



Schlussbericht - Robert Bosch Car Multimedia GmbH

---

## **Verbundprojekt MEC-View**

**Mobile Edge Computing basierte Objekterkennung für hoch- und vollautomatisiertes Fahren**

<http://mec-view.de/>

### **BMWi-Förderprogramm:**

**Hoch- und vollautomatisiertes Fahren für anspruchsvolle Fahrsituationen**

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**Projektlaufzeit 01.12.2017 – 31.05.2020**

## **Individueller Schlussbericht**

**Version 1, 30.11.2020**

Zuwendungsempfänger:

**Robert Bosch Car Multimedia GmbH**

Förderkennzeichen (Aktenzeichen):

**19A16010F**



## Schlussbericht - Robert Bosch Car Multimedia GmbH

---

### Autoren (A-Z)

#### Nachname, Vorname

Charles, Michael

Robert Bosch Car Multimedia GmbH, (CM-CI1)

Circa, Radu

Robert Bosch Car Multimedia GmbH, (CM-CI1)

Walossek, Erik

Robert Bosch Car Multimedia GmbH, (CM-CI1)

### Ergebnisverbreitung

- Öffentlich
- BMWi
- Projektträger
- Projektpartner

**Dateiname** 19A16010F\_MEC-View\_Schlussbericht\_RBCM

**Seitenzahl** 43

## Inhalt

Einleitung.....	4
1. Gesamtzielsetzung und Aufgabenstellung.....	5
2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	8
3. Planung und Ablauf des Vorhabens .....	9
4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	10
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen .....	11
6. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses .....	12
6.1 AP1 Gesamtsystem.....	12
6.2 AP3 Kommunikationsnetz - UAP3.5 Mobilfunkmodule für Fahrzeuge .....	18
7. Positionen des zahlenmäßigen Nachweises .....	33
8. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	34
9. Voraussichtlicher Nutzen .....	35
10. Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen .....	37
11. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses .....	38
Abbildungen .....	39
Tabellen .....	40
Literatur .....	41
Glossar.....	42



### Einleitung

Der vorliegende Schlussbericht zum BMWi-geförderten Projekt MEC-View („Mobile Edge Computing basierte Objekterkennung für hoch- und vollautomatisiertes Fahren“) umfasst die Beiträge der Robert Bosch Car Multimedia GmbH (RBCM).

Das Projekt MEC-View wurde im Rahmen des BMWi-Fachprogramms „Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien“ mit dem inhaltlichen Schwerpunkt „hoch- und vollautomatisiertes Fahren für anspruchsvolle Fahrsituationen“ gefördert. BOSCH koordinierte die Arbeiten der Konsortialpartner.

Der Bericht ist wie folgt gegliedert: Das nachfolgende Kapitel enthält eine Kurzdarstellung zu Projektrahmen und Ablauf gemäß den Nebenbestimmungen für Zuwendungen auf Kostenbasis des Bundesministeriums für Bildung und Forschung an Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (NKBF) 98, Anlage 2, Teil I. Darin wird eine kurze Einführung in den MEC-View Ansatz gegeben, sowie die Zielsetzung und Aufgabenstellung des gesamten Projektes eingeleitet. Es folgen Informationen zu Projekt-Voraussetzungen und Ablauf. Im Anschluss werden der Stand der Technik, sowie die partnerspezifischen Aufgabenschwerpunkte der Robert Bosch GmbH nach Arbeitspaketen gegliedert dargestellt.

Die sich anschließenden Kapitel enthalten eine ausführliche Darstellung gemäß NKBF 98, Anlage 2, Teil II. Dort werden die von BOSCH durchgeführten Arbeiten und erzielten Ergebnisse, gegliedert nach den Arbeits- und Unterarbeitspaketen, im Detail beschrieben. Im Schlussteil des Berichtes werden die wichtigsten Positionen zum zahlenmäßigen Nachweis, Informationen zum Verwertungsplan und den Erfolgsaussichten, sowie zu durchgeführten Maßnahmen zur Ergebnisverbreitung zusammengefasst.

## 1. Gesamtzielsetzung und Aufgabenstellung

Das Projekt MEC-View hat sich zum Ziel gesetzt, das automatisierte Fahren, SAE (J3016) L3, auf urbane Verkehrsräume zu erweitern. In vorherigen Forschungsprojekten wurden bereits Systeme zur Teilautomatisierung (u.a. UR:BAN) oder auch höhere Automatisierung auf Autobahnen oder ländlichen Verkehrsarmen (u.a. Ko-HAF, IMAGinE) adressiert. Der urbane Verkehrsraum konnte aufgrund seiner komplexen Gegebenheiten in Bezug auf die Verkehrsszenarien für das automatisierte Fahren bisher nicht erschlossen werden. Hochautomatisierte Systeme bieten jedoch einen sehr viel höheren Kundennutzen, wenn sie insbesondere auch im städtischen Gebieten (Wirkfelderweiterung) eingesetzt werden können.

MEC-View adressierte die Problemstellung der verdeckten Bereiche in urbanen Verkehrsszenen. Aufgrund von Verdeckungen können viele Bereiche einer urbanen Verkehrsszene mit der fahrzeugeigenen on-board Sensorik zeitweise oder dauerhaft nicht erfasst werden. Somit können auch die sich in diesen Bereichen befindlichen für die Prädiktion des Szenenablaufes relevanten, dynamischen Verkehrsteilnehmer und statische Objekte nicht in der Szenenprädiktion berücksichtigt werden. Auch das zeitliche Verhalten des automatisierten Fahrzeugs über die notwendige (szenenspezifische) Zeitspanne kann daher nicht hinreichend geplant werden.

Die MEC-View Partner verfolgten den im Anschluss skizzierten Ansatz, um das Problem der verdeckten Bereiche zu lösen: Durch den Einsatz von infrastrukturseitig verbauten Sensoren (Video- und LiDAR-Sensoren) sollen abstrahierte, anonymisierte Informationen über relevante Verkehrsteilnehmer und Objekte über ein performantes Mobilfunknetz an einen Mobile Edge Computing (MEC-)Server gesendet werden. Dieser Server soll den automatisierten Fahrzeugen ein georeferenziertes Umfeldmodell aller relevanten Verkehrsteilnehmer im Sichtbereich der Infrastruktursensorik zur Verfügung stellen. Zusammen mit den Daten der On-board-Sensoren und einer hochauflösenden digitalen Karte kann das automatisierte Fahrzeug ein umfassendes Modell der Umgebung erstellen und die Aufgaben der Szenenprädiktion und Verhaltensplanung lösen. Mit diesem Ansatz soll die Verkehrseffizienz und -sicherheit optimiert werden und das Potenzial der Hochautomation auch in Stadtgebieten erschlossen werden. Ermöglicht wurde dieses Konzept insbesondere durch die rasanten Entwicklungen in den Bereichen der Mobilfunk-Technologien (LTE, 5G), der Bild- und Signalverarbeitung bei leistungsfähigen Umfeldsensoren sowie durch die enorme Steigerung der Rechenleistung von Servern der Infrastruktur, aber auch der Steuergeräte in Fahrzeugen.

Auf Grundlage dieses konzeptionellen Ansatzes wurden die Aufgaben des Projektes definiert: Nach einer eingehenden Analyse und Auswahl des MEC-View-Use-cases (automatisiertes Auffahren von einer Nebenstraße auf eine Hauptstraße) wurde der Aufbau der Pilot-Anlage in Ulm-Lehr geplant und umgesetzt. Die notwendige Infrastruktur der Anlage besteht aus Sensoren an Leuchtenmasten inklusive Mess- und Auswerteeinheiten, Kommunikationseinrichtungen über ein prototypisches Mobilfunknetz sowie einem MEC-Server.

Die Forschungstätigkeiten zur Umsetzung dieses Ansatzes wurden in MEC-View in sechs Arbeitspaketen (AP) gegliedert, die ihrerseits zur Koordination der operativen Ausführung in Unterarbeitspakete (UAP) strukturiert wurden. Das nachfolgende Kapitel gibt eine kurze Zusammenfassung der APs und der darin verfolgten Ziele. BOSCH fokussierte auf den konzeptionellen Arbeiten in AP1 sowie die Entwicklung der automatisierten Fahrfunktionen zur Darstellung des MEC-View Use-cases. Für diese beiden APs übernahm BOSCH die Rolle der AP-Leitung.

### **AP1 – Gesamtsystem**

AP1 „Gesamtsystem“ dient dabei als ein zentrales Element, indem es auf die Beteiligung aller Partner ausgerichtet ist und darauf fokussiert, auf Basis einer gemeinsamen Detaillierung des Use-Cases, die Anforderungen an das Gesamtsystem und die Komponenten abzuleiten und die gemeinsame Generierung von Größen für die Fortschrittverfolgung vorzunehmen. Ebenfalls liegt es im Fokus von AP1, Schnittstellen zwischen den einzelnen Komponenten des Gesamtsystems logisch zu beschreiben. Die Umsetzung der Schnittstellen als auch die inhaltliche Bearbeitung der Lösungen der Komponenten erfolgt in den weiteren Arbeitspaketen des Projektes, die in Anlehnung an Abb. 1 nach den wesentlichen Komponenten des Gesamtsystems strukturiert sind: digitale Karte, Kommunikationsnetz, Infrastruktursensorik, MEC-Server und automatisiertes Fahrzeug. RBCM beteiligte sich hier an der detaillierten Use Case Analyse mit besonderem Bezug auf die Belange der Connectivity Control Unit. Die Schnittstellen zum Fahrzeug und zum MEC-Server wurden mit den Partnern abgestimmt.

### **AP2 – Digitale Karte, Dynamische Streckenfreigabe und Verhaltensanalyse**

AP2 „Digitale Karte, Dynamische Streckenfreigabe und Verhaltensanalyse“ zielt auf die Generierung einer hochgenauen statischen Karte für die Lokalisierung und Verhaltensplanung für digitale Fahrzeuge auf urbanen Verkehrswegen. Diese wird als unmittelbare Eingangsgröße für den MEC-Server, als auch das automatisierte Fahrzeug benötigt. Ferner erarbeitete AP2 auf Basis mikroskopischer Verkehrsdaten Lösungen für eine Automatisierung der Streckenfreigabe und Ableitung von Verhaltensweisen für die automatisierten Fahrzeuge. RBCM lieferte zu diesem Arbeitspakt keine Beiträge.

### **AP3 – Kommunikationsnetz**

AP3 „Kommunikationsnetz“ wird die HW-technischen und SW-technischen Voraussetzungen für die Vernetzung von Infrastruktursensorik, (Mobile Edge Computing) MEC-Server und automatisiertem Fahrzeug umsetzen und dabei Forschungsfragen zur Reduktion der Übertragungszeiten lösen. Nokia stellte den MEC-View Partnern ein prototypisches LTE-Netz mit ersten 5G-Merkmalen zur Verfügung, in dessen Reichweite die MEC-View Pilotanlage (Ulm-Lehr) positioniert wurde. Außerdem wurden im AP3 die Kommunikationsmodule für die Infrastruktursensorik an den Straßenleuchten (AP4) bereitgestellt. Der maßgebliche Beitrag von RBCM in diesem Arbeitspaket war die Spezifikation, Aufbau und Bereitstellung der Communication Control Units (CCU) für die Anbindung der automatisierten Fahrzeuge an das prototypische Mobilfunknetz. Auch die MEC-Server Hardware für MEC-View wurde im AP3 durch Nokia aufgebaut.

### **AP4 – Infrastruktursensorik**

AP4 „Infrastruktursensorik“ umfasst alle Arbeiten zur HW-technischen Installation und Inbetriebnahmen von LiDAR- und Videosensoren an Straßenleuchten und zur Entwicklung von Algorithmen zur Detektion, Klassifikation und Georeferenzierung dynamischer Objekte. Des Weiteren wurde ein unabhängiges Referenz-Sensorsystem konzipiert und aufgebaut, das mit Referenz-Tests die Performance der obigen LiDAR- und Videosensoren bewerten sollte. RBCM lieferte zu diesem Arbeitspakt keine Beiträge.

### **AP5 – MEC-Server**

Im AP5 „MEC-Server“ wurden die Softwaremodule für den MEC-Server (AP3) entwickelt, deployed und in Betrieb genommen: auf Basis der dynamischen digitalen Karte (AP2) und den einzelnen Detektionen der Infrastruktur-sensoren (AP4) wurde mittels MEC-Server (AP3) ein lokales Umfeldmodell berechnet. In einem Tracking-Modul wurden die Pfade der relevanten Objekte des Umfeldmodells prädictiert. Diese Informationen wurden dann über die in AP1 definierte Schnittstelle den automatisierten Fahrzeugen (AP6) transferiert. Zur Entwicklung und Optimierung des Gesamtsystems wurde ein Web-basiertes Visualisierungstool zur Verfügung gestellt. RBCM lieferte zu diesem Arbeitspakt keine Beiträge.



### **AP6 – Automatisiertes Fahrzeug**

AP6 „automatisiertes Fahrzeug“ bedient sämtliche Aspekte des funktionalen Netzwerkes eines automatisierten Fahrzeuges und legt einen wissenschaftlichen Schwerpunkt auf die vorteilhafte Verwendung der MEC-Server-Umfeldobjekte für eine robustere und kundenwertigere Auslegung eines urbanen HAF-Systems. BOSCH legte in MEC-View den inhaltlichen Schwerpunkt auf dieses Arbeitspaket. Zunächst wurde ein HAF Fahrzeug-Prototyp mit geeigneten onboard-Sensoren, Eigenlokalisierungseinheit sowie Aktoren und Algorithmen für das automatisierte Fahren aufgebaut und in Betrieb genommen. Die in AP3 von RBCM entwickelte CCU wurde im BOSCH-Fahrzeug integriert, um Objekt-Daten des MEC-Server Umfeldmodells empfangen zu können. Die Umfoldsensordaten wurden mit den on-board-Sensordaten im Perceptions-Modul fusioniert und für die Szenenprädiktion und Verhaltensplanung genutzt. Mit diesen Erweiterungen der automatisierten Fahrfunktion konnte der MEC-View use cases „automatisiertes Auffahren auf eine vorfahrberechtigte Straße“ dargestellt, optimiert und demonstriert werden. RBCM lieferte zu diesem Arbeitspaket keine Beiträge.

### 2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projekt MEC-View wurde in einem Partner-Verbund aus Automobilherstellern, Zulieferern, Unternehmen der Informationstechnologie, universitären Forschungsanstalten und KMUs bearbeitet. Das geplante Gesamtprojektvolumen betrug 12,8 Mio € wobei das Projekt mit etwa 6,8 Mio € vom BMWi gefördert wurde. Die Förderquote des BMWi lag bei ca. 50 %. Hierbei betrug der RBCM Volumenanteil etwa 0,4 Mio € und der Förderanteil 0,16 Mio. €.

Die TÜV Rheinland Consulting GmbH wurde vom BMWi als Projektträger bestellt und unterstützte in dieser Rolle den Projekttablauf. Die Rolle des Projektkoordinators von MEC-View war der Robert Bosch GmbH zugewiesen. Das Partnerkonsortium formierte sich aus den folgenden Partner-Organisationen:

- Daimler AG
- IT-Designers GmbH
- Nokia Solutions and Network GmbH & Co. KG
- OSRAM GmbH
- Robert Bosch GmbH
- Robert Bosch Car Multimedia GmbH
- TomTom Location Technology Germany GmbH
- Universität Duisburg-Essen, Lehrstuhl für Physik von Transport und Verkehr
- Universität Ulm, Institut für Mess-, Regel- und Mikrotechnik

Folgende Kenntnisse waren bei der Robert Bosch GmbH inklusive des Geschäftsbereiches der Robert Bosch Car Multimedia GmbH bei Projektstart als Voraussetzung zur erfolgreichen Umsetzung der Projekt-Aufgaben gegeben:

- Vorkenntnisse zu Aufbau und Betrieb automatisierter Fahrzeug-Prototypen
- Know-How und Erfahrung im Bereich der on-board Sensorik, insbesondere für Radar-, LiDAR und Kamera-Sensoren.
- Know-How zu automatisierten Fahrfunktionen nach Stand der Technik. Insbesondere theoretisches Hintergrundwissen zu formalen Ansätzen und Methoden der Umfeld-Perzeption, Daten-Fusion, Szenenprädiktion sowie Eigenbewegungsplanung.
- Know-How und Erfahrung im Bereich der Entwicklung von Communications Control Units
- Theoretisches Hintergrundwissen und praktische Erfahrung im Bereich der Erstellung und Einbindung von HD-Maps sowie Eigenfahrzeug-Lokalisierung.
- Kompetenz und Erfahrung in Bereich Simulation, insbesondere dem Einsatz von Modellen.
- Kompetenz in Projektmanagement und Koordination großer Forschungsvorhaben, auch in Verbundprojekten.



### 3. Planung und Ablauf des Vorhabens

MEC-View startete am 01.12.2016 und endete nach einer Verlängerung um 6 Monate am 31.05.2020. Die mittelneutrale Verlängerung des Projektes wurde Anfang 2019 beantragt und vom Fördergeber genehmigt. Wesentliche Ursache für die Verlängerung der Projektlaufzeit waren unabsehbare und damit ungeplante Aufwände bei der Errichtung der Pilot-Anlage in Ulm-Lehr.

Die Arbeiten des Projektes MEC-View wurden, wie in Abschnitt 1 erläutert, in sechs Arbeitspakete strukturiert. Der zeitliche Ablauf des Projektes lässt sich in drei Phasen gliedern. Die nach dem Schrägstrich angegebenen Zeiträume zeigen die vom ursprünglichen Plan abweichenden Zeiträume aufgrund der mittelneutralen Verlängerung.

- Spezifikations- und Konzeptphase (12.2016 – 11.2017)
- Implementierungsphase (12.2017 – 11.2018 / 12.2017 - 02.2019)
- Verifikations- und Optimierungsphase (12.2018 – 11.2019 / 03.2019 - 05.2020)

Der ursprünglich budgetierte Finanzrahmen konnte auch in der mittelneutralen Verlängerung ohne größere Abweichungen eingehalten werden. Der Projektfortschritt wurde von den Partnern in halbjährlichen Berichten dargelegt.

Die Halbzeitpräsentation des Projektes fand am 18.07.2018 an der Universität Ulm statt. Die bereits geplante Abschlusspräsentation am 12.05.2020 konnte wegen der COVID-19-bedingten Versammlungsbeschränkungen und Lock-Down-Situation bei einigen Partnern nicht vor Ort stattfinden. Stattdessen veröffentlichten die Partner ihre Projektergebnisse auf der MEC-View Homepage [www.mec-view.de](http://www.mec-view.de).

#### 4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Der wissenschaftlich-technische Stand, an den das MEC-View Konsortium zu Projektbeginn angeknüpfte, speist sich im Wesentlichen aus den umfangreichen Vorarbeiten im Bereich des hochautomatisierten Fahrens. Diese Vorarbeiten fokussierten auf fahrbare Prototypen mit zu diesem Zeitpunkt serienferner Sensorik. Dabei wurden sowohl Vorerfahrungen in der Auslegung und dem Betrieb von Backend-Systemen im Kontext der Erfassung und Konsolidierung von Fahrzeugsensordaten gesammelt, als auch die Fahrfunktion selbst prototypisch erprobt. Bei der Infrastruktursensorik wurden die zu Projektbeginn aktuellen Verfahren der Bilderkennung auf der Basis maschinellen Lernens als Startpunkt verwendet. Das Mobilfunknetz basierte auf implementierten Features des 3GPP Standard Release 14 und den damit verfügbaren Möglichkeiten einer Latenzoptimierung. Integrationsmöglichkeiten von MEC im Mobilfunknetz orientierten sich an entsprechenden ETSI-Spezifikationen.

Neben den internen Vorarbeiten bei den Partnern, bestand ein umfangreicher Teil des Standes der Technik in den Erkenntnissen aus vor MEC-View begonnenen, öffentlich geförderten Projekten. Dort wurde ein Wissenstand aufgebaut, der einerseits das hochautomatisierte Fahren zum jeweiligen Zeitpunkt behandelte und andererseits weiteren Forschungs- und Innovationsbedarf für die in MEC-View zu behandelnden Gebiete auswies. Die folgenden öffentlich geförderten Projekte waren für MEC-View von Bedeutung:

- BMWi: AKTIV-AS (2006 - 2010)
- EU: HAVEit (2008 - 2011)
- BMWi: Ko-FAS (2009 - 2013)
- EU: interactIVe (2010 - 2013)
- BMWi: UR:BAN (2012 - 2016)
- EU: D3CoS (2011 - 2014)
- BMBF / BMWi: simTD (2009 - 2013)
- BMBF / BMWi: CONVERGE (2012 - 2015)
- BMBF: InCarIn (2014 - 2017)
- EU: AdaptIVe (2014 - 2017)
- BMWi: Ko-HAF (2015 - 2018)
- BMWi: IMAGinE (2016 - 2022)
- BMBF: I2EASE (2016 - 2018)
- EU: 5G-TRANSFORMER (2017 - 2019)
- BMBF: 5G-NETMOBIL (2017 - 2020)

Zur Beantragungszeit (2016) wurde das automatisierte Fahren nach SAE L3 auf Autobahnen und Landstraßen erforscht. Die Szenenstellung erfolgte meist auf abgesperrten Teststrecken oder für den öffentlichen Verkehr eingeschränkten Anlagen.

Entsprechender Forschungsbedarf für das automatisierte Fahren in komplexen Situationen urbaner Verkehrsräume wurden vom MEC-View Konsortium abgeleitet und in der Vorhabenbeschreibung formuliert. Insbesondere die Erweiterung der AD-Funktion auf komplexe städtische Szenarien und die Erprobung prototypischer Ansätze an einer Pilotanlage im Realverkehr stellen die wesentlichen Erweiterungen des Standes der Technik dar.

## 5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Während der Projektlaufzeit von MEC-View fanden Kommunikation und Zusammenarbeit mit anderen Stellen auf mehreren Ebenen statt. Projektintern wurden einerseits durch Konsortiums-übergreifende Regelmeetings die Projekttinhalte und -ziele koordiniert und abgestimmt. Andererseits fand in regelmäßigen Skype-Meetings, Projekttreffen sowie gemeinsamen Treffen zu Fahrversuchen oder zur Datenaufnahme in Ulm die inhaltliche Zusammenarbeit in den Arbeitspaketen statt. Da die in MEC-View bearbeiteten Inhalte großes Potential für neue Forschungsfragen hatten, wurde hier von BOSCH Seite eng mit der UULM zusammengearbeitet, um gemeinsame Paper zu veröffentlichen. Auf diese und weitere Publikationen mit BOSCH Beteiligung in MEC-View wird an dieser Stelle auf Kapitel 11 verwiesen.

Unabhängig der MEC-View-Projektpartner wurden BOSCH intern die erzielten Ergebnisse kommuniziert und auf die zum Wissen- und Ergebnistransfer relevanten Bereiche und Projekte zugegangen. Insbesondere zu nennen ist die Zusammenarbeit und Diskussion relevanter Themen mit weiteren öffentlich geförderten Projekten, an denen BOSCH beteiligt ist. Als Beispiele zu nennen sind die Projekte EVA-Shuttle, Ko-HAF und IMAGinE.

Zusätzlich fand die Präsentation und Diskussion der MEC-View-Inhalte auch im Rahmen von wissenschaftlichen Tagungen statt. So sei beispielhaft die „Special Interest Session“ mit Vorträgen von BOSCH mit anschließender öffentlicher Diskussion auf dem ITS World Congress in Kopenhagen, 2018, genannt. Weitere Publikationen sind im Kapitel 11 aufgeführt.

### 6. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses

Wie im vorangegangenen Kapitel erläutert, hat die Robert Bosch Car Multimedia GmbH zu den MEC-View Arbeitspaketen AP1 und AP3 Beiträge geleistet und Projektziele verfolgt. Den Arbeitsschwerpunkt legte RBCM auf das Arbeitspaket AP3.

Dieses Kapitel dient einerseits der Zusammenfassung der durchgeführten Arbeiten und Beiträge, sowie der inhaltlichen Schilderung der erreichten Ergebnisse. Die Gliederung des Kapitels folgt dabei der oben beschriebenen, groben Unterteilung nach Arbeitspaketen und schließlich der Unterteilung nach Unterarbeitspaketen.

#### 6.1 AP1 Gesamtsystem

Das Arbeitspaket „AP1 Gesamtsystem“ umfasst vier Unterarbeitspakete

- UAP1.1 Requirements Engineering
- UAP1.2 Fortschrittverfolgung
- UAP1.3 Pilotanlage Ulm
- UAP1.4 Projektmanagement, Dokumentation und Ergebnisverbreitung

Das „AP1 Gesamtsystem“ wurde über die gesamte Laufzeit des Projekts bearbeitet, da mehrere Iterationszyklen aus Anforderungsanalyse und Integration mit steigender Komplexität durchgeführt wurden (s. VDI Richtlinie 2206). Die Evaluation der Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems erfolgt daher anhand der fortlaufenden Integration der einzelnen Subsysteme (Abb. 1) und prototypischer funktionalen Tests.

Im „UAP1.1 Requirements Engineering“ spezifizieren die Partner detailliert die System- und Subsystemanforderungen bzgl. der adressierten Fahrhandlungen in definierten Szenarien wie z.B. dem Auffahren auf eine vorfahrtberechtigte Straße. Die Anforderungen auf Gesamtsystemebene bilden die Basis für den Aufbau und die Bewertung des „integrierten Versuchsträgers“, bestehend aus zwei automatisierten Fahrzeugen (AP6), Kommunikationsnetz (AP3), MEC-Server (AP5) sowie Infrastruktur-Sensorik (AP4).

Um den Projektfortschritt und die Ergebniserreichung zu verfolgen und zu dokumentieren werden im „UAP1.2 Fortschrittverfolgung“ die benötigten technischen Kennzahlen (KPIs) definiert. Diese bilden die Basis für die auch in diesem AP durchgeführte Evaluation und Demonstration des Gesamtsystems auf den verschiedenen Ebenen von der Simulation bis hin zum Test an der MEC-View Pilotanlage in Ulm-Lehr.

In „UAP1.3 Pilotanlage Ulm“ sind Auswahl, Konzeptentwicklung und Umsetzungsplanung der MEC-View Pilotanlage zusammengefasst. Diese Aktivitäten wurden von BOSCH koordiniert und betrafen in der Umsetzung hauptsächlich die Partner OSRAM und Universität Ulm.

Schließlich wurde im „UAP1.4 Projektmanagement, Dokumentation und Ergebnisverbreitung“ der formale Rahmen zur Koordination des Projekts festgelegt.

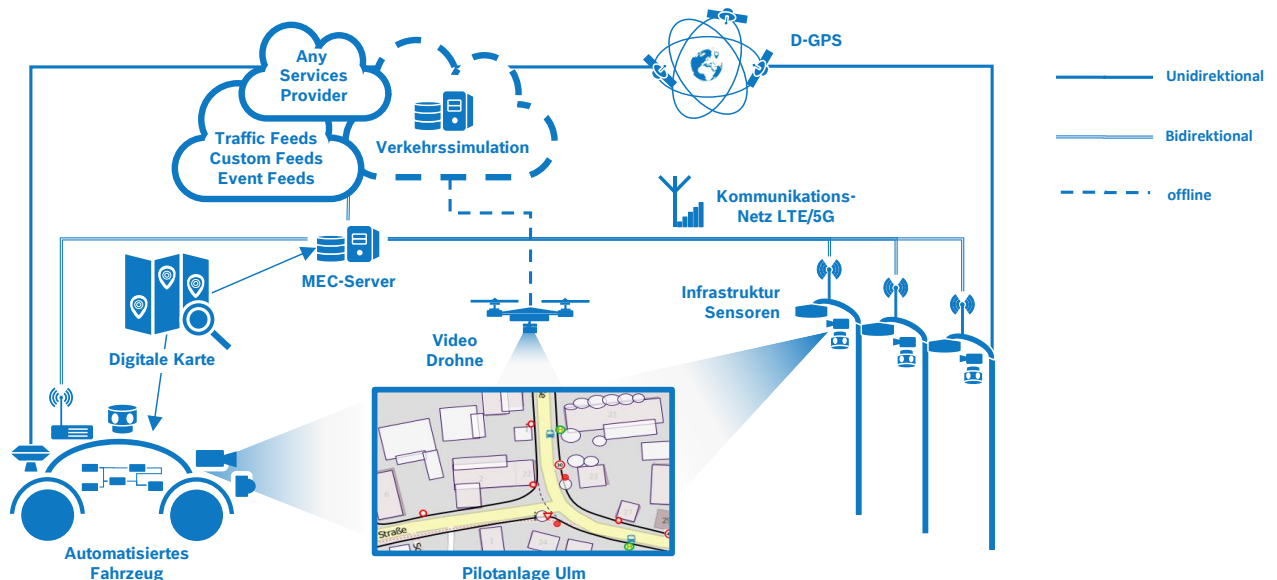
##### 6.1.1 UAP1.1 Requirements Engineering - Anforderungsentwicklung

Aufgrund des hohen Vernetzungsgrades der Komponenten des MEC-View Gesamtsystems war ein hoher Koordinationsaufwand notwendig, um ein gemeinsames Verständnis der Systemstruktur, logische Abhängigkeiten der Subsysteme, bzw. Komponenten und Signalflüsse zu erreichen.

Im Folgenden sind die Schritte dargestellt, die BOSCH als AP-Leiter des AP1 zusammen mit den Partnern unternahm, um dieses Ziel zu erreichen. Dabei wurde die Strategie verfolgt schrittweise in einem sequenziellen Ablauf vom Allgemeinen ins Detail das Gesamtsystem zu beschreiben:

1. Gesamtsystem-Beschreibung mit allen Subsystemen und Signalpfaden
2. Klärung der logischen Abhängigkeiten und gegenseitigen Anforderungen der Subsysteme
3. Ausspezifizierung der logischen und physikalischen Schnittstellen.

Die Anforderungen an die System-Komponenten des MEC-View Gesamtsystems wurden in einer Workshop-Reihe mit Beteiligung aller Partner abgeleitet. Ziele der WS war es, die Abhängigkeiten im Gesamtsystem im Detail zu identifizieren und den Arbeitsmodus zur Anforderungsentwicklung festzulegen.



**Abb. 1:** MEC-View Gesamtsystem-Architektur mit Subsystemen und Signalpfaden

Die MEC-View Gesamtsystem-Architektur (Abb. 1) umfasst die folgenden Subsysteme:

- Infrastruktur-Sensoren (Video und LiDAR) inklusive Referenzmesssystem
- MEC-Server
- Automatisierte Fahrzeuge
- LTE/5G Test-Mobilfunk-Netz
- Mobilfunkmodule für die automatisierten Fahrzeuge
- Mobilfunkmodule für die Infrastruktur-Sensoren
- Pilotanlage
- Digitale Karte
- Backend mit Services für Streckenfreigabe und Verkehrssimulation
- D-GPS

Ausgehend von der Gesamtsystem-Architektur (Abb. 1) und den hier definierten Subsystemen wurde eine Anforderungsmatrix (Abb. 2) erstellt, aus der die wechselseitigen Abhängigkeiten der Subsysteme sowie deren logische und physikalische Schnittstellen abgeleitet werden konnten. In dieser Matrix konnten vier Schwerpunkt-Themenbereiche identifiziert werden, die im Wesentlichen unabhängig voneinander ausgearbeitet werden konnten (farbliche Markierungen der Anforderungsmatrix).

## Schlussbericht - Robert Bosch Car Multimedia GmbH

In vier Teams wurden diese Schwerpunkt-Themenbereiche im Verlauf des ersten Halbjahres 2017 bearbeitet und die Anforderungen sowie Spezifikation der Subsysteme und deren Schnittstellen (logisch, physikalisch) für MEC-View entwickelt. BOSCH übernahm die Leitung des Teams 1 und beteiligte sich an den Teams 2 und 4. RBCM beteiligte sich am Team 3.

		Anforderungs-Nehmer															
		Pilotanlage Ulm	Sta/Dyn Digitale Karte	Dyn. Streckenfreigabe	Verhaltensanalyse	Mobilfunk Netz	MEC-Server HW	Cloud-Server HW	Mobilfunk-Module für Infrastr. Sensoren	Mobilfunk-Module für Fahrzeuge	Infrastruktur-Kamera	Infrastruktur-Lidar	Integration in Straßen-Leuchten	Referenz-Messsystem	MEC-Server Architektur & SW (CX2 Objektiv (IF))	Autom. Fahrzeug	Unabhängig
Anforderungs-Steller	Pilotanlage Ulm		Infrastruktur-Anforderungen			Verfügbarkeit und Abdeckung					Verfügbarkeit und Abdeckung	Verfügbarkeit und Abdeckung		Verfügbarkeit und Abdeckung		Fzg muss mit Strecke zureichkommen (Ampeln...)	Team 1
	Sta/Dyn Digitale Karte																Team 2
	Dyn. Streckenfreigabe	Archivierung von Daten aus dem Testfeld						Archivierung von historischen dynamischen Karten-Daten							Archivierung des historischen Umfeldmodells	Wunsch: Objektdaten im Fzg-Koordinatensystem...	Team 3
	Verhaltensanalyse	Archivierung von Daten aus dem Testfeld						Archivierung von historischen dynamischen Karten-Daten							Archivierung des historischen Umfeldmodells	Wunsch: Objektdaten im Fzg-Koordinatensystem...	Team 4
	Mobilfunk Netz	Verfügbarkeit und Abdeckung															
	MEC-Server HW																
	Cloud-Server HW														Bereitstellung der historischen dynamischen Umfelddaten		
	Mobilfunk-Module für Infrastruktursensoren					Kompatibilität Funkmodul / CCU	Latenz, Schnittstelle, Protokoll...			Transferierbarkeit des Funk-Moduls	Schnittstelle Sensorik	Schnittstelle Sensorik				Schnittstellen Datentypen ... siehe API	
	Mobilfunk-Module für Fahrzeuge					Kompatibilität Funkmodul / CCU	Latenz, Schnittstelle, Protokoll...									Schnittstellen Datentypen ... siehe API	Schnittstelle zu Fahrzeug
	Infrastruktur-Kamera	Daten-Anbindung Stromversorgung, Position und Masten-höhe	Referenz auf der Karte Kartenmodell							Interfaces Datenraten					Verfügbarkeit der Daten		
	Infrastruktur-Lidar	Daten-Anbindung Stromversorgung, Position und Masten-höhe	Referenz auf der Karte Kartenmodell							Interfaces Datenraten					Verfügbarkeit der Daten		
	Integration in Straßen-Leuchten	Leuchtaustausch muss möglich sein								Einbaugröße Integration							
	Referenz-Messsystem	Bestromung Datenkabel Messtechnik-Schnittstelle								Datentypen						Datenformat Zykluszeit	
	MEC-Server Architektur & SW (CX2 Objektiv (IF))		Datenformat				Ressourcen	Datenformat			Datenformat Zykluszeit	Datenformat Zykluszeit			Datenformat Zykluszeit		Datenformat Zykluszeit
Autom. Fahrzeug	use case umsetzbar				Abdeckung Latenz	Latenz			Physikalische Anbindung Daten Latenz	Latenz Genauigkeit	Latenz Genauigkeit			Anforderungen an Ground Truth -> Verbindung an MEC-Server	Latenz Fusionierte Objekte INRIA - Referenz für Server -		

Abb. 2: Anforderungsmatrix der MEC-View Subsysteme

**Team 1 „Pilotanlage und Use Case“** (gelbe Felder in Abb. 2) spezifizierte die Anforderungen an den MEC-View-Use-Case und die Pilot-Anlage in Ulm. Abb. 3 zeigt eine schematische Darstellung (Aufsicht) des MEC-View-Use-Cases „Automatisches Auffahren auf eine vorfahrtberechtigte Straße“. Basierend auf den Informationen zu den Fahrzeugen auf der Vorfahrtstraße (Position, Geschwindigkeit, Abstände, Heading-Vektor etc.), die von den Infrastruktursensoren an den Leuchten-Masten (rote Kreise) über den MEC-Server an das automatisierte Fahrzeug (rotes Dach) weitergegeben werden, fährt das automatisierte Fahrzeug möglichst ohne anzuhalten in eine geeignete Lücke des Verkehrs auf die Vorfahrtstraße auf. Dieses Szenario wurde aus einer Use-Case-Analyse verschiedener anspruchsvoller Fahrsituationen an der Pilotanlage ausgewählt.

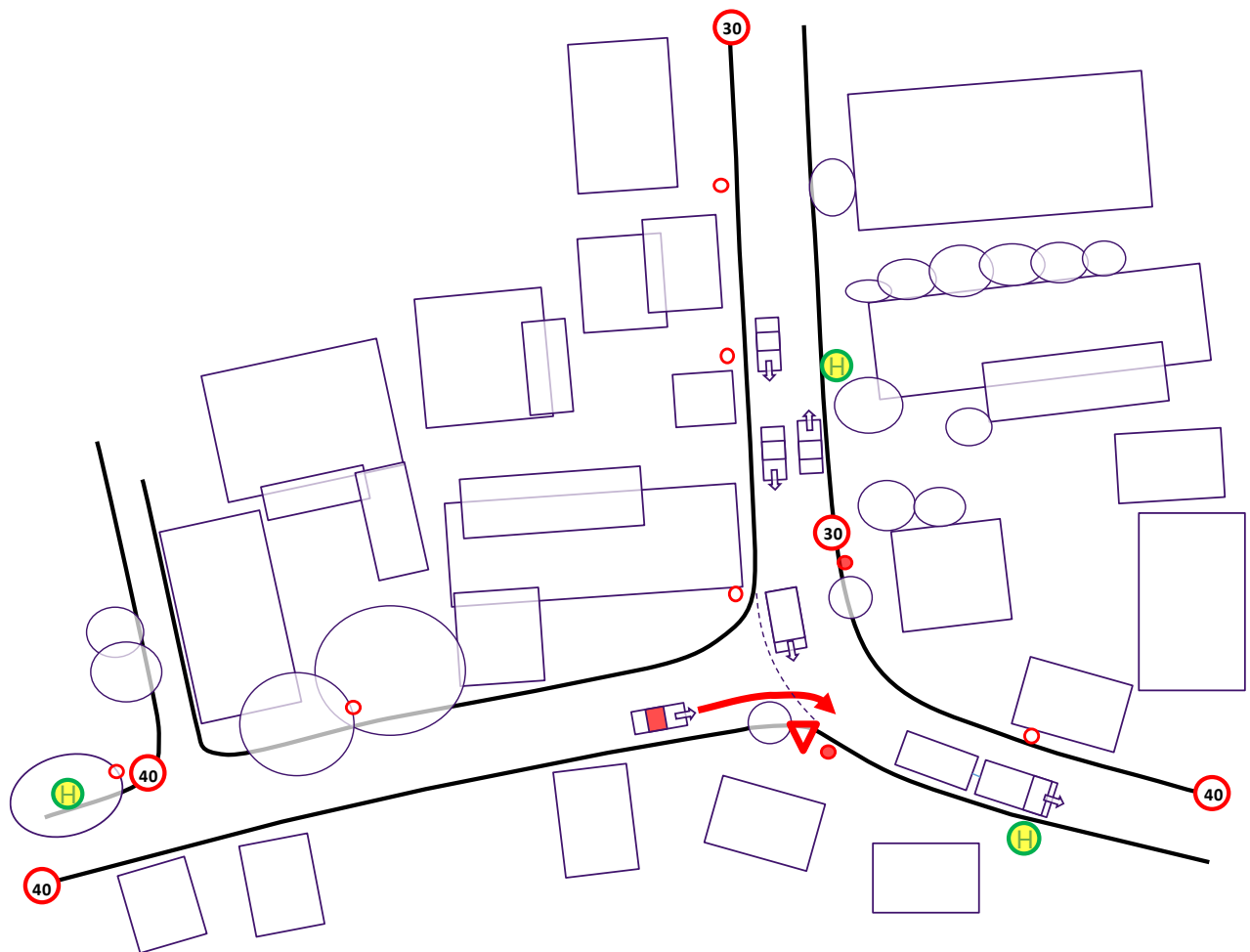


Abb. 3: Darstellung des Use-Case „Auffahren auf eine Vorfahrtstraße“ an der Pilotanlage

**Team 2 „Digitale Karte, Verhaltensanalyse und dynamische Streckenfreigabe“** (blaue Felder in Abb. 2) hat sich an der Spezifikation des Kartenformates für die statische digitale Karte der Pilotanlage beteiligt, die von TOMTOM bereitgestellt wurde. Das vereinbarte Kartenformat basiert auf einer bereits bestehenden Spezifikation zwischen BOSCH und TOMTOM und weist zusätzliche Merkmale auf, die für die Darstellung des MEC-View Use-Cases notwendig sind.

**Team 3 „Kommunikationsschicht“** (grüne Felder in Abb. 2) bearbeitete die Anforderungen und Schnittstellen des Mobilfunk-Netzes, MEC-Server HW und Mobilfunk-Module. RBCM war hier in enger Abstimmung mit Nokia. Die gestellten allgemeinen Anforderungen zu Latenzen und Bandbreiten wurden bei der Anforderungsentwicklung der Schnittstellen berücksichtigt.

**Team 4 „Infrastruktur-Sensorik, MEC-Server SW, automatisiertes Fahrzeug“** (braune Felder in Abb. 2): Um Synergien bei der Spezifikation der Objekt-Daten Schnittstellen zwischen Infrastruktur-Sensorik und MEC-Server einerseits sowie MEC-Server und automatisierten Fahrzeugen andererseits zu nutzen, wurden diese Spezifikationen in einem Team gemeinsam vorangetrieben. Letztendlich stellte sich aber heraus, dass die Anforderungen an die beiden Objektdaten-Schnittstellen (Abb. 4) zu stark divergieren. Es wurden daher für jede der oben genannten Schnittstellen eine eigene, separate Spezifikation erarbeitet.

Die physikalischen und logischen Schnittstellen zwischen den Subsystemen wurden wie in Abb. 4 dargestellt definiert und spezifiziert. Die Schnittstellen wurden in den entsprechenden Subsystemen der Partner implementiert und gemeinsam getestet.

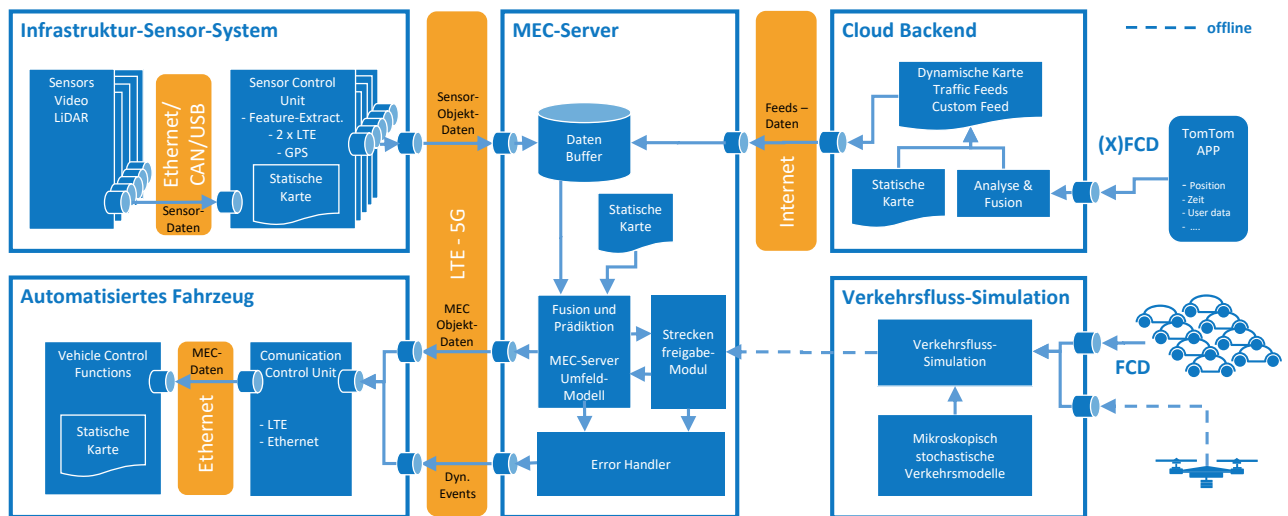


Abb. 4: Signalfluss-Modell des MEC-View Systems

### 6.1.2 UAP1.2 Fortschrittsverfolgung

Das MEC-View Konsortium hat sich darauf verständigt, den Projektfortschritt an Key-Performance-Indikatoren (KPIs) für das Gesamtsystem sowie die Subsysteme zu messen. Für jedes AP wurde ein Satz von KPIs definiert, die von den jeweiligen AP-Leitern spezifiziert und im Laufe des Projektes verfolgt wurden.

Die Gesamtsystem-Latenz der Signal-Propagation und Verarbeitung ist zur Darstellung des Nutzens der Infrastruktur-Sensorik für den MEC-View Use Case eine ausschlaggebende Größe (Abb. 5). Eine Zielgröße für die Gesamtsystemlatenz, abgeleitet aus Analysen der Objektdynamik des MEC-View Use Cases, wurde mit 200 ms spezifiziert. Dem entsprechend mussten die Latenz- und Delay-Budgets an die relevanten Subsysteme abgeleitet werden. Über die Projektlaufzeit ab Q3/2018 wurden die Subsysteme auf diese Zielwerte optimiert. Nach Aufbau und Inbetriebnahme der Pilotanlage konnte die Ursache der gemessenen Latenzen zunächst nicht aufgeklärt werden (rote Pfeile Abb. 5). Erst nach der Umsetzung von Analyse-Algorithmen und Visualisierungstools konnten die Latenzen entlang des Signalpfades im Gesamtsystem vollständig zugeordnet werden.

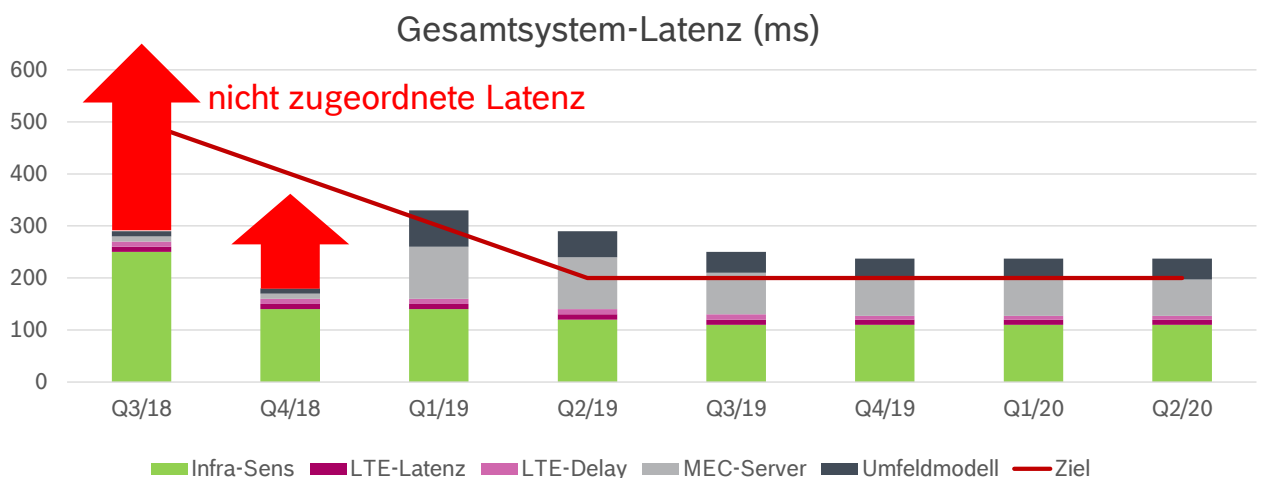


Abb. 5: KPI Gesamtsystem-Latenz - Darstellung in ms über Projektlaufzeit ab Q3/2018



## Schlussbericht - Robert Bosch Car Multimedia GmbH

---

Der ursprünglich angestrebte Zielwert der Gesamtsystemlatenz von 200 ms konnte nicht ganz erreicht werden. Die an der Pilotanlage gemessenen Werte lagen auch in der letzten Projektphase im Durchschnitt etwa 10% über diesem Zielwert. Entsprechende Darstellungen der KPIs für die MEC-View Subsysteme wurden in den Arbeitspaketen zwei bis sechs erarbeitet. RBCM als Verantwortlicher der CCU verfolgte die KPIs des AP3.

### 6.1.3 UAP1.3 Pilotanlage Ulm

Unter der Leitung des Partners UULM wurden die übergeordneten Arbeiten an der im Projekt geplanten und aufgebauten Pilotanlage im Rahmen dieses Arbeitspakets durchgeführt. Zunächst wurde auf Basis des definierten Use Cases und den daraus abgeleiteten Anforderungen (vgl. UAP 1.1 Requirements Engineering) in einem automatisierten Verfahren auf Basis von Kartendaten ca. 140 potenziell geeignete Kreuzungen identifiziert. Nach Überprüfung weiterer Randbedingungen, die nicht automatisiert auf Kartendaten geprüft werden konnten, wurde die Auswahl auf vier potenzielle Kreuzungen für die Pilotanlage reduziert. Schließlich konnte das Konsortium die Kreuzung in Ulm-Lehr (Abb. 6) als am besten geeignet zur Demonstration des MEC-View Use Cases identifizieren und auswählen. Verantwortliche Stellen der Stadt Ulm, die als assoziierter Partner in das Projekt eingebunden war, wurden von UULM in das Vorhaben einbezogen und haben das Projekt MEC-View entsprechend unterstützt, beispielsweise durch die entsprechenden Genehmigungen zum Anbringen der Sensorik und zum Aufbau von Behelfsmasten sowie die Energieversorgung der Anlage.

Nach der Entscheidung über die Lage der Pilotanlage in Ulm-Lehr wurde die Bevölkerung mittels Einwurf von Informationsschreiben sowie über das lokale Mitteilungsblatt und die Presse über die Aktivitäten des Projektes an der Kreuzung informiert, bevor erste Installationen der Infrastruktur-Sensoren und Referenz-Sensoren begonnen wurden. Zudem haben die betroffenen Partner ein Datenschutzkonzept ausgearbeitet. Passanten wurden zudem durch Hinweise und Informationen auf den Anlageteilen über das Projekt informiert und für weitere Informationen auf die Webseite des Projekts verwiesen.

Die Installation an der Kreuzung vor Ort umfasst zum einen Kamera- und LiDAR-Sensoren, die im Rahmen des AP4 entwickelt, an Leuchtenmasten installiert und betrieben wurden. Zusätzlich wurde für Referenzmessungen ein zweites System mit Stereo-Kameras und Laserscannern an Behelfsmasten an der Kreuzung ebenfalls im Rahmen des AP 4 aufgebaut und betrieben. In beiden Fällen sind aufgrund des prototypischen Aufbaus die Recheneinheiten in zusätzlichen Gehäusen bzw. Schaltschränken untergebracht. Details zu beiden Systemen sind in den Berichten der Partner OSRAM und UULM zu finden. Die Vernetzung der Sensorik mit dem MEC-Server (AP3) sowie mit den automatisierten Fahrzeugen (AP6) erfolgt über das im Kapitel zu AP3 im Detail beschriebene Test-Mobilfunknetz. Die Verfahren zur Berechnung und Prädiktion des Umfeldmodells auf dem MEC-Server auf Basis der Sensordaten erfolgte im AP5.

Aufgrund der erfolgreichen Arbeiten in MEC-View wurde diese Installation in Ulm-Lehr nicht zum Projektende abgebaut, sondern von der Universität Ulm für weitere Forschungsvorhaben übernommen. Sie wird in Forschungsprojekten (z.B. dem von der EU geförderten Projekt ICT4CART oder dem vom BMWi geförderten Projekt LUKAS) eingebracht und dort gemeinsam mit Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft weiter genutzt.



Abb. 6: MEC-View Pilotanlage an der Kreuzung in Ulm-Lehr

#### 6.1.4 UAP1.4 Projektmanagement, Dokumentation und Ergebnisverbreitung

Die im Rahmen des Projektes gewonnen Erkenntnisse wurden gemäß den Förderrichtlinien in regelmäßigen Zwischenberichten und den Abschlussberichten dokumentiert. Die im Rahmen des Projektes entstandenen wissenschaftlichen Veröffentlichungen von BOSCH sind im Anhang zusammengefasst.

## 6.2 AP3 Kommunikationsnetz - UAP3.5 Mobilfunkmodule für Fahrzeuge

Das Arbeitspaket „AP3 Kommunikationsnetz“ umfasst die vier Unterarbeitspakete

- UAP 3.1 Testmobilfunknetz
- UAP 3.2 Anforderungen an das Mobilfunknetz
- UAP 3.3 Server Plattformen
- UAP 3.4 Mobilfunkmodule für Infrastruktursensoren
- UAP 3.5 Mobilfunkmodule für Fahrzeuge

RBCM war hier im UAP3.5 Mobilfunkmodule für Fahrzeuge beteiligt. Dieses unterteilte sich wiederum in die folgenden Unterpunkte auf die in diesem Kapitel näher eingegangen wird:

- Anforderung an die Funkschnittstelle
- Anforderungen an die Ortungsfunktion
- Anforderungen an den Fahrzeugbus
- Integration der Funkmodule in das Steuergerät
- Integration des Steuergerätes ins Fahrzeug

### 6.2.1 Anforderung an die Funkschnittstelle

Passend zu den CCUs, die RBCM den Projektpartnern bereitstellte, wurden auch Antennen geliefert. Hierbei handelte es sich um Magnetfußantennen, die neben zwei LTE Antennen für MIMO (Multiple-Input-Multiple-Output) auch eine GNSS (Global Navigation Satellite System) Antenne für den GPS und Glonass Empfang beinhaltet. Die Auswahl dieser Antenne geschah aufgrund ihrer Leistungswerte. Sowohl das Band 28 bei 700MHz als auch das alternativ zum Einsatz kommende Band 7 bei 2,6 GHz wird abgedeckt. Weiterhin existierten gute Erfahrungswerte bei RBCM, da dieser Antennentyp auch in anderen Entwicklungsprojekten zum Einsatz kam. Auf den Einsatz von in das Fahrzeug integrierte Antennen (z.B. in den Außenspiegeln) wurde verzichtet, da dies einen deutlich höheren Integrationsaufwand bedeutet hätte (zumal die Versuchsträger RBCM nur stark eingeschränkt zur Verfügung standen). Zudem wäre die Leistungsfähigkeit stark von der individuellen Fahrzeuggeometrie abhängig und hätte aufgrund der guten Netzversorgung keinen spürbaren Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems gehabt.



**Abb. 7:** Magnetfußantenne für dual LTE und GNSS Betrieb

Parameter	Wert
Hersteller	Mobile Mark, Inc.
Typ	MLTM302 (Global Cellular & GPS)
Antenne 1	694-960 MHz, 3 dBi & 1710-3700 MHz, 4 dBi
Antenne 2	694-960 MHz, 3 dBi & 1710-3700 MHz, 4 dBi
Antenne 3	1575 MHz, LNA 26 dB, 5 dBi
Durchmesser	140 mm
Höhe	65 mm
Impedanz	50 Ohm
Maximalleistung	10 Watt
Betriebstemperatur	-40° to +80° C
Schutzart	IP67

**Tab. 1:** Parameter der GPS Multiband Magnetfußantenne:

Da die Antennen mit SMA Steckern geliefert wurden, war ein Umkrümmen auf den notwendigen dual bordeaux FAKRA für die LTE Antennen und den blauen FAKRA für die GNSS Antenne notwendig. Nokia erhielt ebenfalls eine Antenne, um Performancemessungen an dieser durchführen zu können.

### 6.2.2 Anforderungen an die Ortungsfunktion

Die automatisierten Fahrzeuge von Bosch und der Universität Ulm besitzen bereits ein hochgenaues Ortungssystem, welches die Anforderungen an die Fahrfunktionen erfüllt, jedoch für Serienfahrzeuge aufgrund der hohen Kosten nur eingeschränkt geeignet ist. Der hier zum Einsatz kommende Automotive Dynamic Motion Analyzer (ADMA) ist fest mit dem Fahrzeug verbunden und besitzt neben einem DGPS Empfänger hochgenaue Inertialsensorik (Drehratensensoren und Beschleunigungssensoren), die die physikalische Bewegung des Fahrzeuges im Raum erfasst. Die Daten des DGPS Empfängers werden mit den Daten der Inertialsensorik über ein Kalman-Filter fusioniert.

Aufgrund der bereits hohen Genauigkeit des ADMA sind hier im Rahmen der Projektressourcen keine Optimierungen an diesem System machbar. Daher werden im Folgenden Techniken und Verfahren untersucht, die die Präzision der Positionsbestimmung des in der RBCM CCU zum Einsatz kommenden uBlox8 GNSS Receiver verbessern könnten. Dieser ist bereits für den Massenmarkt kostenoptimiert und besitzt keine zusätzliche Inertialsensorik zur Verbesserung der Positionsgenauigkeit. Eine mögliche Positionsbestimmung über die Mobilfunkzelle, wie in der Vorhabenbeschreibung erwähnt, erlaubt nur eine sehr grobe Auflösung des tatsächlichen Aufenthaltsortes und soll an dieser Stelle nicht weiter betrachtet werden, da nicht relevant für die Weiterverwertung.

#### Aktueller Stand der Ortungsgenauigkeit

Satellitenempfangseinheiten unterliegen systembedingt Störgrößen, die deren Positionierungsgenauigkeit negativ beeinflussen. Bekannte Störgrößen sind:

- die Geometrie von Umlaufbahn & Satellitenstandort zu Satellitenempfänger,
- das Geoid, dem wechselnden Schwerefeld der Erde und damit vorhanden Einfluss auf die Satellitenumlaufbahn,
- die technischen Möglichkeiten der Satelliten z.B. Genauigkeit der internen Uhr und
- die atmosphärischen Einflüsse (Ionosphäre, Troposphäre) auf die Signallaufzeit.

Bei den weltweit abdeckenden Systemen wird eine Genauigkeit von ca. 3m - 15m für die öffentlich verfügbaren Signale angegeben. Die Positionsgenauigkeit wird bei den Empfängern in Wahrscheinlichkeiten angegeben, zu der sich die tatsächliche Position innerhalb des berechneten Radius befindet.

System	Betreiber	Abdeckung
GPS	USA	Weltweit
GLONASS	Russland	Weltweit
Galileo	EU	Weltweit (Vollständig in 2020)
Baidou	China	Asien (Weltweit 2020)
IRNSS	Indien	Asien West
QZSS	Japan	Asien Ost

**Tab. 2:** Satellitensysteme die heute der Öffentlichkeit zur Verfügung stehen

#### Verbesserung der Ortungsgenauigkeit durch zusätzliche Techniken

Die globalen Satellitensysteme zur Positionsbestimmung sind ohne die Verwendung zusätzlicher Techniken zur Verbesserung der errechneten Position relativ ungenau. Mit verschiedenen hier genannten Techniken, die einige Satellitenempfänger bereits bereitstellen, kann die Positionsgenauigkeit signifikant erhöht werden.

SBAS	Ein Satellite Based Augmentation System (SBAS) ist eine satellitenbasierte Erweiterung des GPS Systems, welche zusätzliche Korrekturdaten durch geostationäre Satelliten aussendet.
GNSS	Global Navigation Satellite System (GNSS) Empfänger können gleichzeitig mehrere Satellitensysteme zur Positionsbestimmung verwenden. Durch die höhere Anzahl an Satelliten ist eine präzisere Bestimmung der Position möglich.
DGPS	Das Differential Global Positioning System (DGPS) beschreibt ein Verfahren, das die relative Abweichung zu einem Fixpunkt nutzt. Über Mobilfunk oder andere Übertragungstechniken kann diese Differenz zum mobilen Empfänger gesandt werden, der diese Informationen bei der eigenen Positionsbestimmung mit berücksichtigt.
DR	In Verbindung mit Inertialsensorik kann durch Dead Reckoning (DR) bei bewegten Objekten eine Optimierung berechnet werden, die die über GNSS ermittelte Objektposition verbessert.
RTK	Real Time Kinematic (RTK) wird in verschiedenen Zusammenhängen genutzt. Zum einen wird hiermit das DGPS Verfahren beschrieben, zum anderen die Nutzung eines Netzwerkes, welches die Informationen zur Kompensation der bekannten physikalischen Störgrößen zur Verfügung stellt.

Weitere Techniken zur Positionsoptimierung existieren, werden aber in kostenoptimierten Systemen vorerst nicht zum Einsatz kommen. Aus diesem Grund werden diese Lösungen hier nicht weiter betrachtet. Zur Positionserkennung ist allerdings nicht jede Technik für jeden Anwendungsfall geeignet. Die klassische RTK Technik wird zum Beispiel auf einen Radius von max. 20km beschränkt und die Verwendung eines Netzwerkes für die Bereitstellung von flächendeckenden Korrekturdaten verursacht zusätzliche Kosten, da dies von kommerziellen Dienstleistern betrieben wird. Für den Massenmarkt ist dies heute noch kommerziell uninteressant.

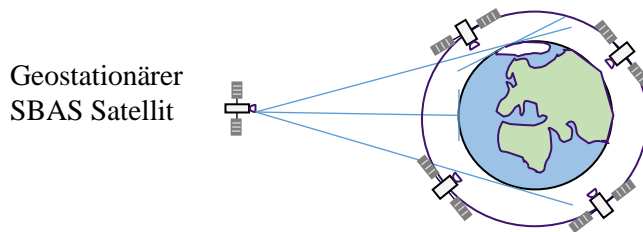
Im Rahmen des Projektes wurden das RTK mit Zugriff auf kommerzielle Korrekturdaten und das Dead Reckoning (DR) untersucht. Die eingesetzten Empfänger beherrschten bereits die parallele Nutzung mehrerer Satellitensysteme (GNSS). Auch die Nutzbarkeit des SBAS Signals wurde analysiert.

### **Erhöhung der Positionsgenauigkeit mit Hilfe von SBAS**

Das Satellite Based Augmentation System (SBAS) Signal beinhaltet Korrekturdaten für das GPS Satellitensystem. Andere Satellitensysteme wie GLONASS oder Galileo können diese Korrekturdaten nicht nutzen. Das SBAS Signal ist frei verfügbar und wird von nahezu jedem GNSS Empfänger unterstützt.

Eine geometrische Betrachtung hilft den praktischen Wert des SBAS Signals zu bewerten. SBAS ist Teil des GPS Systems, welches aus 6 Satellitenumlaufbahnen mit je 4 aktiven Satelliten in einer Bahn besteht. Zusätzlich sind verschiedene SBAS Satelliten in einem geostationären Orbit „verankert“. So hat z.B. der amerikanische Kontinent das WAAS System und Europa das EGNOS System.

Die geostationäre Position der SBAS Satelliten bewirkt eine höhere wahrscheinliche Abschattung des SBAS Signals mit zunehmender Nähe zu den Polen. Am Äquator ist der SBAS Satellit in einem Winkel von 90° zum Boden sehr gut sichtbar. In Mitteleuropa ist ein SBAS Satellit in einem Winkel von ca. 30° zum Boden in Richtung Süden sichtbar und kann daher leicht von Häusern, Wäldern oder Bergen beeinträchtigt werden.



Eine der 6 GPS Umlaufbahnen (exemplarisch). Die 4 Satelliten umlaufen die Erde auf einer gemeinsamen Bahn, jeder in seinem „Slot“.

**Abb. 8:** Schematische Darstellung der Umlaufbahn der GPS Satelliten

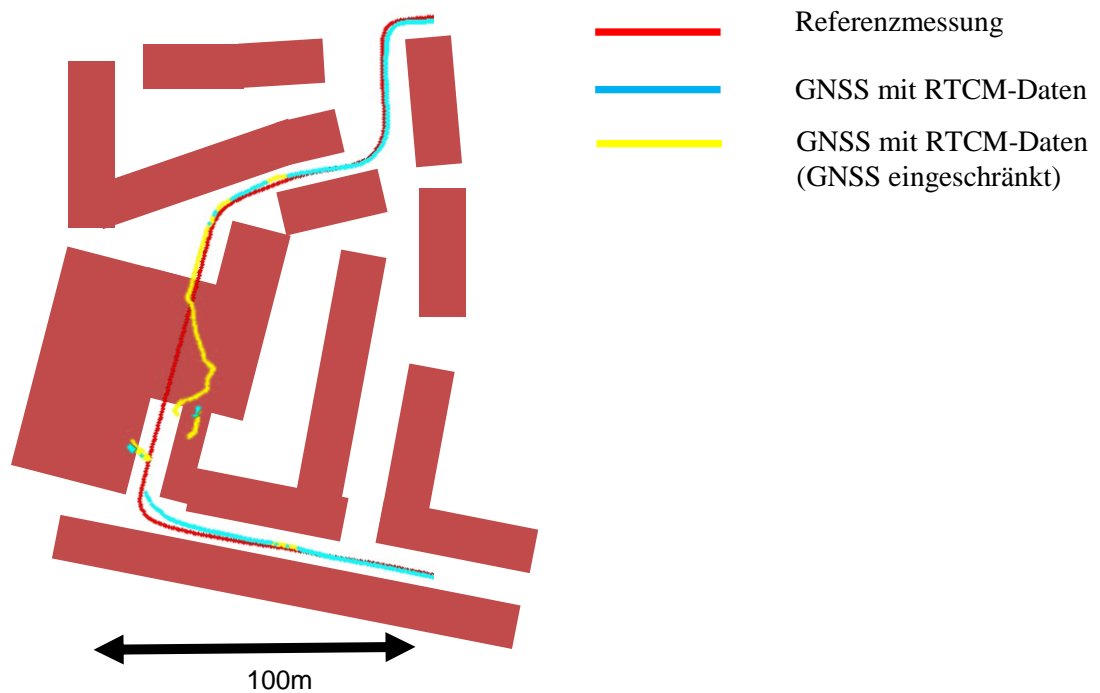
Hersteller der Empfänger geben den zusätzlichen Gewinn der Positionsgenauigkeit mit ca. 0,5m an. Dieser Positionierungsvorteil ist nur bei freier Sicht zum Himmel „Open sky“ gegeben. Im deutschen urbanen Umfeld ist der Empfang von SBAS eher unwahrscheinlich.

### **Erhöhung der Positionsgenauigkeit mit Hilfe von RTK**

Real Time Kinematic (RTK) ist in verschiedenen Ausprägungen verfügbar. Für die Untersuchung im Rahmen von MEC-View wurde ein RTC via Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM) betrachtet. Die mit dem RTCM Protokoll übertragenen Korrekturdaten erlauben eine Nutzung über größere Gebiete. Die Größe der unterstützten Gebiete sind Vertragsbestandteil mit dem Korrekturservicebetreiber. Die Korrekturdaten wurden im Versuch mit Hilfe einer Mobilfunkverbindung vom Server des Dienstleisters geladen.

Im RTK Betrieb wird eine stationäre GNSS Basisstation „Station“ mit einem mobilen GNSS Empfänger „Rover“ verbunden. Die Basisstation misst an einem Referenzpunkt die aktuelle Abweichung zur ermittelten GNSS Position. Diese aktuelle Abweichung wird der mobilen Messeinheit über einen Funkkanal (z.B. Mobilfunk) mitgeteilt. Auf diese Weise lässt sich die Abweichung am mobilen Empfänger korrigieren. Die maximal sinnvolle Distanz zwischen Station und Rover liegt bei 20km. Im Vergleich zum heutigen Einsatz von RTK im Bereich von Agrarwirtschaft, Bauvermessung oder Katastermessungen wurde RTK in Verbindungen mit den Anforderungen im Fahrzeug betrachtet. Dazu gehörte auch die Verortung der Fahrzeugposition alle 100ms. Neben einer statischen Vermessung der Positionsgenauigkeit zu einem zuvor vermessenen Messpunkt, wurde die Genauigkeit von RTK auch im Fahrbetrieb geprüft.

RTK Daten können GNSS Daten nicht ersetzen. Voraussetzung für die Anwendung von RTK Korrekturdaten ist eine gute Positionsbestimmung durch GNSS. Auf die via GNSS ermittelte Position können die Korrekturdaten so angewandt werden, dass der augenblickliche systemtechnische Versatz fast vollständig kompensiert wird. Örtliche Gegebenheiten, die Störungen im GNSS Empfang am Fahrzeug verursachen, können mit RTK nicht erkannt und daher nicht kompensiert werden. Brücken, Tunnel, enge Schluchten oder enge oder hohe Bebauung in Städten, die die Sicht auf die Satelliten verdecken, beeinflussen den GNSS Empfang negativ. RTK Daten „korrigieren“ auch falsch ermittelte GNSS Basisdaten der Fahrzeugpositionen mit der regulären Standardabweichung. Gelingt die selbst ermittelte Position via GNSS mit einer ausreichenden Genauigkeit, erlaubt RTK eine extreme Erhöhung der Genauigkeit der Position. Mit dem Testsystem wurde unter freiem Himmel eine Abweichung um einen Zentimeter von einem zuvor offiziell vermessenen Messpunkt erreicht. Die Vermessung der Genauigkeit im Fahrbetrieb gestaltete sich etwas schwieriger, da Referenzsysteme ebenfalls Abweichungen in der Positionsgenauigkeit im Dezimeterbereich aufweisen können.

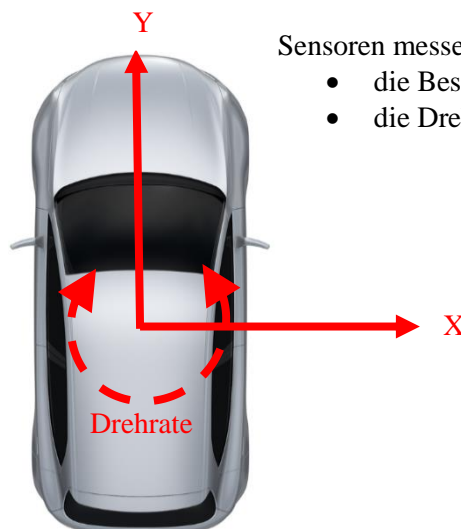


**Abb. 9:** RTK Messung im Urbanen Umfeld mit Unterführung

In den Tests wurden bei guten GNSS Empfangsbedingungen so gut wie keine Unterschiede in der Positionsgenauigkeit zum Referenzsystem festgestellt. Bei schlechten GNSS Empfangsbedingungen war die Positionsabweichung erheblich. Im Tunnel war eine Abweichung zum Referenzsystem von bis zu ca. 10m zu beobachten. Am Ende des Tunnels war die ermittelte Position eher zufällig und teilweise entgegen der Fahrtrichtung. Nach dem Tunnel wurde schnell wieder eine zufriedenstellende GNSS Position erkannt.

### Erhöhung der Positionsgenauigkeit mit Hilfe von Dead Reckoning

GNSS kann durch Dead Reckoning (DR) unterstützt werden. Dabei nutzt DR Sensoren, die im Empfangsmodul selbst oder im Fahrzeug verbaut sind. Im Gegensatz zu GNSS, das eine absolute Position zur Erde ermittelt, stellt DR eine Messung der relativen Position zur vorherigen Position zur Verfügung.

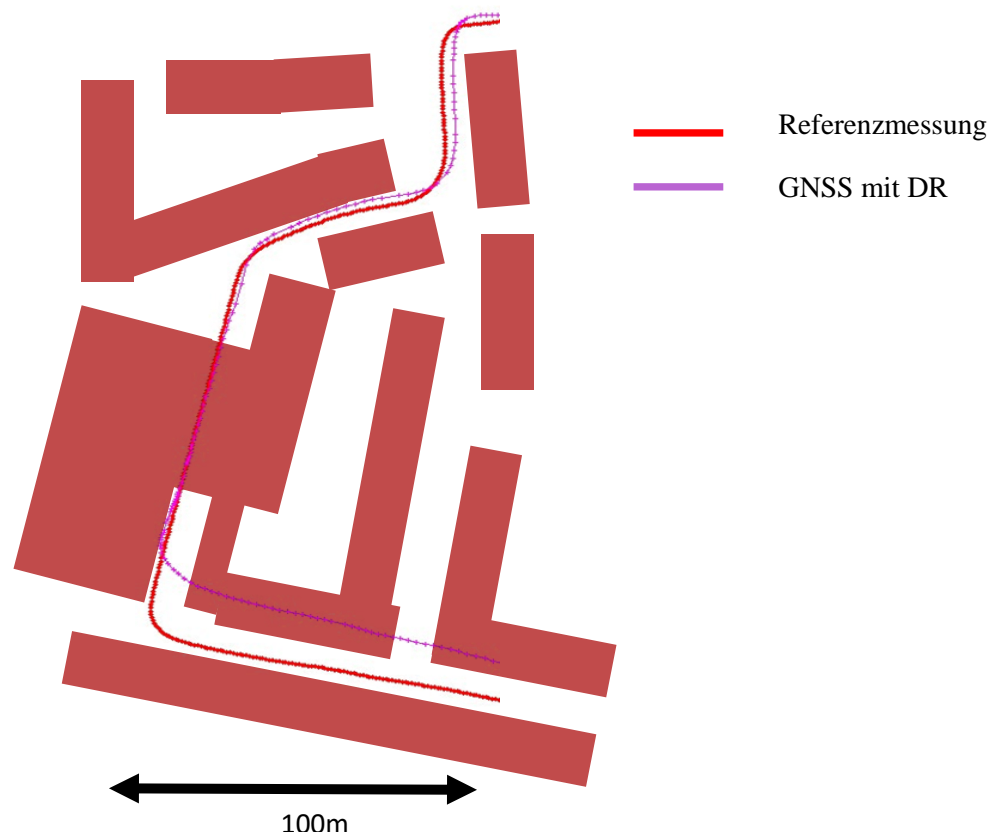


**Abb. 10:** Erfassung der Drehrate und Beschleunigung am Fahrzeug

Es gibt verschiedene Ansätze zur Implementierung der Wechselwirkung zwischen den GNSS Daten und den Fahrzeugsensordaten. Im Rahmen dieses Projektes wurde eine Implementierung auf Basis von Giro- und Beschleunigungssensoren untersucht, um die Positionserkennung zu verbessern.

Mit Hilfe des DR Algorithmus wird bei Ausfall oder sprunghafter Verschlechterung des GNSS Signals die Position des Fahrzeuges anhand der Sensordaten berechnet. Bei gutem Empfang (freier Sicht zum Himmel) ist mit Hilfe von DR eine gute Positionserkennung möglich. Das DR stabilisiert die Fahrzeugposition und ergänzt sich gut mit den GNSS Daten um eine absolute Position zu berechnen. DR kann aber nicht vollständig die systembedingte Positionsabweichung des GNSS kompensieren. Positionsgenauigkeiten, die mit einem RTK System erreichbar sind, sind mit DR jedoch nicht möglich. Aus Kostensicht ist DR jedoch zu bevorzugen, da hier nur eine einmalige Investition nötig ist und keine laufenden Gebühren während des Betriebs verursacht.

Die Vorteile des DR werden in den Bereichen besonders deutlich, in denen zeitweise schlechter oder kein GNSS Empfang möglich ist. Bei den im Rahmen des Projektes durchgeführten Messungen wurde ein gutes Verhalten in Tunneln beobachtet. In Abb. 11 ist deutlich zu sehen, dass die Positionsbestimmung aufgrund des fehlenden oder sehr schlechten GNSS Signals sich hauptsächlich an der Inertialsensorik orientierte. Diese allein kann jedoch die fehlenden Satelliteninformationen nicht komplett kompensieren, so dass am Ende des Tunnels ein deutlicher Versatz zur Referenzposition entstand, die nach ca. 200 m wieder ausgeglichen wurde.



**Abb. 11:** Dead Reckoning Messung im Urbanen Umfeld mit Unterführung

Der hier zum Einsatz gekommene Aufbau kann jedoch um weitere Sensorik erweitert werden, die eine noch genauere Positionsbestimmung ermöglicht. Durch die Verwendung eines Wegstecken-Sensors (Wheel-tick) wäre es möglich, den oben aufgetretenen Versatz deutlich zu minimieren und die Positionsabweichungen auf ein bis zwei Meter zu reduzieren. Ein Wheel-tick Signal, welches typischerweise durch das ABS/ESP-System



des Fahrzeuges bereitgestellt wird, unterliegt systembedingt ebenfalls Fehlern, die aufgrund des variablen Reifendurchmessers (abhängig von Profiltiefe, Temperatur und Luftdruck) entstehen. Diese Fehler können jedoch auch durch eine Langzeitkalibrierung minimiert werden. Aufgrund der oben aufgeführten Randbedingungen zur Verwendung der ADMA wurden an dieser Stelle keine weiteren Untersuchungen durchgeführt.

### 6.2.3 Anforderungen an den Fahrzeugbus

Während der Architekturdefinition für das Fahrzeug wurde entschieden, die Kommunikationseinheit über Ethernet mit dem Steuerungsrechner des automatisierten Fahrzeuges zu verbinden. Die durch RBCM bereitgestellte CCU besitzt hierfür zwei 100Base-T2 Schnittstellen, an die mit Hilfe von HSD-RJ45 Kabeln direkt andere Rechner angeschlossen werden können. Hierbei können über die erste Schnittstelle der Fahrzeugrechner und über die zweite Schnittstelle ein Entwicklungsrechner angeschlossen werden, um zusätzlich die Möglichkeit zum Messen, Loggen und Überwachen zu realisieren.

Die Anbindung der Kommunikationseinheit über alternative Fahrzeugbussysteme wie CAN oder FlexRay wurde nicht in Betracht gezogen, da CAN sowohl in der High-Speed als auch in der FD (Flexible Data Rate) Ausprägung in der Praxis bereits an seine Leistungsgrenzen stößt. Würden neben den Daten der restlichen Steuergeräte im Fahrzeug zusätzlich Objektdaten übertragen werden, hätte dies mit hoher Wahrscheinlichkeit negative Auswirkungen auf die restliche Kommunikation im Fahrzeug. Von einer weitreichenden Evaluierung wurde an dieser Stelle abgesehen, da aufgrund der vorhandenen CCU Produktentwicklung bei RBCM genügend Erfahrungswerte existieren. Zudem hält in der Praxis immer mehr Ethernet in Form von BroadR-Reach Einzug in das Fahrzeug. Automobil OEM's fragen öfters bei RBCM CCU's an, die neben CAN auch BroadR-Reach unterstützen sollen, um die höheren Datenraten verarbeiten zu können. BroadR-Reach bietet einen alternativen Physical Layer für die Übertragung von Ethernet Daten über eine verdrehte ungeschirmte Zweidrahtleitung (wie auch für CAN verwendet). FlexRay stellt aufgrund der geringen Bedeutung im Markt auch keine Alternative dar und hätte aufgrund der seiner Topologie eine deutliche Steigerung der Komplexität zur Folge.

Da sich BroadR-Reach und Standard-Ethernet im Wesentlichen nur im Physical Layer unterscheiden und der Fahrzeugrechner nur mit 100Base-T ausgestattet ist, wurde auf den Einsatz von BroadR-Reach an dieser Stelle verzichtet.

### 6.2.4 Integration der Funkmodule in das Steuergerät

Die Anforderungen an die Mobilfunkkommunikation in MEC-View wurden durch mehrere 4G (LTE) Mobilfunkmodule verschiedener Hersteller erfüllt. Die Wahl fiel jedoch auf das uBlox TOBY-L280, da es der gleichen Serie (TOBY-L2) des bereits in der CCU befindlichen TOBY-L200 angehörte und somit optimal in das Hardwaredesign der CCU passte. Um einen möglichst kompakten und robusten Aufbau der Fahrzeugkomponenten zu realisieren, wurde das Funkmodul nicht wie anfänglich angedacht mit Hilfe eines externen Gehäuses über ein USB Kabel mit der CCU verbunden, sondern gegen das in der CCU vorhandene Funkmodul ausgetauscht. Nach dem Austausch der Funkmodule wurden die CCUs einem erneuten Funktionstest unterzogen, den alle 6 umgerüsteten Geräte bestanden. Dieser Test mit Fokus auf die neuen LTE Module beinhaltete unter anderem den korrekten Verbindungsaufbau zu einem öffentlichen Mobilfunkprovider sowie den zu erwartenden Datendurchsatz und die Latenzzeiten für die verwendete Übertragungstechnologie.

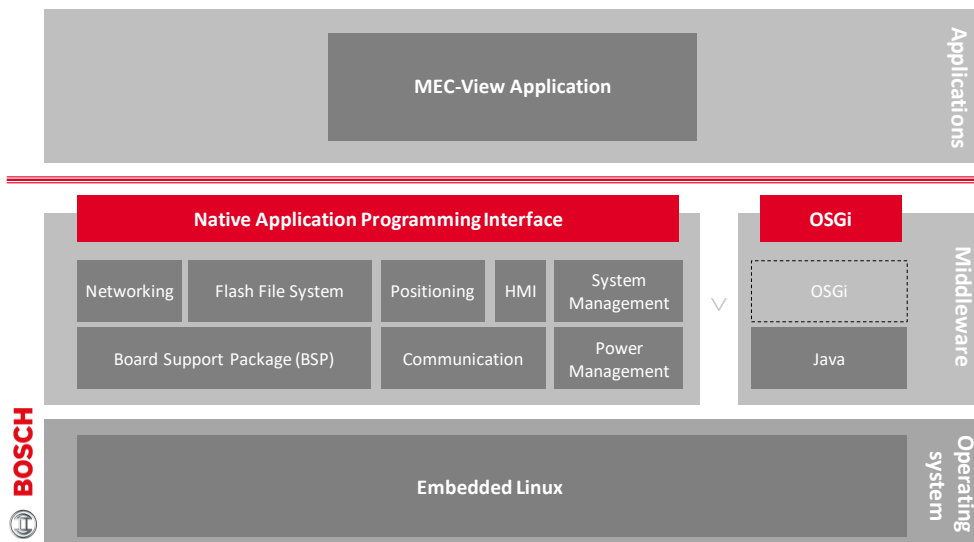


**Abb. 12:** RBCM CCU mit überarbeitetem Gehäuse

In der Abbildung oben ist die Bosch CCU mit dem ausgetauschten LTE Modul zu sehen. Von links nach rechts sind weiterhin folgende Anschlüsse zu erkennen: GNSS Antenne, 2x LTE Antennen, USB, 2x HSD Ethernet und Main-Connector. Im Main-Connector sind unter anderem Anschlüsse für GND, VCC, Ignition, RS232 und CAN vorgesehen.

Auf Wunsch der Fahrzeugbetreiber wurden bereits im Dezember 2017 den Partnern Robert Bosch GmbH und Universität Ulm jeweils eine CCU für die Integration in Ihre Versuchsträger vorab zum geplanten Übergabezeitpunkt bereitgestellt. Dies war möglich, da aus einem Kundenprojekt zwei ausreichend passende Gehäuse für die CCU leihweise zur Verfügung gestellt werden konnten. Anfang 2018 wurden dann für die sechs in MEC-View zum Einsatz kommenden CCUs bedarfsgerechte Gehäuse entwickelt und gefertigt. Das Design der Gehäuse ist für den prototypischen Einsatzzweck in MEC-View optimiert und weicht daher von den vorab geliehenen Gehäusen ab.

Auf den ersten ausgelieferten CCUs befand sich eine Betaversion der in MEC-View zum Einsatz kommenden Software. Diese lediglich für EMV Tests im Labor zusammengestellte Software, wurde noch keinem Langzeit- und Zuverlässigkeitstest unterzogen. Auch aufgrund fehlender Funktionalität bedurfte sie einer umfangreichen Überarbeitung. Die Softwarearchitektur basiert auf einer internen RBCM Plattformentwicklung und ist unten dargestellt.

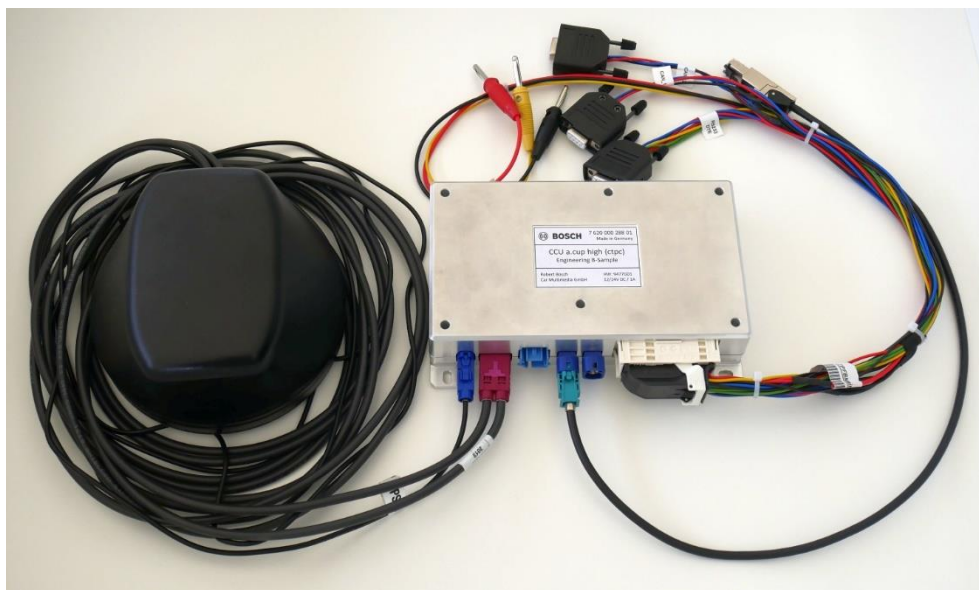


**Abb. 13:** Software-Architektur der RBCM CCU

Dem Embedded Linux Betriebssystem liegt eine Kernelversion 4.0.9. zugrunde. Darüber befindet sich die Middleware, in der unter anderem auch das GNSS (Positioning Modul) zwecks Ortung sowie das System, Networking und Power Management wiederzufinden ist. Über der Middleware befindet sich die Applikationsebene auf der die für den Einsatz in MEC-View notwendigen Applikationen entsprechend den Projektspezifikationen platziert werden können.

### 6.2.5 Integration des Steuergerätes ins Fahrzeug

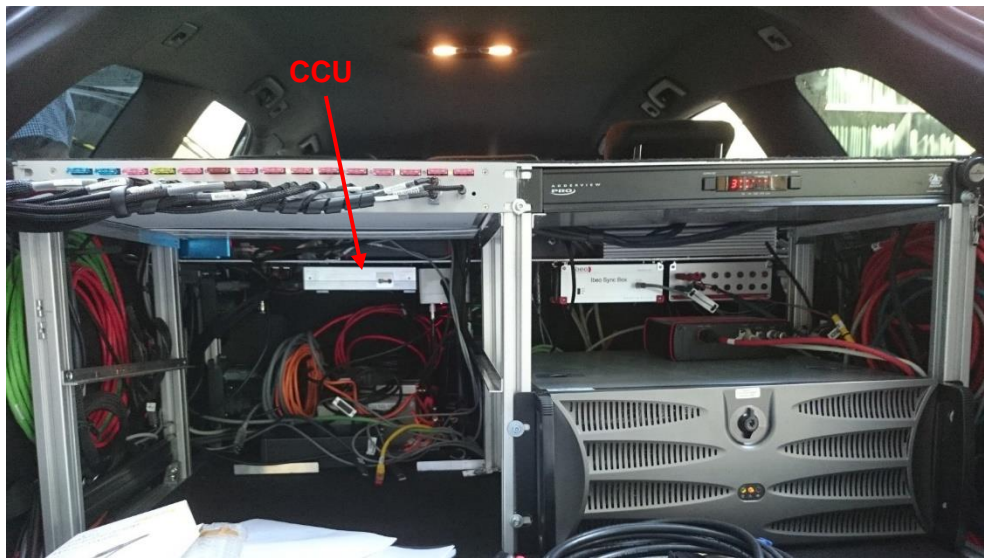
Bereits im Dezember 2017 wurden den Projektpartnern Universität Ulm und der Bosch Forschung und Vorausentwicklung jeweils eine CCU für den mechanischen Fahrzeugeinbau übergeben. Der Einbau selbst blieb den Fahrzeugbetreibern überlassen, da diese mit ihren Fahrzeugen vertrauter sind. Seitens RBCM wurde Einbausupport geleistet.



**Abb. 14:** CCU mit Antenne, die für den Fahrzeugeinbau bereitgestellt wurde

## Schlussbericht - Robert Bosch Car Multimedia GmbH

Ende Mai 2018 wurde die CCU des Bosch Versuchsfahrzeuges in Betrieb genommen. Hierfür wurde die CCU mit der neuen Software, die die für das Versuchsszenario benötigten Funktionen beinhaltet, bespielt und anschließend für das Nokia Testnetzwerk konfiguriert. Nach dem Anpassen der IP Adressen im Steuerungsrechner des Versuchsfahrzeuges konnte dieser mit dem MEC-Server kommunizieren. Anfang November 2018 wurde der endgültige MEC-Server durch Nokia in Betrieb genommen. Ebenso erfolgte ein Austausch der verwendeten SIM-Karten mit neuer PLMN ID 26273. Nach den entsprechenden Konfigurationsanpassungen in der CCU funktionierte der Verbindungsaufbau wieder reibungslos.



**Abb. 15:** CCU im BOSCH Versuchsträger

### 6.2.6 Alternative Steuergeräte für die Fahrzeuge

Die Anforderungen an die Mobilfunkkommunikation in MEC-View, wie die Unterstützung von Band 28, wurden durch mehrere Mobilfunkmodule verschiedener Hersteller erfüllt. Unterschiede gab es unter anderem in den RTT-Werten (ausgewählter KPI), mit einem Delta von bis zu 4 ms. Trotz der leicht schlechteren RTT-Performance fiel die Wahl für das Modem der CCU auf das uBlox TOBY-L280, da es der gleichen Serie (TOBY-L2) des bereits in der CCU befindlichen TOBY-L200 angehört und somit optimal in das Hardwaredesign der CCU passte.

Im Rahmen der CCU Plattformentwicklung bei RBCM stand später eine weitere geeignete CCU, die für den Einsatz in MEC-View infrage käme, zur Verfügung. Sie war eine Weiterentwicklung der bereits in die Versuchsträger integrierten CCU und bot darüber hinaus auch V2X Kommunikationsfunktionalität. Anstatt des uBlox TOBY Modems kam hier ein LGIT LAM-E500 Modem zum Einsatz. Es unterstützt neben den gängigen GSM Bändern die LTE Bänder B1, B3, B5, B7, B8, B20, B28A, B32 und B38. Im Upload erfüllt es die 3GPP Release 12 Anforderungen für CAT.13 (150 Mbps) und im Download für CAT.16 (1 Gbps). Aufgrund der Unterstützung des Band 28A, welches in der MEC-View Infrastruktur zum Einsatz kam, wäre sie eine Alternative zur bereits verbauten CCU und wurde einem Vergleichstest unterzogen.



**Abb. 16:** Alternative CCU für den Einsatz im MEC-View Versuchsträger

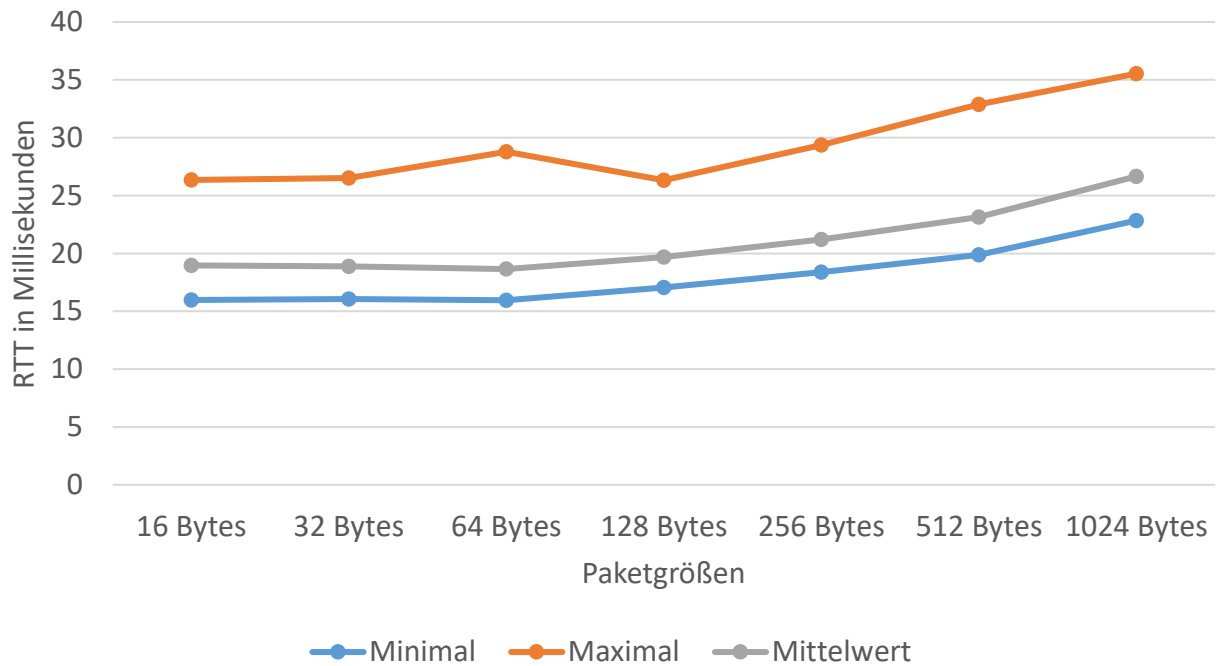
Im MEC-View Netzwerk von Nokia wurden mit dem TOBY-L280 und dem LAM-E500 Vergleichsmessungen durchgeführt, die den Key Performance Indicator (KPI) Round Trip Time (RTT) im Focus hatten. Hierbei entstanden Messreihen, die in den folgenden Tabellen und Grafiken veranschaulicht sind.

	16 Bytes	32 Bytes	64 Bytes	128 Bytes	256 Bytes	512 Bytes	1024 Bytes
<b>Minimal</b>	15,964	16,072	15,953	17,054	18,37	19,887	22,842
<b>Maximal</b>	26,337	26,514	28,798	26,326	29,37	32,873	35,535
<b>Mittelwert</b>	18,959	18,883	18,646	19,682	21,211	23,135	26,656

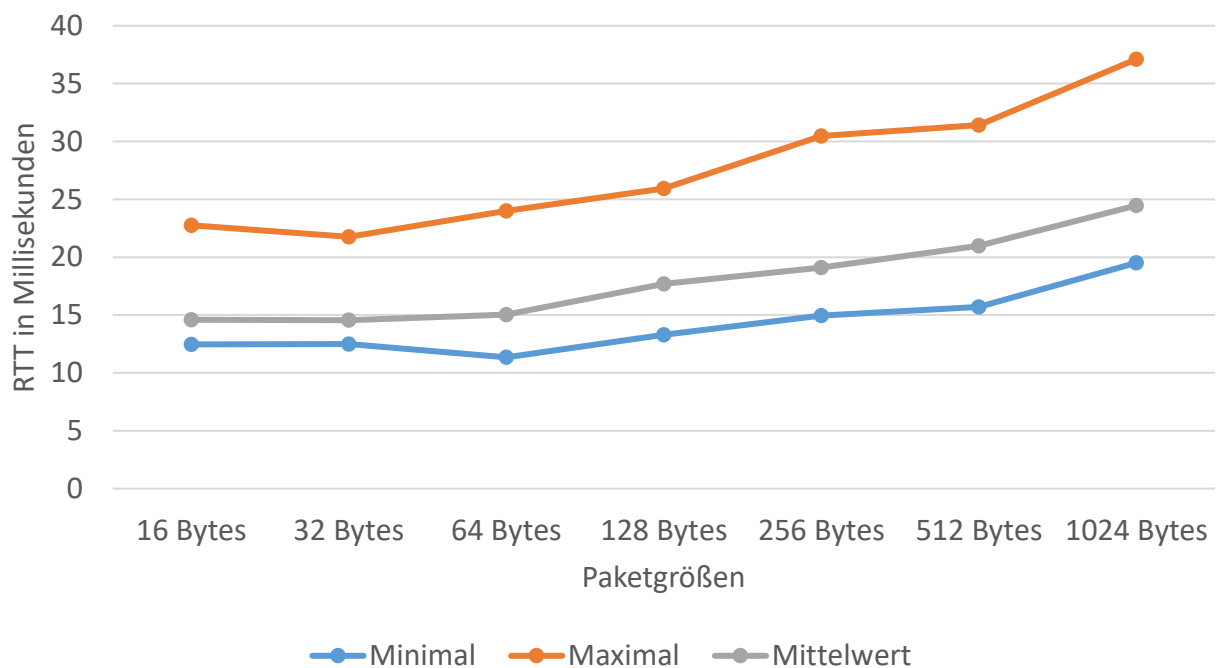
**Tab. 3:** RTT Statistik in Millisekunden des TOBY-L280

	16 Bytes	32 Bytes	64 Bytes	128 Bytes	256 Bytes	512 Bytes	1024 Bytes
<b>Minimal</b>	12,452	12,48	11,346	13,298	14,949	15,688	19,512
<b>Maximal</b>	22,754	21,761	23,988	25,935	30,463	31,424	37,109
<b>Mittelwert</b>	14,608	14,553	15,027	17,698	19,096	20,979	24,466

**Tab. 4:** RTT Statistik in Millisekunden des LAM-E500



**Abb. 17:** Minimal-, Maximal- und Mittelwerte der RTT beim TOBY-L280

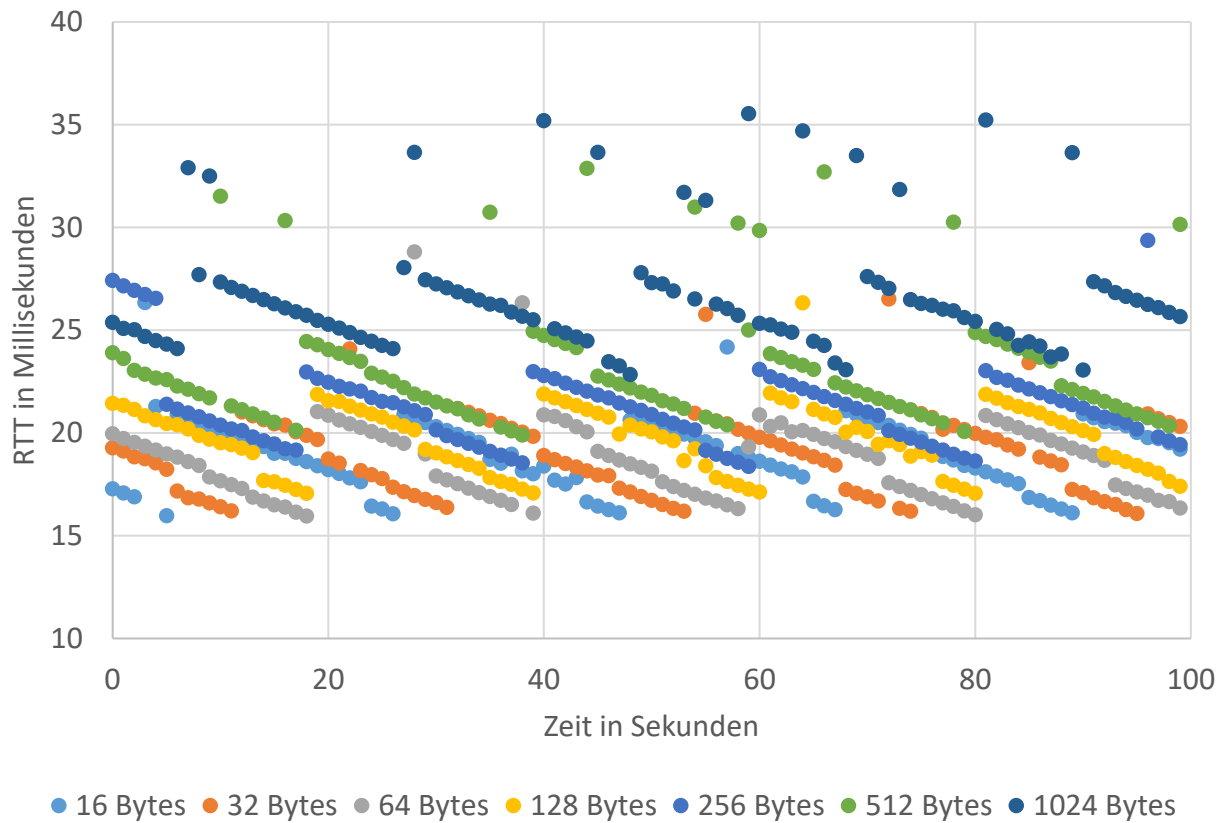


**Abb. 18:** Minimal-, Maximal- und Mittelwerte der RTT beim LEM-E500

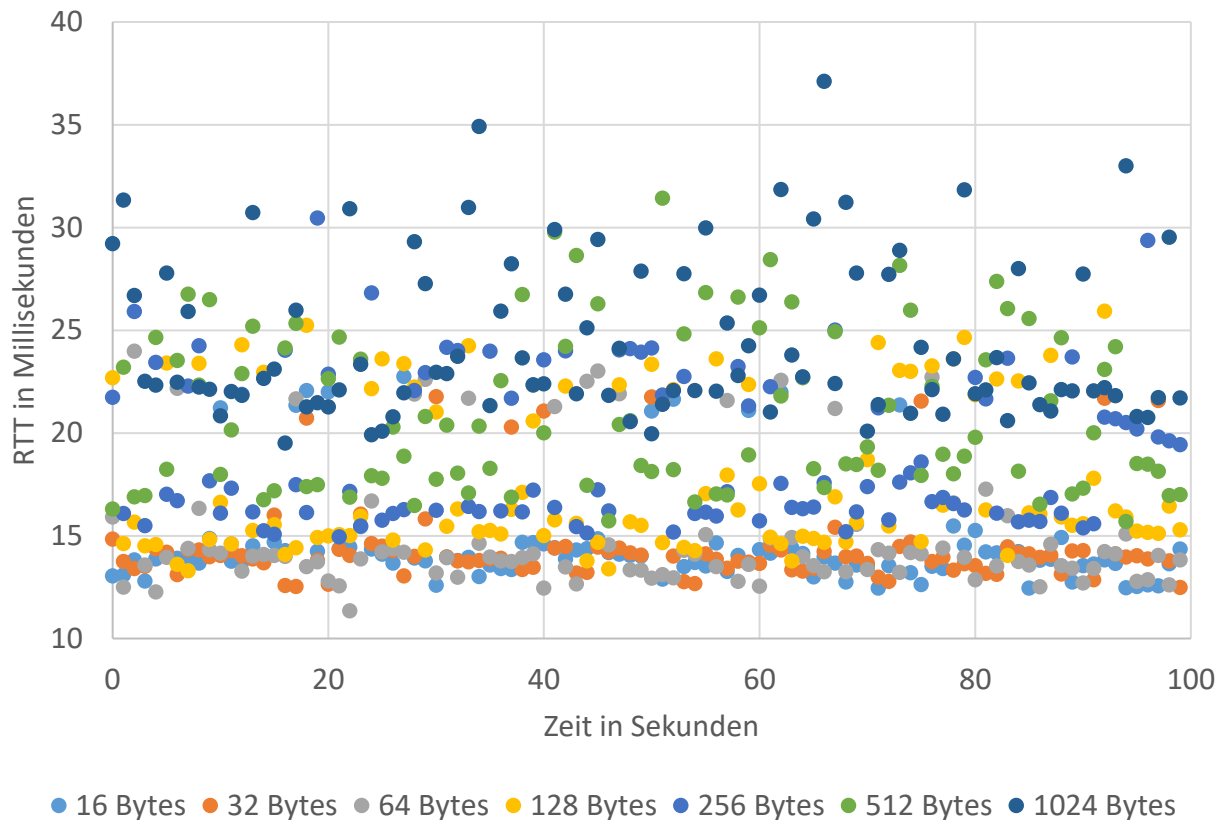
Die oben dargestellten Grafiken zeigen die minimalen, maximalen und durchschnittlichen RTT-Werte im MEC-View Netzwerk unter Verwendung verschiedener Paketgrößen. Ab Paketlängen von 128 Bytes ist ein signifikanter Anstieg der RTT-Zeit zu erkennen, welches durch die Übertragungsdauer des Paketes an sich zu erklären ist. Da die Größe der übertragenen MEC-Objekte jedoch unterhalb dieser Größe liegt, hat es keine weiteren negativen Auswirkungen.

## Schlussbericht - Robert Bosch Car Multimedia GmbH

Wie an diesen Werten zu erkennen ist, erreicht das LAM-E500 eine deutlich bessere RTT (ca. 3,5 ms geringer) als das TOBY-L280. Der Grund hierfür scheint in der kontinuierlichen Weiterentwicklung und Optimierung der Funkmodule zu liegen. Das TOBY-L280 ist ca. 3 Jahre älter als das LAM-E500.



**Abb. 19:** Statistische Verteilung der RTT beim TOBY-L280



**Abb. 20:** Statistische Verteilung der RTT beim LAM-E500

Die beiden oben dargestellten Grafiken zeigen die Verteilungen der RTT-Messwerte beider Module mit jeweils 100 Datenpaketen mit Größen von 16 Bytes bis 1024 Bytes. Die Werte schwanken über die Zeit und sind zudem von der Größe des übertragenen Datenpaketes abhängig. Die Ursache für den Sägezahn Effekt beim TOBY Modul konnte nicht geklärt werden. Beim LAM ist solch ein Effekt nicht erkennbar. Die hier dargestellten Werte folgen einer Normalverteilung.

Die Idee eines Austausches der vorhandenen CCU gegen dieses neuere Modell wurde jedoch verworfen, um die Fahrzeugbetreiber, welche bei der Umsetzung der Use Cases bereits im Verzug waren, nicht zusätzlich zu belasten. Da die verwendete CCU den wesentlichen Anforderungen genügte, wurde seitens der Projektpartner ein Upgrade als nicht notwendig angesehen.



### 7. Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Das Projekt MEC-View startete nach einer 2-stufigen Beantragungsphase (gemäß den Ausschreibungsrichtlinien) am 01.12.2016 und endete nach einer mittelneutralen Verlängerung um 6 Monate am 31.05.2020. Die mittelneutrale Verlängerung des Projektes wurde Anfang 2019 beantragt und nach Prüfung vom Fördergeber genehmigt. Wesentliche Ursache für die Verlängerung der Projektlaufzeit waren ungeplante Aufwände bei der Errichtung und Inbetriebnahme der Pilot-Anlage in Ulm-Lehr.

Der ursprünglich budgetierte Finanzrahmen konnte in der mittelneutralen Verlängerung ohne größere Abweichungen eingehalten werden. Der Projektfortschritt und die Mittelauslastung wurden von RBCM in halbjährlichen Berichten dargelegt.

- Die größte finanzielle Position waren die Personalkosten zur Bearbeitung der MEC-View Arbeitspakete. RBCM hat hier insgesamt ca. 1160 Arbeitsstunden weniger als geplant (4420 Stunden) aufgewendet. Die Gründe dafür lagen im Wegfall der Analyse tiefschichtiger LTE Kommunikationslayern, da sie nicht mehr in das Business-Modell von RBCM passten (Zukauf von Funkmodulen). Zum Zeitpunkt des Entwurfs der Vorhabenbeschreibung war die Entwicklung bzw. Modifikation eigener Funkmodule mit entsprechendem Personaleinsatz noch vorgesehen. Dies hatte sich während der Projektlaufzeit geändert. Des Weiteren lag der Fokus von RBCM auf der neueren 5G Übertragungstechnologie. Diese Entscheidungen hatten zu keinem Zeitpunkt den Projektfortschritt gefährdet. Um die eingeplanten Gelder freizugeben, wurde rechtzeitig eine Mittelabmeldung beim Projektträger angezeigt. Eine weitere Ursache der geringeren Arbeitsstunden hatten die COVID-19 bedingten Reise- und Versammlungsbeschränkungen in der Schlussphase des Projektes zur Ursache. So musste beispielsweise die Abschlusspräsentation in Ulm abgesagt werden.
- Die nächstgrößere Position waren die Sachmittel, z.B. für die Beschaffung von CCU Hardware. In der Vorhabenbeschreibung wurde von der Anschaffung mehrerer prototypischer Hardwarekomponenten für die Backendkommunikation ausgegangen. Da jedoch produktnahe Embedded-Hardware eingesetzt wurde, konnte die Summe um 10.000 Euro reduziert werden. Dies wurde ebenfalls im Rahmen der Mittelabmeldung aufgeführt.
- Schließlich sind Reisekosten zur Ermöglichung des fachlichen Austauschs mit den Verbundpartnern, sowie der Ergebnisverbreitung angefallen. Aufgrund des verstärkten Einsatzes von Telefonkonferenzen und später auch durch die COVID-19 bedingten Reise- und Versammlungsbeschränkungen, sind diese ebenfalls geringer als geplant.

Details können dem zahlenmäßigen Verwendungsnachweis entnommen werden.

## 8. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Das Themenfeld "Automatisiertes Fahren" und insbesondere dessen Umsetzung in marktfähigen Produkten birgt in allen Teilaspekten erhebliche technisch-/wissenschaftliche wie auch wirtschaftliche Risiken. Diese Randbedingungen machen es selbst für große Automobilzulieferer schwer, grenzenlos in die Erforschung neuer innovativer Fahrerassistenzsysteme zu investieren. Die öffentliche Zuwendung ist notwendig, da die Partner des MEC-View Konsortiums das hohe Projektrisiko nicht aus eigener Kraft tragen können.

Für die Erfolgsabschätzung des in MEC-View erarbeiteten System-Ansatzes gibt es bisher nur mittelbare Annahmen, aber keine unmittelbaren Erfahrungswerte. Dies gilt insbesondere für den Bereich der Entwicklung von Infrastruktur-unterstützten automatisierten Fahrfunktionen, wie sie in MEC-View geplant und umgesetzt wurden. Ein solches Vorhaben ohne öffentliche Unterstützung ist aus unternehmerischer Gesichtspunkten außerordentlich riskant und muss unter betriebswirtschaftlichen Aspekten als kaum finanzierbar bewertet werden, obwohl die Erfolgsaussichten des Ansatzes aufgrund der Kompetenzen der beteiligten Projektpartner hoch und wohlbegründet sind. Die geplanten Arbeiten des Projekts MEC-View wären ohne staatliche Förderung in der vorgeschlagenen Form nicht oder nur deutlich verzögert in Angriff genommen worden. Die Gewährung der Fördermittel des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie ermöglicht somit eine deutlich frühere Erreichung der angestrebten Projektziele.

Die im Rahmen von MEC-View von der Robert Bosch Car Multimedia GmbH geleisteten Arbeiten waren sowohl notwendig als auch angemessen, da sie der Planung nach Vorhabenbeschreibung entsprachen und zur Erfüllung der gesetzten Projekt- und Förder-Ziele notwendig waren. Der Erfolg des Vorhabens wurde weiterhin in zahlreichen Demonstrationen und Publikationen in renommierten Fachblättern, sowie Beiträge auf nationalen und internationalen Fachtagungen im Bereich des intelligenten Transports, des automatisierten Fahren und der Robotik belegt.

### 9. Voraussichtlicher Nutzen

Als einer der weltweit größten Zulieferer in den Geschäftsfeldern der Mobilitätslösungen setzt die Robert Bosch GmbH Schwerpunkte ihrer Arbeiten in der Erforschung, Entwicklung und Vermarktung von Komponenten (Sensoren, Aktuatoren), Gesamtsystemen (Advanced Driver Assistance Systems, Automatisierte Mobilität) als auch von Diensten (BOSCH Cloud, Vernetzte Mobilität) für das hoch- und vollautomatisierte Fahren (HAF). Zur Erschließung dieser Geschäftsfelder investiert BOSCH massiv in Erforschung und Entwicklung.

Am Projekt MEC-View beteiligten sich die Vorentwicklung des Geschäftsbereichs Chassis Systems Control (CC) und die zentrale Konzernforschung Corporate Research (CR) der Robert Bosch GmbH, sowie der eigenständige Geschäftsbereich Car Multimedia (CM) mit einem eigenen Antrag. Die Zusammenarbeit zwischen zentraler Forschung und der CC-Vorentwicklung war sehr eng verzahnt. Die Team-Mitglieder beider Bereiche arbeiteten zusammen am Standort Renningen. So konnten die Ergebnisse des Projektes zur Weiterverwertung über die Vorentwicklung des Geschäftsbereiches CC direkt an die Produktentwicklungsbereiche weitergeben werden. Insbesondere die in MEC-View geleisteten Entwicklungen der automatisierten Fahrfunktionen wurden in gemeinsamen Transferterminen an die Produktentwicklung Fahrerassistenz und Automatisiertes Fahren weitergeben. Zwischen den Geschäftsbereichen CC und CM besteht ebenfalls eine sehr enge Verzahnung, da Fahrerassistenzfunktionen auf Fahrzeugvernetzung angewiesen sind. In vielen Forschungs- und Kundenprojekten stellt CM bereits Kommunikationslösungen für CC zur Verfügung und profitiert daher auch aus den Erkenntnissen des MEC-View Projektes.

Für das fahrzeugseitige Umfeldmodell wurden schwerpunktmäßig Methoden zur Kombination von Daten aus verschiedenen Quellen, z.B. der Infrastruktur- und der Fahrzeugsensorik, transferiert. Diese Arbeiten umfassten Architekturen, die eine Nutzung von Umfeldinformationen aus mehreren Datenströmen, z.B. über mobile Datennetze von außerhalb des Fahrzeugs kommend, in einem kombinierten Umfeldmodell ermöglichen. Des Weiteren beinhaltet dies eine Auswahl und Bewertung von Algorithmen zur Kombination von Umfeldinformationen aus verschiedenen Quellen sowie Verfahren zur Ermittlung der benötigten Datenqualität in Bezug auf Latenz und Genauigkeit. Dazu kommen außerdem Verfahren zur Behandlung von „Out-Of-Sequence“ Messungen, wie sie im MEC-View Ansatz konzeptbedingt berücksichtigt werden mussten.

In MEC-View gesammelte Erkenntnisse zur Gesamtsystemauslegung für das vernetzte hochautomatisierte Fahren, sowie speziell Erkenntnisse zur Nutzung von Infrastruktur-Sensordaten zu diesem Zweck, haben im Geschäftsbereich CC Eingang in die Vorausentwicklung kommender Produktgeneration von vernetzten Fahrerassistenzsystemen gefunden. Auch hier war ein kontinuierlicher Transfer der in MEC-View erzielten Ergebnisse gegeben.

Die in MEC-View entwickelten Ansätze und Algorithmen für die Planung, unter eingeschränkter Sicht, sowie das synchronisierte Auffädeln auf eine vorfahrtsberechtigte Straße, wurde konzeptionell in verschiedene Serienprojekte transferiert und werden dort in der Serienentwicklung weiterverfolgt. Die algorithmischen MEC-View Ansätze kommen zum einen beim automatisiertem Auffahren auf eine Autobahn zum Tragen und werden zum anderen in ein Projekthaus transferiert, welches das vollautomatisierten Fahren in der Stadt anstrebt. Darüber hinaus wurden die entwickelten Algorithmen innerhalb der Konzernforschung in ein größeres Entwicklungsframework integriert, welches für die Untersuchung verschiedenster Fragestellung im und um das automatisierte Fahren verwendet wird.

Insgesamt ist im Projektverlauf von MEC-View der zu erwartende wissenschaftliche und technische Erfolg eingetreten. Die Ergebnisse sind den entsprechenden Entwicklungsbereichen bei BOSCH und RBCM kontinuierlich bekannt gemacht worden und im Zuge von Transfers in die Systementwicklung der Produktbereiche eingeflossen. Andere Erkenntnisse wurden in der firmeninternen Forschung weiter aufgegriffen und werden über die in MEC-View gesteckten Ziele hinaus, z.B. im BMWi-geförderten



## Schlussbericht - Robert Bosch Car Multimedia GmbH

---

Folgeprojekt LUKAS, untersucht. Insgesamt verfügt BOSCH bezüglich der MEC-View Erkenntnisse über alle Voraussetzungen zur firmeninternen Verwertung auch in anderen Ländern und Regionen (z.B. APEC).

## 10. Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Neben dem fachlichen Austausch mit den anderen Verbundpartnern wurde auch der Fortschritt von Wissenschaft und Technik außerhalb von MEC-View während der Projektlaufzeit kontinuierlich beobachtet und analysiert. Dies geschah einerseits im Rahmen von BOSCH-internen Veranstaltungen zum Austausch über wissenschaftlichen Themen und andererseits durch die Verfolgung der wissenschaftlichen Literatur über den hausinternen Bibliothekservice. Andererseits stellte BOSCH die eigenen, im Rahmen von MEC-View erfolgten Entwicklungen dem interessierten Fachpublikum auf verschiedenen Konferenzen vor und veröffentlichte mehrere wissenschaftliche Publikationen in Fachjournalen (Kapitel 11).

- Das Projekt wurde auf der BMWi und BMBF Fachtagung am 30. November 2017 bis 1. Dezember 2017 in Berlin dem deutschen Fachpublikum vorgestellt.
- Arbeitsschwerpunkte und erste Ergebnisse des Projektes wurden auf dem 25. ITS World Congress in Kopenhagen in einer von BOSCH geleiteten Schwerpunkt-Session zum vernetzten, automatisierten Fahren mit dem Fokus auf dem MEC-View Ansatz präsentiert.
- Das in MEC-View entwickelte Konzept zur Fusion von stark Latenz-behafteten Infrastruktur-Objekt-Daten mit den fahrzeugeigenen Objektdaten wurde auf der 21. International Conference on Information Fusion in Cambridge präsentiert.
- Details bzgl. dem Tracking von rechteckigen Objektboxen wurden auf dem 62. MPC Workshop in Furtwangen vorgestellt.
- Während des 30. IEEE Intelligent Vehicles Symposiums in Paris (IV 2019) wurde eine gemeinsam von der Universität Ulm und BOSCH entwickelte Zuverlässigkeitsschätzung für die Infrastruktur-Objekt-Daten präsentiert.
- Im Rahmen der 15. Robotics: Science and Systems (RSS) Konferenz in Freiburg im Breisgau wurden die entwickelten Planungsalgorithmen für das synchronisierte Auffädeln in die Vorfahrtsstraße detailliert vorgestellt. Dies beinhaltete neben der Vorstellung der Konzepte, auch eine detaillierte Evaluierung für verschiedene relevante Verkehrsszenarien.

Bei vielen dieser Veranstaltungen ergaben sich Diskussionen mit dem Fachpublikum, das reges Interesse an dem von BOSCH in MEC-View verfolgten Systemansatz zeigte. Es erwies sich in vielen Diskussionen, dass sowohl auf nationaler, besonders aber auf internationaler Ebene ähnliche Konzepte entwickelt und verfolgt werden. Insbesondere im APAC Wirtschaftsraum werden Infrastruktur basierte Umfeldsensoren, unterstützt durch performante Mobilfunknetze und Edge Server, in prototypischen, aber auch schon anwendungsnahen Systemen erprobt, um das automatisierte Fahren in städtischen Umgebungen zu unterstützen.

## 11. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Während der Projektlaufzeit von MEC-View wurden folgende Konferenzbeiträge und Publikationen unter direkter BOSCH Beteiligung erstellt, eingereicht und angenommen:

- Henn, R. W.: Mobile Edge Computing basierte Objekterkennung für hoch- und vollautomatisiertes Fahren (MEC-View). *BMW-BMBF –Fachtagung „Automatisiertes und vernetztes Fahren“*, **2017**
- Gabb, M.; Maier, M.; Müller, T.; Henn, R.-W.; Müller, J. & Buchholz, M.: Urban Automated Driving using Environment Perception as a Service. *ITS World Congress*, **2018**
- Gabb, M.: Edge Computing-based Fusion in the Project MEC-View. *Workshops of the International Conference on Information Fusion*, **2019**
- Gabb, M.; Digel, H.; Müller, T. & Henn, R.-W.: Infrastructure-Supported Perception and Track-Level Fusion Using Edge Computing. *Proc. Of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, **2019**
- Loshaj, B.; Batzies, E. & Gabb, M.: Circular Estimation for Rectangular Shape Tracking. *Proc. of the 2019 Furtwangen MPC Workshop*, **2019**
- Müller, J.; Gabb, M. & Buchholz, M.: A Subjective-Logic-Based Reliability Estimation Mechanism for Cooperative Information with Application to IVs Safety. *Proc. Of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, **2019**
- Völz, B.; Stamm, A.; Maier, M.; Henn, R.-W.; Siegart, R.; Nieto, J.: Towards Infrastructure-Supported Planning for Urban Automated Driving. *Robotics: Science and Systems – Workshop on Scene and Situation Understanding for Autonomous Driving*, **2019**
- Digel, H.; Gabb, M.; Erlinghagen, L.; Sax, E.: „Vehicle Localization Using Infrastructure Sensing“. Akzeptiert zur Veröffentlichung in: *Intelligent System Solution for Auto Mobility and Beyond (AMAA)*, **2020**.
- Buchholz, M.; Müller, J.; Herrmann, M.; Strohbeck, J.; Völz, B.; Maier, M.; Henn, R.-W.: “Handling Occlusions in Automated Driving by Infrastructure Sensors: A V2X Approach with a MEC Server-based Environment Model” zur Veröffentlichung eingereicht in *IEEE Vehicular Technology Magazine, Special Issue on Recent Advances in Motion Control, Estimation and Diagnosis for Automated Vehicles*, **2020**

Seitens RBCM, der mit dem Produktbereich vertreten war, wurden keine Beiträge erstellt, da dies durch die Konzernforschung (CR) und Vorentwicklung bei CC übernommen wurde.

## Abbildungen

Abb. 1: MEC-View Gesamtsystem-Architektur mit Subsystemen und Signalpfaden .....	13
Abb. 2: Anforderungsmatrix der MEC-View Subsysteme.....	14
Abb. 3: Darstellung des Use-Case „Auffahren auf eine Vorfahrtstraße“ an der Pilotanlage .....	15
Abb. 4: Signalfluss-Modell des MEC-View Systems .....	16
Abb. 5: KPI Gesamtsystem-Latenz - Darstellung in ms über Projektlaufzeit ab Q3/2018 .....	16
Abb. 6: MEC-View Pilotanlage an der Kreuzung in Ulm-Lehr.....	18
Abb. 7: Magnetfußantenne für dual LTE und GNSS Betrieb .....	19
Abb. 8: Schematische Darstellung der Umlaufbahn der GPS Satelliten.....	22
Abb. 9: RTK Messung im Urbanen Umfeld mit Unterführung .....	23
Abb. 10: Erfassung der Drehrate und Beschleunigung am Fahrzeug.....	23
Abb. 11: Dead Reckoning Messung im Urbanen Umfeld mit Unterführung.....	24
Abb. 12: RBCM CCU mit überarbeitetem Gehäuse .....	26
Abb. 13: Software-Architektur der RBCM CCU .....	27
Abb. 14: CCU mit Antenne, die für den Fahrzeugeinbau bereitgestellt wurde.....	27
Abb. 15: CCU im BOSCH Versuchsträger .....	28
Abb. 16: Alternative CCU für den Einsatz im MEC-View Versuchsträger.....	29
Abb. 17: Minimal-, Maximal- und Mittelwerte der RTT beim TOBY-L280 .....	30
Abb. 18: Minimal-, Maximal- und Mittelwerte der RTT beim LEM-E500.....	30
Abb. 19: Statistische Verteilung der RTT beim TOBY-L280.....	31
Abb. 20: Statistische Verteilung der RTT beim LAM-E500.....	32



## Tabellen

Tab. 1: Parameter der GPS Multiband Magnetfußantenne: .....	19
Tab. 2: Satellitensysteme die heute der Öffentlichkeit zur Verfügung stehen .....	20
Tab. 3: RTT Statistik in Millisekunden des TOBY-L280 .....	29
Tab. 4: RTT Statistik in Millisekunden des LAM-E500 .....	29





## Literatur

Baumann, U.; Gläser, C.; Herman, M.; Zöllner, J. M. *Predicting Ego-Vehicle Paths from Environmental Observations with a Deep Neural Network*, IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2018

Körber, M. (2018, August). Theoretical considerations and development of a questionnaire to measure trust in automation. In *Congress of the International Ergonomics Association* (pp. 13-30). Springer, Cham.

von Sawitzky, T., Wintersberger, P., Riener, A., & Gabbard, J. L. (2019, June). Increasing trust in fully automated driving: route indication on an augmented reality head-up display. In *Proceedings of the 8th ACM International Symposium on Pervasive Displays* (pp. 1-7).

Wintersberger, P., Frison, A. K., Riener, A., & Sawitzky, T. V. (2019). Fostering user acceptance and trust in fully automated vehicles: Evaluating the potential of augmented reality. *PRESENCE: Virtual and Augmented Reality*, 27(1), 46-62.

### Glossar

5G	Mobilfunkstandard fünfte Generation
AD	Automated Driving
ADMA	Automotive Dynamic Motion Analyzer
AP	Arbeitspaket
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BOSCH	Robert Bosch GmbH
CCU	Communication Control Unit
CC	Chassis Systems Control - Geschäftsbereich des Unternehmensbereiches Bosch Mobility Solutions der Robert Bosch GmbH
Converge	Öffentlich gefördertes Projekt "Communication Network Vehicle Road Global Extension"
COVID	Coronavirus SARS-CoV-2
CR	Corporate Research – Zentrale Forschung der Robert Bosch GmbH
DAI	Daimler AG
DGPS	Differential Global Positioning System
EU	Europäische Union
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
HAF	Hochautomatisiertes Fahren
HD-Karte	High-Definiton Karte
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEEE/RSJ	Bez. für International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)
IMAGinE	Intelligente Manöver Automatisierung - kooperative Gefahrenvermeidung in Echtzeit – BMWi gefördertes Verbundprojekt
IT	Information Technology
ITD	IT Designers GmbH
KI	Künstliche Intelligenz
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
Ko-HAF	Kooperatives Hochautomatisiertes Fahren
KPI	Key Performance Indicator
LiDAR	Light Detection and Ranging
LTE	Long Term Evolution (Mobilfunkstandard)
MEC	Mobile Edge Computing (nach ETSI Standard auch Multi-Access Edge Computing)
MEC-View	Verbundprojekt „Mobile Edge Computing basierte Objekterkennung für hoch- und vollautomatisiertes Fahren“
NKBF	Nebenbestimmungen für Zuwendungen auf Kostenbasis des Bundesministeriums für Bildung und Forschung an Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben
Nokia	Nokia Solutions and Networks GmbH & Co. KG
OEM	Original Equipment Manufacturer (Originalausrüstungshersteller)
OSRAM	OSRAM GmbH
RBCM	Robert Bosch Car Multimedia GmbH - Eigenständiger Geschäftsbereich der Robert Bosch GmbH
simTD	Forschungsprojekt „Sichere Intelligente Mobilität - Testfeld Deutschland“
SAE	Society of Automotive Engineers
SPIES	Unterauftragnehmer von OSRAM, Ingenieurbüro Spies
TOMTOM	TomTom Development Germany GmbH
UAP	Unter-Arbeitspaket
UDE	Universität Duisburg-Essen, Institut für Physik von Transport und Verkehr



## Schlussbericht - Robert Bosch Car Multimedia GmbH

---

UR:BAN                      BMWI-gefördertes Forschungsprojekt: Innovative Verkehrslösungen für die  
Stadt von morgen  
UULM                        Universität Ulm, Institut für Mess-, Regel- und Mikrotechnik  
V2X                            Vehicle-to-Everything Communication

**Berichtsblatt**

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht	
3. Titel  MEC-View Mobile Edge Computing basierte Objekterkennung für hoch- und vollautomatisiertes Fahren		
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  Charles, Michael Circa, Radu Walossek, Erik	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.05.2020	6. Veröffentlichungsdatum 30.11.2020
	7. Form der Publikation Dokument	
	8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  Robert Bosch Car Multimedia GmbH Robert-Bosch-Strasse 200 31139 Hildesheim	
9. Ber. Nr. Durchführende Institution -		10. Förderkennzeichen 19A16010F
		11. Seitenzahl 43
		12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 11019 Berlin
13. Literaturangaben 4		14. Tabellen 4
		15. Abbildungen 20
		16. Zusätzliche Angaben -
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)  TÜV Rheinland Consulting GmbH Am Grauen Stein 51105 Köln  30.11.2020		



## Schlussbericht - Robert Bosch Car Multimedia GmbH

### 18. Kurzfassung

Der vorliegende Schlussbericht zum Projekt MEC-View, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, fasst den Beitrag der Robert Bosch Car Multimedia GmbH zusammen.

BOSCH, zu der auch die Robert Bosch Car Multimedia GmbH als eigenständiger Geschäftsbereich zählt, hat sich im Projekt MEC-View zum Ziel gesetzt, die Leistungsfähigkeit infrastruktureitig verbauter Umfoldsensoren wie Videokameras und LiDAR-Sensoren für das hochautomatisierte Fahren (HAF) im urbanen Raum nutzbar zu machen. Aus der Anforderung, komplexe und herausfordernde Fahrsituationen zu beherrschen, ergibt sich die Notwendigkeit, eine infrastruktureitige Objektdetektion und -verarbeitung zu entwickeln und in Echtzeit mit der fahrzeugseitigen Umfeld-Wahrnehmung zu fusionieren.

Hierfür halten vernetzte Sensoren Einzug in Infrastruktureinheiten des urbanen Raums wie z.B. in Straßenlaternen.

BOSCH griff im Projekt MEC-View diese Entwicklungen auf und entwickelte diese Ansätze nach Anforderungen des urbanen HAF weiter. Es wurde ein Mobile Edge Computing Netzwerk mit Server implementiert, welches Einzelbeobachtungen der vernetzten Infrastruktursensoren zu einem lokalen Umfeldmodell fusioniert und den HAF-Fahrzeugen zur Verfügung stellt. Die Gesamtarchitektur wurde anhand des Beispiels „Auffahren auf eine vorfahrtsberechtigte Straße“ prototypisch im realen Verkehr dargestellt und evaluiert.

Das MEC-View Projekt beabsichtigt, diese Entwicklungen aufzugreifen und für die Anforderungen des urbanen HAF weiterzuentwickeln. Daher wird ein Mobile Edge Computing Netzwerk mit Server umgesetzt, welches Einzelbeobachtungen der vernetzten Infrastruktursensoren zu einem lokalen Umfeldmodell fusioniert und den HAF-Fahrzeugen zur Verfügung stellt. Die Gesamtarchitektur wird anhand des Beispiels „Auffahren auf eine vorfahrtsberechtigte Straße“ prototypisch im realen Verkehr dargestellt und evaluiert.

Der vorliegende Bericht beschreibt die von der Robert Bosch Car Multimedia GmbH in den MEC-View Arbeitspaketen erzielten Beiträge zur Bewältigung dieses Vorhabens und ergänzt den MEC-View Gesamtbericht der Verbundpartner.

### 19. Schlagwörter

Vernetztes automatisiertes Fahren, Verteilte Systeme, V2X, Infrastruktur-Sensoren, Mobile Edge Computing, LTE, 5G, Umgebungsmodell, Eigenlokalisierung, Sensordatenfusion, Communication Control Unit

### 20. Verlag

–

### 21. Preis

–



**Document Control Sheet**

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report		
3. title  MEC-View Mobile Edge Computing basierte Objekterkennung für hoch- und vollautomatisiertes Fahren			
4. author(s) (family name, first name(s))  Charles, Michael Circa, Radu Walossek, Erik		5. end of project 31.05.2020	6. publication date 30.11.2020
		7. form of publication Document	
		8. performing organization(s) (name, address)  Robert Bosch Car Multimedia GmbH Robert-Bosch-Strasse 200 31139 Hildesheim	
12. sponsoring agency (name, address)  Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) 11019 Berlin, Germany		9. originator's report no. -	10. reference no. 19A16010F
		11. no. of pages 43	
		13. no. of references 4	14. no. of tables 4
16. supplementary notes		15. no. of figures 20	
		17. presented at (title, place, date)  TÜV Rheinland Consulting GmbH Am Grauen Stein 51105 Köln  30.11.2020	



## Schlussbericht - Robert Bosch Car Multimedia GmbH

### 18. abstract

The current final report on the MEC-View project summarizes the contributions of the Robert Bosch Car Multimedia GmbH. MEC-View was funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy.

Within the scope of the MEC-View project the Robert Bosch GmbH - and its business division the Robert Bosch Car Multimedia GmbH - strives for the utilization of powerful road side sensing entities for the environmental scanning to support highly automated driving in urban areas (characterized by peripheral development and stationary objects, which occlude relevant road users). For this purpose the MEC-View partners employed LiDAR and Video camera sensor systems at traffic lights at the MEC-View test area in Ulm-Lehr.

The challenging requirements of complex urban driving situations towards the perception of highly automated driving systems demand the online real-time detection and classification of all relevant objects and road users of the local environment. To meet this requirement in the urban traffic situation, the object data of the road side sensing units are primary consolidated in an accurate local environment model, which is hosted at a mobile edge computing (MEC) server. The resulting environment model with object information and features are subsequently transferred to the AD vehicle and are merged within the on-board perception.

This MEC-View approach was implemented by means of a mobile edge computing network including a MEC-server and a high-performance LTE/5G mobile network to connect the infrastructure based sensing units and the MEC-server to the highly automated vehicles. The overall system architecture sketched above was implemented, tested and evaluated in a real traffic situation by means of the prototype use case “seamlessly entering a priority road”.

### 19. keywords

Connected automated driving, Distributed Systems, V2X, Road Side Sensing, Mobile Edge Computing, LTE, 5G, Environment Model, Localization, Sensor Data Fusion, Communication Control Unit

### 20. publisher

### 21. price