

Christian Wille¹, Maik Bargmann¹, Maximiliano Bottazzi¹, Giancarlo Rizzo¹, Daniel Wesemeyer¹, Sten Ruppe¹

¹ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR),
Institut für Verkehrssystemtechnik,
Rutherfordstr. 2, 12489 Berlin,
E-Mail: vorname.nachname@dlr.de

Anwendungsplattform Intelligente Mobilität

Referenzstrecke für V2X-Kommunikation

1. Abstrakt

Zur Erprobung von Kooperativen Intelligenen Verkehrssystemen (C-ITS) betreibt das Institut für Verkehrssystemtechnik des DLR die Großforschungsanlage AIM-Referenzstrecke im Stadtgebiet Braunschweig. Insgesamt sind 46 Kreuzungen, mit Vehicle-2-X (V2X) - Kommunikationstechnologie ausgerüstet. Die Forschungsanlage ist eingebettet in das Testfeld Niedersachsen. (Köster 2017)

In dieser Publikation werden zunächst der aktuelle Entwicklungsstand und die konsolidierten Erfahrungen der Referenzstrecke vorgestellt. Dies beinhaltet u. a. die Erläuterung der Systemarchitektur, die eine übergreifende Integration der V2X-Kommunikation ermöglicht, sowie die Vorstellung des vom DLR entwickelten V2X-Softwareframeworks, das eine Anbindung, Integration und Test von C-ITS-Diensten in Forschungs- und Industrieprojekten gewährleistet. Es wird ebenfalls auf verfügbare Auswertungs- und Analysetools eingegangen, beispielsweise Möglichkeiten der Visualisierung aller auf der Referenzstrecke gesendeten und empfangenen Nachrichten. Schließlich wird auch das Monitoring-System der Anlage vorgestellt, das die Aktivitäten der einzelnen Systeme der Referenzstrecke kontinuierlich überwacht und es somit ermöglicht, Ausfälle von Teilsystemen frühzeitig zu erkennen und zu beheben.

Im Anschluss werden die nächsten geplanten Entwicklungsschritte für die Referenzstrecke vorgestellt. Dies betrifft neue Fragestellungen, die sich aus der Weiterentwicklung der Großforschungsanlage für den Dual-Betrieb ergeben, konkret die Schaffung eines gleichzeitigen Forschungs- und operativen Betriebs. Darüber hinaus werden Fragestellungen zur Hybridkommunikation und alternativen zum bestehenden Funkstandard, in Bezug auf die Forschungsanlage diskutiert.

2. Einleitung

Mit der Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM) betreibt das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) eine Großforschungsanlage in Braunschweig zur Erforschung und Entwicklung von ITS-Anwendungen. (Sascha Knacke-Langhorst 2016)

AIM fokussiert als Forschungsschwerpunkte die Verkehrsflussoptimierung, intermodale Mobilität, zukünftige Mobilitätskonzepte, Markt Einführung und Migration sowie das Mobilitätsbewusstsein. In Partnerschaft mit dem Land Niedersachsen, der Stadt Braunschweig und weiteren Akteuren aus Wissenschaft, Industrie und dem öffentlichen Sektor ist mit AIM eine Basisinfrastruktur geschaffen worden, die die Entwicklung und Erprobung von Fahrerassistenzsystemen, modernes Verkehrsmanagement und soziologische Verkehrsanalysen ermöglicht. Dabei wird die Forschungsplattform fortlaufend erweitert und an neue Aufgaben angepasst. (Frankiewicz 2012)

Im Rahmen von AIM wird unter anderem eine Referenzstrecke angeboten, die mit V2X-Kommunikationssystemen ausgestattet ist und so die Entwicklung und Erforschung von V2X-Systemen und -Anwendungen ermöglicht. Das Testfeld, in Abbildung 1 dargestellt, ist eine Route aus öffentlichen Straßen im Stadtgebiet von Braunschweig. Die Strecke führt auf einem Ring um das Zentrum herum und weist Straßen mit mindestens zwei Fahrspuren in jede Richtung und eine hohe Verkehrslast auf. Mit dem Abschluss des Aufbaus der Referenzstrecke steht seit Ende des Jahres 2013 eine Infrastruktur aus 46 Kreuzungen zur Verfügung, die mit V2X-Kommunikationstechnologie ausgestattet sind. Das stationäre V2X-Kommunikationssystem wird als Roadside-Unit (RSU) bezeichnet - V2X-Kommunikationssysteme in Fahrzeugen werden Onboard-Unit (OBU) bezeichnet. In der EU sind auch die Begriffe „ITS Roadside Station“ (IRS) für die RSU und „ITS Vehicle Stations“ (IVS) für die OBU im Gebrauch. Diese RSUs sind auf der Strecke in der Regel an Kreuzungen mit Lichtsignalanlagen installiert. Der östliche und südliche Teil der Referenzstrecke ist nahezu flächendeckend ausgestattet. Damit wird die mögliche Ausbaudichte und Komplexität eines V2X-Kommunikationsnetzes abgebildet, während die vereinzelte Ausstattung des westlichen und nördlichen Teils eine realistische Ausbaudichte für eine Markteinführung von V2X-Kommunikationssystemen darstellt. (Frankiewicz 2014)

In dem urbanen Umfeld wird eine Erprobung von ITS-Anwendungen im realen Verkehr ermöglicht. Dabei kann der Einfluss vielfältiger Faktoren, wie die Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung der kommunizierenden Fahrzeuge, sowie unterschiedliche Umgebungsfaktoren und Teilnehmersdichten untersucht werden. Am Institut für Verkehrssystemtechnik des DLR sind drei Versuchsfahrzeuge im Einsatz, die mit entsprechenden Kommunikationssystemen ausgestattet sind und als Vehicle ITS-S für Feldstudien genutzt werden können.

Neben der Verwendung für eigene Projekte stellt das DLR die Referenzstrecke allen Partnern aus Wirtschaft und Forschung als Dienstleistung zur Verfügung. Somit können sowohl wissenschaftliche Einrichtungen, als auch Unternehmen individuelle Anwendungsgebiete erforschen. (Tobias Frankiewicz 2017)

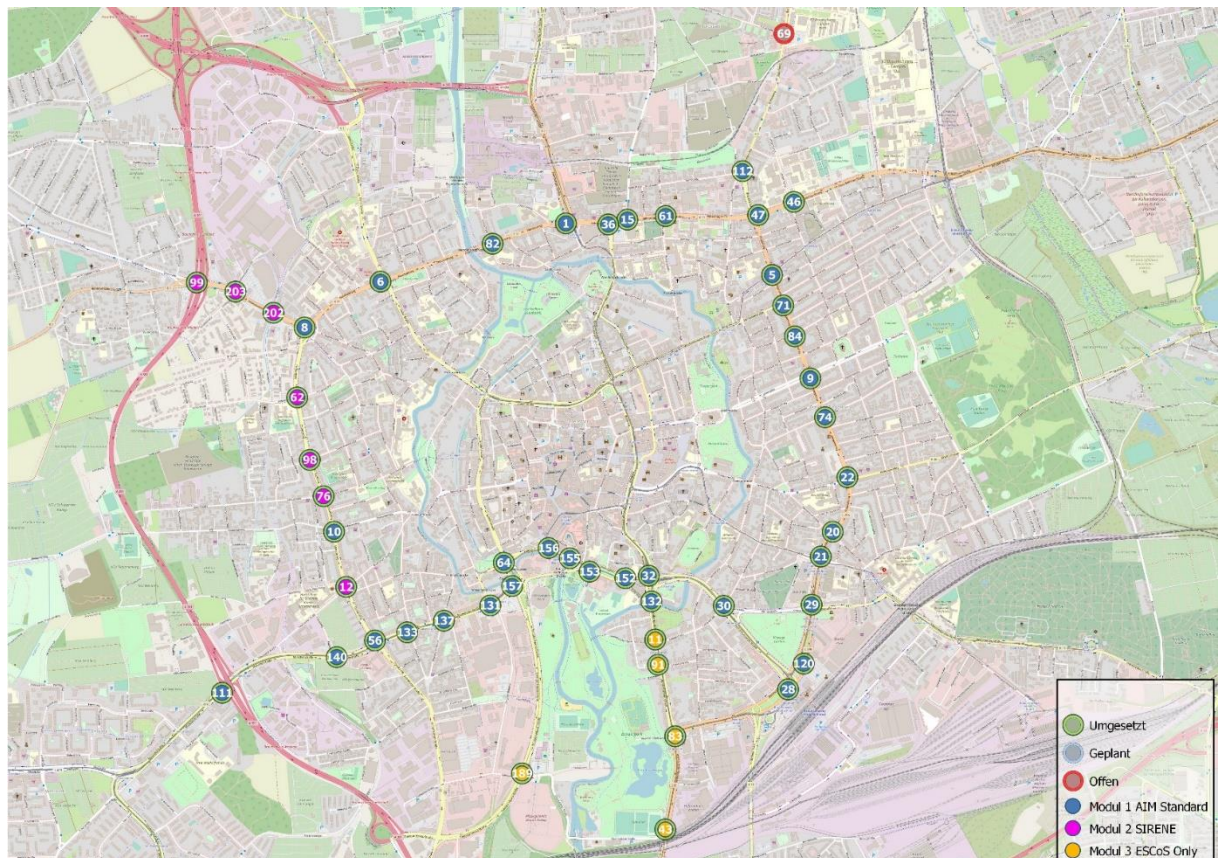


Abbildung 1 - Übersichtskarte

3. Systemarchitektur

In der aktuellen Planung, welche in Abbildung 2 dargestellt ist, sind zwei Module abgebildet. Das Modul 0 (blau) zeigt die komplette Ausbaustufe an, wobei beim gelben Kasten nur die Außenanlage verbaut ist. Auf die Erweiterung wird in Abschnitt 7 weiter eingegangen. Darauf ist zu erkennen, dass sich der Aufbau in eine Außen- und Innenanlage gliedert. Dieser modulare Ansatz ermöglicht es neue Hardware einfach in die Systemarchitektur zu integrieren. In Abbildung 2 ist eine detaillierte Übersicht des Aufbaus einer RSU dargestellt. Bei der in der Innenanlage befindlichen Application Unit (AU) handelt es sich um leistungsstarke Server oder Industrie-PCs. Das ist allerdings abhängig von der Ausstattungsvariante. Mithilfe der verfügbaren Rechenleistung ist der Einsatz von aufwendigen Algorithmen, sowie die Vorverarbeitung der anfallenden Daten möglich. Welches beispielsweise die zu übertragende Datenmenge in das angebundene Backend verringert.

Die in der Außenanlage befindlichen Komponenten dienen hauptsächlich der V2X-Kommunikation oder kommunizieren mit anderen angebotenen Komponenten. Damit eine Roadside-Unit zur Kommunikation mit einem Fahrzeug genutzt werden kann, verfügt diese über eine Communication Control Unit (CCU). Die CCU stellt die funkschnittstelle bereit um Daten ins Fahrzeug zu übertragen und Daten von diesem zu empfangen. Die Übertragung erfolgt aktuell über ETSI ITS-G5. ETSI ITS-G5 nutzt für die Übertragung den automotiven WLAN-Standard 802.11p. Die am DLR verwendete CCU ist in der Roadside-Unit meist eine Cohda MK5. Im Fahrzeug finden hingegen meist Nordsys-CCUs oder CCUs der Firma Cohda Wireless Einsatz. Damit eine Kommunikation mit den Komponenten der RSU möglich ist, sind

diese teilweise über ein DSL-Interface an ein Backend angeschlossen. Die Anbindung der Anlagen ohne DSL-Interface erfolgt über WLAN-Richtfunk. Das Kommunikationsnetz ist aus Sicherheitsgründen ausschließlich aus dem DLR-Netz zu erreichen.

Die zeitliche Synchronisation der Komponenten und der RSUs untereinander erfolgt durch die Nutzung der GPS-Zeitbasis. Dies ist auch das übliche vorgehen auf den OBUs. Somit wird eine einheitliche Synchronisation aller Kommunikationspartnern gewährleistet. Durch die Nutzung von umfelderfassenden Sensoren an den RSUs ist eine Erzeugung von innovativen Nachrichtentypen, wie der CPM, möglich. Zu diesem Zeitpunkt wird dies an der Forschungskreuzung K047, sowie der K048 (Tostmannplatz) näher analysiert und getestet. Die Informationen der Schaltzustände von den jeweiligen Lichtsignalanlage (LSA) werden durch eine Kommunikationseinheit bereitgestellt. Die Kommunikationseinheit, eine ESCoS von Siemens, bezieht ihre Information direkt von der Steuerungseinheit der LSA. Verhindert aber einen Zugriff auf die Steuerungseinheit durch die RSU aus Verkehrstechnischen Sicherheitsaspekten. Weiterhin senden Sie Topologieinformationen, sowie Informationen zu den Ampelphasen aus. Die Informationen zu der Topologie und den Ampelphasen werden unabhängig vom Forschungskontext über die Standardisierten V2X-Nachrichten bereitgestellt. Eine Ausnahme stellt die Kreuzung K048 dar. Bei dieser ist ein Eingriff in Abstimmung mit der jeweiligen Stadt oder dem jeweiligen Generalunternehmer auf die Phasensteuerung möglich. Hier forscht das DLR fokussiert an kooperativen zur umweltorientierten Mobilität einer lebenswerten Stadt. Unter anderem auch mit den Informationen von V2X-Systemen.

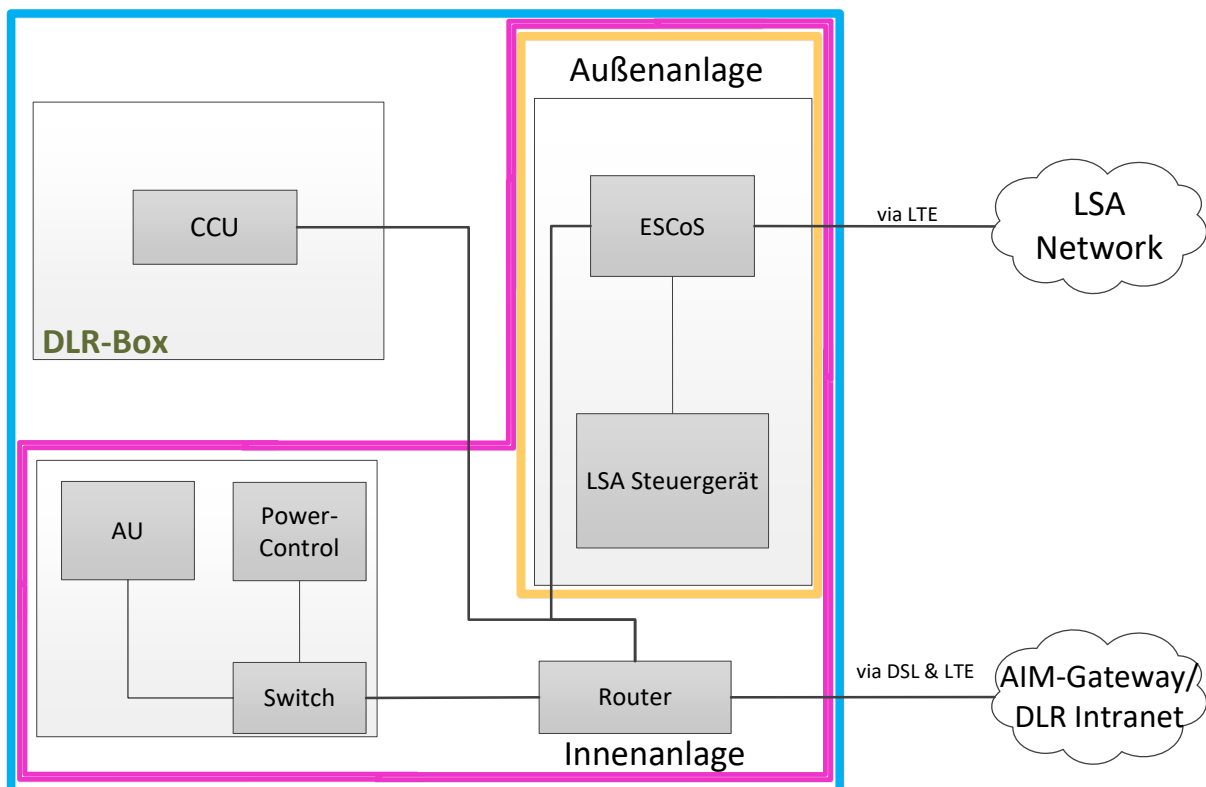


Abbildung 2 - Detaillierter Aufbau einer RSU

Auf der Application Unit sind eine Vielzahl von verschiedenen Programmen installiert, die standardisierte und individuell angepasste Nachrichten, für Forschungsprojekte, aussenden. Um die Generierung der notwendigen Programme einfacher zu gestalten, wurde ein Softwareframework entwickelt, welches im nachfolgenden Abschnitt näher beschrieben wird.

4. V2X-Softwareframework

Das V2X-Framework ist eine Rahmenstruktur für die Einbindung bestehender V2X Nachrichten in Projekten und Forschungsvorhaben sowie ein Programmiergerüst für die Entwicklung und Erprobung, von erweiterten bzw. neuen V2X Nachrichten. Das Framework wurde in Java programmiert. Die Kernfunktion des Frameworks ist die Erstellung von Anwendungen zum Senden und Empfangen von V2X-Nachrichten, die von der CCU empfangen werden bzw. über diese gesendet werden sollen. Es ist flexibel, da es modular aufgebaut ist und Apache Maven intensiv zur Verwaltung von Abhängigkeiten und Modulen nutzt. Der Fokus des Frameworks liegt dabei für die Nutzung im Forschungsumfeld und nicht ist nicht für die Erstellung von Endprodukten vorgesehen. (vgl. Abbildung 3)

Folgende Nachrichten können im Umfeld der AIM Referenzstrecke verwendet werden:

Die Cooperative Awareness Message (CAM) gibt Informationen über die Anwesenheit, Position sowie grundlegender Status eines Fahrzeugs wieder. Die Decentralized Environmental Notification Message (DENM) gibt Informationen zu einem bestimmten Fahrumgebungs- oder Verkehrsereignis, besonders die Applikationen der kooperativen Road Hazard Warning (RHW) stehen hier im Vordergrund. Die Signal Phase and Timing (SPAT) (in ETSI: SPATEM) gibt Informationen über Status und Signalzeiten von Lichtsignalanlagen (LSA) wieder. Die MAP Data (MAP) (in ETSI: MAPEM) geben Informationen über die Topologie der Kreuzung/Strecke wieder. Die Infrastructure to Vehicle Information (IVI) (in ETSI: IVIM) gibt Informationen über Straßenschilder wie beispielsweise Geschwindigkeitsbegrenzung, virtuelle Kennzeichen an Verkehrsteilnehmer weiter. Die Cooperative Perception Message (CPM) enthält Kooperative Wahrnehmung von Objekterkennung – und deren Weiterleitung.

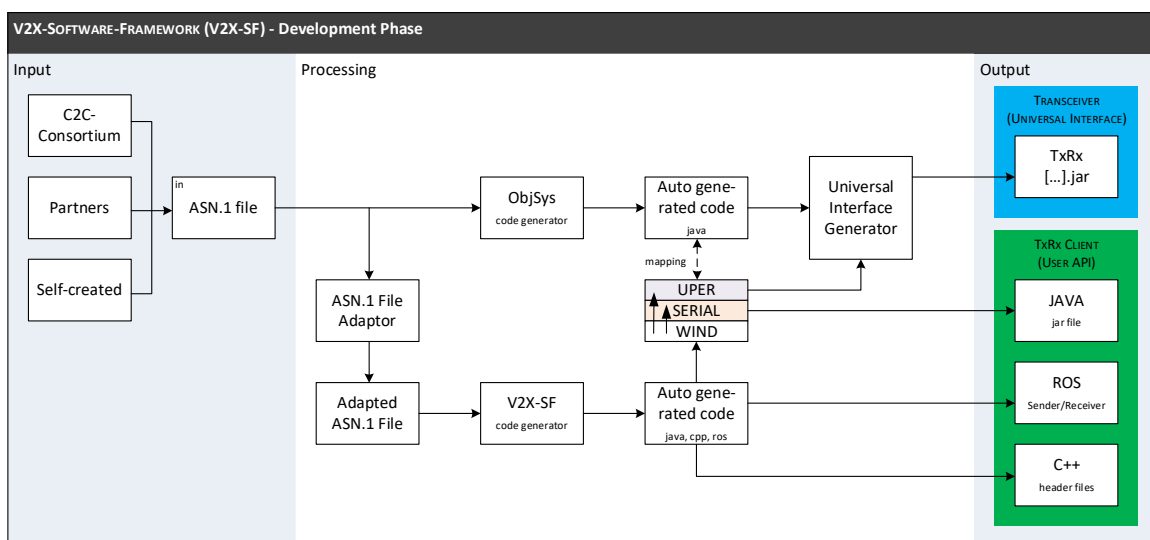


Abbildung 3 - Softwarearchitektur

Mit dem Framework erstellte Anwendungen (V2X-TxRx-Apps) Transceiver (Tx) und Receiver (RX) verbergen die Komplexität, die zum Erstellen, Senden und Empfangen von V2X-Nachrichten erforderlich ist. Abbildung 4 zeigt, dass sie eine API bieten, die an die Anforderungen des jeweiligen Anwendungsfalls angepasst werden kann. Die Framework-API kann an die Anforderungen jedes Anwendungsfalls angepasst werden. Die Framework-API ist flexibel ausgelegt und ermöglicht es Anforderungen für unterschiedliche Anwendungsfälle schnell umzusetzen.

Die API unterstützt verschiedene Protokolle wie UDP, TCP, REST oder ROS (Robot Operating System) und verschiedene Paketformate wie XML, JSON oder Byte-Streams. Das Verhalten einer V2X-TxRx-App kann durch ändern der Konfigurationsparameter in ihrer Konfigurationsdatei gesteuert werden. Die Kernfunktionalität dekodiert und übersetzt Nachrichten in die verschiedenen Formate. Das System protokolliert alle ein- und ausgehenden Nachrichten und leitet sie an ein externes Backend-Administrationssystem weiter. Diese Funktionalität ist in Abbildung 4 schematisch dargestellt. Die CCU-API verbindet die Anwendung mit den physikalische CCUs verschiedener Hersteller, wie Cohda, NEC, Nordsys oder Siemens.

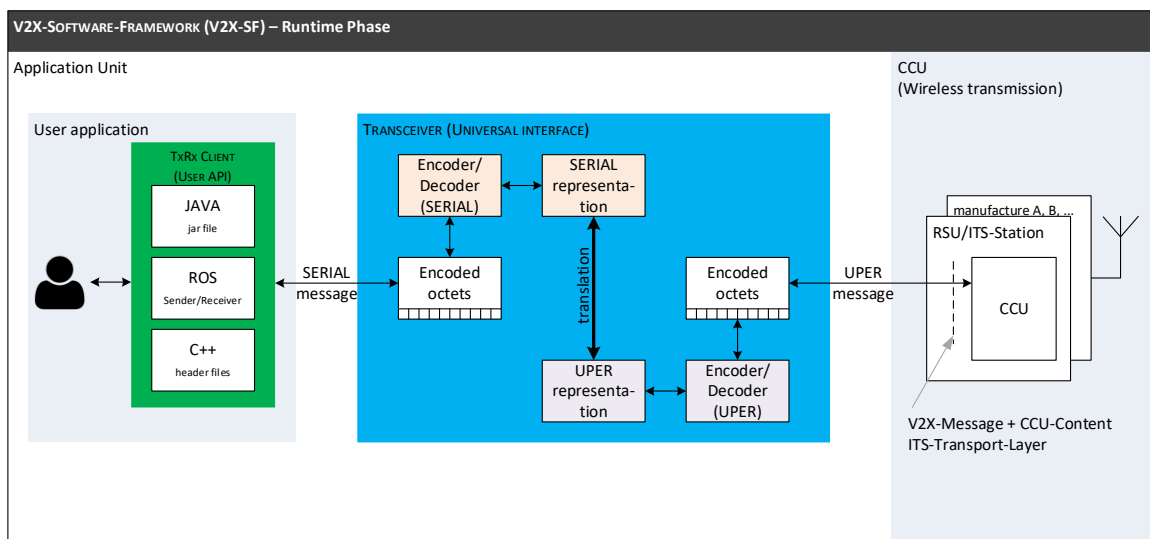


Abbildung 4 - Framework

5. Monitoring- und Analysetool

Als Monitoring- und Analysetool wurde für die AIM-Referenzstrecke das AIM Management System (kurz AIMMS) entwickelt. In der RSU-Verwaltung des AIMMS werden die einzelnen Komponenten jeder einzelnen Anlage überwacht. Neben dem Status, ob eine Komponente voll funktionstüchtig ist, werden bei der AU und der CCU weitere hardwaretypische Eigenschaften wie CPU-, Speicher- und Netzwerkauslastung analysiert. Bei der CCU wird vor allem auch die Kanalauslastung der V2X-Nachrichten ausgewertet.

Um die V2X-Nachrichten, welche auf der AIM-Referenzstrecke gesendet oder empfangen werden, besser nachvollziehen zu können, besitzt das AIMMS einen V2X-Viewer, welcher die V2X-Nachrichten visualisiert (siehe Abbildung 5). Die Visualisierung bietet sowohl eine Live-Ansicht als auch eine History, um aufgezeichnete Nachrichten wieder abzuspielen. Da die einzelnen Kreuzungen mit ihrem Versand von MAPEM und SPATEM alleine schon eine gewisse Anzahl von V2X-Nachrichten produzieren, ist es möglich zwischen den einzelnen Nachrichtentypen und den beteiligten Anlagen zu filtern. Zur Verbesserung der Übersicht ist im Viewer möglichen Filterregeln zu setzen. So kann zum Beispiel hinsichtlich der Anlage und/oder des gewünschten V2X-Nachrichtentyps gefiltert werden.



Abbildung 5 - AIM Management Tool

6. Forschungs- und Industrieprojekte

Im Folgenden werden ausgewählte Projekte dargestellt, die die Referenzstrecke im Zuge von Feldtests oder Demonstrationen genutzt haben. Im ersten Abschnitt wird über bereits abgeschlossene Projekte berichtet, anschließend werden kurze Einblicke in momentan laufende und zukünftig geplante Studien gegeben.

Es fanden eine Reihe von Tests von neu entwickelten LSA-Steuerverfahren am Tostmannplatz (K048) statt (Vgl. Abbildung). Im Rahmen des Projekts „Innovationskreuzung“ wurde an dieser Kreuzung im März 2016 ein von Siemens entwickeltes Steuerverfahren namens „Smart Carpet“ getestet und mit der bestehenden verkehrsabhängigen Steuerung sowie einer Festzeitsteuerung verglichen. „Smart Carpet“ berechnet auf Grundlage von Detektorinformationen einen bis zwei Umläufe einer Lichtsignalanlage im Voraus und kann ankommenden Fahrzeugen für die errechneten Grünzeiten Geschwindigkeitsempfehlungen senden.



Abbildung 6: Tostmannplatz , Braunschweig; © Google Maps

Im gleichen Zeitraum wurden am Tostmannplatz im Projekt VITAL (Verkehrsabhängig Intelligente Steuerung von Lichtsignalanlagen)¹ zwei vom DLR entwickelte Steuerverfahren erfolgreich getestet. Die Funktionsschemata beider Verfahren sind in Abbildung dargestellt. Beide Verfahren beziehen Informationen aus V2X ein, bspw. kontinuierliche

¹ https://www.dlr.de/ts/desktopdefault.aspx/tabid-10704/20365_read-42579/

Fahrzeuginformationen durch CAMs im Gegensatz zu punktuellen Detektorinformationen. Das verlustzeitbasierte Verfahren misst die Verlustzeit ankommender Fahrzeuge und lässt alle Fahrzeuge passieren, die ihre Geschwindigkeit verringern bzw. anhalten mussten. Das kooperative Verfahren berechnet basierend auf den prognostizierten Fahrzeugankünften am Knotenpunkt eine optimale Phasenfolge und gibt Fahrzeugen ggf. Geschwindigkeitsempfehlungen, um Halte zu vermeiden.

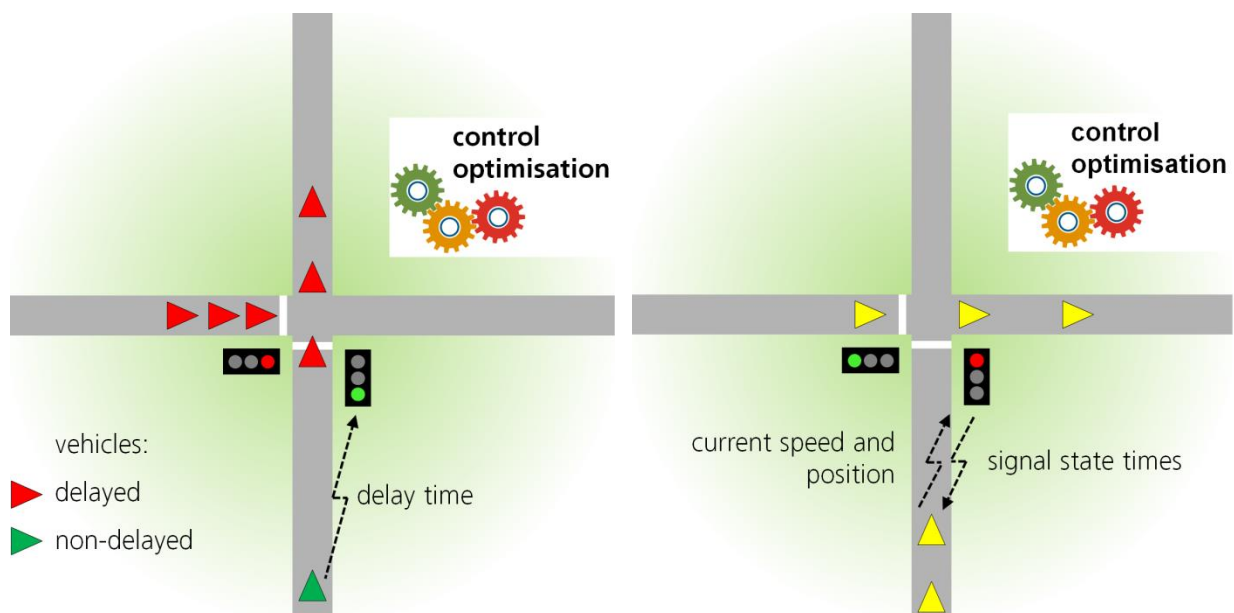


Abbildung 7: Verlustzeitbasiertes (links) und kooperatives (rechts) VITAL-Verfahren

Da aktuell keine vernetzten Fahrzeuge am Straßenverkehr teilnehmen, wurde der Tostmannplatz mit zusätzlicher Detektionstechnik in Form von Magnetfeldsensoren ausgestattet, um Fahrzeuge in den Zufahrten frühzeitig erfassen zu können. Für das kooperative Steuerverfahren wurde zudem ein Industrie-PC mit dem Steuergerät verknüpft, da die simulationsbasierte Optimierung nicht auf der Hardware des Steuergeräts abgebildet werden konnte.

Die zusätzliche Hardware am Tostmannplatz wurde im Laufe der Jahre 2018 und 2019 für weitere Feldversuche im Projekt MAVEN (Managing Automated Vehicles Enhances Network)² weiterverwendet. In MAVEN sollte an einer innerstädtischen Kreuzung Urban Platooning, also das Fahren automatisierter Fahrzeuge über eine Kreuzung im Verbund, demonstriert werden. Fahrzeugseitig wurden hierfür ein Versuchsfahrzeug des DLR sowie ein Fahrzeug der Firma Hyundai verwendet, die beide über V2X-Kommunikationseinrichtungen sowie Automatisierungsfunktionen verfügen. Aufseiten der Infrastruktur wurde erneut das kooperative VITAL-Verfahren verwendet, da es basierend auf den V2X-Informationen der Test-Fahrzeuge Geschwindigkeitsempfehlungen für eine haltlose Überfahrt bereitstellen konnte.

² <http://www.maven-its.eu/>

Des Weiteren wurde automatisiertes Fahren auf der AIM-Teststrecke im Projekt Digitaler Knoten 4.0 getestet und demonstriert. Dieses Projekt zielte auf die Entwicklung eines Gesamtsystems ab, das Mischverkehre (automatisierte / nicht-automatisierte Fahrzeuge, Fußgänger, Radfahrer) erfassen und in Echtzeit interpretieren kann. Basierend auf der Interpretation der Daten sollten automatisierten Fahrzeugen durch die Infrastruktur Informationen für eine kooperative Führung über Knotenpunkte zur Verfügung gestellt werden.

Hier finden sie eine Auflistung von größeren Projekten die unter der Nutzung der Referenzstrecke realisiert wurden oder geplant, bzw. laufend sind:

- MENDEL, Minimale Belastung elektrischer Netze durch Ladevorgänge von Elektrobussen
- TransAID, Transition Areas for Infrastructure-Assisted Driving
- OFP, Open Fusion Platform
- XCYCLE

Geplante/ laufende Projekte:

- SIRENE, Secure and Intelligent Road Emergency Network
- Testfeld Niedersachsen

7. Ausblick

In Zukunft sind weitere Erweiterungen und Änderungen an der Referenzstrecke geplant. Weiterhin ist geplant, dass neben der Siemens Sitrassic ESCoS und der Cohda Wireless MK5 CCU noch weitere CCUs projektspezifisch verbaut werden können. Der Wechsel der verschiedenen CCU soll per Fernzugriff erfolgen. Für die AU sind weiterhin eigenständige Hardware Lösungen sowie virtualisierte AUs auf Servern geplant. Darüber hinaus sind Erprobungen von nicht zeitkritischen Applikationen denkbar, die verteilt oder zentral im AIM Backend laufen und direkt mit der CCU kommunizieren.

Im Rahmen einiger Projekte wird an der Forschungskreuzung K47 (Hagenring/ Brucknerstraße) sowie K48 (Tostmannplatz) mit Kameras und anderen Sensoren gearbeitet. Prototypisch steht z.B. die CPM als Nachricht an der K47 zur Verfügung. In Vorbereitung auf das Projekt „Testfeld Niedersachsen“ wird zurzeit dort an emulierten CAMs gearbeitet. Die Kameras an der Kreuzung erkennen die Fahrzeuge, Fußgänger und Fahrradfahrer im Straßenverkehr und stellen die Objekte zur Generation von CAM Nachrichten bereit. Die RSU versendet die generierten CAM. Für V2X-Empfänger in der Nähe der RSU wird dadurch eine Penetrationsrate von nahezu 100% emuliert.

Ziel ist es derzeit für externe Anwender die Benutzung der Referenzstrecke Projektunabhängig nutzbar zu machen. Dazu werden die CAM, DENM, IVIM, MAPEM, SPATEM und an der K47 auch die CPM auf Nachfrage verfügbar sein oder aber dauerhaft in einem abgesprochenen Zeitraum versendet. Den Anwendern steht dann frei die Referenzstrecke zu nutzen. Andere Nachrichtentypen und spezielle Funktionalitäten sollen weiterhin über kooperative Forschungsprojekte realisiert werden.

Die derzeit verwendeten CCU bieten ausschließlich einer direkten Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern über ETSI-ITS-G5. Im Zusammenhang mit den Funktionalitäten des V2X-Frameworks unterschiedliche Protokolle zu unterstützen sind auch Übertragungen über den Zellularen Mobilfunk möglich. Dazu werden im ersten Schritt die V2X-Nachrichten von der RSU in das DLR-Backend übertragen. Von dort aus können mobilen Endgeräten die Nachrichten in unterschiedlichen Formaten über einen Websocket oder eine REST Schnittstelle abrufen. Dieser Ansatz ist in einem Projekt mit Fahrradfahrern zunächst prototypisch erfolgreich umgesetzt worden. Für zukünftige Projekte steht dieser Übertragungsweg auf Anfrage für die Nutzung bereit.

Alternativ zu der Technologie ETSI-ITS-G5 stehen die ersten CCUs zur Verfügung, die eine direkte Kommunikation über den 5G Standard³(C-V2X) ermöglichen. Es ist geplant einzelne Anlagen auf der AIM-Referenzstrecke zusätzlich zu den ITS-G5 Geräten mit C-V2X fähigen CCUs auszustatten. Die Ausstattung mit beiden Technologien soll Vergleichsmöglichkeiten in der Praxis ermöglichen.

³ Direkte Kommunikation über das PC5 Interface des 5G Standards. Häufig als C-V2X bezeichnet.

8. Literaturverzeichnis

Alexander Burmeister (2015): Entwicklung und Realisierung eines Messverfahrens zur Untersuchung und Bewertung der Dienstgüte-Eigenschaften eines C2X-Kommunikationssystems. Masterarbeit. Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg. Online verfügbar unter <https://elib.dlr.de/95725/>.

Frankiewicz, Tobias (2012): Application platform for Intelligent Mobility - Test site architecture and Vehicle2X communication setup. Unter Mitarbeit von Lars Schnieder. Hg. v. DLR.de. ITS World Congress. Wien. Online verfügbar unter <https://elib.dlr.de/80752/>.

Frankiewicz, Tobias (2014): Measurement and Evaluation of Communication parameters on a Vehicle-to-Infrastructure Communication Test Site. Unter Mitarbeit von Frank Köster. Hg. v. 2014 International Conference on Connected Vehicles & Expo. Wien. Online verfügbar unter <https://elib.dlr.de/91089/>.

Köster, Frank (2017): Testfeld für Autonomes und vernetztes Fahren in Niedersachsen. Unter Mitarbeit von Mathias Höhne. Hg. v. Berliner Agentur für Elektromobilität eMO. Smart Mobility Forum. Berlin. Online verfügbar unter <https://elib.dlr.de/116380/>.

Sascha Knacke-Langhorst (2016): Test site AIM – toolbox and enabler for applied research and development in traffic and mobility. Unter Mitarbeit von Kay Gimm. Hg. v. 6th Transport Research Arena. DLR.de. Warschau. Online verfügbar unter <https://elib.dlr.de/98595/>.

Tobias Frankiewicz (2017): AIM reference track - test site for V2X communication systems and cooperative ITS services. In: *Journal of large-scale research facilities*, 3, A106 (2017). Online verfügbar unter <https://elib.dlr.de/113561/>.