterien in Düsseldorf aufgebaut. Die dadurch gewonnen Erkenntnisse werden im Rahmen des Projektes veröffentlicht und können somit bei der künftigen Optimierung Auslegung von Verkehrssteuerungseinrichtungen helfen.</p>

2.3 Bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens

Mit dem Projekt CONVERGE (<http://www.converge-online.de/>) wurde im Berichtszeitraum ein weiteres Konsortialprojekt in dem Themenkontext Car2X-Systemarchitektur und kooperative Applikationen zum Abschluss gebracht. In CONVERGE wurde eine Referenzarchitektur entwickelt, die in Abgrenzung zu UR:BAN verstärkt den Fokus auf Systemgrenzen und deren quantitative Beschreibungen setzte sowie den Aspekt Car2Car Kommunikation stärker in den Vordergrund rückte als dies UR:BAN zum Gegenstand hatte. Zwischen beiden Projekten gab es inhaltlich einen regen Austausch innerhalb des Teilprojektes UR:BAN KI.

In den U.S.A. wurde während der Projektlaufzeit UR:BAN eine gesetzliche Vorgabe zur beschleunigten Markteinführung von kooperativen Systemen die auf Car2X-Technologie basieren eingesetzt. Dieses wird Impulse seitens der Fahrzeughersteller für eine baldige Markteinführung setzen. Gleichzeitig wird der Standardisierungsprozess angeregt so dass unter Umständen mit einer baldigen Zusammenführung der weltweiten Car2X-Standards gerechnet werden kann.

Die europäische Kommission hat im Rahmen der Förderlinie INEA „Innovation and Networks Executive Agency“ mit der Ausschreibung „Connecting Europe Facility“ eine Förderlinie aufgelegt, innerhalb der in den kommenden Jahren mehrere 10 Mio. € in den infrastrukturseitigen Ausbau von Car2X-Korridoren investiert werden soll. Die hier entstehenden ITS Korridore bieten eine gute Kristallisationszelle für die europaweiten Vorhaben und Projekte im Kontext kooperativer Systeme.

2.4 Veröffentlichung der Ergebnisse

Im Rahmen des Projektes UR:BAN wurden neben vielen bilateralen Erläuterungen und Präsentationen mit aktuellen und potenziellen Projektpartnern auch Veröffentlichungen und Beiträge zu größeren Tagungen verfasst und vorgestellt. Die wichtigsten dieser Veröffentlichungen mit Bezug zu UR:BAN sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Veröffentlichungen, Präsentationen auf Tagungen sowie Demonstrationen von UR:BAN Ergebnissen

Veröffentlichung	Titel / Inhalt
Gastgeber der Veranstaltung „URBAN Halbzeitpräsentation“ vom 14.05. – 15.05.2014	Bereitstellung und Vorbereitung des DLR-Flugzeughangars und der nötigen Infrastrukturellen Einrichtungen sowie der Kommunikationsschnittstelle zu den DLR-Gebäude- und Objektmanagement
„Leitfaden für die Einrichtung kooperativer Systeme auf öffentlicher Seite“ (http://www.vt.bgu.tum.de/urban-leitfaden)	Beschreibung der notwendigen kommunalen Schritte zur Migration von Car2X-Technologien in urbane Kreuzungen und Ampelanlagen.
International Conference on Connected Vehicles & Expo (ICCVE 2014), 03.11. - 07.11.2014, Wien, Österreich	Measurement and Evaluation of Communication parameters on a Vehicle-to-Infrastructure Communication Test Site
Patent DE 10 2014 105 474 A1 16.04.2014, (Patentanmeldung laufend)	Verfahren zur Kommunikation zwischen einem Einsatzfahrzeug und sonstigen Fahrzeugen sowie System hierfür
	Verfahren zur Steuerung von Lichtsignalanlagen

<p>Patent DE 10 2014 114 535 A1 07.10.2014, (Patentanmeldung laufend)</p>	<p>(LSA) an Verkehrsknotenpunkten auf einem Fahrweg eines Einsatzfahrzeuges</p>
<p>Konferenzbeitrag zum 16. Braunschweiger Symposium AAET 2015: Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel, Braunschweig, 10.02.2015</p>	<p>„Nutzung des Testfeldes AIM für die Absicherung von kooperativen Sicherheitsfunktionen“ Vorstellung von Methoden und Verfahren zur Nutzung von wissenschaftlichen Erkenntnissen, die u.a. aus den Arbeiten am Projekt UR:BAN gewonnenen wurden, zur Absicherung von seriennahen und sicherheitsrelevanten Assistenzfunktionen</p>
<p>Car2Car Forum 2015 Mainz, 03./04.11.2015</p>	<p>„Application Platform for Intelligent Mobility“ (Posterbeitrag). Vorstellung der Versuchsplattform AIM, die um die Erkenntnisse und Entwicklungen aus UR:BAN in ihrem Funktionsumfeld wesentlich erweitert wurde.</p>
<p>Masterarbeit Hr. Burmeister, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg / DLR Februar 2015</p>	<p>„Entwicklung und Realisierung eines Messverfahrens zur Untersuchung und Bewertung der Dienstgüte-Eigenschaften eines C2X-Kommunikationssystems“. Einsatz des Messsystems zur Beurteilung und Optimierung der Systemeigenschaften der Smarten Kreuzung sowie des Testfeldes Braunschweig.</p>
<p>Aussteller auf der UR:BAN Abschlußpräsentation</p>	<p>Mehrere Exponate zu kooperativer Infrastruktur</p> <ul style="list-style-type: none"> • Intelligente Ampel • Lokale smarte Kreuzung auf Messegelände • Smarte Kreuzung am Oberbilker Markt

Literatur

In der folgenden Auflistung sind Literaturstellen genannt die für die vorgestellten Arbeiten herangezogen wurden, auf die teilweise jedoch nicht im Bericht referenziert wird. Im Bericht finden sich im Rahmen von Fußnoten weitere Verweise auf Literaturstellen.

[Ber12] Berghaus, M.: Analyse und Bewertung zellularer Netze in Bezug auf ihre Eignung für zeitkritische Fahrzeugfunktionen, Technische Universität Braunschweig, Master's Thesis, 2012

[BNT14] Bouchemal, N.; Naja, R. ; Tohme, S.: Trac Modeling and Performance, Evaluation in Vehicle to Infrastructure 802.11p Network. Ad Hoc Networks Bd. 129. Springer International Publishing, 2014, S. 82-99

[Bur13] Burmeister, H. D.: Untersuchung und Bewertung der Übertragungseigenschaften eines Fahrzeug-zu-X Kommunikationssystems, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Bachelor's Thesis, 2013

[CAR07] CAR 2 CAR Communication Consortium (C2C-CC): Manifesto. <http://www.car-to-car.org/>. Version: 2007, Abruf: 21.11.2014

[CAR11] CAR 2 CAR Communication Consortium (C2C-CC): Memorandum of Understanding. <http://www.car-to-car.org/>. Version: 2011, Abruf: 21.11.2014

[CEN14] CEN/ISO: CEN/ISO TS 19091. Intelligent Transport Systems - Cooperative ITS - Using V2I and I2V Communications for Applications Related to Signalized Intersections. 2014.

[DLR13] DLR: Anwendungsplattform Intelligente Mobilität - AIM. http://www.dlr.de/fs/Portaldaten/16/Resources/aim/DLR-TS_AnwendungsplattformIntelligenteMobilitaet_2013b.pdf. Version: 2013, Abruf: 11.12.2014

[DoD08] DoD US Department of Defense: Global Positioning System - Standard Positioning Service - Performance Standard. <http://www.gps.gov/technical/ps/2008-SPS-performance-standard.pdf>. Version: 2008, Abruf: 06.12.2014

[End14] EndRun Technologies: Introduction To NTP. <http://www.endruntechnologies.com/pdf/NTP-Intro.pdf>. Version: 2014, Abruf: 07.12.2014. White Paper

[ETS09] ETSI: ETSI TR 102 63. Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Denitions. 2009 [ETS10a] ETSI: ETSI EN 302 665. Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture. 2010

[ETS10b] ETSI: ETSI TS 102 637-1. Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 1: Functional Requirements. 2010

[ETS10c] ETSI: ETSI TS 102 637-3. Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service. 2010

[ETS11a] ETSI: ETSI TS 102 636-4-1. Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular communications; GeoNetworking; Part 4: Geographical addressing and forwarding for point-to-point and point-to-multipoint communications; Sub-part 1: Media-Independent Functionality. 2011

[ETS11b] ETSI: ETSI TS 102 636-5-1. Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 5: Transport Protocols; Sub-part 1: Basic Transport Protocol. 2011

[ETS11c] ETSI: ETSI TS 102 637-2. Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service. 2011

[ETS12] ETSI: ETSI TS 102 724. Intelligent Transport Systems (ITS); Harmonized Channel Specifications for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band. 2012

[ETS13] ETSI: ETSI EN 302 663. Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band. 2013

[FBZL09] Festag, A. ; Baldessari, R. ; Zhang, W. ; Le, L.: CAR-2-X Communication SDK A Software Toolkit for Rapid Application Development and Experimentations. In: IEEE International Conference on Communications Workshops, 2009. ICC Workshops 2009, 2009, S. 1

[IEE12] IEEE Standards Association: IEEE Std 802.11-2012 (Revision of IEEE Std 802.11-2007). <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2012.pdf>. Version: 2012, Abruf: 27.11.2014

[LCL10] Lin, C.S. ; Chen, B.-C. ; Lin, J.-C.: Field Test and Performance Improvement in IEEE 802.11p V2R/R2V Environments. In: IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC) 2010

[MRS11] Martelli, F. ; Renda, M.E. ; Santi, P.: Measuring IEEE 802.11p Performance for Active Safety Applications in Cooperative Vehicular Systems. In: Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2011 IEEE 73rd, 2011,

[NEC13] NEC Corporation: NEC LinkBird-MX Test Platform for Evaluation of Vehicular Communications Protocols. <http://www.nec.co.jp/press/en/0811/images/1301-01.pdf>. Version: 2013, Abruf: 11.12.2014

[PFM10] Paier, A. ; Faetani, D. ; Mecklenbrüker, C.F.: Performance Evaluation of IEEE 802.11p Physical Layer Infrastructure-to-Vehicle Real-World Measurements. In: 3rd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL), 2010, S. 1{5

[SKCH13] Schönrock, R. ; Krause, J. ; Czogalla, O. ; Herrmann, A.: Kooperative Schutz Einrichtung (KSE) - Dynamische Erfassung und Verortung von Verkehrsstörungen. In: POSNAV ITS 2013 – Positionierung und Navigation für Intelligente Transportsysteme, 2013