

# CONVERGE

## COmmunication Network VEhicle Road Global Extension

Vorschlag für einen Car2X-Systemverbund

### Schlussbericht

**01.08.2012 – 31.10.2015**

Version	3.1
Laufzeit des Vorhabens	01.08.2012 – 31.10.2015
Zuwendungsempfänger	BMW AG
Förderkennzeichen BMBF	16BV1205
Förderkennzeichen BMWi	19P12005D
Fälligkeitsdatum	30.04.2016
Erstellungsdatum	28.10.2015

Gefördert von



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Dieses Dokument wurde erstellt von der BMW AG.

Beiträge wurden verfasst von

Hyung-Taek Lim

David Gozavez-Serrano

Dennis Lenz

Roland Wilhelm

### **Projektkoordination**

Prof. Dr. Horst Wieker  
Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes  
Campus Alt-Saarbrücken  
Goebenstr. 40  
D-66117 Saarbrücken  
Germany

Telefon +49 681 5867 195  
Fax +49 681 5867 122  
E-mail [wieker@htw-saarland.de](mailto:wieker@htw-saarland.de)

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlage, Verwertung und Mitteilung ihres Inhalts ist nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden.

© 21.10.2015, BMW AG

## Versionsübersicht

Version	Datum	Beschreibung
0.0	17.09.2015	Dokumentenvorlage htw saar
2.1	21.10.2015	Erstellung Inhalte BMW
2.2	10.11.2015	1. Entwurf
2.3	18.11.2015	Zusammenfügen der einzelnen Kapiteln
3.1	23.11.2015	Korrekturen David, Taek
3.2	18.12.2015	Referenzen im Dokument aktualisiert

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>MOTIVATION UND ZIELSETZUNG .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1</b>	<b>Aufgabenstellung .....</b>	<b>3</b>
1.1.1	Ausgangslage	3
1.1.2	Allgemeine Ziele	4
1.1.3	Aufgaben	4
<b>1.2</b>	<b>Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3</b>	<b>Wissenschaftlicher und technischer Stand.....</b>	<b>6</b>
1.3.1	Ausgangslage vor Projektbeginn	6
1.3.1.1	Informations- und Assistenzsysteme in Fahrzeugen	6
1.3.1.2	Verkehrsinformationen	8
1.3.1.3	Kommunikationstechnologien	11
1.3.1.4	Gesamtarchitektur	14
1.3.2	Frühere Projekte	16
<b>1.4</b>	<b>Zusammenarbeit mit anderen Stellen .....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>PLANUNG UND ABLAUF DES VORHABENS .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1</b>	<b>Projektstruktur.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2</b>	<b>Zeitplan und Ablauf .....</b>	<b>22</b>
2.2.1	Zeitplan	22
2.2.2	Ablauf	23
<b>3</b>	<b>ERZIELTE ERGEBNISSE BMW AG .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1</b>	<b>AP0 – Projektmanagement und Organisation (BMBF/BMWi).....</b>	<b>25</b>
<b>3.2</b>	<b>AP0.4 – Querschnittsfunktion IT-Security (BMBF) .....</b>	<b>25</b>
<b>3.3</b>	<b>AP1 – Konzeption eines Car2X-Systemverbundes – Rollenmodelle und Anforderungen (BMBF).....</b>	<b>25</b>
<b>3.4</b>	<b>AP2 – Architektur und Schnittstellen eines Car2X-Systemverbundes (BMBF)..</b>	<b>30</b>
<b>3.5</b>	<b>AP3 – Verkehrszentralen und ITS-Dienstleister (BMW) .....</b>	<b>35</b>
<b>3.6</b>	<b>AP4 – Mobilfunk-Kommunikation (BMBF) .....</b>	<b>39</b>
<b>3.7</b>	<b>AP5 – IRS-Kommunikation und IRS-Netze (BMBF).....</b>	<b>44</b>
<b>3.8</b>	<b>AP6 – Mobiler Knoten (BMW).....</b>	<b>52</b>
<b>3.9</b>	<b>AP7 – Integration, Verifizierung und Demonstration (BMW).....</b>	<b>57</b>

<b>3.10</b>	<b>AP8 – Abschließende Bewertung (BMBF/BMWi) .....</b>	<b>58</b>
<b>4</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK .....</b>	<b>65</b>
<b>5</b>	<b>NUTZEN UND VERWERTBARKEIT DER ERGEBNISSE .....</b>	<b>66</b>
<b>6</b>	<b>FORTSCHRITT AUF DEM GEBIET DES VORHABENS.....</b>	<b>67</b>
<b>7</b>	<b>BERICHTE UND VERÖFFENTLICHUNGEN .....</b>	<b>68</b>

## 1 MOTIVATION UND ZIELSETZUNG

### 1.1 Aufgabenstellung

#### 1.1.1 Ausgangslage

Im Bereich der Verkehrsmanagement-, Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssysteme wurden in den vergangenen Jahren bemerkenswerte Fortschritte erzielt. Forschungsprojekte wie AKTIV und sim<sup>TD</sup> haben Grundlagen gelegt und dabei u.a. die Fahrzeug-zu-Infrastruktur- und Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation, einschließlich innovativer Anwendungen, beleuchtet. Einer der Schwerpunkte bisheriger Projekte war die WLAN-Technologie gemäß IEEE 802.11p bzw. ETSI ITS-G5, ein Anderer die Nutzung von Mobilfunk für kooperative Fahrzeuganwendungen.

Auch im Bereich der kommerziellen und öffentlichen Informationssysteme hat es Fortschritte gegeben. Neben den weit verbreiteten und allgemein zugänglichen Systemen der öffentlichen Hand (z.B. Wechselwegweiser, RDS TMC) werden kommerzielle Mobilitätsdienste angeboten oder sind in Planung (z.B. von Fahrzeugherstellern oder Herstellern von mobilen Endgeräten). Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl branchenspezifischer Dienste, etwa im Logistikbereich oder dem öffentlichen Personenverkehr. All dies hat jedoch zu parallel existierenden Systemen geführt, die in ihrer Vielfalt die theoretisch möglichen Synergien kaum nutzen können. Gleichzeitig sind sie nur bedingt interoperabel und aufgrund mangelnder Flexibilität im funktionalen und operativen Ansatz zumeist nur unter hohem Kostenaufwand an neue Anforderungen anzupassen, wie sie z.B. aus künftigen Fahrerassistenzsystemen zum verbrauchsoptimierten und unfallvermeidenden Fahren erwachsen. Das Problem der Kopplung entsprechender Einzelsysteme ist auch international noch ungelöst. Entsprechender Handlungsbedarf wurde kürzlich von den Standardisierungsorganisationen ISO, CEN und ETSI gemeinsam identifiziert.

Zusammen betrachtet gibt es also einerseits Projekte, die hervorragende Grundlagenarbeit in den jeweiligen Bereichen geleistet haben, aber aufgrund ihrer Aufgabenstellung nur begrenzt an systemübergreifenden Aspekten arbeiten konnten. Auf der anderen Seite beobachten wir proprietäre, vertikal integrierte kommerzielle Lösungen, die mögliche Synergieeffekte nicht optimal nutzen und dadurch kaum ökonomisch skalierbar sind. Die bis dato auf den Markt gekommenen Systeme haben nicht zu einem konsistenten, konsensgetriebenen Ansatz geführt. Letztlich droht eine Monopolisierung proprietärer Segmentlösungen, wichtige sozioökonomische Zielsetzungen bleiben auf der Strecke.

Ziel des Projektes CONVERGE war es, diese Situation grundlegend zu ändern und einen Vorschlag für einen Car2X-Systemverbund zu machen. Bezogen auf die globale Zielsetzung, einen effizienten, sicheren und umweltfreundlichen Verkehrsfluss zu erreichen, soll aufbauend auf den Erkenntnissen aus AKTIV-VM, sim<sup>TD</sup>, CoCar(X) sowie weiteren europäischen Projekten eine vollständig neue Kommunikations-, Dienste- und Organisationsarchitektur entwickelt werden.

### **1.1.2 Allgemeine Ziele**

Zukunftsweisende Verkehrsmanagementansätze und Fahrzeugsicherheitsaspekte wachsen immer mehr zusammen und zu ihrer Realisierung wird ein hybrider, komplementärer Einsatz unterschiedlicher Kommunikationstechnologien zwischen Fahrzeugen und Infrastruktursystemen immer wichtiger. Innovative Assistenzsysteme, die auf prädiktiven Streckendaten aufbauen, bedürfen direkter und aktueller Informationen.

Das Ziel des Vorhabens CONVERGE war es, eine gesamtheitliche Systemarchitektur zur flexiblen Interaktion zwischen unterschiedlichsten Dienst Anbietern und Kommunikationsnetzbetreibern (Mobilfunk und IRS-Netze auf Basis ETSI ITS-G5) in einer dezentralen, skalierbaren Struktur zu entwickeln, die eine dezentrale Erfassungs-, Verarbeitungs- und Bereitstellungsstruktur für den transparenten Datenaustausch zwischen fahrzeug- und zentralenseitigen ITS-Dienst Anbietern und -nutzern ermöglicht und damit die Basis für neue Verkehrssteuerungen, Mobilitätsdienste und -funktionen bildet. Sie sollte damit die Voraussetzung für eine Erhöhung der Effektivität und Sicherheit im Verkehr schaffen. Das Architekturkonzept soll Erweiterungsmöglichkeiten für die übrigen Länder der EU beinhalten.

Die Systemarchitektur sollte die Ergänzung neuer Dienste und Quellen ermöglichen und einfachste Prozesse zum Austausch von aktuellen Daten für Mobilitätsdienste und für Verkehrssteuerung bieten. Dabei sollte der Aufwand an Integrations- und Prozessanpassungen minimiert werden.

Im Projekt sollte eine unterstützende Ende-zu-Ende Sicherheitsarchitektur, samt entsprechenden Sicherheitssystemdiensten und Autorisierungsmethoden erarbeitet, analysiert, bewertet und prototypisch realisiert werden.

### **1.1.3 Aufgaben**

Basierend auf den allgemeinen Zielen wurden folgende Aufgabenstellungen für das Projekt CONVERGE aufgestellt:

- Entwicklung einer verteilten Kommunikationsarchitektur
- Integration hybrider Kommunikationstechnologien
- Entwicklung eines umfassenden Sicherheitskonzeptes
- Prototypische Implementierung
- Evaluation und Verifikation von Prototyp und Architektur
- Identifizierung technischer und sozioökonomischer Rollen zur Untersuchung der ökonomischen Machbarkeit und
- Umsetzung eines „betreiberlosen“ Betriebsmodells

## **1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde**

Neben der eigentlichen Projektidee war die Zusammensetzung des Konsortiums die entscheidende Voraussetzung für die Durchführung des Projektes.

Die Auswahl der Partner musste die verschiedenen Stakeholder einer neuartigen Kommunikationsarchitektur im Bereich intelligenter Verkehrssysteme berücksichtigen. Dies sind die klassischen Hersteller und Zulieferer der Automobilindustrie als Vertreter der mobilen Teilnehmer zusammen mit den Mobilfunkanbietern und -zulieferern. Letztere sind auch für die Kommunikation über Mobilfunk notwendig. Für die hybride Kommunikation mussten Partner mit entsprechender Expertise in ETSI ITS-G5 für sowohl Fahrzeug- als auch Infrastrukturkommunikation eingebunden werden. Wichtig war auch die Infrastrukturseite mit ihren kooperativen Verkehrszentralen. Auch der Bereich der Standardisierung und natürlich die IT-Sicherheit sollten vertreten sein. Die Zusammensetzung der beteiligten Stakeholder sollte sowohl Industrieunternehmen als auch Forschungseinrichtungen und Hochschulen und Vertreter der öffentlichen Hand beinhalten.

Aus diesen Anforderungen fanden sich auf Basis eines Konsortialvertrages folgende Partner zusammen:

Adam Opel AG, BMW Forschung und Technik GmbH, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Ericsson GmbH, Fraunhofer Institut AISEC, Fraunhofer Institut FOKUS, Hessen Mobil Straßen- und Verkehrsmanagement, Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes – htw saar (Konsortialführer), PTV Planung Transport Verkehr AG, Robert Bosch GmbH, Vodafone GmbH, Volkswagen AG. Zusätzlich waren als assoziierte Partner die Bundesnetzagentur und das Straßenverkehrsamt der Stadt Frankfurt am Main mit im Projekt.



### **1.3 Wissenschaftlicher und technischer Stand**

In diesem Kapitel wird der wissenschaftliche und technische Stand vor Projektbeginn kurz beleuchtet. Des Weiteren werden ausgewählte Projekte aufgeführt, auf deren Ergebnissen CONVERGE aufbauen konnte.

#### **1.3.1 Ausgangslage vor Projektbeginn**

Gegenstand des Projektes CONVERGE war eine gesamtheitliche Systemarchitektur für den Informationsaustausch zwischen Anbietern und Kunden von ITS-Diensten und -daten unter Einbindung mobiler Knoten mittels hybrider Kommunikation (Mobilfunk und IRS auf Basis ETSI ITS-G5). Für die mobilen Knoten sollte dabei eine hinsichtlich der verfügbaren Kommunikationsnetze transparente Anbindung an die dienstanbieterseitige Infrastruktur möglich sein.

Entsprechend der Komplexität der Aufgabenstellung waren beim Stand der Technik verschiedene Themen zu betrachten und bezüglich der Notwendigkeit einer Weiterentwicklung im Sinne der Aufgabenstellung zu bewerten.

##### **1.3.1.1 Informations- und Assistenzsysteme in Fahrzeugen**

Verkehrsinformationen sind über das Internet von öffentlichen und privaten Internetdiensten, Automobilclubs und regionalen Plattformen (Verkehrsverwaltungen der Regionen) verfügbar. Für den Fahrer schließt es sich bei der Erfüllung seiner Fahraufgabe aber aus, Verkehrsinformationen im Internet zu suchen. Daher ist zwischen Informationen zu unterscheiden, die dem Fahrer im Fahrzeug während der Fahrt verfügbar gemacht werden und Informationen, die vor Fahrtbeginn (oder von einem Mitfahrer) gesammelt und ausgewertet werden können.

Eine wichtige Rolle spielen die über Rundfunk ausgestrahlten Verkehrsinformationen und Verkehrswarmmeldungen. Zu deren Empfang ist ein Rundfunkgerät nötig, welches in den meisten Fahrzeugen vorhanden ist.

Als weitere Informationsquelle können Navigationsgeräte genannt werden. Hier kann zwischen im Fahrzeug fest verbauten Geräten und Mobilgeräten sowie zwischen Onboard- und Offboard-Navigation unterschieden werden. Moderne Navigationsgeräte können Verkehrsinformationen des Traffic Message Channel (TMC) auswerten und bei der dynamischen Routenberechnung berücksichtigen. Die TMC-Informationen sind allerdings in ihrer Vollständigkeit (Beschränkung auf Hauptstraßennetz) und in der Detaillierung (nur Angabe von Streckenabschnitten und Fahrtrichtungen) begrenzt. Zusätzlich gibt es von der Erfassung eines Verkehrseignisses bis zur Bereitstellung der Information Verzögerungen. Defizite existieren bei der Datenerfassung, in der Verarbeitungskette und in der zeitnahen Zustellung in die relevanten Regionen. Die Erfahrung zeigt, dass dadurch die Aktualität der TMC-Informationen in vielen Fällen nicht ausreicht.

Bei hochwertigen Navigationsgeräten kann die Onboard-Navigation durch Online-Informationen ergänzt werden (z.B. Connected Drive (BMW), Google Navigation (Audi, VW)). Besonders auf dem nordamerikanischen Markt werden weitere ITS-Dienste für Anwendungen aus dem Bereich Safety-and-Security angeboten, wie z.B. das Finden des Fahrzeugs, Nachverfolgen seines Weges, Warnmeldung per SMS bei Verlassen eines definierten Bereiches durch das (von einem anderen Fahrer gelenkte) Fahrzeug und Ferntriegelung (z.B. Onstar, ATX, Hughes Telematics).

Im gewerblichen Bereich werden Verkehrsinformationen, teilweise auf spezielle Anforderungen zugeschnitten (z.B. für LKW), auch von Flottenmanagementdiensten geliefert.

Zukünftige Fahrzeugfunktionen, wie sie z.B. in den nationalen Forschungsprojekten AKTIV, sim<sup>TD</sup> und KOLINE untersucht wurden, unterstützen den Fahrer bei der Fahraufgabe und mit auf den Kontext zugeschnittenen Verkehrs- und Straßendaten sowie durch andere Mobilitätsinformationen.

Von zukünftigen Fahrerinformationssystemen könnten z.B. zum Thema „Straßenvorausschau“ folgende Informationen angezeigt werden: Aktuelle Höchstgeschwindigkeit, Spursperrung, Breite bei Fahrbahnverengung, Fahrbahnführung im Baustellenbereich, statische und wandernde Tagesbaustellen, Ursache für Stau, geschätzte Durchfahrzeit durch Staubereich, Straßenwetter.

Mobilitätsrelevante Zusatzinformationen könnten beispielsweise sein: Points-of-Interest (POI), Ladestationen für Elektrofahrzeuge, freie Parkplätze, Parkkosten, Parkhaus-Zusatzinformation (z.B. geringe Einfahrtshöhe, keine Gasfahrzeuge, keine Ladestation für Elektrofahrzeuge), Entfernung vom Parkplatz zum tatsächlichen Ziel.

Zukünftige Assistenzsysteme zur strategischen Routenoptimierung ermitteln eine optimierte Route nach einstellbaren Kriterien, z.B. für Hybrid-Fahrzeuge, bzgl. Emission, Kosten und Zeit. Es können auch Aspekte wie multimodaler Verkehr und Mitfahrbörsen berücksichtigt werden.

Ein großes Potenzial zur Verbesserung der Verkehrseffizienz und der Verkehrssicherheit wird bei Assistenzsystemen zur taktischen Fahrtoptimierung gesehen. Hier werden zur Unterstützung eines vorausschauenden Fahrens Geschwindigkeits- und Beschleunigungsempfehlungen aufgrund der aktuellen Verkehrslage und Verkehrsregelung gegeben. Dadurch sinkt der Energieverbrauch und die Verkehrssicherheit steigt aufgrund situationsangepasster Geschwindigkeiten. Die Wirkung wird noch weiter gesteigert, wenn

diese Informationen in Systemen zur automatisierten Längsregelung Verwendung finden und z.B. die Sensorsignale eines ACC-Systems ergänzen.

Weiterhin werden in einer Reihe von Forschungsprojekten Funktionen untersucht, die auf einer Kommunikation der Fahrzeuge mit der Verkehrsinfrastruktur beruhen. Beispielsweise wird durch die Kommunikation mit ITS-Road-Side-Stations (IRS) an Lichtsignalanlagen (LSA) fahrzeugseitig ein Ampelphasenassistent realisiert, der dem Fahrer Informationen über die Schaltphasen liefert und entsprechende Fahrempfehlungen gibt. Infrastrukturseitig ist auf Basis der Kommunikation der Fahrzeuge mit der LSA-IRS die lokale Verkehrslage in der Umgebung der LSA ermittelbar und eine optimierte LSA-Steuerung realisierbar (z.B. in KOLINE).

Die genannten zukünftigen Informations- und Assistenzsysteme erfordern eine entsprechend aktuelle und exakte Basis an Verkehrs- und Straßeninformationen bzw. Straßenzustandsinformationen.

#### **1.3.1.2 Verkehrsinformationen**

Die Straßenbetreiber unterhalten in Deutschland auf den Autobahnen intelligente Verkehrssysteme für die Maßnahmen Netzbeeinflussung, Knotenbeeinflussung, Streckenbeeinflussung, temporäre Seitenstreifenfreigabe und Verkehrsinformationsdienste. Mithilfe stationärer Sensorik werden Verkehrsdaten sowie Sichtweite, Niederschlag, Fahrbahnnässe und Fahrbahntemperatur ermittelt. Diese Daten werden an Unterzentralen (UZ) an den Autobahnen übergeben und dort automatisch bewertet. Die Unterzentralen steuern die Anzeigen der Streckenbeeinflussungsanlagen und werden ihrerseits durch Verkehrsrechenzentralen (VRZ) überwacht, von wo auch in Sonderfällen eine manuelle Schaltung von Wechselverkehrszeichen (WVZ) erfolgen kann. Die Architektur der Verkehrsinformationsdienste in Deutschland zeigt Abbildung 1.

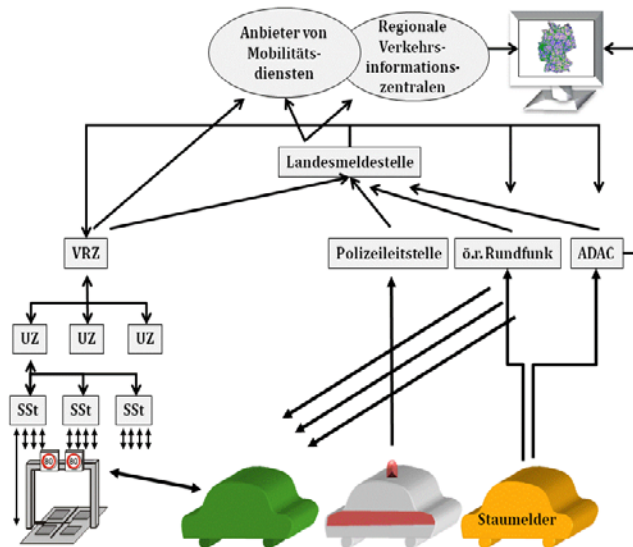


Abbildung 1: Architektur der Verkehrsinformationsdienste in Deutschland

Die Verkehrsrechenzentralen tauschen Informationen mit den Landesmeldestellen aus. Dort gehen auch Informationen von Meldekettens der Polizei und von Staumeldern ein. Von den VRZ und von den Landesmeldestellen können auch Anbieter von Mobilitätsdiensten Informationen erhalten.

Auf Autobahnen sind von den fest eingerichteten Baustellen aus dem Genehmigungsprozess Ort, Dauer und Geometrie bekannt. Wandernde Tagesbaustellen melden hingegen nur teilweise Informationen über ihren Ort per Mobilfunk an die zuständige Verkehrsrechenzentrale.

Im nichturbanen Raum sind die Verantwortung und die Kompetenzen aufgrund der föderalen Struktur auf die Bundesländer, die Landkreise sowie die Städte und Kommunen verteilt. Dies führt zu nicht optimalen Abstimmungen und nicht optimalen Informationsflüssen. Daher ist häufig die resultierende verkehrliche Wirkung einer Baumaßnahme schwer vorherbestimmbar.

Im urbanen Raum werden Baustellen durch die Tiefbauämter eingerichtet. Teilweise erfolgt eine Information darüber an die Verkehrsbehörden. Im Allgemeinen existiert aber kein Automatismus für die Informierung über eingerichtete Baustellen und deren Aktualisierung. Auch wird die Art der Verkehrsstörung durch die Baustelle typischerweise nicht mitgeteilt, wie Spersperrung, Spurverengung oder Baumaßnahme auf Gehwegen. Entsprechend erfolgt keine oder nur in seltenen Fällen eine Abschätzung der von der Störung ausgehenden verkehrlichen Wirkung.

Es liegen auch keine Informationen über wandernde Störungen und deren verkehrliche Wirkung vor, wie z.B. Störung verursacht durch Fahrzeuge der Müllabfuhr oder Kehrmaschinen. Ebenso fehlen beispielsweise auch Informationen über die Störungen, die durch das Halten von Lieferservice-Fahrzeugen mit Sondergenehmigung in Zonen mit Halteverbot verursacht werden.

Neben der Verkehrslageerhebung der öffentlichen Hand wird in Deutschland die Verkehrslage auch privatwirtschaftlich erhoben. Dies verbessert die Datenlage insbesondere von Straßen der zweiten und dritten Kategorie (Bundesstraßen, Landstraßen, Kreisstraßen, innerstädtische Straßen), wo keine Infrastruktur zur Erfassung der Verkehrslage vorhanden ist. Hierzu betrachtet man z.B. die Bewegung von Mobilfunkgeräten in Mobilfunknetzen (z.B. Vodafone). Die so gewonnenen Informationen besitzen aber nur eine eingeschränkte Informationstiefe und sind in der Regel öffentlich kaum zugänglich.

Weiterhin werden die Technologien Floating Car Data (FCD) bei Fahrzeugen und Floating Probe Data (FPD) bei Mobilgeräten eingesetzt. Hier werden per Mobilfunk GPS-basierte Ortskoordinaten und Zeitstempel an den Server eines ITS-Dienstanbieters gesendet (z.B. MILE Traffic and Travel, T-Systems, TomTom). Daneben wird auch privatwirtschaftliche Sensorinfrastruktur auf Autobahnen genutzt (DDG).

Eine Weiterentwicklung von FCD stellt Extended Floating Car Data (XFCD) dar, bei dem zusätzlich Informationen der Fahrzeugsensorik verwendet werden. Dies können beispielsweise mithilfe der Raddrehzahlsensoren ermittelte Reibwerte der Straße sein, womit Aussagen über Straßenglätte möglich sind. Als ein anderes Beispiel können Informationen der Verkehrszeichenerkennung genannt werden. Damit lassen sich z.B. Abweichungen von der im Fahrzeug vorhandenen digitalen Karte feststellen und dem Server eines ITS-Dienstanbieters mitteilen.

Aufgrund der unterschiedlichen Informationstiefen (globale oder lokale Informationen) und der teilweise räumlich unvollständigen Informationserfassung, weichen die Verkehrslagen der öffentlichen Hand und der unterschiedlichen privaten Anbieter voneinander und der erfahrbaren Realität ab.

Bei den über das Internet verfügbaren Verkehrsinformationen von öffentlichen und privaten Internetdiensten und regionalen Plattformen der Verkehrsverwaltungen der Regionen existiert in Deutschland keine zusammenhängende Darstellung der Verkehrslage. Sie ist nur in Teilen und auf verschiedenen Internetseiten und Portalen verfügbar und dabei uneinheitlich dargestellt.

Einen Ansatz zur Erleichterung der Abgabe und des Bezugs von verkehrsrelevanten Daten sowie eine Vereinfachung der Geschäftsprozesse aller Beteiligten stellt der Mobilitätsdatenmarktplatz (MDM) dar. Er richtet sich nicht an die Verkehrsteilnehmer sondern ausschließlich an den Bereich Business-to-Business. Es sollen neue Möglichkeiten des Verkehrsmanagements für die öffentlichen Straßenbauverwaltungen durch den vereinfachten Datenaustausch mit Dritten geschaffen werden. Privaten Anbietern soll die Schaffung neuer Dienste erleichtert werden.

Zurzeit wird ein zentrales Portal mit strukturierten Informationen über verfügbare Verkehrsdaten einzelner Organisationen und existierender (Teil-)Plattformen erstellt. Dieses bietet Funktionen zum Anbieten, Suchen und Abonnieren von verkehrsrelevanten Daten. Die Abwicklung des Datenaustauschs zwischen den Partnern findet über standardisierte Schnittstellen und Kommunikationsprotokolle statt. Eine Vereinfachung der Geschäftsprozesse für alle Beteiligten, insbesondere auch eine Verringerung des technischen und organisatorischen Aufwandes der Datengeber und Datennehmer soll eine verbesserte Erschließung der Potentiale vorhandener Datenquellen ermöglichen.

Dateninhalte können sein: Messwerte aus Verkehrs- und Umfeld-Detektoren und daraus abgeleitete Daten (z.B. Verkehrslage, Reisezeiten), Verkehrsmanagementmaßnahmen (z.B. Alternativrouten-Empfehlungen, Strategien, Schaltzustände von Wechselverkehrszeichen), Parkrauminformationen, Baustellendaten, Gefahren- und Ereignismeldungen (z.B. Stau, Unfall, Sperrung), weitere Daten (z.B. Wetterdaten, Prognosen).

### **1.3.1.3 Kommunikationstechnologien**

Bei zukünftigen Systemen zum Verkehrsmanagement und bei zukünftigen Fahrerinformations- und Fahrerassistenzsystemen müssen Daten und Informationen zwischen den Fahrzeugen, zwischen Fahrzeugen und der Verkehrsinfrastruktur, zwischen Fahrzeugen und zentralseitigen Systemen sowie zwischen zentralseitigen Systemen von Verkehrszentralen, ITS-Diensteanbietern, Netzbetreibern und Content-Providern ausgetauscht werden. Hierzu sind verschiedene Kommunikationstechnologien erforderlich.

Die Kommunikation zwischen den zentralseitigen Systemen erfolgt mit etablierten Technologien unter Verwendung der Kommunikationsträger Glasfaser und Kabel, der Kommunikationsprotokolle TCP/IP, HTTP, FTP und dem Datenprotokoll DATEX II. Für die Kommunikation mit den Fahrzeugen müssen Funktechnologien eingesetzt und kompatible und effiziente Kommunikationsprotokolle definiert werden.

Die verschiedenen Fahrerinformations und -assistenzfunktionen sowie verkehrliche Anwendungen haben unterschiedliche Anforderungen an die Funktechnologie bezüglich Latenz und räumlicher Abdeckung sowie der Bandbreite. Je nach Anwendungsfall ist Mobilfunk und/oder WLAN-basierte Kommunikation (ETSI ITS-G5) einzusetzen.

Die am weitesten verbreitete Broadcast-Technologie ist der analoge UKW-Rundfunk, der z.B. zur Aussendung von Daten im Traffic Message Channel (TMC) genutzt wird. Ein digitaler Broadcast ist über DAB (Digital Audio Broadcast) oder DVB-T/H (Digital Video Broadcast Terrestrial bzw. Handhelds) möglich. Über diese Systeme werden die Daten typischerweise im TPEG (Transport Protocol Expert Group) Format übertragen. Beide Verfahren sind unidirektional, d.h. ein Rückkanal vom Fahrzeug zur Infrastruktur steht nicht zur Verfügung.

Zur bidirektionalen Kommunikation mit der Infrastruktur werden GPRS (General Packet Radio System) mit der Ausbaustufe EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) und UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) mit den Ausbaustufen HSDPA/HSUPA (High Speed Downlink/Uplink Packet Access) genutzt. Die Ausbaustufen EDGE, HSDPA und HSUPA ermöglichen durch den Einsatz verbesserter Kodierungsverfahren einen deutlich gesteigerten Datendurchsatz. Für UMTS konnte der Datendurchsatz z.B. von 384 Kbit/s nach Einführung von HSDPA zunächst auf 14,4 Mbit/s gesteigert werden. Mittels Anwendung von Features wie MIMO und Dual Carrier Techniken können bis zu 84,4 Mbit/s erreicht werden. Weitere Optimierungen wurden im Bereich der Latenzzeiten und der Eignung für Datenanwendungen vorgenommen. Alle genannten Technologien sind immer noch kommerziell verfügbar.

Darüber hinaus befanden sich die Netze auf Basis der so genannten Long Term Evolution (LTE) Technologie im Aufbau. Mit LTE wurde zum ersten Mal ein ausschließlich auf Datenübertragung mittels Internet Protocol (IP) ausgelegtes Mobilfunk-Netzwerk entwickelt, in dem z.B. auch Telefonie mit einem Voice-over-IP (VoIP) Dienst abgebildet wird. Neben einer weiteren Steigerung der maximalen Datenraten wurde in LTE die Latenz weiter deutlich optimiert. Auch die Zeitspanne, die zum Aufbau einer Datenverbindung benötigt wird, konnte auf unter 100 ms gesenkt werden.

LTE ist im Gegensatz zu Vorgängersystemen sehr flexibel in verschiedensten Frequenzbändern einsetzbar und wird es daher ermöglichen, die Frequenzbänder der so genannten digitalen Dividende optimal zu nutzen. Dieser Frequenzbereich (in Deutschland z.B. bei 800 MHz) ist aufgrund der besonders günstigen Funkausbreitungseigenschaften in Kombination mit weiteren verfügbaren Frequenzen ausgezeichnet für eine flächendeckende Breitbandversorgung geeignet. Darüber hinaus hat die Bundesnetzagentur (BNetzA) den Ausbau der Flächendeckung mit LTE eng an die Vergabe der Lizenzen gekoppelt. Im Verbund mit den HSPA-Netzen ist daher in den nächsten

Jahren mit einer annähernd flächendeckenden Versorgung mit mobilen Breitbandzugängen zu rechnen.

Als Ergänzung zu den unidirektionalen Broadcast-Technologien wie DAB und DVB bieten Mobilfunknetze auch die Möglichkeit, Daten effizient an größere Nutzergruppen zu übertragen. Hierzu wurde der Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS) entwickelt. Ein wesentlicher Aspekt bei der Entwicklung von MBMS war die Optimierung des Datentransports bei gleichzeitiger Übertragung multimedialer Datenströme an mehrere Nutzer. Während klassische Broadcast-Anwendungen (wie Rundfunk und Fernsehen) eine großflächige Informationsverteilung in eine Richtung (vom Sender zum Empfänger) ermöglichen, bietet MBMS die Möglichkeit, in einem Kommunikationsnetz nur eine bestimmte Gruppe ("Multicast", nur 3G) oder auch alle angeschlossenen Nutzer ("Broadcast") anzusprechen.

MBMS wurde bereits vor geraumer Zeit durch 3GPP standardisiert. Ausrüster können auch bereits entsprechende Produkte anbieten. MBMS ist jedoch aufgrund der zurzeit noch geringen Nachfrage am Markt wenig verbreitet.

Innerhalb der Forschungsinitiative AKTIV hat das Teilprojekt Cooperative Cars (CoCar) zeigen können, dass auch zellulare Mobilfunksysteme am Beispiel von UMTS gewisse kooperative Fahrzeuganwendungen ermöglichen können. Dabei hat sich herausgestellt, dass zellulärer Mobilfunk im Anwendungsbereich der Gefahrenwarnungen einsetzbar ist. Die in CoCar vorgestellte Lösung fügt sich dabei komplementär in Ad-hoc-Fahrzeugkommunikationslösungen basierend auf ETSI ITS-G5 ein und forciert die Markteinführung solcher kooperativen Dienste, die sich die Vorteile beider Technologien zu Nutze machen.

Das Nachfolgeprojekt CoCarX bewertete die Eignung der LTE-Netze für Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation. Es konnte eine im Vergleich zu UMTS signifikante Verbesserung der Netzperformanz, insbesondere der für die Realisierung von zeitkritischen Anwendungen relevanten Latenzzeiten nachgewiesen und prototypisch demonstriert werden. Zusätzlich wurde eine Lösung zur Bereitstellung mobilfunkspezifischer Funktionen wie der Priorisierung bestimmter Nachrichten oder getrennten Abrechnungsmöglichkeiten verschiedener Dienstklassen erarbeitet.

Standard-WLAN (IEEE 802.11 a/b/g/n/ac/...) wurde für den stationären Betrieb entwickelt. Diese Protokolle sind zu langsam, um Fahrzeugen eine schnelle und spontane Kommunikation zu ermöglichen. Der Frequenzbereich von 2,4 GHz (IEEE 802.11b/g) sowie 5,2 GHz bis 5,8 GHz (IEEE 802.11a) wird von verschiedenen Arten von Geräten verwendet, so dass sicherheitskritische Übertragungen häufig durch diese anderen Geräte blockiert werden würden. Mit IEEE 802.11p erfolgte eine Anpassung des IEEE 802.11-Standards auf



mobile Umgebungen, zugeschnitten auf die in den USA verfügbaren Frequenzen. ETSI ITS-G5 ist die Anpassung von IEEE 802.11p auf die europäischen Frequenzen.

Für die Fahrzeug-Fahrzeug- bzw. Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation wurde 2008 ein EU-weites Frequenzband im Bereich 5,9 GHz (30 MHz Band breite, 5875 MHz - 5905 MHz) allokiert. Diese Frequenzen dürfen nur für Anwendungen aus dem Bereich der Verkehrssicherheit und der Verkehrseffizienz verwendet werden. Seitens der EU wurde 2009 das Standardisierungsmandat „Mandate M/453: Co-operative systems for Intelligent Transport in the field of information and communication technologies“ erteilt, das eine Standardisierung bis Ende 2012 vorgibt.

2002 wurde durch europäische Automobilhersteller das Car2Car Communication Consortium (C2C-CC) gegründet. Damalige Partner waren Audi, BMW, Daimler, Volkswagen, CRF, Renault, Opel, Honda, Bosch, Continental, Delphi, NEC, Hitachi, Denso, DLR, IMST, IHP, Fraunhofer und andere. Das Ziel ist es, die Technologie der Fahrzeug-Fahrzeug- bzw. Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation auf Basis von ETSI ITS-G5 voranzutreiben und in den Markt einzuführen, um durch kooperative Systeme die Verkehrssicherheit und Verkehrseffizienz zu erhöhen. Das C2C-CC unterstützt die Standardisierungsarbeiten des ETSI TC ITS.

Die Erforschung und Entwicklung der Fahrzeug-Fahrzeug- bzw. Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation ist Gegenstand einer Reihe von nationalen Projekten, wie z.B. sim<sup>TD</sup> sowie EU-Projekten wie PreDRIVE C2X und DRIVE.

#### **1.3.1.4 Gesamtarchitektur**

Eine gesamtheitliche Systemarchitektur für den Informationsaustausch zwischen Anbietern und Kunden von ITS-Diensten und -Daten unter Einbindung mobiler Knoten mittels hybrider Kommunikation (Mobilfunk und IRS auf Basis von ETSI ITS-G5) war nicht verfügbar. Es existierten lediglich Architekturen für Teilaspekte, wie die im Stand der Technik beschriebene Architektur der Verkehrsinformationsdienste in Deutschland. Daneben gab es einzelne spezifische Architekturen, die auf spezielle Anwendungen und Kundengruppen-Telematiklösungen zugeschnitten sind (z.B. Connected Drive von BMW, HD-Traffic von TomTom).

Für mobile Knoten existierte keine Systemarchitektur für einen transparenten Zugang zu heterogenen Kommunikationsnetzen, bestehend aus parallelen Mobilfunknetzen mehrerer Betreiber und IRS-Netzen. Eine gleichzeitige komplementäre Nutzung mehrerer Kommunikationstechnologien war nicht erforscht.

Die Arbeiten bei CEN/ISO und ETSI TC ITS bezogen sich auf ein Rahmenwerk für eine ITS-Architektur. Dieses definierte im Wesentlichen Gerätearchitekturen und Applikationsverhalten. Auf die Untersuchung verschiedener Netztopologien (z.B. zentral, hierarchisch, verteilt) zur Realisierung eines ITS-Systemverbundes wurde nur wenig eingegangen. Der heterogene Ansatz wurde bisher nicht betrachtet.

Abbildung 2 zeigt die Sicht von ISO/CEN zum damaligen Forschungsbedarf im Bereich der kooperativen Systeme. Der Bezug zu den Forschungsschwerpunkten im Car2X-Systemverbund ist in dieser gestrichelt markiert.

Die heute im Betrieb und im Aufbau befindlichen Mobilfunk-Datenetze sind nicht an den speziellen Anforderungen intelligenter Verkehrssysteme orientiert. Forderungen an die Mobilfunk-Datenetz-Architektur, die aus der für das Verkehrsmanagement wichtigen Komponente Mobilfunk-Geocast erwachsen, sind noch nicht ausreichend untersucht. Ebenso sind Fragen zur Erweiterung der Architektur der Verkehrsinformationsdienste um die Möglichkeit der Nutzung eines Mobilfunk-Geocast nicht beantwortet.

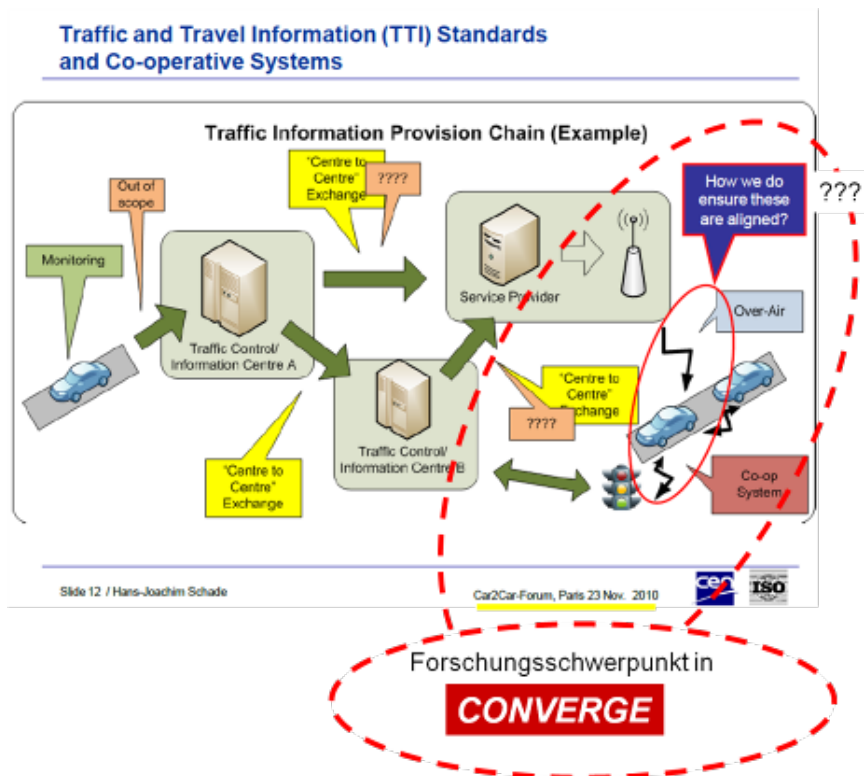


Abbildung 2: Identifizierter Forschungsbedarf (ISO/CEN)

Eine gesamtheitliche Systemarchitektur für den Informationsaustausch zwischen Anbietern und Kunden von ITS-Diensten und -daten unter Einbindung mobiler Knoten

erfordert eine Weiterentwicklung der Rollen und der Formen der Zusammenarbeit der einzelnen Stakeholder. Hierzu sind keine Ergebnisse bekannt.

### 1.3.2 Frühere Projekte

Im Folgenden ist eine Auswahl von Projekte beschrieben auf deren Ergebnissen CONVERGE aufbaut.

#### *Sichere und intelligente Mobilität – Testfeld Deutschland (sim<sup>TD</sup>)*

Das Ziel des Förderprojektes sim<sup>TD</sup> (Sichere Intelligente Mobilität – Testfeld Deutschland) war die Demonstration und Untersuchung der Wirksamkeit von Anwendungen aus den Bereichen Verkehrseffizienz/Mobilität, Verkehrssicherheit/Gefahrenwarnung und ergänzende Dienste. sim<sup>TD</sup> war ein Feldtest für kooperative Systeme in der Region Hessen-Rhein-Main, der über den Demonstrator-Status hinausging und dimensioniert war, um Technologien und Systeme für Car2X-Kommunikation in einem operativen Umfeld zu testen und zu validieren.

sim<sup>TD</sup> wurde gefördert und unterstützt durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS).

Im Rahmen von sim<sup>TD</sup> erfolgte der prototypische Aufbau eines beispielhaften infrastrukturseitigen Kommunikationsnetzes. Hierbei wurden die Verkehrsbehörden durch die Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation und die Vernetzung von IRS mit zentralenseitigen Servern eingebunden. Das Zugangnetz der Fahrzeuge zu den Servern für Verkehrsdaten und Mobilitätsinformationen wurde als heterogenes System realisiert mit 2G/3G-Funktechnologien (GSM/UMTS) als Grundversorgungsebene und Nahbereichskommunikation (basierend auf ETSI ITS-G5) als Zusatzversorgung für den Echtzeitbetrieb.

Gegenstand des Projektes war u.a. die Erstellung von Funktionsmustern für die fahrzeug- und infrastrukturseitigen Systeme, die Untersuchung der Wirksamkeit von Car2X-Anwendungen in Bezug auf die Verkehrssicherheit und Verkehrseffizienz, die Untersuchung der Praxistauglichkeit der Car2X-Technologien in einem operativen Umfeld (Skalierbarkeit, Nachweis der Markttauglichkeit) sowie die Untersuchung der Möglichkeiten einer Markteinführung und eines kostensparenden Betriebs von Infrastruktur-Kommunikationseinrichtungen.

Verwendung von sim<sup>TD</sup> Komponenten und Erweiterung der Fahrzeug- und Infrastrukturkomponenten.

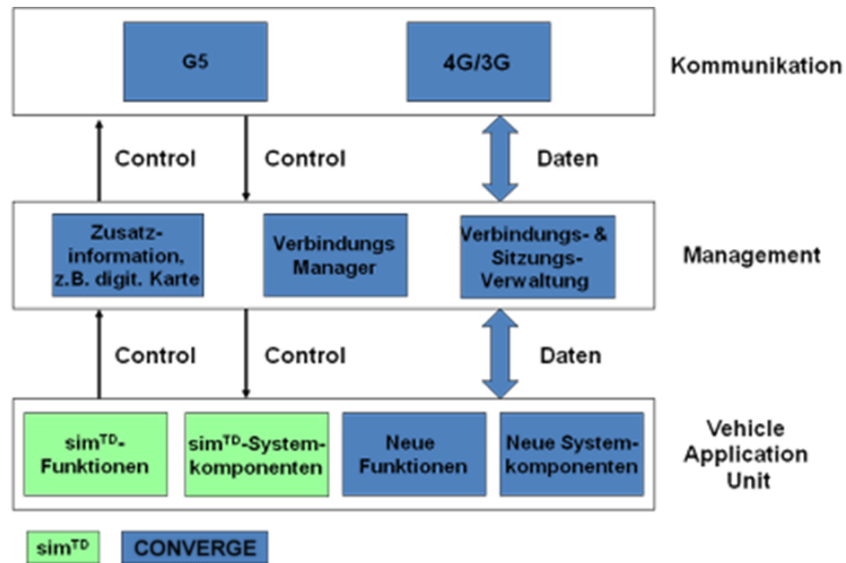


Abbildung 3: Erweiterung der sim<sup>TD</sup> Fahrzeugkomponenten



Abbildung 4: Erweiterung der Infrastrukturkomponenten (blaue Boxen in CONVERGE)

**AKTIV CoCarX**

Aufbauend auf den Resultaten des Projektes CoCar hat das Projekt Cooperative Cars Extended (CoCarX) zwei Hauptarbeitsbereiche definiert: Einerseits sollten die Einsatzmöglichkeiten der neuen Mobilfunktechnologie Long Term Evolution (LTE) für kooperative Fahrzeuganwendungen erforscht werden. Zusätzlich wurde in wichtigen Bereichen die Ausführung mobilfunkbasierter Systeme für kooperative Fahrzeuganwendungen detailliert. Basierend auf der Technologie IP Multimedia Subsystem (IMS) entwickelt CoCarX ein Verfahren zur Bereitstellung von Dienstgüte auf der Funkstrecke und zur differenzierten Abrechnung. In Kooperation mit sim<sup>TD</sup> wurde eine

erste Version eines hybriden Kommunikationssystems entwickelt. Außerdem wurde die Anbindung von Verkehrsinformationsdiensten untersucht und ein verbessertes Geocast-Verfahren entwickelt.

CoCarX lieferte Ergebnisse, die im Projekt CONVERGE genutzt und weiterentwickelt wurden. Konzeptionell stellen die Inhalte als Ganzes einen sehr wichtigen Startpunkt für die Arbeiten im AP4 dar. Mit Beginn der Prototypentwicklung im Projekt CONVERGE war die Technik LTE in vielen Bereichen schon kommerziell verfügbar und somit auch für Fahrttests nutzbar, während im Projekt CoCarX nur sehr wenige Bereiche versorgt waren. Aufbauend auf den Projektergebnissen wurden die Komponenten zur drahtlosen Kommunikation so erweitern bzw. ergänzt, dass je nach Bedingungen und Erfordernissen die optimale Nutzung des heterogenen pWLAN/Mobilfunk-Zugangsnetzwerks gewährleistet war. Die Geocastkomponente floss in das Projekt CONVERGE ein und wurde dort weiter entwickelt. Relevante Fragestellungen waren dabei die Anbindung externer Server und Systeme, der Zugriff des Systemverbundes auf die Qualitätsparameter des Mobilfunks sowie die Nutzung gemeinsamer Quality of Service Mechanismen der heterogenen Zugangsnetze.

#### *SEIS*

Im BMBF geförderten Projekt SEIS - Sicherheit in Eingebetteten IP-basierten Systemen wurde die sichere Verwendung des Internetprotokolls (IP) für die Kommunikation von Steuergeräten im Fahrzeug erforscht. Hierzu wurden Sicherheitsarchitekturen zur Absicherung der internen Kommunikation, der Kommunikation mit der Außenwelt und der Middleware entwickelt.

## **1.4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Während der Laufzeit von CONVERGE stand das Projekt im Austausch mit folgenden Institutionen und Projekten.

Cooperative ITS Corridor Rotterdam – Frankfurt/M. – Wien

Die Einführungsinitiative für Kooperative Systeme im Korridor Niederlande – Deutschland – Österreich hat sich die Realisierung zweier Car-to-Infrastructure-Anwendungen zum Ziel gesetzt. In enger Abstimmung mit relevanten Stakeholdern aus der Automobilindustrie und deren Zulieferern sowie den Straßeninfrastrukturprovidern wurden zeitgleich zum CONVERGE-Projekt die Arbeiten zur Vorentwicklung der technischen Komponenten und der organisatorischen Rahmenarchitektur gestartet.

Die personellen und institutionellen Überschneidungen in beiden Projekten ermöglichten einen Austausch zwischen den Partnern beider Projekte, welcher auch stattfand. Aufgrund der Überschneidungen der Zeitpläne beider Projekte war eine direkte

Überführung von Teilen der CONVERGE-Architektur für die Day1-Anwendungen und der Systemarchitektur allerdings nicht möglich. Es ist jedoch beabsichtigt, die Ergebnisse von CONVERGE in zukünftige Spezifikationen der Systemkomponenten und insbesondere einer Systemarchitektur für Day2-Anwendungen zu berücksichtigen.

#### C2C-CC / Amsterdam-Group

Die Ideen einer umfassenden Architektur wurden sowohl von Automobilstelle im Car2Car Communication Consortium (C2C-CC) als auch von der Infrastrukturseite in der Amsterdam Group mit Interesse aufgenommen. Beide Institutionen wurden über den aktuellen Stand kontinuierlich informiert. In der Arbeitsgruppe Architektur (WG-ARCH) des C2C-CC wird momentan die CONVERGE-Architektur als vielversprechende Grundlage für die Architektur der nächsten Jahre im Bereich ITS gesehen.

#### ETSI / ISO

In der in CONVERGE entwickelten Systemarchitektur wurden die Standards für kooperative Systeme wie sie in der TC 204 der ISO und der ETSI TC ITS entwickelt wurden berücksichtigt. Etwaige Probleme, wie etwa in Bereich der Profilierung des Security Standards, wurden aufgezeigt. Die Architektur wurde in den entsprechenden Arbeitsgruppen vorgestellt und eine entsprechende Diskussion begonnen.

#### 3GPP

Mit Abschluss des Projektes wurde die Standardisierungsphase für die Erweiterung der direkten Device-to-Device Kommunikation für LTE gestartet. Im Zuge der vorbereitenden Arbeiten wurde ein Study-Item vorgeschlagen, das sich speziell mit EDGE als C2C/C2X Kommunikation beschäftigt. In diese Arbeit werden die Erfahrungen aus CONVERGE hinsichtlich der hybriden Kommunikationsanforderungen einfließen. Diese können für die Standardisierung der 5. Generation Mobilfunk ebenfalls verwendet werden.

## 2 PLANUNG UND ABLAUF DES VORHABENS

### 2.1 Projektstruktur

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Strukturplan von CONVERGE, der die Aufgaben auf die folgenden 10 Arbeitspakete abbildet.

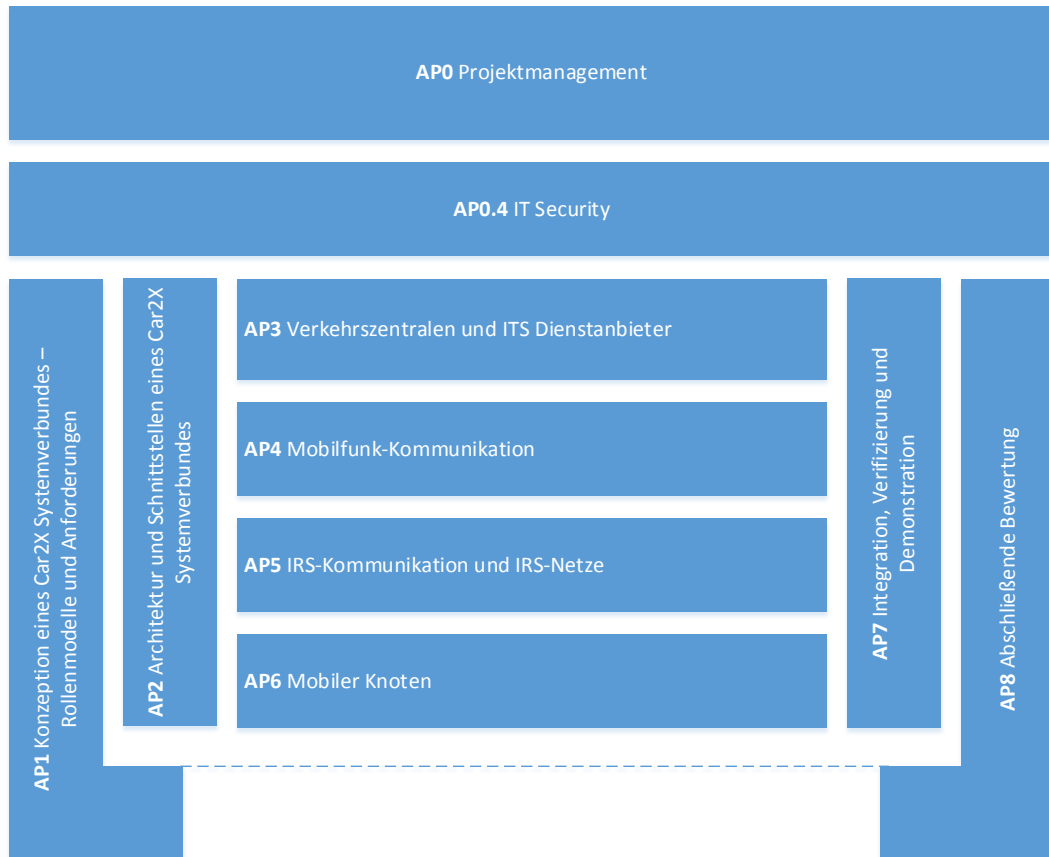


Abbildung 5: Projektstruktur

#### AP0 Projektmanagement

Dieses Arbeitspaket bestand aus vier Unterarbeitspaketen, die die Projektadministration, die technische Koordination, die Ergebnisverbreitung sowie Querschnittsfunktionen und Qualitätsmanagement beinhalteten. Eine besondere Rolle kam der Querschnittsfunktion IT-Security zu, die nachfolgend als eigenes AP beschrieben wird.

#### AP0.4 Querschnittsfunktion IT-Security

Das Arbeitspaket 0.4 koordinierte die Arbeiten im Bereich IT-Security, welche in den jeweiligen anderen Arbeitspaketen durchgeführt wurden. Hierdurch konnte ein schlüssiges IT-Security-Gesamtkonzept AP-übergreifend entwickelt werden.

#### AP1 – Konzeption eines Car2X-Systemverbundes – Rollenmodelle und Anforderungen

Das Arbeitspaket 1 hatte die Aufgabe die beteiligten Akteure mit ihren unterschiedlichen Rollen zu identifizieren, die adressierten Optimierungspotentiale und zugehörigen Use-Cases abzuleiten und als Ergebnis die Referenzszenarien (inklusive Bewertungskriterien in Zusammenarbeit mit AP8) für Bewertung und Demonstration festzulegen.

#### AP2 – Architektur und Schnittstellen eines Car2X-Systemverbundes

Aufgabe des Arbeitspaketes 2 war die Erstellung einer Systemarchitektur inklusive der Systemkomponenten des ITS-Gesamtsystems und ihrer Schnittstellen. Basis der Architektur waren die in AP1 definierten Anforderungen.

#### AP3 – Verkehrszentralen und ITS-Dienstanbieter

Im Arbeitspaket 3 wurden sämtliche Anpassungen, die bei den Verkehrszentralen, ITS-Dienstanbietern und zentralseitigen Security-Komponenten zur Realisierung der Architektur notwendig waren, definiert und prototypisch umgesetzt.

#### AP4 – Mobilfunk-Kommunikation

Die Ausgestaltung der mobilfunktechnischen Aspekte war der Mittelpunkt im Arbeitspaket 4. Es wurden notwendige mobilfunkspezifische Komponenten definiert und prototypisch umgesetzt. Durch den Einsatz von Simulationen wurde eine Leistungsuntersuchung der mobilfunkspezifischen Funktionen durchgeführt.

#### AP5 – IRS-Kommunikation und IRS-Netze

Arbeitspaket 5 hat das Potenzial von ETSI-G5 hinsichtlich des Datenverkehrs zwischen Fahrzeug und IRS anhand repräsentativer Kommunikationsszenarien analysiert, eine Spezifikation von IRS und IRS-Netzen erstellt und diese prototypisch umgesetzt.

#### AP6 – Mobiler Knoten

Im Arbeitspaket 6 wurde die bestehende Architektur des Fahrzeugsystems aus Vorgängerprojekten um die in CONVERGE spezifischen Komponenten erweitert. Die



Architektur wurde prototypisch umgesetzt, integriert und entsprechenden Funktionstests unterzogen.

#### AP7 – Integration, Verifizierung und Demonstration

Im Arbeitspaket 7 wurden die spezifizierten und implementierten Teilsysteme und Use-Cases einem integrativen Test unterzogen und mithilfe der für die Demonstration ausgewählten Szenarien überprüft. AP7 hat auch die für die Bewertung des Systems notwendigen Fahrversuche durchgeführt und die Demonstration koordiniert.

#### AP8 – Abschließende Bewertung

Das Arbeitspaket 8 hat auf Basis der Anforderungen aus den Arbeitspaketen 1 bis 6 die technischen Bewertungskriterien definiert und mit AP7 entsprechende Versuche durchgeführt. Die nicht-technische Bewertung erfolgte auf Basis der Ergebnisse aus den Arbeiten der Arbeitspakete 1 und 2. Zusammen mit den Ergebnissen aus AP7 fand eine finale Bewertung des Gesamtsystems statt.

## 2.2 Zeitplan und Ablauf

In diesem Kapitel wird der zeitliche Ablauf des Projekts mit seinen Hauptmeilensteinen dargestellt.

### 2.2.1 Zeitplan

Das Projekt gliedert sich grob in drei Phasen, welche im Folgenden erläutert werden.



Abbildung 6: Projektphasen

In der ersten Projektphase wurden die Anforderungen an das CONVERGE System aufgestellt, verschiedene Architekturvarianten erarbeitet, eine CONVERGE Systemarchitektur ausgewählt, die ökonomischen sowie technischen Rollen erarbeitet und die Bewertungskriterien definiert. Diese Phase wurde im Zeitraum vom 01.08.2012 bis 31.07.2014 durchgeführt.

In der zweiten Projektphase wurde eine prototypische Implementierung der Architektur durchgeführt, die Systembausteine Infrastruktur, IRS-Netz, Mobilfunk und mobiler Knoten integriert und zu einem Gesamtsystem zusammengefügt. Diese Phase wurde im Zeitraum vom 01.08.2014 bis zum 30.04.2015 durchgeführt.

In der dritten und letzten Phase wurden die Messwerte zur Verifikation des prototypischen Systems erhoben, die Bewertung der Implementierung, Architektur und ökonomischen Umsetzbarkeit durchgeführt, das Rollenmodell finalisiert und das Projekt an zwei Veranstaltungen der Öffentlichkeit präsentiert. Diese Phase dauerte vom 01.05.2015 bis zum 31.10.2015.

Nachfolgende Abbildung zeigt den Gesamtüberblick des zeitlichen Ablaufs des Projektes.

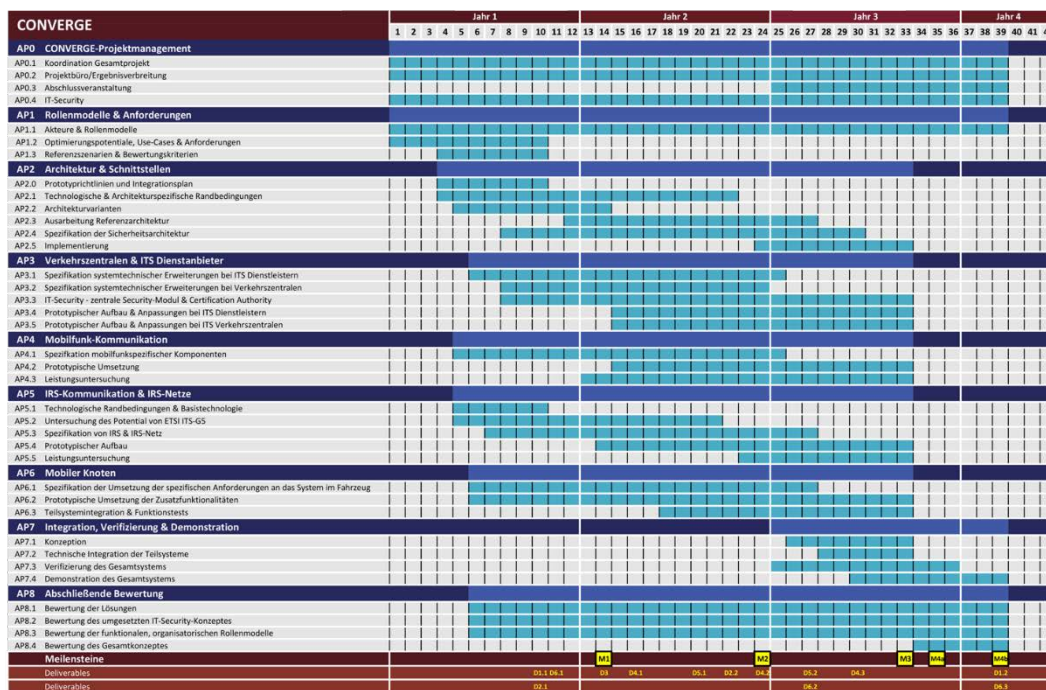


Abbildung 7: Zeitplan

### 2.2.2 Ablauf

Das Projekt startete am 01. August 2012 und endete am 31. Oktober 2015. Die folgenden Meilensteine wurden erreicht:

- M1 – Funktionale Anforderungen und Architekturvarianten (D3) [September 2013]
- M2 – Architektur des Car2X-Systemverbundes (D4, zweite Version) [Juli 2014]

- M3 – Ablieferung der Prototyp-Komponenten [April 2015]
- M4a – Präsentation des Prototyps [Juni 2015]
- M4b – Fertigstellung von Deliverable D6 [Oktober 2015]

### 3 ERZIELTE ERGEBNISSE BMW AG

Im nachfolgenden Unterkapiteln sind die Ergebnisse von der BMW AG in den einzelnen Arbeitspaketen beschrieben.

Hinweis: Das AP0 wurde in zwei Abschnitte aufgespaltet. Die Arbeitspakete AP0.1, AP0.2 und AP0.3 beinhalten die organisatorischen Aspekte des Projektes. Das Arbeitspaket AP0.4 ist ebenfalls ein organisatorisches Arbeitspaket, bezieht sich aber speziell auf die Inhalte des Projektes, die sich mit dem Thema Security beschäftigen.

#### 3.1 AP0 – Projektmanagement und Organisation (BMBF/BMWi)

Das Arbeitspaket 0 wurde vom BMWi und dem BMBF gefördert. Die Gesamtprojektkoordination (AP0.1) wurde vom BMBF, das Projektbüro und die Ergebnisverbreitung (AP0.2) wurde zu Projektbeginn vom BMBF und später vom BMWi und schließlich die Abschlussveranstaltung (AP0.3) wurde vom BMWi gefördert.

Im Rahmen von AP0 hat die BMW AG hauptsächlich für die Steuerung der Themen, zeitlicher Review der internen Vorgaben und organisatorische Themen für das Projekt (z.B. Steuerkreis, AP-Leiter) eingesetzt.

#### 3.2 AP0.4 – Querschnittsfunktion IT-Security (BMBF)

Das Arbeitspaket 0.4 wurde vom BMBF gefördert. Die BMW AG hat sich im AP 0.4 hauptsächlich auf die Integration der Security-Konzepte ins mobile Knoten im AP6 fokussiert. Dabei wurden gemeinsam mit den Partnern die Security-Konzepte erarbeitet und sie in das Fahrzeug integriert, um den exemplarischen CONVERGE-Anwendungsfall Geisterfahrerwarnung bei der Projektpräsentation zu zeigen.

#### 3.3 AP1 – Konzeption eines Car2X-Systemverbundes – Rollenmodelle und Anforderungen (BMBF)

Im Rahmen von AP1 war die BMW AG maßgeblich an der Beschreibung des CONVERGE-Weltbildes beteiligt. Hieraus wird der volkswirtschaftliche Mehrwert der CONVERGE-Systemarchitektur abgeleitet, der sich im Wesentlichen aus dem hybriden Zugangsnetz sowie der zentralen Plattform für georeferenzierte Mobilitätsdaten ergibt.

Während durch das hybride Kommunikationsnetz die Anzahl der mobilen Knoten in dem Systemverbund angehoben und auf andere Endgeräte-Kategorien (z. B. Smartphones) erweitert werden kann, erlaubt der hoheitsübergreifende Austausch von Mobilitätsdaten eine hohe Datenqualität (Aktualität, Granularität) sowie eine hohe Verfügbarkeit für Teilnehmer an dem Car2X Systemverbund.

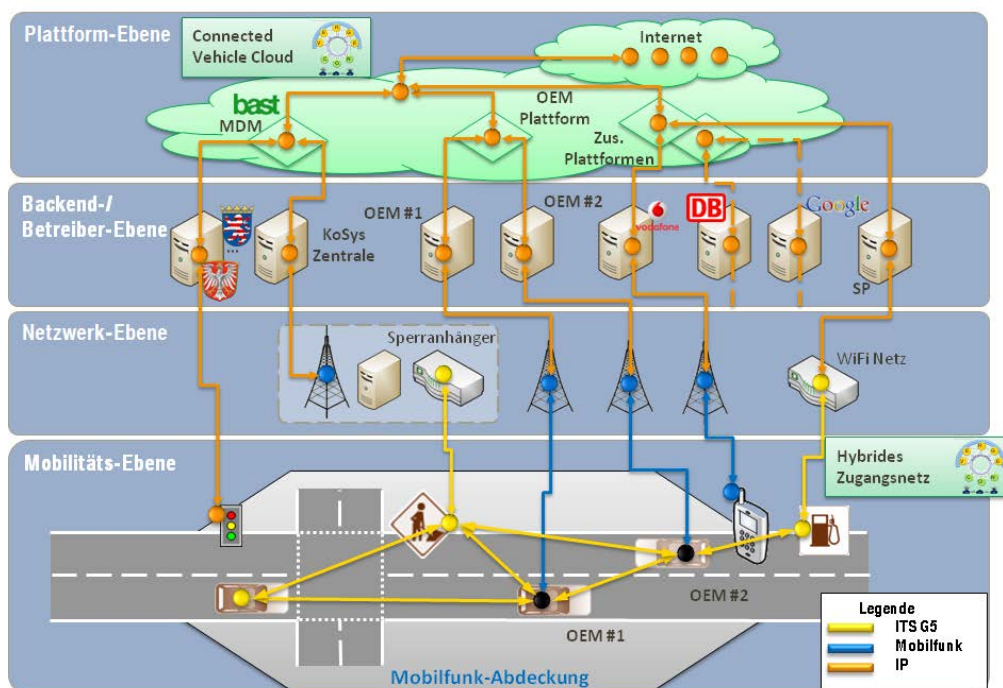


Abbildung 8: Weltbild 2015 des Car2X Systemverbundes

Abbildung 8 zeigt einen Überblick über das abgeleitete Weltbild im Rahmen des CONVERGE-Projektes. Da sich das gesamte Ökosystem für Fahrzeug-Vernetzungsfunktionen mit der Zeit wandelt und insb. im Bereich der Kommunikationsarchitektur schnell voranschreitende Änderungen (z. B. das Aufkommen einer 5G Mobilfunk-Kommunikation im Zeitraum 2020 - 2025) zu erwarten sind, kann die Weltbild-Darstellung niemals statisch sein. Diese muss sich mit der Zeit verändern und neue Möglichkeiten und Technologien adaptieren. Im Wesentlichen wurde bei der Spezifikation des Architekturmodells darauf geachtet, dass zugangsnetzseitig sowie infrastrukturseitig ausschließlich offene Technologiestandards zum Einsatz kommen. Hierüber kann später eine modulare Erweiterbarkeit (Rekonfigurierbarkeit, Zukunftsfähigkeit) des Car2X Systemverbundes sichergestellt werden.

Das Weltbild 2015 beruht im Wesentlichen auf den folgenden funktionalen Ebenen:

#### **Dienst- und Plattform-Schicht:**

In der Plattform-Schicht werden die Schnittstellen zwischen unterschiedlichen Hoheitsbereichen zum Austausch von Mobilitätsdaten beschrieben. Diese Schicht verkörpert das zentrale Architekturmerkmal des Car2X Systemverbundes mit dem ein hoheitsübergreifender Austausch von Mobilitätsdaten ermöglicht wird.

#### **Betreiber-Ebene:**

In der Betreiberebene sind die Backend-Subsysteme der Dienstleister für Informations- und Telematik-Dienste zusammengefasst. Dies schließt öffentliche wie auch private Dienstanbieter ein.

**Netzwerk-Schicht:**

Die Netzwerk-Schicht ermöglicht die Verbindung der infrastrukturbasierten Subsysteme mit der Mobilitätsschicht (Mobile Knoten) über hybride Kommunikationssysteme.

**Mobilitäts-Schicht:**

Die Mobilitäts-Schicht enthält z. B. Fahrzeuge und mobile Endgeräte als mobile Knoten. Diese stellen auf der einen Seite im Uplink eine Datenquelle (Sensor) dar, welche über die Netzwerk-Schicht an die Betreiber-Schicht angebunden werden. Auf der anderen Seite steht der mobile Knoten im Downlink als Empfänger von Mobilitätsdienstleistungen über die Netzwerk-Schicht mit den Infrastruktur-Systemen der Betreiber- oder Plattform-Schicht im Austausch.

Aus der Weltbild-Sicht wurden spezifische User Stories abgeleitet, die als Durchstich-Szenarien die gesamte Komplexität des Car2X Systemverbundes repräsentieren und gleichzeitig volkswirtschaftlich relevante Anwendungsfälle der Gesamtarchitektur darstellen. Die Ergebnisse aus AP1 wurden in der öffentlich zugänglichen Deliverable D1.1 eingearbeitet.

**Arbeiten am Validation Scenario “Wrong Way Driver Warning (WWDW)”**

Basierend auf der Weltsicht und der spezifischen User Stories wurden zwei zentrale Referenz-Anwendungsfälle zur weiteren Bearbeitung im Rahmen des CONVERGE-Projektes benannt. Hierbei handelt es sich um die Falschfahrerwarnung (engl.: Wrong Way Driver Warning, WWDW) und ein Logistik-Szenario (engl.: Logistics Scenario, LS). Beide Anwendungsfälle fokussieren sich auf die Kern-Building-Block-Komponenten der CONVERGE-Architektur:

- Kooperative, hoheitlich übergreifende Backend-Architektur zum gegenseitigen Austausch von Mobilitätsdaten
- Hybride Kommunikationssysteme unter Verwendung von direkter Kommunikation (basierend auf ETSI ITS-G5) und infrastruktur-basierter Kommunikation (basierend auf Mobilfunk-Kommunikation mit Fokus auf 3GPP LTE)

Beide Mechanismen ermöglichen eine verbesserte Verfügbarkeit von Information, eine verbesserte Echtzeit-Fähigkeit und eine höhere Genauigkeit ortsbezogener Mobilitätsdaten durch eine höhere Penetrationsrate entsprechender Technologie-Komponenten auf Mobilitätsebene.

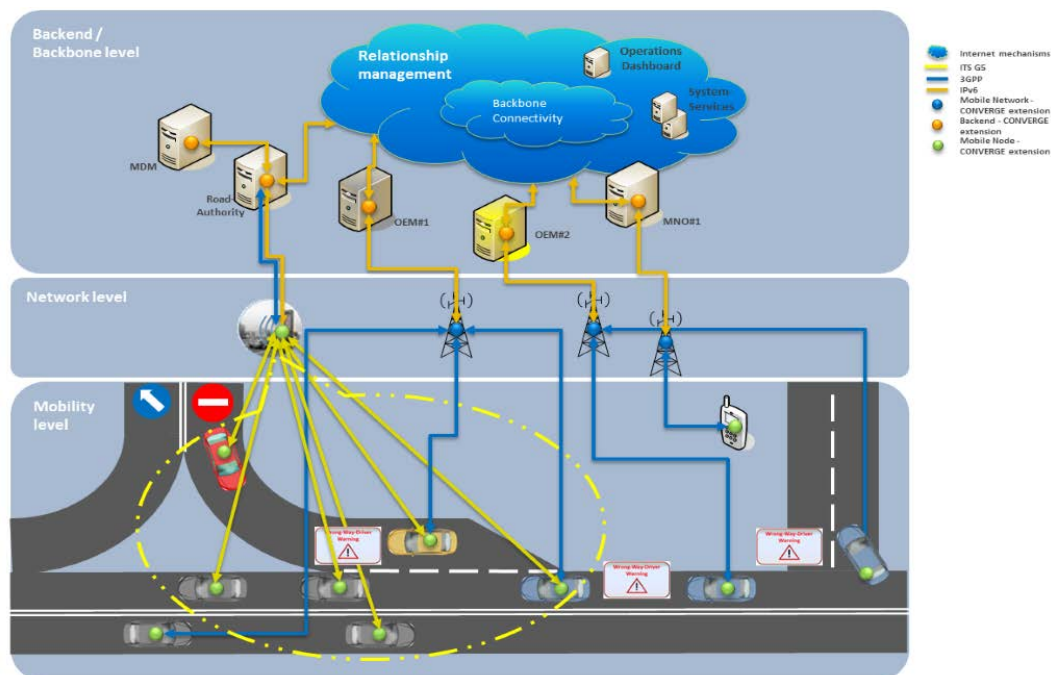


Abbildung 9: Umsetzung der WWDW-Nachricht im 3-Ebenen-Modell von CONVERGE

Im Rahmen der Arbeiten während des Projektzeitraumes hat die BMW AG insb. die WWDW-Warnmeldung als eines der beiden Validierungsszenarien der CONVERGE-Architektur mit definiert und die Kommunikation zwischen dem OEM-Backend und der IVS implementiert. In Abbildung 9 ist der Vorgang der WWDW anhand des 3-Ebenen-Modells im CONVERGE-Weltbild dargestellt. Ein (rotes) Fahrzeug symbolisiert den Falschfahrer. Dieser Vorfall wird mit einem geeigneten Mechanismus erkannt, wobei verschiedene technische Möglichkeiten spezifiziert wurden:

1. Erkennung mittels einer ITS Road Side Station/Unit (IRS/IRU über ETSI ITS-G5)
2. Erkennung im Fahrzeug selbst
3. Erkennung mittels Kamera und Schleifen-Daten des Straßennetz-Betreibers
4. Erkennung durch gegenseitigen Austausch von Positionsdaten über ein Mobilfunksystem

Für den weiteren Verlauf des CONVERGE-Projektes wird der Fokus auf die Detektionsmöglichkeiten 1 (Erkennung über eine ITS RSU) und 3 (Erkennung über fahrbahnseitige Sensoren des Straßennetz-Betreibers) gelegt. Bzgl. der CONVERGE-Architektur sind die einzelnen Detektions-Varianten ohnehin transparent und könnten zukünftig als Quellen einer entsprechenden WWDW-Nachricht im System gelten. Praktische Versuche haben bereits gezeigt, dass eine Detektion mit Informationen aus Induktions-Schleifen realisierbar ist. Das Sequenzdiagramm in Abbildung 10 beschreibt die einzelnen Alternativen bei der Detektion und Weiterleitung von WWDW-basierten Events in der CONVERGE-Systemarchitektur. Die alternativen Detektionsmechanismen

zur Variante 1 (IRS-basierte Detektion) sind in den Punkten 7a (Detektion über einen IVS-Beobachter (nicht ortsfest)), 7b (Detektion über Sensoren des Straßennetz-Betreibers) und 7c (Detektion über geeignete Mechanismen im Mobilfunksystem) dargestellt.

Wird der Falschfahrer erkannt, wird direkt eine Nachricht mittels der IRS über ITS-G5 an die Fahrzeuge in Reichweite verschickt (gelber Kreis in Abbildung 9). Die IRS leitet diese Meldung gleichzeitig mittels einer Mobilfunkverbindung an die Verkehrszentrale weiter. Über den CONVERGE-Verbund wird die Meldung an alle relevanten Partner weiterverteilt, welche wiederum ein Mobilfunksystem nutzen um noch entfernte aber auf den Falschfahrer zufahrende Fahrzeuge zu benachrichtigen. Dabei können je nach Entfernung unterschiedliche Handlungsempfehlungen für die betroffenen IVS-Systeme angeboten werden.

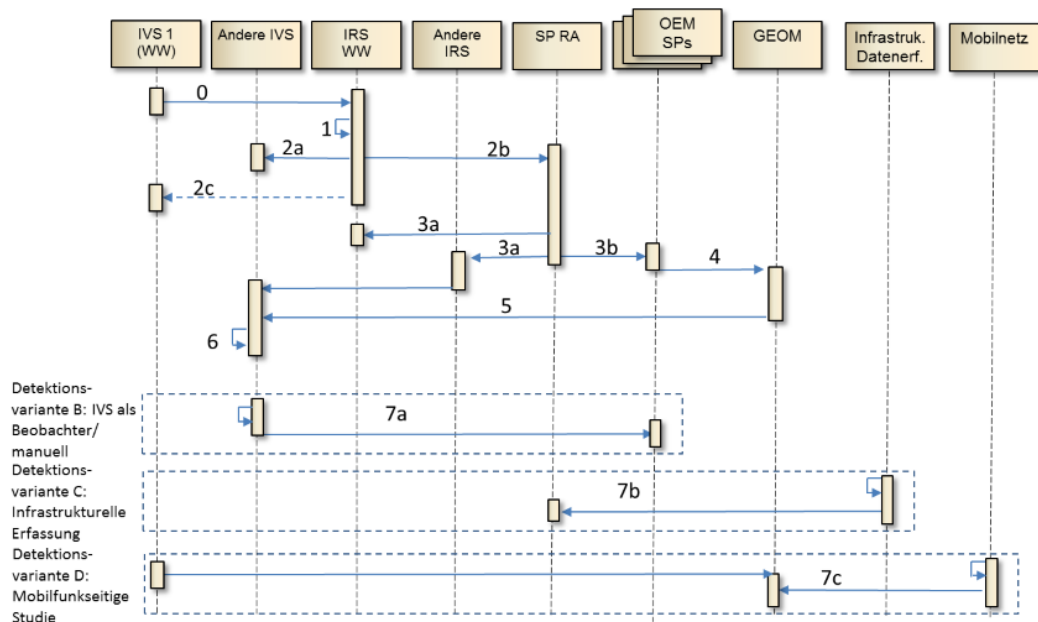


Abbildung 10: Sequenzdiagramm WWDW

Um die Vorteile der CONVERGE-Architektur aufzuzeigen, wurde ein Vergleich mit der klassischen Meldekette bei einer Falschfahrerererkennung durchgeführt (siehe Abbildung 11). Durchschnittlich beträgt die Zeit von der Sichtung bis zur Meldung im Radio ca. 4 Minuten. Für die Kommunikationsverbindungen innerhalb des CONVERGE Car2X Systemverbundes wurde eine grobe Abschätzung getroffen. Basierend auf diesen Annahmen lassen sich durch CONVERGE-Mechanismen erhebliche Einsparpotenziale bei der Vermittlung hochpriorer WWDW-Nachrichten erreichen. Ggü. der klassischen Meldekette über die Landesmedienanstalten (TMC-Broadcast) können mobilfunk-basiert Ende-zu-Ende Latenzen in der Größenordnung von 60 Sekunden und weniger erreicht werden (effektive Verkürzung der sicherheits-relevanten Meldekette um mehr als 70 %). Fahrzeuge in IRS Nähe würden sogar innerhalb von wenigen Sekunden benachrichtigt werden.



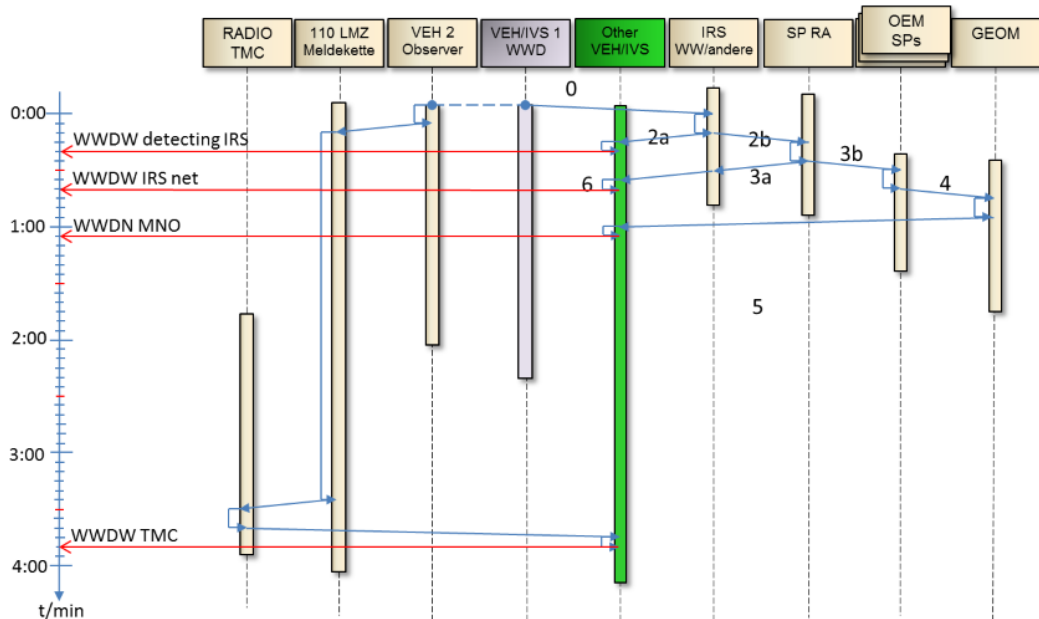


Abbildung 11: Vergleich der klassischen Meldekette mit CONVERGE

### 3.4 AP2 – Architektur und Schnittstellen eines Car2X-Systemverbundes (BMBF)

#### Netzwahl und Nachrichtenverteilung:

Im Rahmen der AGs Entscheider und Datenqualität hat sich die BMW AG auf die intelligente Nutzung der hybriden Funkzugangssysteme ITS-G5 und LTE im mobilen Knoten (als Hauptelement für die effiziente Datenübertragung im Verkehrsverbund) fokussiert. Mit geeigneten Verfahren lassen sich die Vorteile beider Kommunikationstechnologien (Infrastruktur- und Ad-hoc basierte Kommunikation) kombinieren und wie nachfolgend geschildert eine volkswirtschaftliche Optimierung des Nachrichtenflusses vornehmen:

- Optimierung der Netzwerk-Last und Vermeidung von Paket-Kollisionen durch intelligente Nachrichten-Verteilung
- Verwendung von Broadcast-Mechanismen für die Verteilung von Nachrichten mit Relevanz für mehrere IVS
- Minimierung der Anzahl an Punkt-zu-Punkt-Verbindungen durch die intelligente Einbeziehung von hybriden Netzwerk-Knoten als Relay-Elemente zwischen zwei unterschiedlichen Netzwerk-Zugangstechnologien

In einer ersten Phase wurden in der Arbeitsgruppe Entscheider grundsätzliche Betrachtungen zur Implementierung eines geeigneten Verteilprotokolls durchgeführt. Durch die intelligente Nachrichtenverteilung zwischen allen für den Anwendungsfall

relevanten Netzknotenpunkten kann die gesamtwirtschaftliche Effizienz des CONVERGE Car2X Systemverbunds optimiert werden. Hierzu sind jeweilige Systemkomponenten (Entscheidungspunkte für die Wahl des korrekten Verteilprotokolls) auf den drei Ebenen der CONVERGE-Referenzarchitektur vorzusehen. Abbildung 12 zeigt hierzu ein beispielhaftes Verteilprotokoll im Falle einer lokalen Gefahrenwarnung.

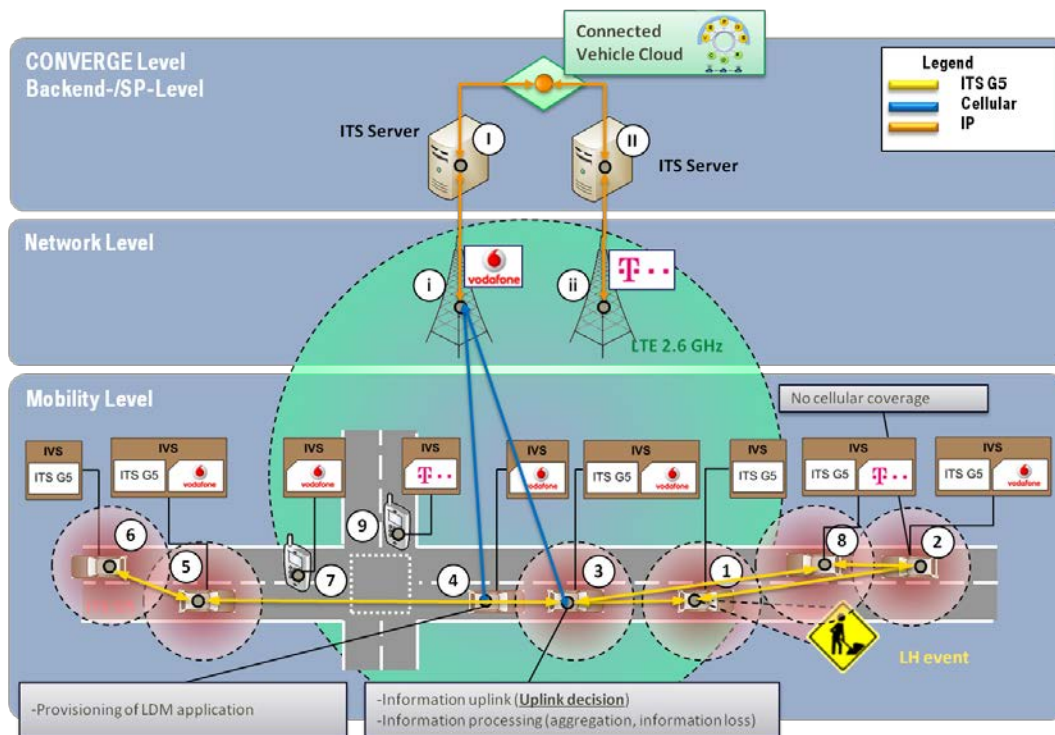


Abbildung 12: Beispielhafte Implementierung eines intelligenten Verteilprotokolls zur Verbreitung einer lokalen Gefahrenwarnung

Um eine intelligente Verteilung von Nachrichten im Car2X-Systemverbund vornehmen zu können, ist es erforderlich, dass die einzelnen Netzwerk-Knotenpunkte gegenseitige Kenntnis über die aktuellen Nachbarschaftsbeziehungen haben. In einem hybriden Kommunikationsnetz können die Nachbarschaftsbeziehungen nur dann gegenseitig ausgetauscht werden, wenn zwischen allen an einem Anwendungsfall beteiligten Netzknotenpunkten die Nachbarschaftsbeziehungen ausgetauscht werden.

Grundsätzlich ist die Anwendbarkeit und die Parametrierung des Informations-Verteilmechanismus applikationsabhängig. Diese Abhängigkeit ergibt sich durch einfache Betrachtung der zusätzlichen Verarbeitungslatenz, wenn Nachbarschaftsbeziehungen von Netzknotenpunkten abgefragt werden müssen, die tiefer im Netzwerk verortet sind. Für einen sicheren Ende-zu-Ende Austausch der relevanten Umfeld-Information zwischen allen beteiligten Knoten des Netzwerkes muss zwischen den einzelnen Entscheider-Instanzen ein gewisses Feedback sichergestellt werden. Ziel des Feedbacks ist es, dass im jeweils zurückliegenden Nachrichten-Intervall alle Netzwerk-Beziehungen (Nachbarschaftsbeziehungen der mobilen Knoten) untereinander bekannt sind. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass insb. der Austausch von Feedback Informationen zwischen

weit entfernten Netzwerk-Elementen die Delay-Toleranz des Netzwerkes reduziert. Dies gilt insb. auch dann, wenn z. B. Umfeld-Informationen über höhere Ebenen der CONVERGE-Architektur (Ebene 2: Netzwerk-Ebene und Ebene 3: SP-Ebene sowie Ebene 4: Systemverbund) miteinander ausgetauscht werden müssen. Dieser Sachverhalt ist beispielhaft in der Abbildung 8 dargestellt.

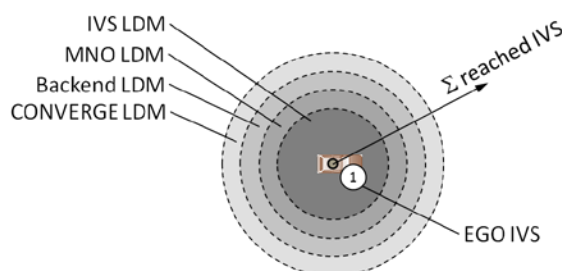


Abbildung 13: Verfügbarkeit lokaler Umfeldinformation (Nachbarschaftsbeziehungen) über verfügbare Signalisierungs-Information aus unterschiedlichen Ebenen der CONVERGE-Architektur

Zusätzlich ist die hoheitliche Aufteilung auf Betreiber-Ebene zu berücksichtigen: Grundsätzlich werden Informationen von IVS-Systemen, die zu einem Betreiber gehören (z. B. Kundenfahrzeuge, Mobiltelefone mit SIM-Karten eines MNO) über ein Betreiber-Backend zugeordnet. Der hoheitsübergreifende Austausch von Mobilitätsinformation kann erst in der nächsthöheren Dienstebene erfolgen. Hierdurch entsteht z. B. eine weitere Verzögerungszeit wodurch die Echtzeitfähigkeit der Applikation weiter limitiert wird.

Aus dieser Grundüberlegung der Abhängigkeit zwischen Verzögerungs-Toleranz und Aktualität der Fahrzeug-Umfeldinformationen ergibt sich ein fundamentales Trade-off:

Die Aktualität der Umfeld-Information und somit auch die Qualität des umzusetzenden Anwendungsfalls hängen von der Verzögerungstoleranz für den Austausch der verteilt im Netzwerk vorliegenden Umfeld-Tabellen ab.

Mit anderen Worten limitiert die Implementierung eines Verteilmechanismus die Echtzeit-Fähigkeit des Kommunikationsnetzes, erreicht aber im Gegenzug eine volkswirtschaftlich wirksamere Verbreitung der Information und die Möglichkeit der Einflussnahme über spezifische Verbesserungspotenziale. Diese Wertschöpfungspotenziale bestehen auf allen Ebenen der CONVERGE Netzwerk-Architektur. Feedback-Mechanismen können nur dann implementiert werden, wenn der Zustand des Netzwerkes über eine Nachbarschafts-Tabelle zwischen den einzelnen Netzwerk-Elementen ausgetauscht werden kann. Dies kann über eine Local Dynamic Map (LDM) erfolgen, in dem die jeweiligen Netzknotenpunkte ihr Wissen über die Nachbarschaftsbeziehungen im gesamten Netzwerk miteinander austauschen. Es ist einfach ersichtlich, dass über den Austausch lokaler Umfeld-Tabellen zusätzliche Weiterleitungs- und Verarbeitungs-Latenzen entstehen. Zudem muss davon ausgegangen werden, dass aufgrund der endlichen Delay-Anforderungen jeder zugrundeliegenden

Funktion niemals das gesamte Netzwerkwissen bzgl. der jeweiligen Nachbarschaftsbeziehungen zwischen allen Netzknoten ausgetauscht werden kann.

In einer zweiten Phase hat die BMW AG ein neuartiges Verfahren zur Auswahl von Cluster-Heads entwickelt, und es durch Simulationen mit dem Stand der Technik in Sachen Clustering verglichen. Dieses Verfahren wurde dafür ausgelegt, die Auswirkungen auf die Architektur und Schnittstellen des Car2X Systemverbundes zu minimieren, um eine schnelle und reibungslose Implementierung zu ermöglichen. Die sogenannten Cluster-Heads haben dabei zwei Funktionen: Einerseits leiten sie verkehrsrelevante Informationen per LTE an das Backend weiter, die sie über IEEE 802.11p / ETSI ITS-G5 von anderen Fahrzeugen in der Umgebung erhalten haben. Andererseits verbreiten sie per IEEE 802.11p die vom Backend erhaltenen verkehrsrelevanten Informationen an naheliegende Fahrzeuge. Die Nutzung von Cluster-Heads ermöglicht zum einen eine effizientere Ausnutzung der Radio-Ressourcen im LTE-Netzwerk durch Reduzierung der Verbindungen, und zum anderen eine Erweiterung der Netzabdeckung, so dass Fahrzeuge ohne einen LTE-Transceiver ebenfalls eine Nachricht von einem Backend erhalten können.

Laut dem von der BMW AG vorgeschlagenen Verfahren namens „Beacons“ hat jedes Fahrzeug eine bestimmte Wahrscheinlichkeit ein Cluster-Head zu werden. Jedes Mal wenn ein Fahrzeug zu einem Cluster-Head wird, verbreitet es ein Beacon in seiner Umgebung um diese Entscheidung zu signalisieren, was wiederum die Wahrscheinlichkeit von anderen Fahrzeugen beeinflusst bzw. verringert. Dieses Verfahren wird mit dem Stand der Technik verglichen, dem sogenannten „Lowest ID“ Verfahren, bei dem jedes Fahrzeug regelmäßig eine Zahl bzw. ID in seine Umgebung verbreitet. Die Entscheidung, ein Cluster-Head zu sein, wird in diesem Fall bei jedem Fahrzeug laut der eigenen ID und den IDs von den nachbaren Fahrzeugen getroffen.

Die Cluster-Head Auswahlverfahren (sowie Beacons als auch Lowest ID) wurden in Laufe des Projekts weiterentwickelt und verfeinert, um die Effizienz und Zuverlässigkeit für Bereitstellung von verkehrsrelevanten Informationen zu erhöhen. Konkret wurden mehreren Faktoren, wie die Anzahl von Nachbarn, die Entfernung zu den Nachbarn, die Geschwindigkeit und die Signalqualität in die Entscheidung einbezogen, und die Gewichte von jedem Faktor entsprechend optimiert. Darüber hinaus ist ein weiteres Auswahlverfahren namens „Weights“ berücksichtigt, wobei die Entscheidung lediglich von diesen Faktoren statt von einer Wahrscheinlichkeit oder einer ID abhängig ist.

Die verschiedenen Verfahren, Lowest ID, Beacons und Weights, wurden bei der Verbreitung von DENM im Autobahn-Szenario mittels Simulationen bewertet und basierend auf dem im D4.3 beschriebenen Simulationsszenario verglichen. Die Ergebnisse werden in Abbildung 14 und Abbildung 15 dargestellt. Die als „Best“ bezeichneten Verfahren entsprechen den optimierten Versionen der Algorithmen. In der Abbildung 14 lässt sich die überlegene Performance von den optimierten Beacons und Weights Verfahren (best Beacons bzw. best Weights) gegenüber dem optimierten Lowest ID Verfahren (best Lowest-ID) erkennen. Mit anderen Worten: Diese Verfahren verbrauchen

weniger Ressourcen bei der Verbreitung von DENM Nachrichten. Die Verzögerung bei der Bereitstellung von DENM Nachrichten wird in Abbildung 15 gezeigt. In diesem Fall liefert das optimierte Beacons Verfahren die beste Performance, indem die Verzögerung am geringsten ist. Wichtig ist zu erwähnen, dass die Lowest ID und Weights Verfahren eine erheblich längere Latenzzeit bei der Übertragung von DENM Nachrichten aufweisen. Mit anderen Worten: Die optimierte Version des Beacons Verfahren liefert den Besten Kompromiss zwischen Effizienz und Zuverlässigkeit bei der Verbreitung von DENM Nachrichten in Autobahn-Szenarien.

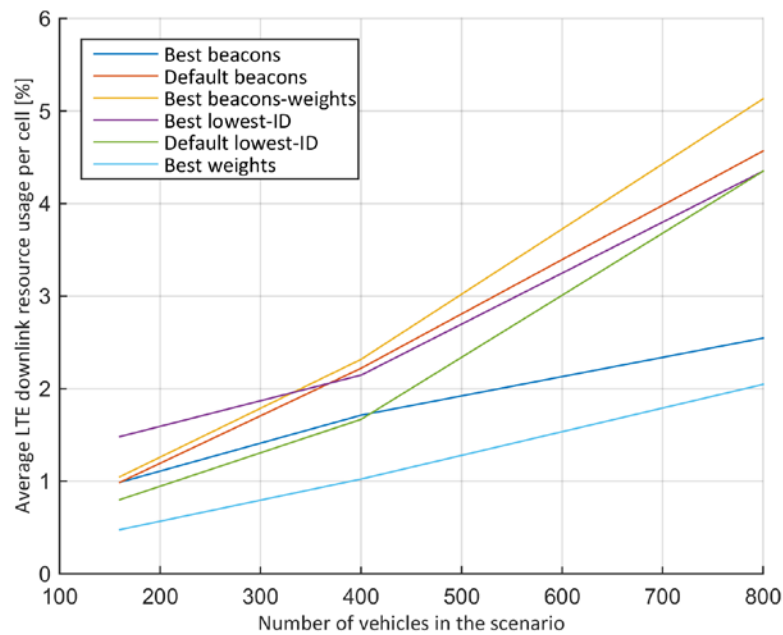


Abbildung 14: durchschnittlicher Verbrauch von Ressourcen gegenüber der Anzahl von Fahrzeugen im Autobahn-Szenario.

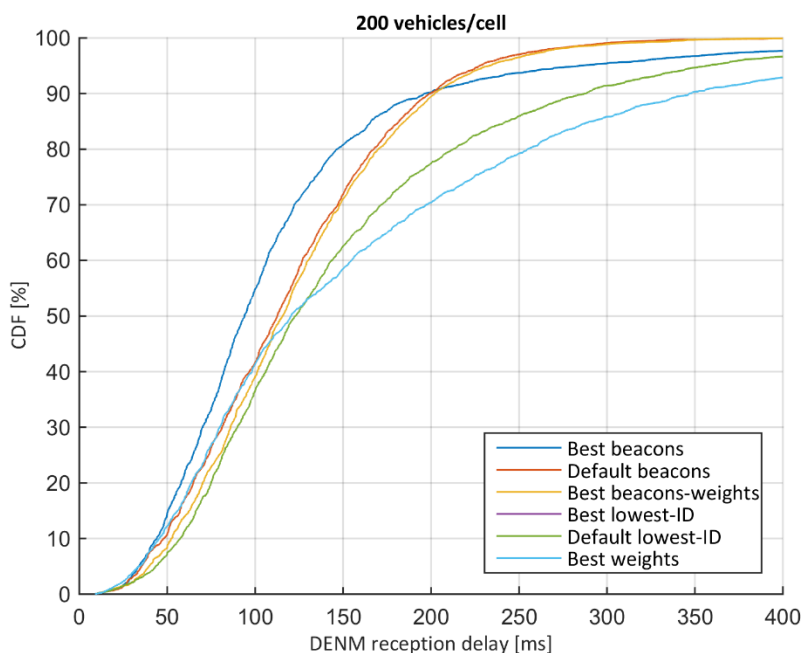


Abbildung 15: kumulative Verteilungsfunktion der Verzögerung beim Empfang von DENM Nachrichten im Autobahn-Szenario.

### 3.5 AP3 – Verkehrszentralen und ITS-Diensteanbieter (BMW)

In AP3 beteiligte sich die BMW AG an der Erstellung des Arbeitsdokumentes W3.1 zum Thema „Bestandsanalyse und Vorhaben zentralseitiger Systeme im Bereich C2X“. Ziel des Dokumentes ist die Beschreibung der Anforderungen und Schnittstellen unterschiedlicher Anwender von ITS Diensten für die Bereitstellung eines Dienstangebotes über den Car2X Systemverbund.

Dabei wurden folgende Kernpunkte aus Sicht eines Dienstleisters bearbeitet:

- Gesamtarchitektursicht
- Schnittstellen-Anforderungen
- Generelle Rahmenbedingungen
- Anforderungen an eine Versuchszentrale
- Konfiguration

Parallel zu den Arbeiten hat die BMW AG die Frage aufgeworfen und diskutiert, welche erfolgskritischen Faktoren für den Betrieb eines Car2X Systemverbunds zu erfüllen sind. Neben den Basismechanismen (Rollen) die für den reibungslosen Betrieb des Systemverbunds erforderlich sind, ist eine weitere wesentliche Anforderung die Schaffung von Anreizfaktoren für potenzielle Akteure, sich im Rahmen des Car2X Systemverbundes zu engagieren.

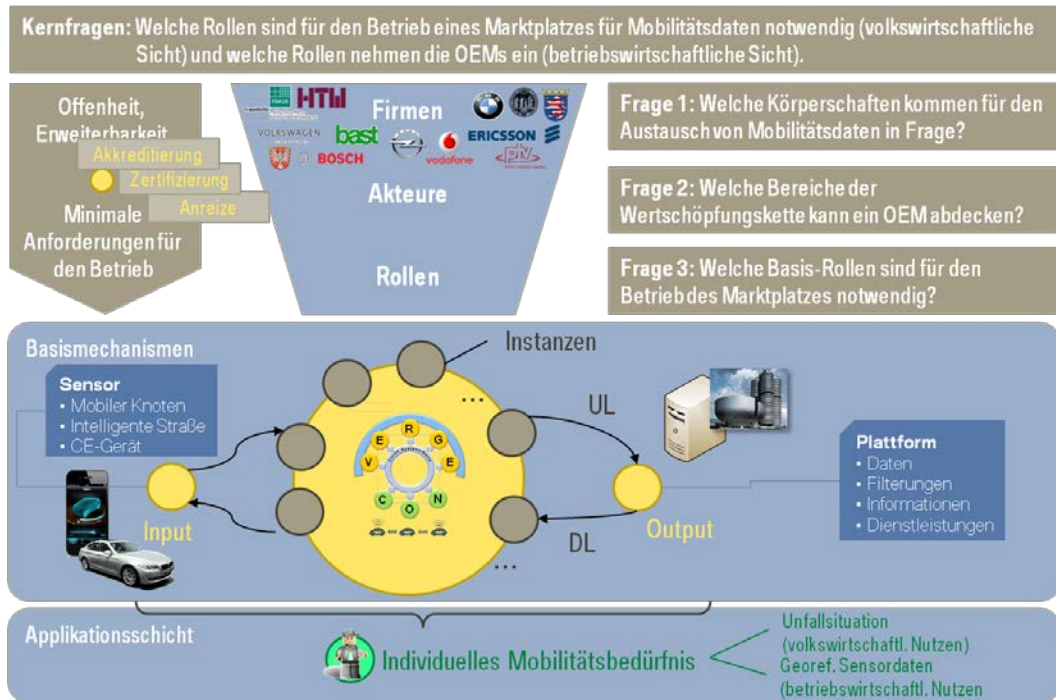


Abbildung 16: Basismechanismen und Anforderungen zum Betrieb eines Car2X Systemverbundes

Die weitere Entwicklung befasste sich hauptsächlich mit der Backend-Seite des Systemverbundes. Anhand des generischen Use-Cases „local hazard warning“ (LHW) wurde das generelle Architekturkonzept und die benötigten Schnittstellen definiert.

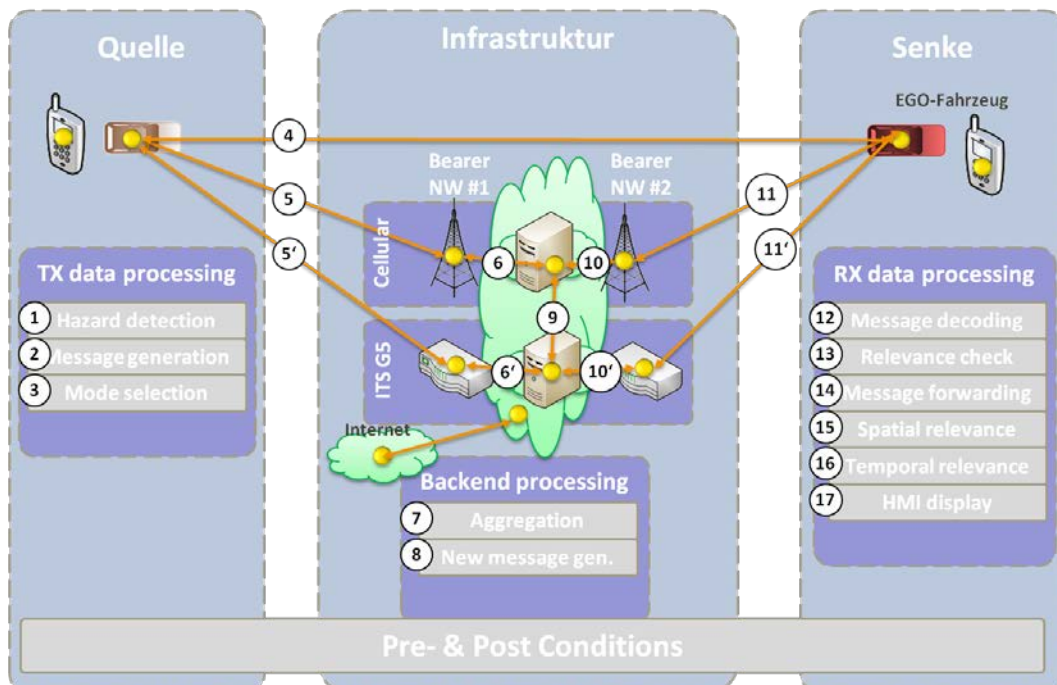


Abbildung 17: Generisches Architekturmodell zur Beschreibung der Handlungsabfolgen bei einer LHW-Nachricht

Anwendungsbezogen wurden in AP 3.1 insbesondere Aspekte der Vertrauenswürdigkeit und Güte von Nachricht diskutiert, die nachfolgend im Rahmen der Arbeitsgruppe Datenklassifizierung weiter bearbeitet wurden. Zusammenfassend beinhaltet das Thema zum Beispiel, welche Metadaten und Austauschformate nötig sind um die Qualität von Daten zu beschreiben und systemübergreifend bereit zu stellen. Da nicht alle Aspekte dieses Themas abschließend bearbeitet werden konnten, wurde sich mit den Partnern auf das Car2X-Datenformat als Austauschformat für Nachrichten geeinigt.

Dies erlaubt den Austausch gültiger Nachrichten unabhängig vom eingesetzten Übertragungsmedium wie LTE oder 802.11p/ITS-G5. Signierte Warnmeldungen von der Verkehrszentrale können so beispielsweise über LTE zum Fahrzeug übertragen und anschließend via ITS-G5 an umgebende Fahrzeuge weitergeleitet werden. Diese Nachrichten tragen dann weiterhin eine gültige Signatur der Verkehrszentrale.

Zuvor wurden jedoch auf Basis einer BMW-eigenen Middleware (JOYNr) erste Implementierungen einer LHW-Warnung zwischen verschiedenen Clients durchgeführt. JOYNr beinhaltet viele notwendige Mechanismen von Haus aus, u.a. ein Publish/Subscriber-Modell oder ein Verbindungshandling. Deshalb wurde dieser alternative Kommunikationsweg weiterhin vom BMW-Backend bereit gestellt.

Weiterhin umfassten die Arbeiten an den Schnittstellen auch Security-Aspekte. So sollte jede Kommunikation von Teilnehmern innerhalb des Systemverbundes, so z.B. zwischen der Verkehrszentrale und den Service-Providern, verschlüsselt erfolgen. Dafür wurde von den Partnern eine *Public-Key-Infrastructure* (PKI) bereit gestellt und Zertifikate verteilt, so dass sich Teilnehmer damit gegenseitig authentifizieren und eine sichere Verbindung aufbauen können.

Die Modellierung der Software-Komponenten erfolgte mittels UML und wurde zentral von allen Partnern bereitgestellt (Project-Place und SVN). Die Architektur des BMW-Service-Providers ist dann beispielsweise in Abbildung 18 dargestellt.

Um einen möglichen Use-Case wie beispielsweise *Wrong-Way-Driver-Warning* (*Falschfahrerwarnung, WWDW*) zu realisieren, müssen Event-getriggerte Nachrichten (*DENMs*) am Backend empfangen oder erzeugt, validiert und signiert sowie an die betreffenden Fahrzeuge übermittelt werden. Für das Versenden von DENMs wurde ein *Geomessaging-Client* (*Geom-Client*) entwickelt. Dieser bietet die Möglichkeit Nachrichten an Fahrzeugen zu übermitteln, die sich im gewünschten geographischen Bereich befinden. Der Geom-Client benötigt Informationen wie beispielsweise die URL des *Geomessaging-Proxy* (*Geom-Proxy*) um die Nachrichten zu versenden. Hierzu kann der entwickelte *Service Directory-Client* (*SD-Client*) verwendet werden. Dieser ist in der Lage ein beliebiges SD in der CONVERGE-Architektur anzusprechen und die nötigen Parametern abzufragen.



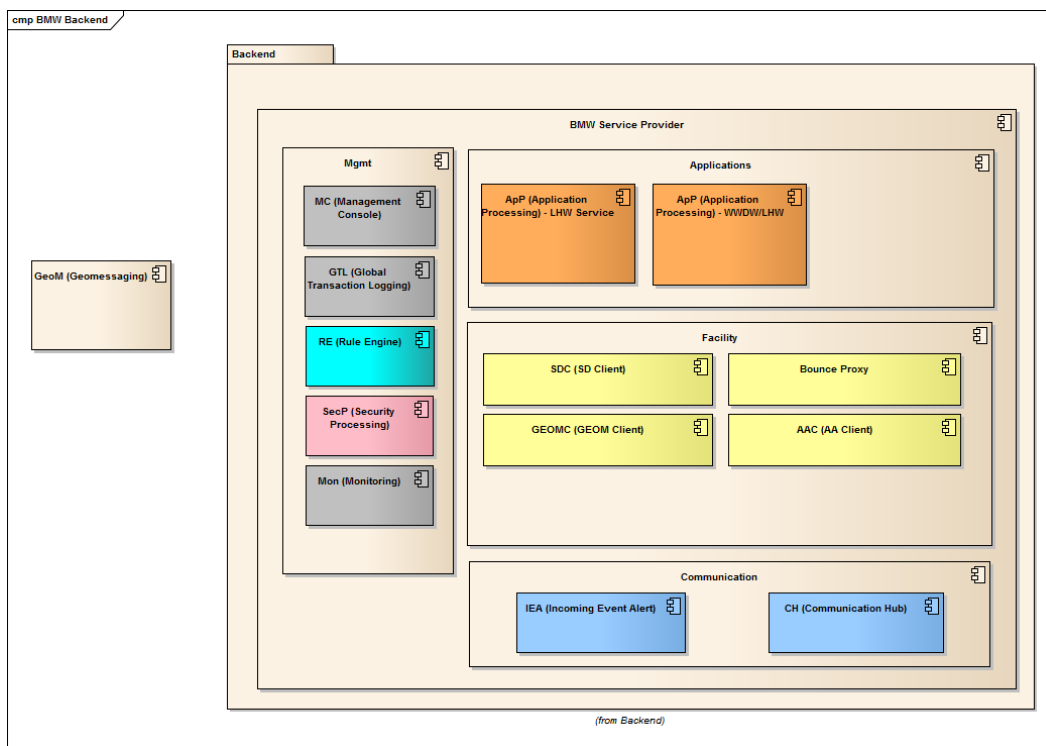


Abbildung 18: BMW Backend

Für das Generieren und Interpretieren von DENMs auf dem Backend wurde das bereits vorhandene OSGi-Bundle von der *Application Unit (AU)* verwendet und in das Backend integriert. Ein wichtiger Punkt hierbei ist die Integrität und Authentizität von DENMs sicherzustellen. Hierzu wurde der *Security Server* für das Signieren und Validieren von DENMs in das Backend integriert und getestet. Um den Security Server die erforderlichen Zertifikate zur Verfügung zu stellen, wurde der *Credential Manager* im Backend installiert und die erforderliche Registrierung durchgeführt.

Bei verschiedenen Integrations-Workshops in Frankfurt am Main wurden unter anderem Komponenten des Backends und der IVS zusammen mit anderen Projektpartnern getestet. Dabei wurde z.B. eine Falschfahrer-DENM backendseitig erzeugt, signiert und über einen Geom-Proxy an die im Relevanzbereich befindlichen Fahrzeuge gesendet. Fahrzeugseitig konnte diese DENM von der IVS empfangen, validiert und dargestellt werden.

In weiteren Integrations-Workshops wurden weitere Tests mit allen Partnern durchgeführt und Messungen vorgenommen (z.B.: Latenz und Datendurchsatz). Darunter wurden z.B. Ende-zu-Ende Tests durchgeführt, um alle Komponenten ausreichend abzusichern. Dadurch wurden einige Fehlerketten erkannt und im Rahmen der Workshops beseitigt.

### 3.6 AP4 – Mobilfunk-Kommunikation (BMBF)

Innerhalb von AP4 hat sich die BMW AG auf die effiziente Verteilung von CAM- oder DENM-basierten Nachrichten in zellularen Netzen konzentriert. Dabei wurde als mögliche Lösung das Broadcast-Übertragungsprotokoll Evolved Multimedia Broadcast Multicast Service (eMBMS) im LTE Netz festgelegt, um ITS-Nachrichten in zellularen Netzen effizienter zu übertragen als mit traditionellen Unicast-Verfahren.

Im Vergleich zu einer Unicast-Übertragung ermöglicht eMBMS eine Adressierung an einem Broadcast-Gebiet. Die notwendigen Radio-Ressourcen lassen sich dadurch erheblich reduzieren, da eine Nachricht nur einmal an ein Broadcast-Gebiet verschickt wird, anstatt einmal pro Fahrzeug. Des Weiteren ist die Lokalisierungsinformation von potentiellen Empfängerfahrzeugen nicht mehr notwendig und somit lassen sich Ressourcen auf der Uplink-Seite reduzieren.

Der grundsätzliche Vorteil von eMBMS besteht in der effizienten Verteilung von Nachrichten für eine Vielzahl von Empfängern, anstelle der Verwendung individueller Mobilfunkverbindungen für jeden einzelnen Empfänger.

In Abbildung 19 und Abbildung 20 sind die grundsätzlichen Nachrichten-Verteilkonzepte einer mobilfunkbasierten Unicast- und eMBMS-Vermittlung dargestellt.

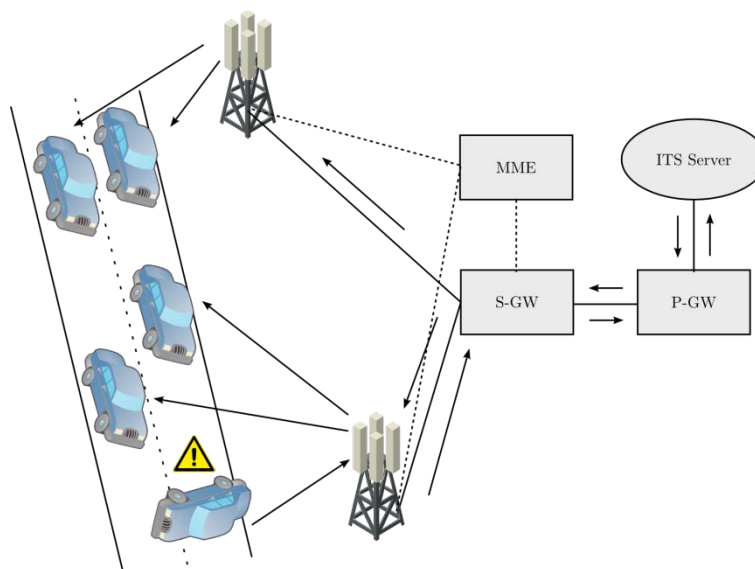


Abbildung 19: Unicast Übertragungsmodus über ein Mobilfunksystem

Als wesentlicher Unterschied wird deutlich, dass im Unicast-Modus periodische Informationen zwischen IVS und Mobilfunk-Infrastruktur ausgetauscht werden müssen, um der Basisstation die Position der IVS-Systeme mitzuteilen. Im eMBMS-Broadcast-Modus wird lediglich ein Relevanzbereich (z. B. um die LHW-Gefahrenstelle) definiert, in der eine Broadcast-Nachricht geografische Gültigkeit besitzt. Aus diesem Grunde sind für das eMBMS-Szenario ein geringerer Signalisierungs-Overhead und ein geringerer Privatsphären-Schutz erforderlich.

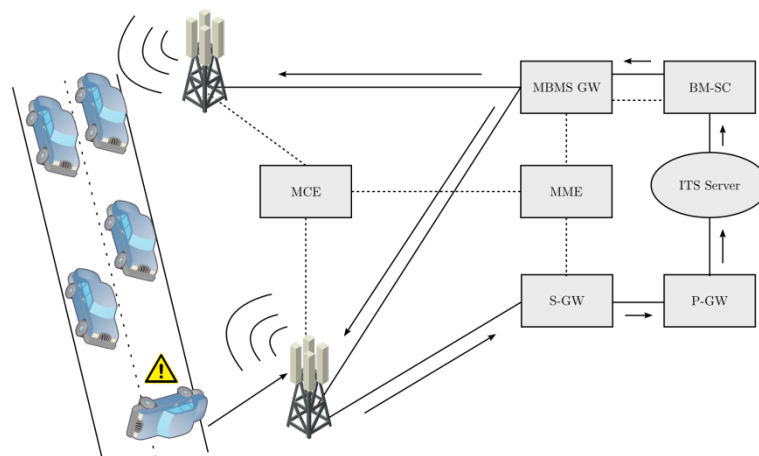


Abbildung 20: Broadcast Übertragungsmodus über ein Mobilfunksystem

### eMBMS-Architektur

In der eMBMS-Architektur ist die Entität MBMS-User-Service verantwortlich für die Kontrolle der Dienste zum Endknoten. Diese Entität ist in der Lage die Dienste für den Endkunden zu aktivieren oder zu deaktivieren. Eine MBMS-User-Service Entität kann mehrere Multimedia-Objekte oder -Ströme enthalten. Die Objekte bestehen in der Regel aus mehreren MBMS-Sitzungen. Zwei MBMS-User-Services könnten z.B. für ITS-Dienste definiert werden: einen für die Verbreitung von CAM-Nachrichten und einen für die DENM-Nachrichten.

Jede MBMS-Sitzung ist mit mindestens einem MBMS-Bearer verbunden, dessen Parameterwerte (z.B. Broadcast-Region) in der Sitzung ausgehandelt werden. Falls mehrere MBMS-Sitzungen benutzt werden, so kann der gleiche MBMS-User-Service unterschiedliche Inhalte zu jedem Broadcast-Gebiet im Netzwerk schicken. In diesem Fall ist die Relation zwischen dem Broadcast-Gebiet und Inhalt für das Fahrzeug transparent. Es muss nur den Dienst aktivieren, um die Informationen anhand des Ortes zu erhalten.

In der eMBMS-Architektur wird zusätzlich das Broadcast-Multicast Service Center (BM-SC) definiert, das den Eintrittspunkt eines eMBMS-Inhaltes beschreibt. Es steuert und sendet die ITS-Information zu jedem Broadcast-Gebiet, indem für jeden Datenfluss einen separaten MBMS-Bearer aufgebaut wird.

Alle MBMS Bearer des gleichen MBMS-User-Services teilen sich die gleiche temporäre Gruppen ID (Temporary Mobile Group Identity - TMGI), enthalten jedoch unterschiedliche Flow-IDs. Während der Initialisierung der MBMS-Sitzung wird die Flow-ID vom BM-SC belegt und eine separate Sitzung für jeden Datenfluss initiiert. Das MBMS-Gateway kann IP-Multicast Adressen anhand der TMGI und Flow-ID belegen, falls IP-Multicast unterstützt werden.

Um einen MBMS-Dienst zu erhalten, muss sich das Fahrzeug zunächst für den Dienst anmelden und das BM-SC würde die Sitzung starten, sobald Daten zur Verfügung stehen.

Die Sitzung wird zunächst durch den MBMS-Steuerkanal bekanntgegeben und danach kann der Datenkanal aufgebaut und benutzt werden.

Für zeitkritische Warnmeldungen ist dieses Verfahren jedoch nicht zu empfehlen, da die Signalisierung der Sitzung und Benachrichtigung zu hohen Verzögerungen führen. Um den Broadcast-Kanal mit reduzierten Übertragungslatenzen zu ermöglichen, ist es notwendig, dass der eMBMS-Dienst fortlaufend und ohne Unterbrechung konfiguriert ist. In diesem Fall muss sich das Fahrzeug zu Beginn der Sitzung für den eMBMS-Dienst anmelden (z.B. wenn das Fahrzeug gestartet wird) und würde dann die Daten kontinuierlich bis zum Ende der Sitzung (z.B. Fahrzeug wird ausgeschaltet) erhalten.

### **eMBMS-Bewertung**

Computersimulationen wurden verwendet, um die Leistungsfähigkeit von LTE Unicast- und Broadcast-Verfahren bei der Verbreitung von CAM und DENM Nachrichten zu bewerten und zu vergleichen. Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen den Ressourcenverbrauch von LTE Unicast und Broadcast Verfahren bei der Verbreitung von CAM Nachrichten in einem Autobahn- und urbanen Szenario. Die Ergebnisse der Simulationen zeigen, dass das Broadcast Verfahren eine bessere Skalierung als das Unicast Verfahren aufweist. Selbst wenn aufgrund von adaptiven Kodierungs- und Modulationsmechanismen Unicast-Übertragungen weniger Ressourcen als das Broadcast Verfahren bei einer kleinen Anzahl von Fahrzeugen verbrauchen, steigt der Verbrauch mit der Anzahl von Fahrzeugen erheblich schneller. Demzufolge können weniger Fahrzeuge bei gleichem Ressourcenverbrauch unterstützt werden. Bei einem Ressourcenverbrauch von 60% ist die Anzahl von Fahrzeugen, die mittels LTE Broadcast unterstützt werden können, 5 Mal größer im Autobahn-Szenario und 2,5 Mal größer im urbanen Szenario. Weitere Simulationsergebnisse werden im Abschnitt 3.10 (Kapitel 8) beschrieben.

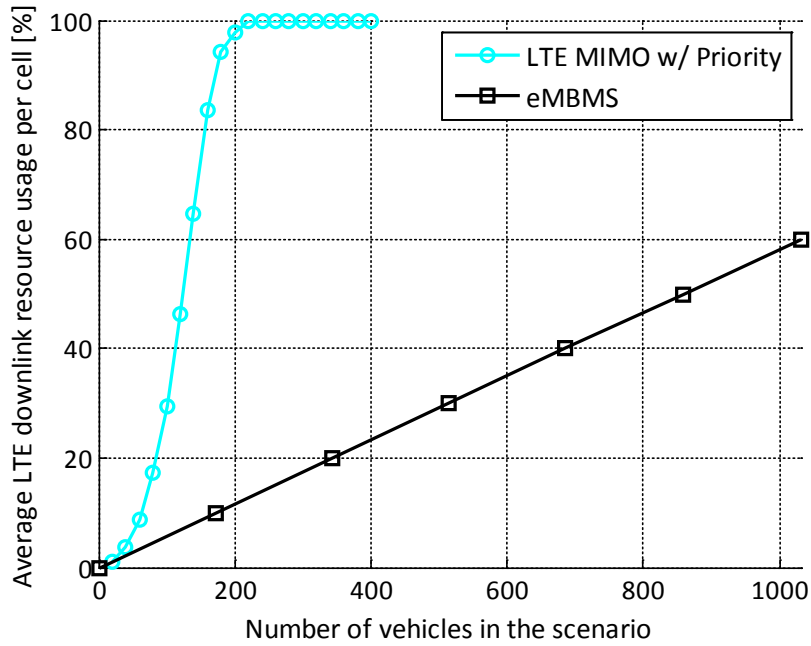


Abbildung 21: durchschnittlicher Verbrauch von LTE Ressourcen gegenüber der gesamten Anzahl von Fahrzeugen beim Empfang von CAM Nachrichten im Autobahn-Szenario.

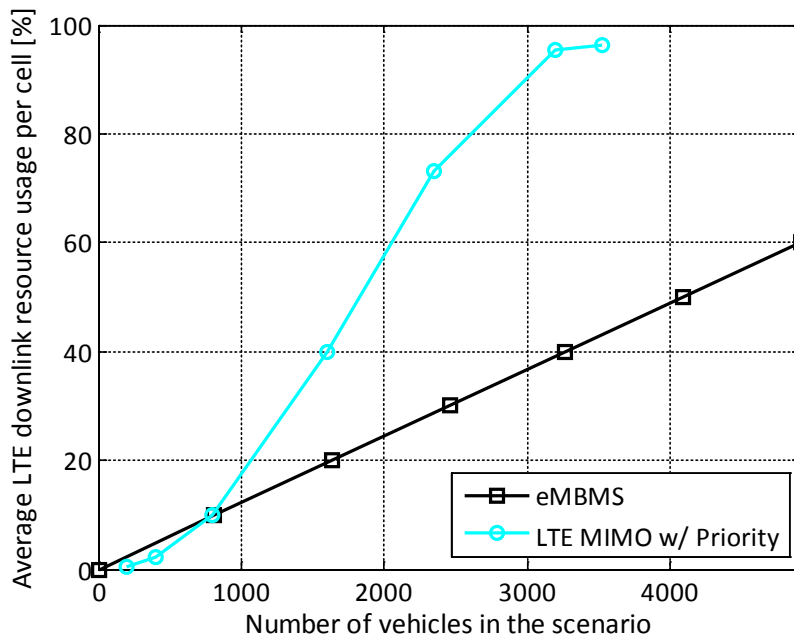


Abbildung 22: durchschnittlicher Verbrauch von LTE Ressourcen gegenüber der gesamten Anzahl von Fahrzeugen beim Empfang von CAM Nachrichten im Urban-Szenario.

Zusätzlich wurde die Leistung von QoS-Priorisierungsverfahren im LTE-Netzwerk für die Bereitstellung von ITS-Nachrichten bewertet. Anhand eines Algorithmus entscheidet ein LTE-Scheduler Ressourcen für bestimmte Nutzer zu reservieren. Einige Algorithmen basieren auf einem „proportional fair“ Ansatz, dessen Entscheidung abhängig von der

Kanalqualität, der zu übertragender Datengröße und der Zeit der letzten Reservierung ist. Mit diesen Variablen berechnet der Scheduler die Priorität der einzelnen Nutzer.

Um eine QoS-Priorisierung für CAM-Nachrichten im Simulator zu implementieren wurden verschiedene Warteschlangen/Queues für jede QCI (Quality-Control-Indicator)-Klasse definiert und zunächst die Ressourcen für die höheren Prioritätswarteschlangen reserviert. Diese Einstellung hat zur Folge, dass CAM-Nutzer zunächst vor allen anderen Nutzer bedient werden. Der Priorisierungsprozess lässt sich wie folgt darstellen.

---

#### Prioritization process

---

For each service in decreasing order of priority:

For each free resource block:

Compute priority function of all users as  $P = \frac{\text{Potential Throughput if scheduled}}{\text{Average User Throughput}}$

Allocate resource in accordance to the highest priority. Update throughputs.

---

Abbildung 23 beschreibt die Ende-zu-Ende-Latenz bei der Übertragung von CAM-Nachrichten in Abhängigkeit der Zahl der Fahrzeuge auf der Autobahn. In diesem Fall wurde zusätzlich Vordergrundverkehr im Netzwerk betrachtet. Dadurch werden die Ressourcen im LTE-Netzwerk mit herkömmlich zellularem Verkehr geteilt. Abbildung 24 zeigt die Paketfehlerrate im selben Szenario. Die Latenz und die Paketfehlerrate im Downlink erhöhen sich, wenn der CAM-Dienst dieselbe Priorität hat wie der herkömmliche Verkehr und die Netzwerklast größer wird. Wenn der LTE-Scheduler für die CAM-Nachrichten eine höhere Priorität vergibt, so verkürzen sich die Latenzzeiten und damit auch die Paketfehlerrate der Dienste.

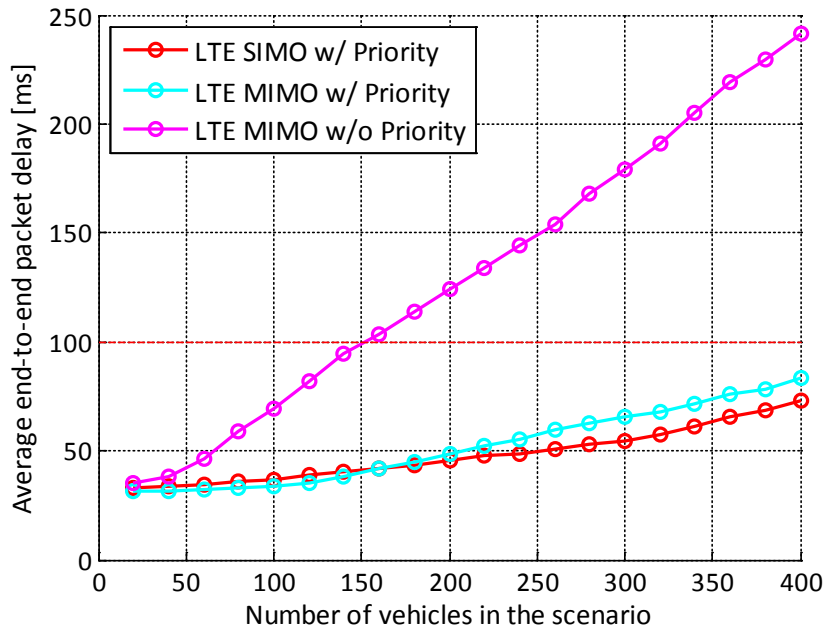


Abbildung 23: Ende-zu-Ende-Latenz von CAM-Nachrichten abhängig von der Anzahl der Fahrzeuge mit zellularem Vordergrunddatenverkehr.

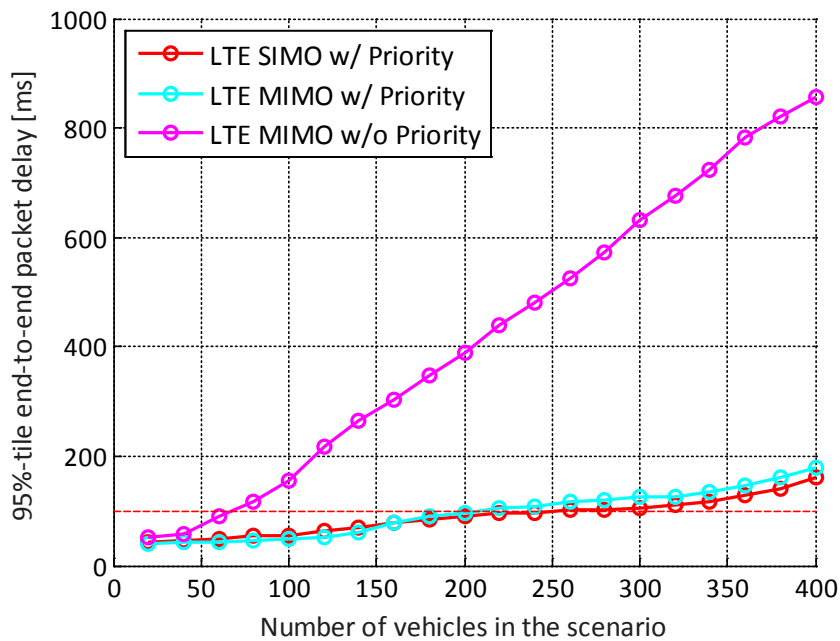


Abbildung 24: Paketfehlerrate von CAM-Nachrichten abhängig von der Anzahl der Fahrzeuge mit zellularem Vordergrunddatenverkehr.

### 3.7 AP5 – IRS-Kommunikation und IRS-Netze (BMBF)

Im Rahmen von AP5 hat die BMW AG messtechnische Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit von Antennensystemen auf unterschiedlichen Versuchsfahrzeugen für die LTE, ETSI ITS-G5/IEEE 802.11p und WLAN Kommunikation durchgeführt.

Zusätzlich zu den Messungen wurden Simulationen durchgeführt, mit denen gezielt unterschiedliche Integrationseinflüsse bewertet werden können. Dominante Einflüsse stellen z. B. dielektrische Belastungen im direkten Antennen-Nahfeld ein, die z. B. durch dielektrische Antennenradome eingebracht werden, die häufig aus PC ABS-Materialien gefertigt werden. Ein weiterer Effekt betrifft die Integrationseffekte, die sich außerhalb des eigentlichen Antennenbauraumes abspielen. Hierzu zählen z. B. Effekte, die sich durch das Sonnendach in Fahrtrichtung ergeben. Abhängig von den Integrationseffekten wurde eine deutliche Beeinflussung der maximalen Funkreichweiten beobachtet.

Abbildung 25 beleuchtet die Reichweitenreduktion infolge der Verwendung eines Glasschiebedaches in Fahrtrichtung bei ETSI ITS-G5 Kommunikationssystemen. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich bzgl. der verfügbaren Systemdynamik in einem Abstand von ca. 350 m zu einem ortsfesten Referenz-Sender ein Verlust in der Größenordnung von 5-6 dB einstellt, was einer Reichweitenhalbierung gleich kommt.

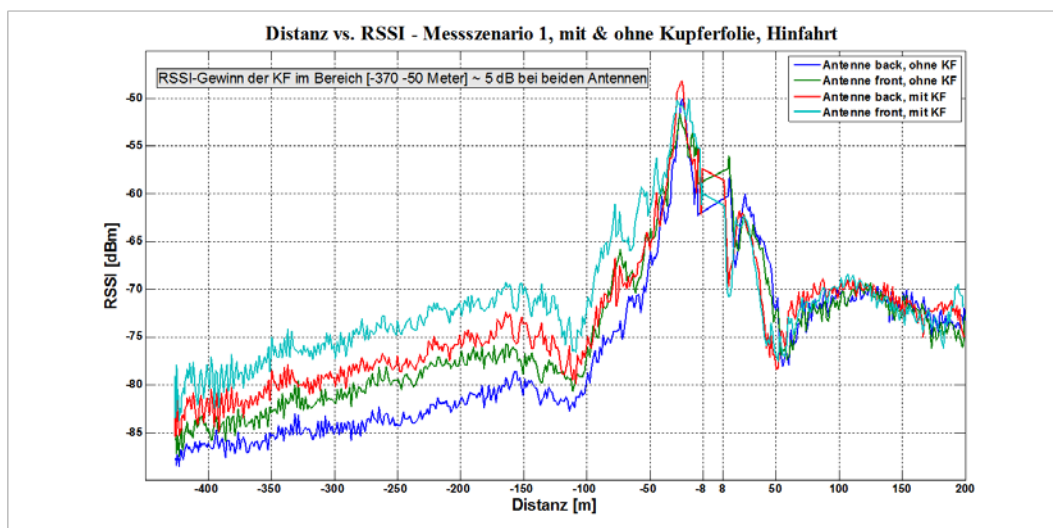


Abbildung 25: Einfluss eines Glasschiebedaches bei der Reichweitenmessung mit der hybriden CONVERGE-Antenne auf einem Versuchsträger

Für die Sicherstellung einer robusten Kommunikation bei Funkfrequenzen von 5.9 GHz ist es somit besonders wichtig, dass alle integrationsseitigen Effekte, die die Reichweite des Funksystems beeinflussen detailliert analysiert worden sind. Darüber hinaus muss durch geeignete Entwurfsmethodiken sicher gestellt werden, dass die Reichweitenverluste durch robuste Systemauslegung vermindert oder gar kompensiert werden können.

Parallel zu den simulations- und messtechnischen Untersuchungen hat die BMW AG begonnen, die Anforderungen für ein Referenz-Simulationsmodell aus Sicht von ETSI ITS-G5 zusammenzutragen. Das Simulationsmodell soll für die Bewertung der Effizienz unterschiedlicher Kommunikationstechnologien und Protokoll-Implementierungen verwendet werden.

Am Standort der BMW AG in München wurde ein heterogenes Testnetz aufgebaut und evaluiert. Das Test-Netz wurde um das Gebäude der BMW Forschung und Technik GmbH



aufgestellt (siehe Abbildung 26) und mit den Funkzugangssystemen ETSI ITS-G5 und IEEE 802.11n WLAN ausgestattet. Zusätzlich stehen in dem Testnetz verschiedene Mobilfunk-Basisstationen zur Verfügung. Diese beinhalten ebenfalls die 3GPP LTE-Technologie in den Frequenz-Bändern bei 800 MHz und 2600 MHz. Über das zur Verfügung stehende Testnetz kann somit am Standort der BMW AG auf eine komplette, hybride Kommunikationsinfrastruktur zugegriffen werden. Es wurde für die Performance-Bewertung des hybriden Dachantennensystems eingesetzt, welches im Rahmen des Verbundprojektes CONVERGE entwickelt wurde.

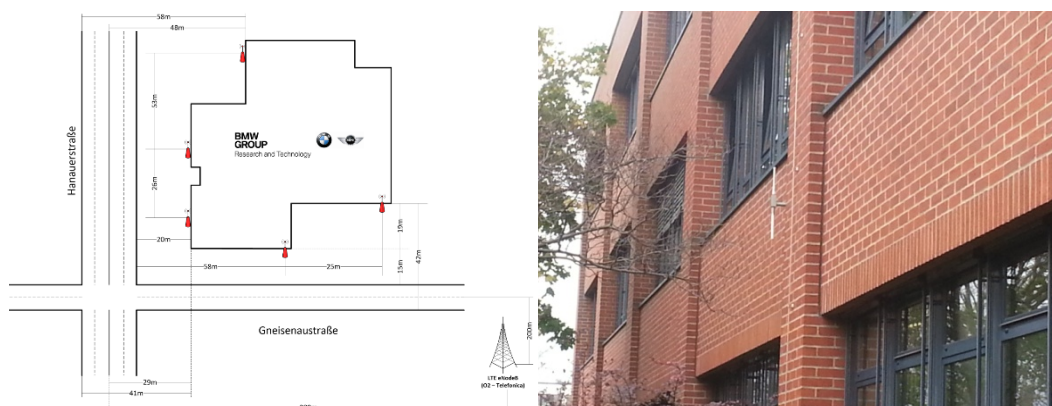


Abbildung 26: Heterogenes Test-Netz um BMW Forschung und Technik in München, Milbertshofen

Im aufgebauten Testnetz wurden fünf verschiedene Antennenstandorte verwendet, um die Netzabdeckung zwischen der Hanauerstraße und der Gneisenaustraße zu gewährleisten. Abbildung 26 zeigt die Outdoor-Antennen, die um das Gebäude angebracht sind. Während die obere Antenne für den ITS-G5-Standard in den 5.9 GHz Bereich ausgelegt ist, wird die untere Antenne benutzt, um WLAN in den 2.4 GHz-Band zu ermöglichen. Die Antennen werden gebäudeseitig jeweils an eine ITS Road Side Unit (RSU) und an einem WLAN Access Point angebunden.

Einige Messergebnisse sind in der folgenden Abbildung 27 dargestellt. Interessante Effekte lassen sich im LTE-Band bei 2.6 GHz beobachten: Auch wenn die RSRP-Werte um die ganze Teststrecke gut sind, zeigen die RSRQ-Werte teilweise eine schlechte Performance des Netzwerkes. Dies ist auf Interferenzen und Abschattungseffekte zurück zu führen, die auf eine Verschlechterung der Verbindungsqualität führen und somit durch applikationsbedingte Re-Transmissions die Ende-zu-Ende Latenz erhöhen.



Abbildung 27: Messergebnisse für WLAN-RSS, LTE RSRP, LTE RSRQ

Im Fall der ITS-G5 Kommunikation wurde die Messung bei 5.9 GHz entlang einer geraden Strecke (Gneisenaustraße) durchgeführt, um die flächenhafte Abdeckung einer ITS Roadside Unit zu bestimmen. Wesentliches Ziel der Untersuchung war ebenfalls die Bewertung der fahrzeugseitigen Integrationseffekte auf die Funkreichweite im 5.9 GHz-Band.

Bei einem hybriden Kommunikationssystem kann der Wechsel von einer Verbindungstechnologie zu einer anderen zu Unterbrechungen führen. Um einen unterbrechungsfreien Dienst über heterogene Funkzugangssysteme zu realisieren, ist es notwendig auf der ISO/OSI Netzwerkebene die Kommunikation aufrechtzuerhalten. Dafür wurden die drei folgenden Lösungen quantitativ analysiert:

1. Session Initiation Protocol (SIP) – Kommunikationsprotokoll auf der Anwendungsebene zum Aufbau, Abbau und Steuerung zwischen verschiedenen Teilnehmern im Netzwerk. SIP ermöglicht die Ortsänderung während einer aktiven Session. Es arbeitet unabhängig vom Transportprotokoll und Art der Session. Der mobile Knoten führt immer eine Registrierung mit seinem „Home-Register“ durch, wenn er eine neue IP-Adresse erhält. Durch die Lösung auf der Anwendungsebene von SIP ist die Erkennung einer IP-Adressenänderung nicht unterbrechungsfrei, so dass es zu hohen Latenzzeiten führen kann.
2. Mobile Stream Transmission Control Protocol (mSCTP) – Erweiterung des SCTPs, um mobile Endknoten im Netzwerk anzubinden. Dieses Verfahren ermöglicht die dynamische Registrierung mehrerer IP-Adressen (IP-Adressbereiche) für einen Endknoten. Durch die Nutzung von mSCTP kann der Endknoten während einer aktiven Verbindung IP-Adressen hinzufügen oder verwerfen. Eine Lokalisierungsverwaltung ist nicht spezifiziert. Sie muss für einen mobilen Knoten selbst definiert werden.
3. Mobile IP (MIP) – Kommunikationsprotokoll auf der Vermittlungsschicht, das den Erhalt der IP-Adresse eines mobilen Knotens bei einem Netzwerkwechsel ermöglicht. Dabei wird der mobile Knoten durch eine feste IP-Adresse („home

address: HA“) unabhängig von der aktuellen Position des Knotens identifiziert.

Tabelle 1: Protokollvergleich

	SIP	mSCTP	Mobile IP
<b>Lösung auf der OSI-Ebene</b>	Anwendung	Transport	Vermittlung
<b>Kompatibilität</b>	(+) möglich mit IPv4/v6 (+) unabhängig vom Transportprotokoll (-) Erkennung einer IP-Adressenänderung schwierig	(+) möglich mit IPv4/v6 (-) abhängig vom Transportprotokoll	(+) möglich mit IPv4/6 (+) unabhängig vom Transportprotokoll (+) mit IPv4 und IPv6 mittels Dualstack mobile IP möglich
<b>Overhead</b>		UDP Enkapsulierung - UDP Header: 8 oder 12 bytes mit IPv4, 8 oder 14 bytes mit IPv6	IP-in-IP Enkapsulierung - zusätzlich 8 oder 12 Byte bei IPv4 ; 8 oder 40 Bytes bei IPv6
<b>Lokalisierungsverwaltung</b>	Erkennung einer IP-Adressenänderung schwierig	Keine Lösung	- Speichern der IP-Adresse  - Nutzung einer zweiten IP-Adresse für die temporäre Ortung
<b>Anforderungen im Netzwerk</b>	Zusätzliche Geräte im Netzwerk notwendig (z.B. Proxy Server, SIP Register) Anwendungen müssen angepasst werden	Beide Endknoten müssen mSCTP implementieren	Mobiler Knoten und HomeAgent (HA) müssen MIP kompatibel sein

Für weitergehende Untersuchungen wurde das Protokoll „*Mobile IP*“ mit der Erweiterung *NEMO* ausgewählt. Dazu wurde das Protokoll auf einer Telematik-Plattform integriert und anschließend Tests im Testfeld durchgeführt.

Wichtig in einer hybriden Umgebung ist die Entscheidung, wann und zu welchem Netz gewechselt werden sollte, um bestimmte Parameter wie Kosten, Latenz oder Datenrate zu optimieren. Dazu wurde ein *vertikaler Handover-Entscheidungsalgorithmus (Vertical Handover Decision Algorithm (VHDA))* implementiert. Er ermöglicht eine intelligente und automatische Netzwahl, die bestimmt, über welche Funktechnik die Daten übermittelt werden sollen. Hierzu erfolgen eine Bewertung der einzelnen Netze und die Entscheidung, „Wann“ und „Wohin“ ein Netzwechsel durchgeführt wird. Die Entscheidung „Wann“ bezieht sich auf den Zeitpunkt, um einen rechtzeitigen Handover durchführen zu können. Beim „Wohin“ wird das Netzwerk gewählt, welches die Anforderungen für einen Wechsel am besten erfüllt. Dazu wurde der *Handover-Entscheidungsdaemon (Handover Decision Daemon (HDD))* entwickelt und in die Architektur integriert. Dieser stellt dem VHDA alle

erforderlichen Eingangsparameter und Schnittstellen zur Verfügung. Das Grundkonzept ist in Abbildung 28 zu sehen.

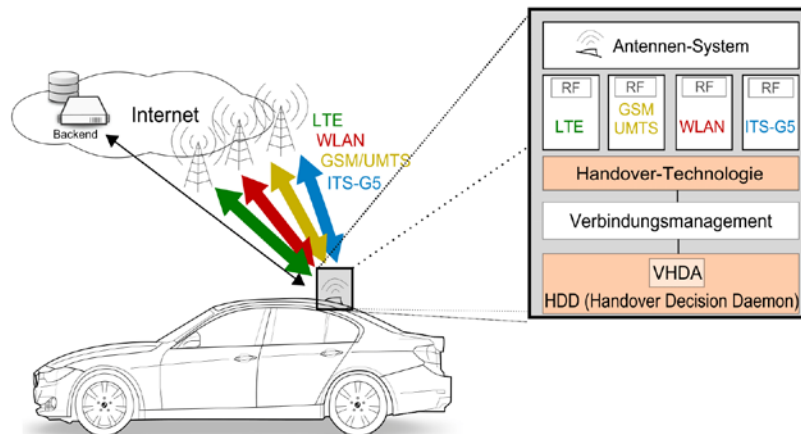


Abbildung 28: Fahrzeugseitige Nutzung von heterogenen Funkzugangssystemen

Für die Untersuchung der Übertragungsqualität bei einem Verbindungswechsel wird während der Handover-Tests ein konstanter UDP-Stream von 1 Mbit/s vom Backend zum Mobile Router (MR) übertragen. Mit der Anwendung Iperf wird der UDP-Stream an die IPv6-HoA (Permanente IPv6 Adresse, Home Address) des MRs versendet. Auf dem MR empfängt der Iperf-Server die Daten und misst den Paketverlust sowie den Jitter. Der zeitliche Verlauf der Handover-Tests ist in Abbildung 30 abgebildet. Die verfügbaren Netzwerke und deren Zustände sind im ersten Diagramm dargestellt. Dabei wird in den Diagrammen LTE mit grün und WLAN mit blau dargestellt.

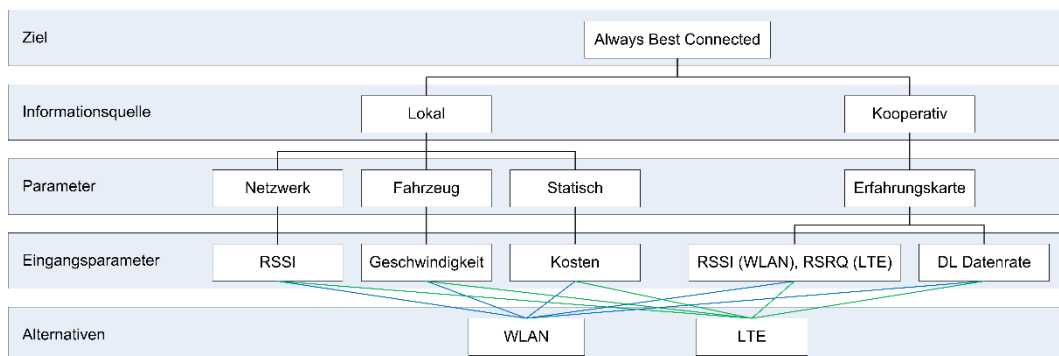


Abbildung 29: Struktur des verwendeten AHP-Entscheidungsproblems mit lokalen und kooperativen Informationen

Es wurden zwei Algorithmen implementiert und gegeneinander verglichen. Als Referenzalgorithmus wurde für die Bewertung ein RSS-basierter mit Schwellwert und Hysterese mit folgender Handover-Bedingung implementiert.

$$(RSS_{Aktiv} < T_{HO}) \wedge (RSS_{Alternativ} > RSS_{Aktiv} + H)$$

$RSS_{Aktiv}$  und  $RSS_{Alternativ}$  entsprechen dabei den Empfangsleistungen des aktiven beziehungsweise des besten alternativen Netzwerks. Um einen Handover überhaupt in Betracht zu ziehen, muss die Signalstärke des aktiven Netzes unter einem definierten

Schwellwert  $T_{HO}$  (in dBm) liegen. Ist die erste Teilbedingung erfüllt, muss zusätzlich zwischen alternativem und aktivem Netz die Empfangsleistung einen nötigen Unterschied um den Hysteresewert  $H$  (in dBm) aufweisen.

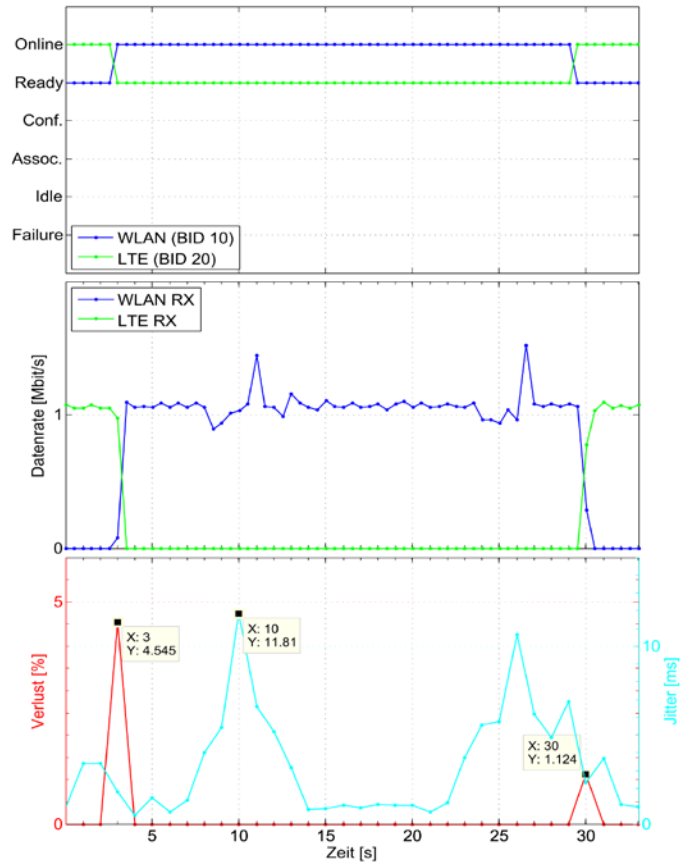


Abbildung 30: Messungen von Paketverlust und Jitter bei einem UDP-Download von 1 Mbit/s

Der zweite Algorithmus (*Analytic Hierarchy Process-Algorithmus (AHP)*) basiert auf einem multikriteriellen Ansatz und zieht so weitere Parameter mit in Betracht (siehe Abbildung 29). Die Kriterien sind in Hierarchien angeordnet, werden gegeneinander gewichtet und anschließend eine Handover-Entscheidung gefällt.

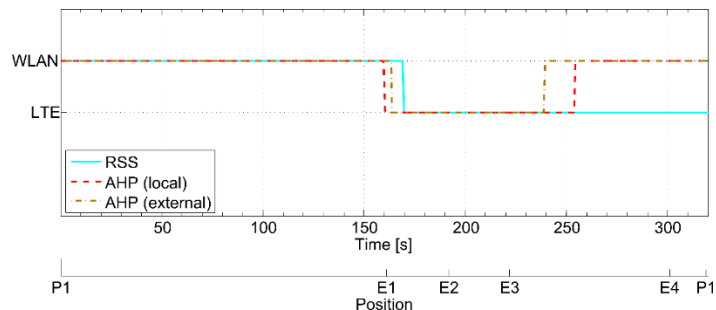


Abbildung 31: Vergleich der Handover-Entscheidung von RSS-basierten, AHP mit lokalen sowie AHP mit lokalen und externen Eingangsparametern

Der AHP wurde dabei einmal nur mit lokal messbaren Parametern genutzt und ein anderes Mal mit zusätzlich aggregierten Daten aus einer erstellten Erfahrungskarte über die Verbindungsqualität.

Um die Performance der beiden AHPs im Vergleich zum RSS-basierten Referenzalgorithmus zu bewerten, wurden die Kostenersparnisse für eine Datenübertragung betrachtet. Bei der Betrachtung der Kosten für die verschiedenen Funkzugangssysteme wurde eine Skalierung zwischen 1 (kostenlos) und 9 (teuer) *Kosteneinheiten (KE)* genutzt. Dabei werden pro übertragenen *Megabyte (MB)* für WLAN 2KE und für LTE 8KE berechnet. Die ermittelten Kosten ermöglichen eine Aussage über die Kosteneffizienz der Datenübertragung.

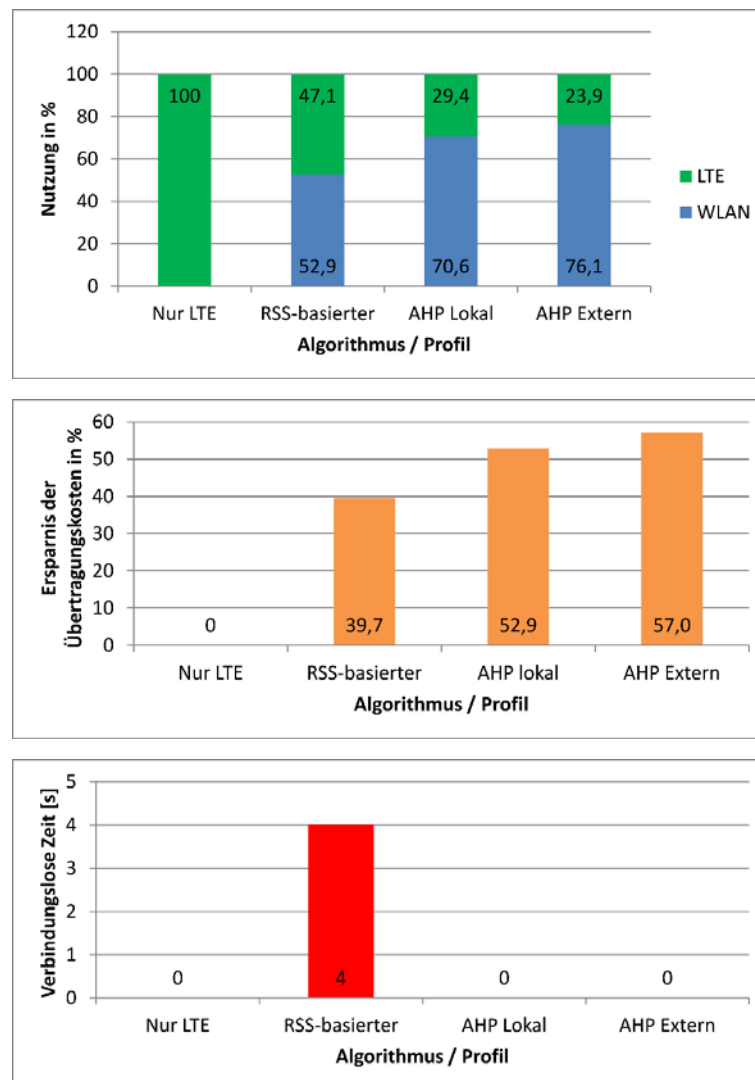


Abbildung 32: Vergleich von Nutzungsdauer, Übertragungskosten und Verbindungsloser Zeit der eingesetzten VHDAs

In den in Abbildung 32 dargestellten Messergebnissen wird als Hauptreferenz eine nur-LTE-Konnektivität verwendet. Das erste Diagramm zeigt dabei die Nutzungsdauer der jeweiligen Funksysteme für die eingesetzten Handover-Entscheidungsalgorithmen während der Messfahrt. Im zweiten Diagramm sind die zugehörigen Ersparnisse basierend auf einer nur LTE-Verbindung abgebildet. Im letzten Diagramm ist die verbindungslose Zeit aufgeführt. Diese drückt aus, ob ein rechtzeitiger Handover durch einen VHDA initiiert wurde. Dabei ist zu sehen, dass der RSS-basierte Algorithmus im Gegensatz zu den beiden AHPs den richtigen Zeitpunkt für einen Handover verpasst und somit eine Unterbrechung der Datenübertragung von 4s verursacht wurde.

### **3.8 AP6 – Mobiler Knoten (BMW)**

Die Arbeiten seitens der BMW AG in AP6 umfassten hauptsächlich Entwicklungs- und Integrationsarbeiten im Bereich des Fahrzeugs (Mobiler Knoten). Der mobile Knoten sollte letztlich hybrid mittels ITS-G5 und LTE mit dem Systemverbund kommunizieren können. Dazu war die Wahl eines geeigneten LTE-Modems und passenden Antennen nötig.

Hier wurde die Fa. PEIKER als möglicher Lieferant für ein LTE-Modem bewertet. PEIKER stellt nach Vorabanalyse der Modemfähigkeiten einen von insg. 3 verschiedenen Anbietern für die Auswahl eines geeigneten Modems dar. Für die Auswahl der Modem-Komponente hat BMW den Kriterienkatalog maßgeblich zusammengestellt anhand dessen z. B. eine Bewertung der Funknetzqualität auf Basis empfangbarer Mobilfunk-Kenngrößen erlaubt.

Zweiter wesentlicher Punkt betrifft die Steuerung des Zulieferers Delphi, der die Kommunikationsarchitektur (Antenne und Kommunikationsplattform) für das BMW-Versuchsfahrzeug liefert. Bzgl. der Antenne für die hybride Kommunikation wurden Messungen für die relevanten Funkfrequenzen durchgeführt. Die Charakterisierung fand in der automotiven Messanlage des Unterauftragnehmers in Bad Salzdetfurth, siehe Abbildung 33, statt. Das Fahrzeug wurde hierzu auf einem Drehteller mit metallischem Boden positioniert, um die Antennencharakteristik in alle Richtungen zu bewerten. Um zusätzlich die Charakteristik in der Vertikalebene zu analysieren wird der Schwenkarm zwischen -90° und 90° bewegt.

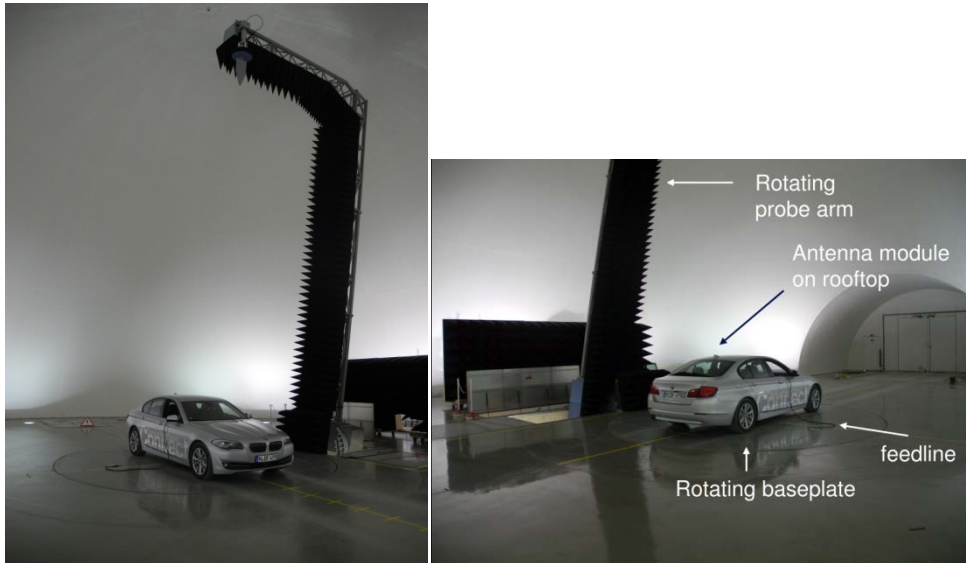


Abbildung 33: Fahrzeug zur Antennencharakterisierung in der Messkammer

Das Antennensystem wurde den anderen Konsortialpartnern für die Ausrüstung der jeweiligen Versuchsfahrzeuge zur Verfügung gestellt. Hierzu wurde die Spezifikation des Antennenmoduls im Rahmen eines AP6-Workshops vorgestellt. Weitere Anforderungen der Konsortialpartner wurden aufgenommen und diskutiert, um eine mit allen Partnern abgestimmte Komponente für die Ausrüstung der Versuchsfahrzeuge zu erhalten.

In Abbildung 34 sind die gemessenen Antennenrichtcharakteristiken der hybriden Dachantenne für Funkfrequenzen bei 5,9 GHz angegeben.

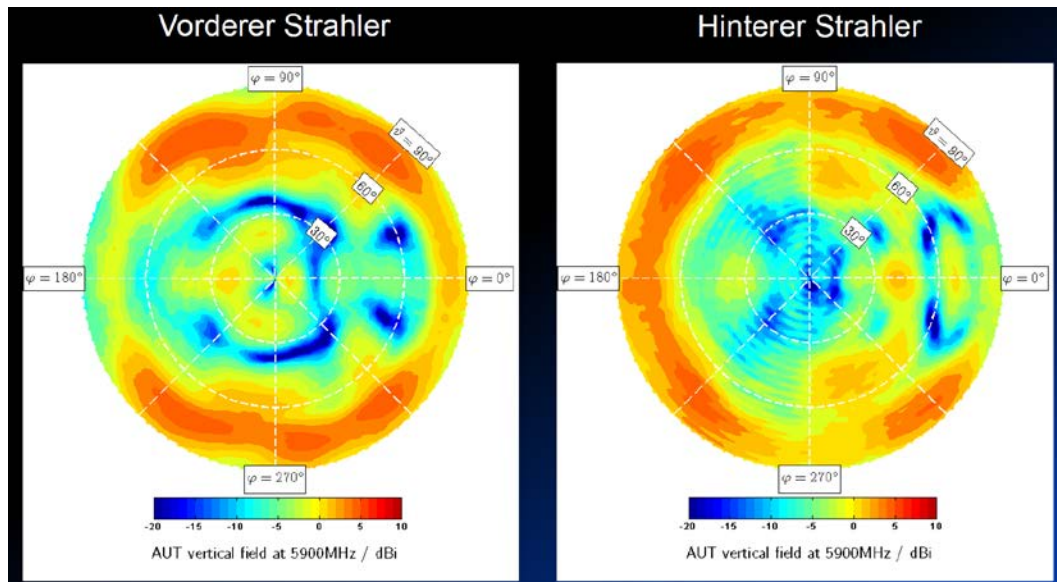


Abbildung 34: Gemessene Antennenrichtcharakteristiken des Antennenmoduls bei ETSI ITS-G5 Funkfrequenzen

Für die Ausrüstung der Versuchsfahrzeuge hat die BMW AG einen Vorschlag für die Realisierung der Fahrzeug-Plattform eingebracht. Dieser Vorschlag wurde mit den



Vorschlägen der anderen Konsortialpartner im Rahmen eines AP6-Workshops konsolidiert und dient als Basis für den Aufbau der Fahrzeug-Architektur im Versuchsträger.

Ein zentraler Punkt, den die BMW AG im Rahmen von AP6 vorangetrieben hat betrifft den regelbasierten „Entscheider“ für die Auswahl eines geeigneten Funkstandards zur Verteilung von Nachrichten zwischen den einzelnen Teilnehmern des Car2X Systemverbunds (Mobile Knoten und infrastruktur-basierte Systeme). Die Entscheider-Komponenten (Abbildung 35) im Systemverbund bestimmen, welchen Weg (z.B. LTE, ITS-G5) Nachrichten von einer Quelle zu einer Senke nehmen und mit welchem Übertragungsprotokoll (z. B. Broadcast, Unicast) sie ggf. weiter verbreitet werden. Die Entscheider-Komponente beeinflusst somit die Effizienz des Car2X Systemverbundes und bedurfte damit einer detaillierten Analyse. Zentrale Fragestellungen die Entscheider-Komponente betreffend wurden im Rahmen eines Konzeptpapiers zusammen getragen und bildeten die Grundlage für die weiterführende Analyse und Spezifikation der Komponente im Rahmen des Car2X Systemverbundes.

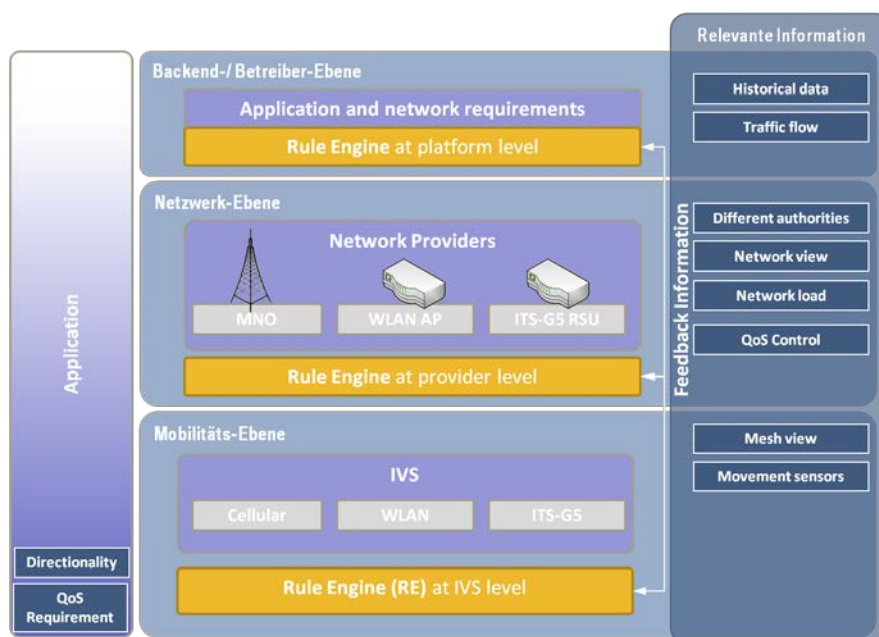


Abbildung 35: Applikationsabhängige Partitionierung von Entscheider-Komponenten entlang des gesamten Car2X Systemverbundes

Weitere Arbeiten umfassten die Integration und Entwicklung von Hard- und Software in ein Versuchsfahrzeug. Insgesamt wurden 2 Versuchsfahrzeuge aufgebaut, ein BMW i3 und ein BMW X5.

Hardwareseitig wurde die entwickelte Dachfinnenantenne mit 2 ITS-G5 Strahlern, 2 LTE-Strahlern und einem GPS-Patch mit einer Abdeckung versehen (siehe Abbildung 39) um eine möglichst seriennahe Integration zu erreichen.



Abbildung 36: AU mit Linkbird im i3 in ein Gehäuse integriert (linker Teil)

Die eigentliche AU und der Linkbird sowie alle weiteren Komponenten wie LTE-Modul, GPS-Modul, WLAN Access Point usw. wurden in ein Gehäuse integriert (siehe Abbildung 36). Eine gemeinsame stabile Stromversorgung sowie Kühlung stellten den zuverlässigen Betrieb sicher.

Antennenkabel wurden entlang der C-Säule bis zur Dachfinne geführt. Fahrzeugbus-Abgriffe wurden direkt an das Gehäuse gesteckt. Ein Bildwandler, welcher das DVI Signal der AU auf den Fahrzeug-Standard APIX wandelt wurde hinter dem Handschuhfach angebracht.

Softwareseitig wurde die aus dem SimTD Projekt stammende Komponente „Bessere Ortung“ von BMW an die Software des Converge Systems angepasst. Die Bessere Ortung berechnet aus Fahrzeugdaten wie Lenkwinkel, Beschleunigungswerten, Geschwindigkeit, Antennenposition etc. und einem GPS-Empfänger eine gefilterte Positionsangabe (Ausgabe mit 10 Hz), die über die VAPI (VW) dem Converge-System zur Verfügung gestellt wird. Die CAM-Nachrichten, welche vom Fahrzeug periodisch versendet werden, beinhalten diese Positionsdaten, worauf dann wieder die Falschfahrerdetektion aufbaut. Deshalb ist eine hohe Positionsgüte wichtig. Da sich das Kommunikations-Protokoll zur VAPI im Vergleich zu SimTD geändert hat (SLAP zu EXLAP), mussten umfangreichere Änderungen an der Besseren Ortung durchgeführt werden.

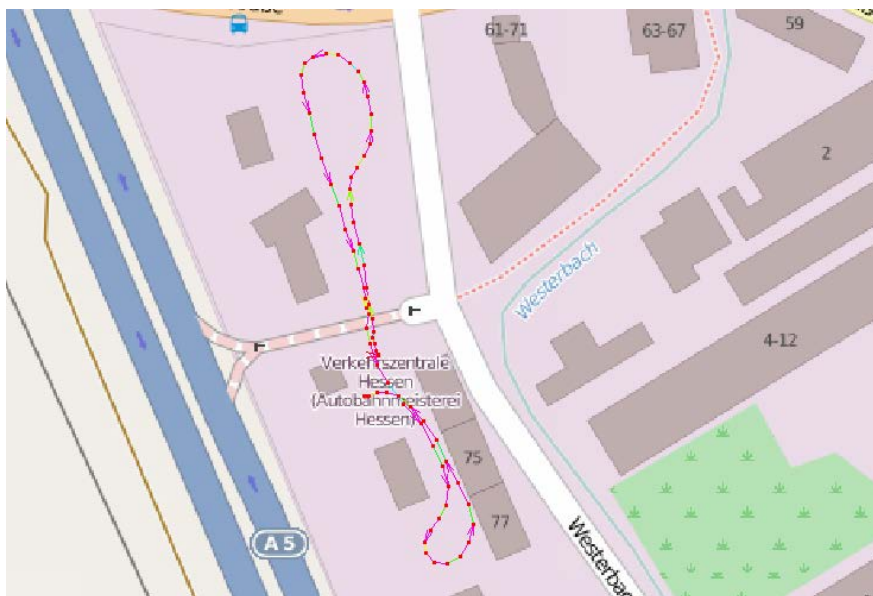


Abbildung 37: Visualisierung einer Testfahrt mit dem GPX-Logger

Beim Integrations-Workshop in Frankfurt am Main wurde die „Bessere Ortung“ dann an die Partner verteilt, in die Versuchsträger integriert und getestet. Zur Überprüfung der berechneten Positionsdaten wurde von BMW ein Datenlogger geschrieben, der die Positionsdaten von der VAPI abgreift und entsprechend dem GPX-Dateiformat niederschreibt, was von verschiedenen Programmen visualisiert werden kann. Der Vorteil des Abgriffs an der VAPI liegt darin, dass auch alternative Positionierungsmechanismen wie z.B. „gps2can“ (von VW) visualisiert und verglichen werden können.

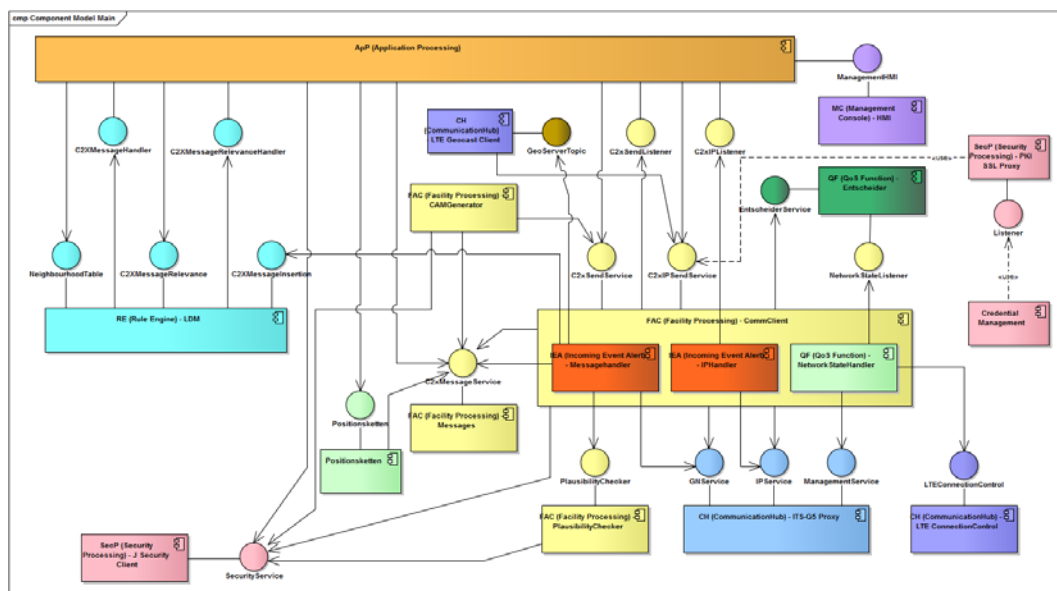


Abbildung 38: : Komponentendiagramm der IVS Software

Weiterhin wurde die Software-Komponente „Entscheider“ implementiert, die für Nachrichten festlegt, über welche Verbindungstechnologie sie übermittelt werden. Dazu kann der Entscheider QoS Anforderungen der Applikation, die eine Nachricht senden will,

mit in die Entscheidung einbeziehen. Weiterhin werden Netzwerk-Parameter der LTE-Verbindung und des ITS-G5 Moduls mit betrachtet. Der implementierte Use-Case WWDW erlaubt jedoch nur eine begrenzte Entscheidung, da solche Warnmeldungen natürlich über sämtliche zur Verfügung stehenden Verbindungen verbreitet werden müssen, ist die Implementierung des Entscheiders minimal gehalten. Die Schnittstellen für eine weitergehende Verbindungswahl sind jedoch vorbereitet und können im Bedarfsfall erweitert werden.



*Abbildung 39: Converge HMI im CID und Verkleidung des Antennenausschnitts*

Während der Integrationsworkshops in Frankfurt am Main wurde das Gesamtsystem mit den Partnern ausgiebig getestet. Es wurden Testfahrten durchgeführt um alle Komponenten in der Kommunikationskette zu belasten. Dabei wurden Messdaten aufgezeichnet, welche die Basis für die Bewertung im Rahmen von AP8 darstellten.

### **3.9 AP7 – Integration, Verifizierung und Demonstration (BMW)**

Im Rahmen von AP7 wurde mit den Partnern gemeinsam während der TWS (Teilsystemworkshop), GWS (Gesamtsystemworkshop) und VWS (Verifikationsworkshop) das Gesamtsystem entwickelt und getestet.

Dabei wurde v.a. die Erkennung eines Falschfahrers mittels der IRS getestet. Es wurden die Örtlichkeiten für die User Story WWDW begutachtet und der Ablauf definiert. Die für AP8 notwendigen Messungen innerhalb des Gesamtsystems wurden während der Workshops durchgeführt. Detaillierte Ergebnisse der Workshops sind in den Kapiteln von AP3 und AP6 dargestellt.

Die Ergebnisse des Workshops wurden im Rahmen der CPP (CONVERGE Projektpräsentation) im Juni 2015 in Frankfurt am Main und im Oktober 2015 bei der CWE (CONVERGE Wissenschaftliche Ergebnispräsentation) in Berlin erfolgreich präsentiert.

### 3.10 AP8 – Abschließende Bewertung (BMBF/BMWi)

Das Arbeitspaket 8 wurde vom BMWi und dem BMBF gefördert. Die Förderung der Bewertung der (technischen) Lösung (AP8.1) und die Bewertung der IT-Security (AP8.2) erfolgte durch das BMBF und die Förderung der Bewertung der funktionalen und organisatorischen Rollenmodelle (AP8.3) sowie die Gesamtsystembewertung (AP8.4) erfolgte durch das BMWi.

Ziel der Aktivitäten von der BMW AG im Rahmen vom AP8 war die Analyse der Skalierbarkeit von 802.11p und LTE inkl. Unicast-, Broadcast- und Hybrid-Verfahren für die Bereitstellung von Verkehrsrelevanten Informationen. Zu diesem Zweck wurden zwei Simulationsszenarien, ein urbanes Szenario und ein Autobahn-Szenario definiert und innerhalb von AP8 abgestimmt. Eine ausführliche Beschreibung der Simulationsszenarien ist im D4.3 zu finden.

Die Abbildung 40 und Abbildung 41 zeigen die durchschnittliche Ende-zu-Ende-Latenz und Fehlerrate von 802.11p und LTE inkl. Unicast- und Broadcast-Verfahren beim Empfangen von CAM Nachrichten im Autobahn-Szenario. Wie die Abbildung 40 zeigt, hat 802.11p die geringste Latenz gefolgt von LTE Unicast und LTE Broadcast. Wichtig ist zu erwähnen, dass alle drei Systeme in der Lage sind, eine durchschnittliche Latenz unter 100 ms zu erreichen. Die geringere Verzögerung von 802.11p ergibt sich durch die Anwendung von direkter Kommunikation zwischen den Verkehrsteilnehmern. Im Fall von LTE müssen alle Informationen durch die Netzinfrastruktur und einen Backend-Server weitergeleitet werden, was die Ende-zu-Ende-Latenz erheblich erhöht. Die Ergebnisse zeigen ebenfalls, dass die Latenz von 802.11p und LTE mit einer wachsenden Anzahl von Fahrzeugen zunimmt, während diese bei eMBMS konstant bleibt. Diese Tatsache deutet auf Skalierbarkeitsprobleme von Unicast-Übertragungen über LTE und von dem verteilten Kanalzugriffsverfahren von 802.11p hin.

Die Ergebnisse in Abbildung 41 zeigen eine hohe Fehlerrate bei 802.11p, die außerdem mit der Anzahl von Fahrzeugen steigt. Die Ursache für diese Entwicklung liegt an dem gut bekannten „Hidden Node“ Problem des 802.11 Kanalzugriffsverfahrens, wobei Kollisionen zwischen Paketen nicht vermieden werden können. Das Kanalzugriffsverfahren von 802.11 namens „Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA)“ basiert auf dem „Listen bevor Talk“ Prinzip, indem jede Station dem Kanal zuhört, bevor sie eine Datenübertragung initiiert. Dieses Verfahren dient dem Zweck, Kollisionen zwischen verschiedenen Sendern (d.h. gleichzeitige Übertragungen von Paketen, die bei einem Empfänger eintreffen) zu vermeiden. Das „Listen before Talk“ Prinzip ist nicht in der Lage Übertragungen zu erkennen, die außerhalb der Reichweite des Senders stattfinden, die sich aber innerhalb der Reichweite vom Empfänger befinden. Dementsprechend besteht die Möglichkeit einer Kollision am Empfänger, selbst wenn der Sender den Kanal als verfügbar einschätzt. Je mehr Sendestationen in einem bestimmten Bereich sind, desto höher die Wahrscheinlichkeit, dass unterschiedliche Paketen bei einem Empfänger kollidieren. Bei einer ausreichenden Anzahl von Stationen können keine

Pakete aufgrund von Kollisionen, die vom „Hidden Node“ Problem verursacht werden, über die Luft übertragen werden.

Im Fall von LTE ist ein ähnliches Phänomen zu erkennen, bei dem die Fehlerrate mit der Anzahl von Fahrzeugen steigt. Allerdings bleibt die Fehlerrate unter 1% mit einer geringeren Anzahl von Fahrzeugen, was durch die QoS Mechanismen von LTE zu erklären ist. An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass die hohe Fehlerrate von LTE auf die Fahrzeuge zurückzuführen ist, die sich in einem schlechten Bereich hinsichtlich der Netzwerkabdeckung befinden. Die QoS Mechanismen von LTE, nämlich erneute Übertragungen, adaptive Modulation und Kodierung können in diesem Fall die Paketfehlerrate nicht verringern.

Die Abbildung 42 zeigt den Prozentsatz von zufriedenen Nutzern von 802.11p und LTE, indem sowohl die Fehlerrate als auch die Ende-zu-Ende-Latenz einbezogen sind. Ein Nutzer wurde als zufrieden betrachtet, so lange 95% der Nachrichten, die für ihn relevant sind, fehlerfrei innerhalb von 100 ms empfangen werden können. Die Ergebnisse in Abbildung 42 deuten darauf hin, dass LTE eine bessere QoS als 802.11p zur Verfügung stellen kann. Diese Tatsache lässt sich durch die geringere Fehlerrate der LTE Technologie erklären. Aufgrund von Skalierbarkeitsschwierigkeiten und dem „Hidden Node“ Problem in LTE bzw. 802.11p fällt in beiden Fällen die Zufriedenheit mit der Anzahl der Nutzer ab,

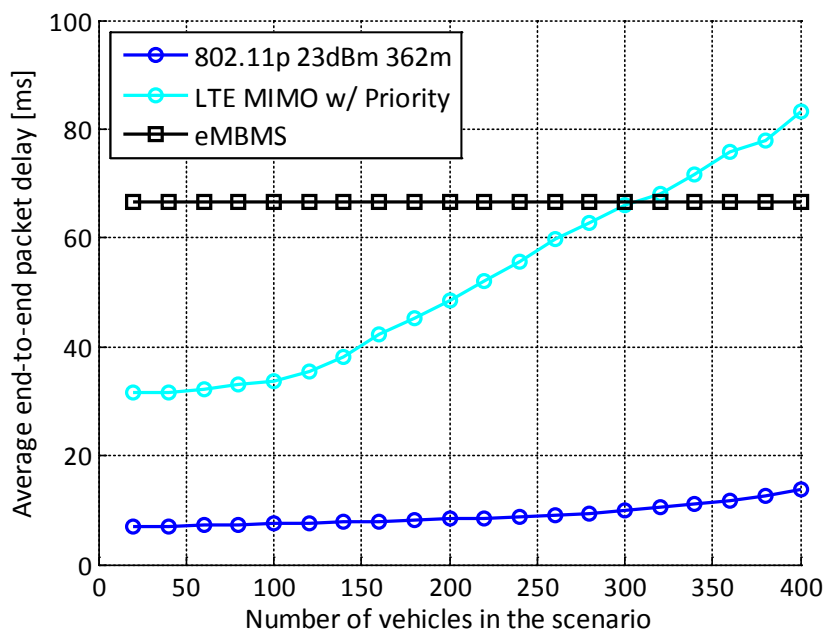


Abbildung 40: Durchschnittliche Ende-zu-Ende-Latenz von 802.11p und LTE inkl. Unicast (LTE MIMO) und Broadcast (eMBMS) gegenüber der Anzahl von Fahrzeugen beim Empfangen von CAM Nachrichten im Autobahn-Szenario.

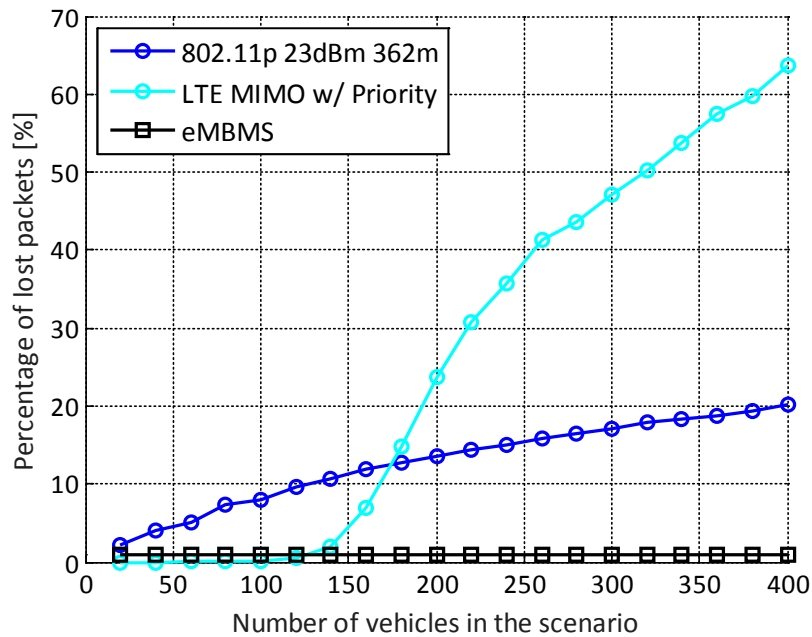


Abbildung 41: Durchschnittliche Fehlerrate von 802.11p und LTE inkl. Unicast (LTE MIMO) Broadcast (eMBMS) gegenüber der Anzahl von Fahrzeugen beim Empfangen von CAM Nachrichten im Autobahn-Szenario.

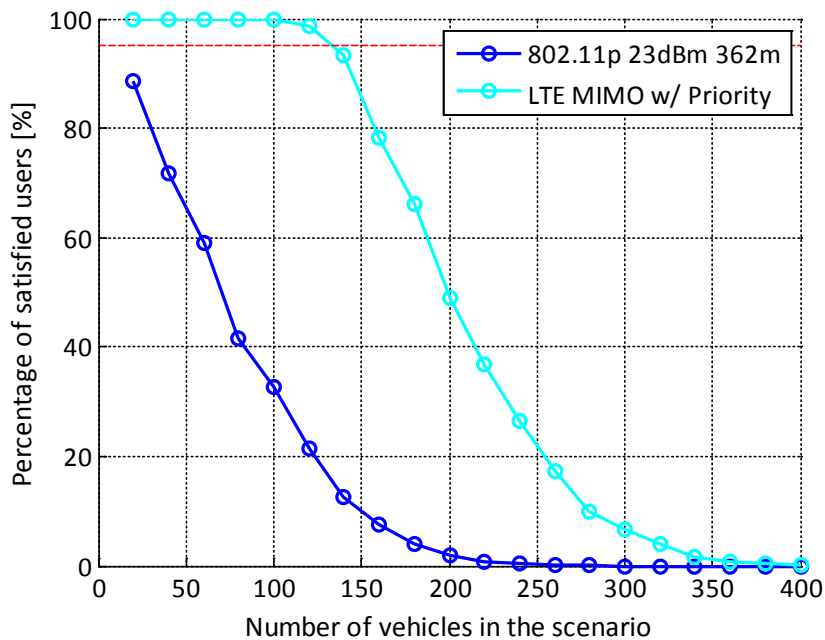


Abbildung 42: Prozentsatz von zufriedenen Nutzern in 802.11p und LTE Unicast gegenüber der Anzahl von Fahrzeugen beim Empfangen von CAM Nachrichten im Autobahn-Szenario.

Die Abbildung 43, Abbildung 44 und Abbildung 45 zeigen die Ende-zu-Ende-Latenz, Fehlerrate und Nutzerzufriedenheit von 802.11p und LTE inkl. Unicast und Broadcast im Urban-Szenario. Im Fall von 802.11p wurden zwei verschiedene Konfigurationen von

Sendeleistung und relevanter Entfernung betrachtet. Die relevante Entfernung sollte nicht mit der Reichweite eines Senders verwechselt werden und bezieht sich auf die maximale Entfernung von einem gewissen Sender, in der all die von diesem Sender übertragenen Nachrichten fehlerfrei und innerhalb eines Zeitraums empfangen werden sollen. Die Abbildungen zeigen ähnliche Ergebnisse wie im Autobahn-Szenario: Die 802.11p Konfiguration mit einer Sendeleistung von 28 dBm und einer relevanten Entfernung von 86 m erreicht eine geringere Latenz aber höhere Fehlerrate als LTE, was letztendlich in eine niedrigere Nutzerzufriedenheit mündet. Die 802.11p Konfiguration mit einer Sendeleistung von 23 dBm erreicht eine geringere Fehlerrate und dementsprechend eine höhere Nutzerzufriedenheit. Die geringere relevante Entfernung verringert die Fehlerrate in Kreuzungen, da die Pakete nicht um die Ecken empfangen werden können, dies reduziert außerdem die Auswirkungen vom „Hidden Node“ Problem. Trotzdem ist die relevante Entfernung ein kritischer Aspekt bei Fahrerassistenzsystemen, indem Entfernungen jenseits von 25 m je nach Use Case erforderlich sein können.

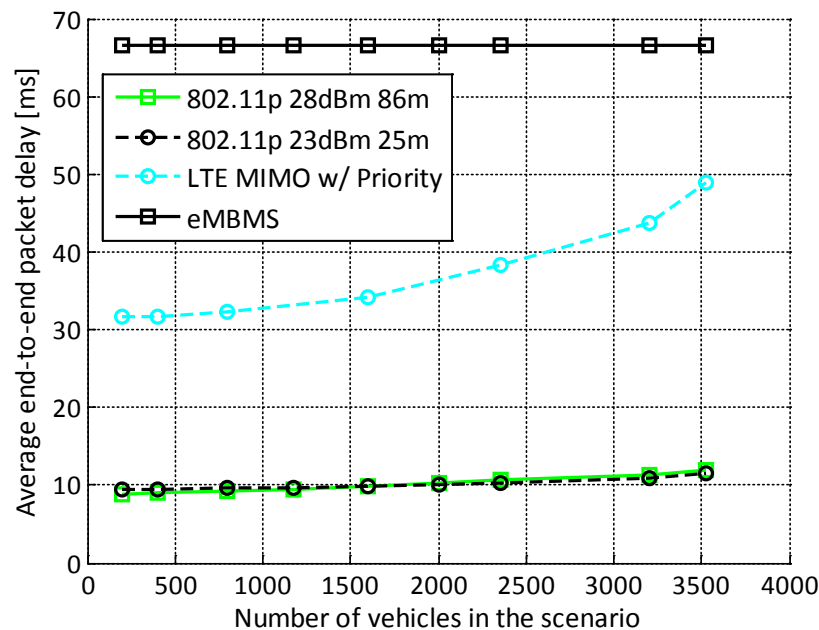


Abbildung 43: Durchschnittliche Ende-zu-Ende-Latenz von 802.11p und LTE inkl. Unicast (LTE MIMO) und Broadcast (eMBMS) gegenüber der Anzahl von Fahrzeugen beim Empfangen von CAM Nachrichten im Urban-Szenario.



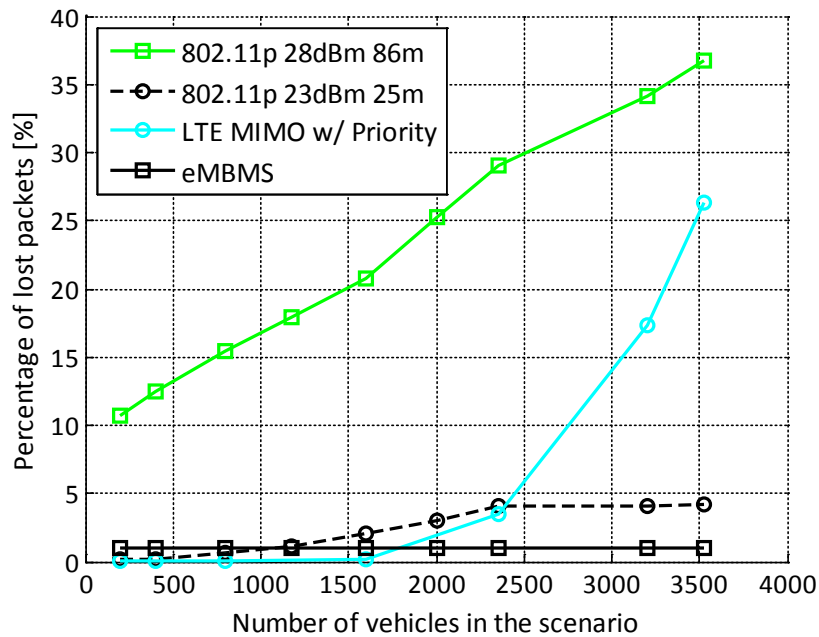


Abbildung 44: Durchschnittliche Fehlerrate von 802.11p und LTE inkl. Unicast (LTE MIMO) und Broadcast (eMBMS) gegenüber der Anzahl von Fahrzeugen beim Empfangen von CAM Nachrichten im Urban-Szenario.

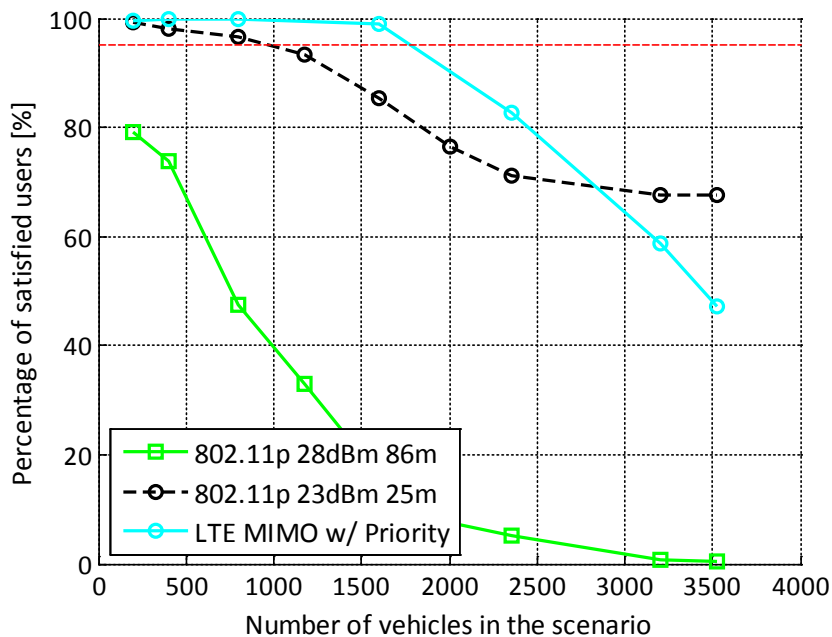


Abbildung 45: Prozentsatz von zufriedenen Nutzern in 802.11p und LTE Unicast gegenüber der Anzahl von Fahrzeugen beim Empfangen von CAM Nachrichten im Urban-Szenario.

Die Abbildung 46 und Abbildung 47 zeigen den Ressourcenverbrauch von LTE inkl. Unicast und Broadcast mit verschiedenen hybriden LTE-802.11p Verfahren, die auf Clustering basieren. Konkret wurden das von der BMW AG vorgeschlagene Verfahren namens Beacons und das gut bekannte Lowest ID Verfahren bewertet. Die Abbildungen zeigen die

Fähigkeit von hybriden Verfahren, den Ressourcenverbrauch von LTE Unicast mehrfach zu reduzieren, sowie die überlegene Performance vom Beacons Verfahren gegenüber Lowest ID. Trotzdem weist LTE Broadcast bzw. eMBMS den geringsten Ressourcenverbrauch von allen auf, sowohl im Autobahn- als auch im Urban-Szenario.

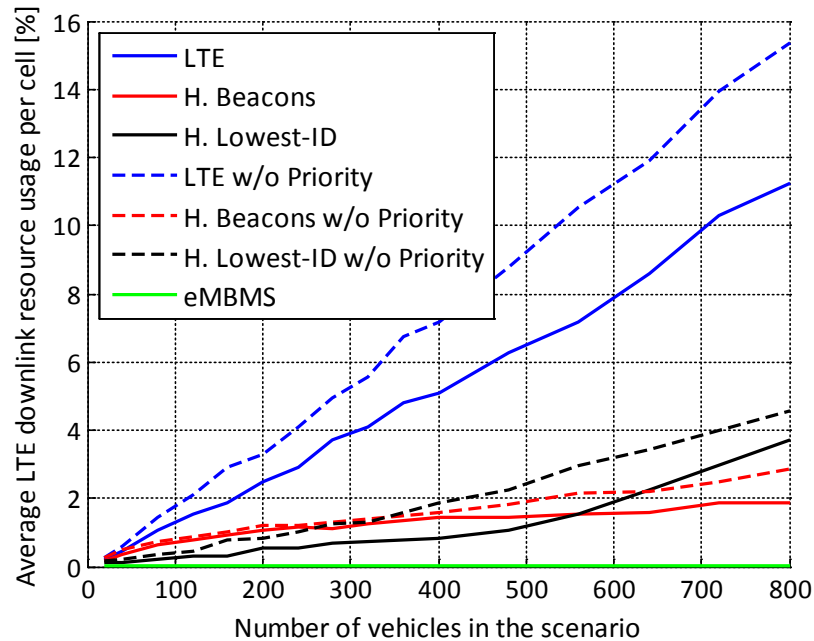


Abbildung 46: Ressourcenverbrauch von LTE inkl. Unicast, Broadcast (eMBMS) und hybriden LTE-802.11p Verfahren gegenüber der Anzahl von Fahrzeugen bei der Verbreitung von DENM Nachrichten im Autobahn-Szenario.

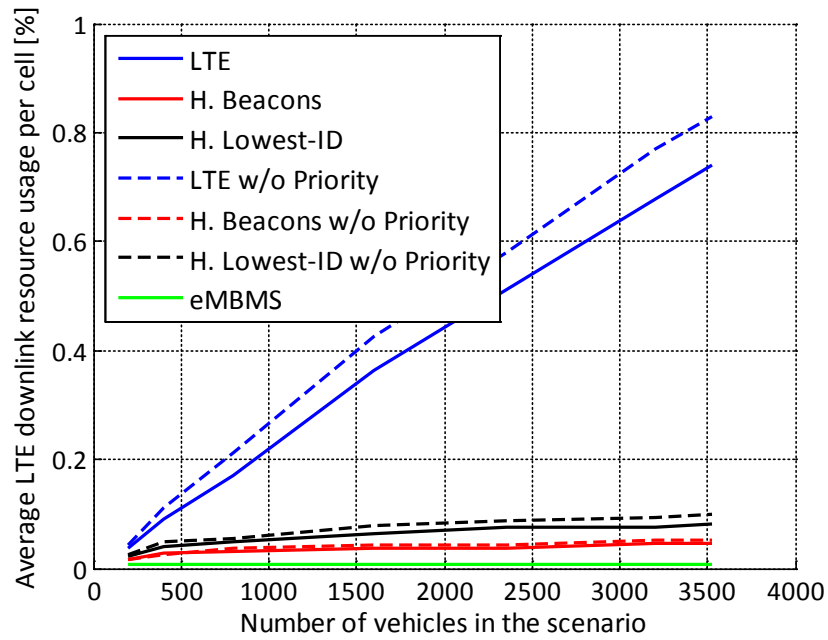


Abbildung 47: Ressourcenverbrauch in LTE inkl. Unicast, Broadcast (eMBMS) und hybriden LTE-802.11p Verfahren gegenüber der Anzahl von Fahrzeugen bei der Verbreitung von DENM Nachrichten im Urban-Szenario.

## 4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die BMW AG hat sich während des Projektzeitraums auf zwei wesentliche Kernthemen fokussiert.

1. Leistungsbewertung der hybriden Funkzugangssysteme wie ETSI ITS-G5 und Mobilfunk LTE für Fahrerinformation (FIS)- und Fahrerassistenzsystemen (FAS).

Die Evaluierung der beiden Funktechnologien hat dabei gezeigt, dass eine Verbreitung sicherheitskritischer Nachrichten mittels des Clusterhead-Verfahrens ressourcen- und somit kosteneffizient realisiert werden kann. Das Clusterhead-Verfahren beschreibt die Auswahl von Fahrzeugen, die die zwei Funktechnologien unterstützen, um sicherheitskritische Nachrichten (z.B. lokale Gefahrenwarnung) intelligent über beide Funkschnittstellen zu verschicken. Diese Fahrzeuge werden dabei als Gateway benutzt, um alle Fahrzeuge in der Umgebung zu benachrichtigen. Dieser Ansatz reduziert zum einen die Radio-Ressourcen und zum anderen können mehr Fahrzeuge erreicht werden, da Fahrzeuge die Information ebenfalls erhalten, die nur eine Funktechnologie verbaut haben. Somit können sicherheitskritische Nachrichten auch bei geringer Penetrationsrate von Fahrzeugen mit hybriden Funktechnologien besser verteilt werden. Weiterführende Information über das Clusterhead-Verfahren mit den wesentlichen Ergebnissen sind in den Kapiteln 3.4 und 3.10 beschrieben.

2. Kooperative und herstellerübergreifende Backend-Kommunikation für den Austausch von sicherheitskritischen Verkehrsinformation (z.B. lokale Gefahrenwarnung).

Im Rahmen der CONVERGE Projektpräsentation im Juni 2015 wurde die Falschfahrer demonstration mit den CONVERGE-Partnern als exemplarisches Anwendungsbeispiel für das CONVERGE Projekt gezeigt. Dabei wurde der Falschfahrer über eine stationäre ITS Roadside Station (IRS) detektiert und die Information an die unterschiedlichen Backend-Komponenten der CONVERGE-Partner verschickt. Dieser prototypisch realisierte Anwendungsfall zeigt, dass der Austausch lokaler und sicherheitskritischer Warnmeldung über herstellerübergreifende Backends in Echtzeit möglich ist.

Die BMW AG hat dafür die notwendigen Schnittstellen für die Anbindung der eigenen prototypischen Backend-Komponenten an den CONVERGE-Systemverbund implementiert und mit den Partnern das Anwendungsbeispiel Geisterfahrerwarnung erfolgreich realisiert.

## **5 NUTZEN UND VERWERTBARKEIT DER ERGEBNISSE**

Siehe Erfolgskontrollbericht.

## **6 FORTSCHRITT AUF DEM GEBIET DES VORHABENS**

Während der Laufzeit des Projekts CONVERGE wurde in der 3GPP-Organisation eine neue Arbeitsgruppe **V2X** inkl. V2V, V2P und V2I gegründet, um zukünftige FIS- und FAS-Funktionen im Mobilfunk zu adressieren. Dabei sollen Anwendungsfälle mit den technischen Anforderungen im Automotivbereich definiert und untersucht werden.

U.a. werden unter der Nutzung der Technologien Proximity Service (ProSe), Device-to-Device (D2D) Kommunikation und Multicast LTE (eMBMS) diese Funktionen und Anwendungen definiert.

Die Aktivitäten der 3GPP-Organisation ist unter der folgende Adresse erreichbar:

[http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1675-lte\\_automotive/](http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1675-lte_automotive/)

## 7 BERICHTE UND VERÖFFENTLICHUNGEN

Während des Zeitraums im Projekt sind die folgenden Publikationen hervorgegangen, die auf internationalen Konferenzen und Workshops einen Einblick über technologische Fragestellungen des CONVERGE Projektes gegeben haben. Hierbei handelt es sich um die folgenden Vorträge:

1. Christian Lottermann, Mladen Botsov, Peter Fertl, Robert Müllner:  
**„Performance Evaluation of Automotive Off-board Applications in LTE Deployments“**, IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), 2012.
2. Andreas Thiel, Levent Ekiz, Oliver Klemp, Micha Schultz:  
**"Automotive Grade MIMO Antenna Setup and Performance Evaluation for LTE Communications"**, IEEE IWAT Karlsruhe, Februar 2013.
3. Levent Ekiz, Andreas Thiel, Oliver Klemp, Christoph F. Mecklenbräuer:  
**"MIMO Performance Evaluation of Automotive Qualified LTE Antennas"**, IEEE EuCAP, Juni 2013.
4. Levent Ekiz, Christian Lottermann, David Öhmann, Oliver Klemp, Thang Tran, Christian Wietfeld:  
**"Information for Vertical Handover Decision Algorithms"**, IEEE ITSC, Oktober 2013.
5. Levent Ekiz, Timo Patelczyk, Oliver Klemp, Christoph Mecklenbräuer:  
**"Compensation of Vehicle Vehicle-Specific Antenna Radome Effects at 5.9 GHz"**, IECON Konferenz, November 2013.
6. Levent Ekiz, Adrian Posselt, Oliver Klemp, Christoph F. Mecklenbräuer:  
**"System Level Assessment of Vehicular MIMO Antennas in 4G LTE Live Networks"**, IEEE VTC Fall, September 2014.
7. Adrian Posselt, Levent Ekiz, Oliver Klemp, Bernd Geck, Christoph F. Mecklenbräuer:  
**"System Level Evaluation for Vehicular MIMO Antennas in Simulated and Measured Channels"**, IEEE EuCAP, April 2014.
8. J. Calabuig, J. F. Monserrat, D. Gozalvez and O. Klemp:  
**"Safety on the Roads, LTE Alternatives for Sending ITS Messages,"** IEEE Vehicular Technology Magazine, Vol. 9, No. 4, pp. 61-70, 2014.
9. Oliver Klemp, David Gozalvez, Hyung-Taek Lim, Levent Ekiz:  
**"Hybride Kommunikations-Systeme im Automobil – Potenziale im Fahrerassistenz- und Infotainment-Umfeld. Teil 1"**, Elektronik Automotive 08/2014.

10. Oliver Klemp, David Gozalvez, Hyung-Taek Lim, Levent Ekiz:  
**“Hybride Kommunikations-Systeme im Automobil – Potenziale im  
Fahrerassistenz- und Infotainment-Umfeld. Teil 2”**, Elektronik Automotive  
09/2014.



## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN <b>geplant</b>	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) <b>Schlussbericht</b>
3. Titel  <b>Abschlussbericht aus dem Verbundvorhaben:          CONVERGE („COmmunication Network VEhicle Road Global Extension“) NETS</b>	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] <b>Lim, Hyung-Taek</b>	5. Abschlussdatum des Vorhabens <b>31.10.2015</b>
	6. Veröffentlichungsdatum <b>Im Juni 2016 (geplant)</b>
	7. Form der Publikation <b>Bericht in TIB Hannover</b>
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  <b>BMW AG, LT-33          Parkring 19          85748 Garching</b>	9. Ber. Nr. Durchführende Institution -
	10. Förderkennzeichen <b>16BV1205</b>
	11. Seitenzahl <b>69</b>
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  <b>Bundesministerium für          Bildung und Forschung (BMBF)          53170 Bonn</b>	13. Literaturangaben -
	14. Tabellen <b>1</b>
	15. Abbildungen <b>47</b>
16. Zusätzliche Angaben -	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) -	
18. Kurzfassung <b>Mit dem Forschungsprojekt CONVERGE-NETS wurde eine gesamteinheitliche C2X-Systemarchitektur definiert, um den Informationsaustausch zwischen den Anbietern und Kunden von ITS-Diensten unter Nutzung der hybriden Funktechnologien zu ermöglichen. Der C2X-Systemverbund ermöglicht sowohl öffentlichen als auch privaten Akteuren neue Anwendungen und Geschäftsfelder für einen sicheren und ressourcenschonenden Straßenverkehr.</b>  <b>Die BMW Group Forschung und Technik hat Funktechnologien und Protokolle für die Anbindung an einen C2X-Systemverbund evaluiert und sie prototypisch validiert. Neue Ansätze und Algorithmen für die effiziente und kostengünstige Verteilung von sicherheitskritischen Nachrichten über hybride Funkzugangssysteme wurden definiert und untersucht. Zudem wurden mittels Simulationen Skalierbarkeitsanalysen der beiden Funktechnologien (ETSI ITS-G5 und Mobilfunk LTE) sowie von den hybriden Übertragungsverfahren durchgeführt.</b>	
19. Schlagwörter <b>C2X-Systemverbund, Hybride Kommunikationstechnologien, Kooperative Backends</b>	
20. Verlag <b>TIB Hannover</b>	21. Preis -

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN <b>planned</b>	2. type of document (e.g. report, publication) <b>Final report</b>
3. title  <b>Final report of the project CONVERGE („COmmunication Network VEHicle Road Global Extension“) NETS</b>	
4. author(s) (family name, first name(s)) <b>Lim, Hyung-Taek</b>	5. end of project <b>2015 / 10 / 31</b>
	6. publication date <b>June 2016 (planned)</b>
	7. form of publication <b>report in TIB Hannover</b>
8. performing organization(s) (name, address)  <b>BMW AG, LT-33 Parkring 19 85748 Garching</b>	9. originator's report no. <b>-</b>
	10. reference no. <b>16BV1205</b>
	11. no. of pages <b>69</b>
12. sponsoring agency (name, address)  <b>Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn</b>	13. no. of references <b>-</b>
	14. no. of tables <b>1</b>
	15. no. of figures <b>47</b>
16. supplementary notes <b>-</b>	
17. presented at (title, place, date) <b>-</b>	
18. abstract <b>The research project CONVERGE-NETS defines an unique and overall C2X system network in order to enable an information exchange between different service providers and ITS service consumers with the use of hybrid wireless technologies. The C2X system network allows public as well as private stakeholders to create new applications, use cases and business models for a safety and resource efficient road traffic.</b>  <b>The BMW Group evaluates and validate the different wireless access networks and protocols for connecting to the C2X system networks with prototypes. New approaches and algorithms are defined and analyzed in order to distribute the safety-critical information efficiently over hybrid wireless technologies. Furthermore the simulation based performance evaluation is used in order analyze the scalability of both wireless technologies (ETSI ITS-G5 and cellular LTE)</b>	
19. keywords <b>C2X system network, hybrid communication technologies, cooperative backend systems</b>	
20. publisher <b>TIB Hannover</b>	21. price <b>-</b>

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN <b>geplant</b>	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) <b>Schlussbericht</b>
3. Titel  <b>Abschlussbericht aus dem Verbundvorhaben:          CONVERGE („COmmunication Network VEhicle Road Global Extension“) ECOS</b>	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] <b>Lim, Hyung-Taek</b>	5. Abschlussdatum des Vorhabens <b>31.10.2015</b>
	6. Veröffentlichungsdatum <b>Im Juni 2016 (geplant)</b>
	7. Form der Publikation <b>Bericht in TIB Hannover</b>
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  <b>BMW AG, LT-33          Parkring 19          85748 Garching</b>	9. Ber. Nr. Durchführende Institution -
	10. Förderkennzeichen <b>19P12005D</b>
	11. Seitenzahl <b>69</b>
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  <b>Bundesministerium für          Wirtschaft und Energie (BMWi)          11019 Berlin</b>	13. Literaturangaben -
	14. Tabellen <b>1</b>
	15. Abbildungen <b>47</b>
16. Zusätzliche Angaben -	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) -	
18. Kurzfassung <b>Mit dem Forschungsprojekt CONVERGE-ECOS wurde eine gesamteinheitliche C2X-Systemarchitektur definiert, um den Informationsaustausch zwischen den Anbietern und Kunden von ITS-Diensten unter Nutzung der hybriden Funktechnologien zu ermöglichen. Der C2X-Systemverbund ermöglicht sowohl öffentlichen als auch privaten Akteuren neue Anwendungen und Geschäftsfelder für einen sicheren und ressourcenschonenden Straßenverkehr.</b>  <b>Die BMW Group Forschung und Technik hat Funktechnologien und Protokolle für die Anbindung an einen C2X-Systemverbund evaluiert und sie prototypisch validiert. Neue Ansätze und Algorithmen für die effiziente und kostengünstige Verteilung von sicherheitskritischen Nachrichten über hybride Funkzugangssysteme wurden definiert und untersucht. Zudem wurden mittels Simulationen Skalierbarkeitsanalysen der beiden Funktechnologien (ETSI ITS-G5 und Mobilfunk LTE) sowie von den hybriden Übertragungsverfahren durchgeführt.</b>	
19. Schlagwörter <b>C2X-Systemverbund, Hybride Kommunikationstechnologien, Kooperative Backends</b>	
20. Verlag <b>TIB Hannover</b>	21. Preis -

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN <b>planned</b>	2. type of document (e.g. report, publication) <b>Final report</b>
3. title  <b>Final report of the project CONVERGE („COmmunication Network VEHicle Road Global Extension“) ECOS</b>	
4. author(s) (family name, first name(s)) <b>Lim, Hyung-Taek</b>	5. end of project <b>2015 / 10 / 31</b>
	6. publication date <b>June 2016 (planned)</b>
	7. form of publication <b>report in TIB Hannover</b>
8. performing organization(s) (name, address)  <b>BMW AG, LT-33 Parkring 19 85748 Garching</b>	9. originator's report no. <b>-</b>
	10. reference no. <b>19P12005D</b>
	11. no. of pages <b>69</b>
12. sponsoring agency (name, address)  <b>Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 11019 Berlin</b>	13. no. of references <b>-</b>
	14. no. of tables <b>1</b>
	15. no. of figures <b>47</b>
16. supplementary notes <b>-</b>	
17. presented at (title, place, date) <b>-</b>	
18. abstract <b>The research project CONVERGE-NETS defines an unique and overall C2X system network in order to enable an information exchange between different service providers and ITS service consumers with the use of hybrid wireless technologies. The C2X system network allows public as well as private stakeholders to create new applications, use cases and business models for a safety and resource efficient road traffic.</b>  <b>The BMW Group evaluates and validate the different wireless access networks and protocols for connecting to the C2X system networks with prototypes. New approaches and algorithms are defined and analyzed in order to distribute the safety-critical information efficiently over hybrid wireless technologies. Furthermore the simulation based performance evaluation is used in order analyze the scalability of both wireless technologies (ETSI ITS-G5 and cellular LTE)</b>	
19. keywords <b>C2X system network, hybrid communication technologies, cooperative backend systems</b>	
20. publisher <b>TIB Hannover</b>	21. price <b>-</b>