

ANIKA II – AUFRÜSTUNG DER NOTRUFSAULEN- FERNMELDENETZINFRASTRUKTUR ZUR V2X-KOMMUNIKATION AN AUTOBAHNEN

Gesamtschlussbericht

FE-Nr.: 88.0166/2017, 88.0167/2017, 88.0168/2017

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF
(Projektkoordination)
Galileo-Testfeld der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Thorsis Technologies GmbH

Bearbeiter: Dipl.-Inf. Tobias Kutzler (Fraunhofer IFF), Thorsten Szczepanski (Thorsis Technologies GmbH), Dipl.-Geograph Andreas Müller (GALILEO Testfeld Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg)

Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2017 – 30.11.2019 (Verlängerung bis 31.10.2020)

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|------------|---|-----------|
| I | ZUSAMMENFASSUNG | 4 |
| I.1 | AUFGABENSTELLUNG | 4 |
| I.2 | VORAUSSETZUNG UNTER DENEN DAS VORHABEN DURCHGEFÜHRT WURDE | 7 |
| I.3 | PLANUNG UND ABLAUF DES VORHABENS | 9 |
| I.4 | STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK | 17 |
| I.4.1 | ANIKA in Niedersachsen und Sachsen-Anhalt | 24 |
| I.4.2 | Elektrotechnische Integration einer R-ITS-S – Ergebnisse der Studie „Machbarkeit der Nutzung der bestehenden Notrufsäuleninfrastruktur für kooperative IVS Technologien (FE 03.544-2016-IRB)“ | 27 |
| I.5 | ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN | 29 |
| I I | EINGEHENDE DARSTELLUNG | 31 |
| II.1 | VERWENDUNG DER ZUWENDUNG UND ERZIELTE ERGEBNISSE IM EINZELNEN MIT GEGENÜBERSTELLUNG DER VORGEgebenEN ZIELE | 31 |
| II.1.1 | Arbeitspaket 1.1 – Projektkoordination (Fraunhofer IFF) | 31 |
| II.1.2 | Arbeitspaket 1.2 – Projektdokumentation (GATE) | 31 |
| II.1.3 | Arbeitspaket 1.3 – Qualitätsmanagement (GATE) | 32 |
| II.1.4 | Arbeitspaket 1.4 – Ergebnisverbreitung (Fraunhofer IFF) | 33 |
| II.1.5 | Arbeitspaket 2.1 – Konzeption Roadside-ITS-Station (TT) | 34 |
| II.1.6 | Arbeitspaket 2.2 – Konzeption Vehicle-ITS-Station (TT) | 38 |
| II.1.7 | Arbeitspaket 2.3 – Konzeption Anbindung an VMZ (TT) | 39 |
| II.1.8 | Arbeitspaket 2.4 – Konzeption IT Security (IFF) | 39 |
| II.1.9 | Arbeitspaket 2.5 – Konzeption Use-Cases Kommunikation (GATE) | 44 |
| II.1.10 | Arbeitspaket 2.6 – Konzeption Virtuelles Infrastrukturmodell (IFF) | 46 |
| II.1.11 | Arbeitspaket 2.7 – Testdesign (GATE) | 48 |
| II.1.12 | Arbeitspaket 2.8 – Analyse Infrastruktur Testfeld Autobahn (IFF) | 49 |
| II.1.13 | Arbeitspaket 3.1 – Entwicklung Roadside-ITS-Station (TT) | 55 |
| II.1.14 | Arbeitspaket 3.2 – Entwicklung Applikation Roadside ITS Station (TT) | 60 |
| II.1.15 | Arbeitspaket 3.3 – Entwicklung Applikation Vehicle ITS Station (TT) | 60 |
| II.1.16 | Arbeitspaket 3.4 – Entwicklung Anbindung an VMZ (TT) | 61 |
| II.1.17 | Arbeitspaket 3.5 – Implementierung Virtuelles Infrastrukturmodell (IFF) | 62 |
| II.1.18 | Arbeitspaket 3.6 – Vorbereitung Testfeld Autobahn (IFF) | 65 |
| II.1.19 | Arbeitspaket 4.1 – Komponententest (TT) | 69 |
| II.1.20 | Arbeitspaket 4.2 – Test auf Teststrecke GATE-IC (TT) | 70 |
| II.1.21 | Arbeitspaket 4.3 – Testfeld Autobahn (GATE) | 73 |
| II.1.22 | Arbeitspaket 4.4 – Virtuelle Demonstration (IFF) | 75 |
| II.1.23 | Arbeitspaket 5.1 – Auswertung Testbetrieb (GATE) | 78 |
| II.1.24 | Arbeitspaket 5.2 – Risiko-/Potenzialanalyse (IFF) | 84 |
| II.1.25 | Arbeitspaket 5.3 – Komponentenuupgrade (TT) | 87 |
| II.1.26 | Arbeitspaket 5.4 – Abschließende Bewertung (IFF) | 88 |
| II.2 | WICHTIGSTE POSITIONEN DES ZAHLENMÄßIGEN NACHWEISES | 91 |
| II.2.1 | Personalkosten | 91 |
| II.2.2 | Reisen | 91 |
| II.2.3 | Beschaffungen bzw. Unteraufträge | 91 |
| II.3 | NOTWENDIGKEIT UND ANGEMESSENHEIT DER GELEISTETEN ARBEIT | 92 |
| II.4 | VORAUSSICHTLICHER NUTZEN UND VERWERTBARKEIT DER ERGEBNISSE | 93 |
| II.5 | FORTSCHRITTE AUF DEM GEBIET DES VORHABENS BEI ANDEREN STELLEN WÄHREND DER DURCHFÜHRUNG DES VORHABENS | 94 |
| II.6 | ERFOLGTE UND GEPLANTE VERÖFFENTLICHUNGEN DES ERGEBNISSES | 95 |

| | | |
|--------------|---|------------|
| I I I | ANLAGE ERFOLGSKONTROLLBERICHT | 96 |
| III.1 | BEITRAG DES ERGEBNISSES ZU FÖRDERPOLITISCHEN ZIELEN | 96 |
| III.2 | WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHES ERGEBNIS DES VORHABENS, ERREICHTE NEBENERGEBNISSE UND GESAMMELTE WESENTLICHE ERFAHRUNGEN | 97 |
| III.3 | FORTSCHREIBUNG DES VERWERTUNGSPLANS..... | 98 |
| III.3.1 | <i>Erfindungen und Schutzrechtemeldungen</i> | <i>98</i> |
| III.3.2 | <i>Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (innerhalb 2 Jahre nach Projektende).....</i> | <i>98</i> |
| III.3.3 | <i>Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (innerhalb 2 Jahre nach Projektende)</i> | <i>99</i> |
| III.3.4 | <i>Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit</i> | <i>99</i> |
| III.4 | ARBEITEN, DIE ZU KEINER LÖSUNG GEFÜHRT HABEN | 101 |
| III.5 | PRÄSENTATIONSMÖGLICHKEITEN FÜR MÖGLICHE NUTZER | 102 |
| III.6 | EINHALTUNG DER KOSTEN- UND ZEITPLANUNG | 103 |
| I V | LITERATURVERZEICHNIS..... | 105 |

I Zusammenfassung

I.1 Aufgabenstellung

Das Projekt ANIKA II setzt sich zum Ziel, die bestehende Infrastruktur von Notrufsäulenstandorten an Autobahnen zu verwenden und mit entsprechender Hardware für die Vehicle-to-Infrastructure-Kommunikation (V2I-Kommunikation) zu erweitern und damit die Grundlagen für ein intelligentes Verkehrssystem (auf Englisch, Intelligent Transport System – ITS) zu schaffen. Mit der im Projekt entwickelten Hardware werden existierende Standard-Notrufsäulenstandorte mit wenig Aufwand und niedrigen Nachrüstungskosten in funktionsfähige Roadside-ITS-Stationen nach ITS-G5 [1] umgewandelt. ITS-G5 stellt den europäischen Standard für die V2I-Kommunikation dar und spezifiziert auf unterschiedlichen Ebenen, von der Übertragungs- bis zur Applikationsschicht, die Anforderungen für die V2I-Kommunikation bei intelligenten Verkehrssystemen.

Im Rahmen des Projekts wird eine Hardware-Software-Lösung zur Nachrüstung existierender Notrufsäulenstandorte mit ITS-G5 entwickelt. Um die Nachrüstung der Notrufsäulenstandorte zu untersuchen und zu optimieren, wird während des Projekts eine Simulationssoftware entwickelt, welche die vorläufige Analyse der Roadside-ITS-Station-Funkeigenschaften wie z.B. Sendeleistung oder Funkabdeckung ermöglicht. Passende Schnittstellen für die Kommunikation zwischen Roadside-ITS-Station und einer virtuellen Verkehrsmanagementzentrale (VMZ) gemäß DATEX II werden innerhalb des Projekts untersucht und realisiert.

Die prototypische Implementierung der Hardware wird zunächst in der kontrollierten Umgebung „Galileo Testfeld – Innovation Center“ (GATE-IC) untersucht. Zuletzt ist eine Erprobung unter realen Bedingungen in einem Abschnitt entlang der Autobahn A9 im Digitalen Testfeld Autobahn geplant. Dafür ist der Autobahnabschnitt der A9 zwischen Gögelsbuch und Greding als Testfeld ausgewählt worden.

Die in ANIKA II angestrebte Lösung stellt eine flexible (auch in anderen Infrastrukturkomponenten bspw. LSA verwendbare), kostengünstige, technische Alternative zur schnellen Realisierung einer ITS-Infrastruktur auf Basis bestehender Komponenten dar, welche bereits an Autobahnen im gesamten europäischen Raum zu finden ist.

Ziel des Projekts ist die Entwicklung einer Lösung zur Umwandlung bestehender Notrufsäulenstandorte an den Autobahnen in Roadside-ITS-Stationen für die Realisierung einer ITS-Infrastruktur gemäß ITS-G5. Innerhalb des Projekts werden Erkenntnisse im Bereich der mathematischen Modellierung der Funkwellenausbreitung sowie fachliche Kenntnisse über Embedded-Systeme und ITS-G5-Protokolle angewendet. Die nachfolgenden Beschreibungen geben eine kurze Zusammenfassung der Aufgaben aller Partner im Projekt. Die durchgeführten Arbeiten und erreichten Ergebnisse sind im Abschnitt II dargestellt.

Die Bearbeitung des Projekts unterteilte sich organisatorisch in folgende Phasen:

AP1: Projektmanagement

Das Projektmanagement ist ein iterativer Prozess, der sich über die ganze Projektlaufzeit erstreckt. Ziel ist es, nicht nur die kontinuierliche Projektkoordination fortzuführen, sondern auch die entsprechende Projektdokumentation und das Reporting für die spätere Ergebnisverbreitung vorzubereiten. Dies dient auch einem effektiven Qualitätsmanagement, um rechtzeitig Probleme zu identifizieren und das Projekt in die richtige Richtung zu steuern. Hauptverantwortlich für das Projektmanagement sind das Galileo Testfeld und Fraunhofer IFF, Magdeburg. Thorsis ist in diesem AP nur für die Dokumentationsvorbereitung verantwortlich.

AP2: Analyse und Konzeption

In der ersten Projektphase werden in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern alle Anforderungen für das ANIKA-System (Hardware- und Software-Komponenten) definiert.

Mögliche Lösungen zur Erweiterung bestehender Notrufsäulenstandorte mit Hardware für die V2I-Kommunikation gemäß ITS-G5 werden konzipiert. Entsprechende wichtige Anwendungsszenarien (Use-Cases) mit besonderem Fokus auf das Autobahnumfeld werden in dieser Phase erarbeitet. Auf Basis dieser Informationen wird ein passender Testplan vorbereitet. Die Durchführung erfolgt in einer kontrollierten Umgebung (GATE-IC) sowie unter normalen Bedingungen in einem Autobahnabschnitt der A9. Zur quantitativen Auswertung der Testläufe werden in dieser Phase passende Metriken definiert. Die gesammelten Informationen werden als Systemspezifikationen in einem Lastenheft zusammengefasst und für die weiteren Projektphasen aufbereitet (Meilenstein M1).

AP3: Entwicklung und Integration

Auf Basis der im Lastenheft enthaltenen Systemspezifikationen werden Hardware und Software für die Roadside-ITS-Stationen entwickelt. Passende elektronische Komponenten sowie eine mechanische Lösung für die Erweiterung der Notrufsäulenstandorte mit entsprechenden Modulen für ITS-G5 werden in dieser Phase implementiert. Das mechanische Gehäuse für die Module soll einen direkten Einbau an den Notrufsäulenstandorten ermöglichen und daher Robustheit und Resistenz gegenüber Schmutz, Wasser, Staub, schlechten Wetterbedingungen und hohen bzw. niedrigen Temperaturen garantieren. Die Stromversorgung erfolgt durch das Streckenfernmeldekanal selbst, weshalb es wichtig ist, die Stromversorgungsbeschränkungen der existierenden Infrastruktur zu beachten. Die Kommunikation mit der (virtuellen) VMZ erfolgt ebenfalls über das Streckenfernmeldekanal. Hier wird der Standard DATEX II für den Austausch von Verkehrsinformationen zwischen dem zu entwickelnden ITS-G5 Modul und der (virtuellen) VMZ implementiert. Weitere Schnittstellen entsprechend ITS-G5 werden für die drahtlose Kommunikation mit den V2X-fähigen Fahrzeugen zur Verfügung gestellt. Bei der Entwicklung des entsprechenden ITS-G5-Stacks werden die aktuellen Normen für ITS-G5 direkt berücksichtigt, um die optimale Kompatibilität auch in der Zukunft gewährleisten zu können.

AP4: Testen und Demonstration

Nach der Hard- und Software-Entwicklung ist ein zweiphasiger Test vorgesehen: Zuerst werden die Hardware-Komponenten und die entwickelte Embedded-Software ausführlich in einer kontrollierten Umgebung (Galileo Testfeld-Innovation Lab, GATE-IL) getestet. Ziel ist es, Hardware- und Software-Probleme so schnell wie möglich zu erkennen und im Anschluss zu beseitigen und die Simulationssoftware für die Analyse des Funkmodells zu validieren. Mögliche Hardware-Beschränkungen (Bottlenecks) sowie Modelldiskrepanzen werden in dieser Phase korrigiert.

Nachdem der Test am GATE-IC erfolgreich abgeschlossen worden ist, werden die prototypischen ANIKA-Module mit einer Erprobung in einem Abschnitt auf einer Autobahn (vorgesehen ist die Anwendung an der bayerischen Autobahn A9 zwischen Gögelsbuch und Greding) unter den realen Bedingungen der ausgewählten Use-Cases getestet. Die im AP2 definierten Metriken, welche unter anderem durch die im AP3 entwickelte Simulationssoftware genutzt werden, werden für die Auswertung der Testergebnisse (Testfeld GATE-IC und Autobahn) verwendet.

AP5: Evaluierung

Nach dem Abschluss der Testphase erfolgen die Evaluierung der Testergebnisse sowie basierend auf einer Risiko- und Potenzialanalyse die Herleitung von Schlussfolgerungen für die weitere Entwicklung und der zu schaffenden Rahmenbedingungen für die Einführung des in diesem Vorhaben realisierten Lösungsansatzes.

Besonders wichtig sind die Evaluierung der Komponentenmigration zwischen dem Testfeld GATE-IC und dem Digitalen Testfeld Autobahn sowie die entsprechende Integration der Komponenten an der Autobahn. Mögliche Schwachstellen, die aufgrund der realen Bedingungen entstehen können, werden in dieser Phase analysiert und entsprechend korrigiert. Ein passendes Komponenten-Upgrade wird durchgeführt und die neue Hardwareversion mit den entsprechenden Änderungen erneut analysiert. Zum Schluss wird eine Risiko- und Potentialanalyse durchgeführt, um möglichen Risiken und Potentialen, die bei der Umsetzung der im Projekt angestrebten Lösung entstehen können, zu begegnen.

I.2 Voraussetzung unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens sind einerseits durch die mit Beantragung dargestellte Motivation der Umsetzung der Projektidee zur Umsetzung und Erprobung der Aufrüstung der Fernmeldenetzinfrastruktur an Autobahnen in der Nähe von Notrufsäulenstandorten um eine Technologie zur V2X-Kommunikation sowie andererseits durch die bei den Projektpartnern bestehenden Kompetenzen zur Realisierung des Vorhabens gegeben.

Weiterhin waren alle Projektpartner an Vorprojekten beteiligt, in denen die grundlegende Umsetzung der Projektidee zur Aufrüstung von Verkehrsinfrastrukturen mit V2X-Technologien an Notrufsäulenstandorten im Rahmen von Länderprojekten in Niedersachsen und Sachsen-Anhalt überprüft wurde. Ebenfalls beteiligt waren die Projektpartner an der im Auftrag der BAST durchgeführten Studie zur Untersuchung der „Machbarkeit der Nutzung der bestehenden Notrufsäuleninfrastruktur für kooperative IVS-Technologien (FE 03.5442016-IRB)“. Hier war die Aufgabe der Klärung der technischen Voraussetzungen in Form eines Testaufbaus und der Durchführung von Leistungsmessungen in Bezug auf die mögliche Leistungsausbeute der existierenden Leitungsinfrastruktur.

Fraunhofer IFF

Das Fraunhofer IFF hat seine Expertise und Erfahrungen aus zahlreichen Forschungs- und Industrieprojekten in das Vorhaben ANIKA II eingebracht. Das Leistungsangebot des am Projekt beteiligten Geschäftsfeldes Logistik- und Fabrikssysteme umfasst die Entwicklung und Anpassung von digitalen Werkzeugen für Planung und Betrieb, Leitstände und Portale für intelligente Logistikketten, die Zustandsbewertung und Entscheidungsunterstützung für technische Logistiksysteme, die Planung und Optimierung von Fabriken und Logistiksystemen und -netzen und die Analyse, Bewertung und Gestaltung von physischen und digitalisierten Logistikprozessen. Für die Umsetzung und Realisierung von Forschungs- und Industrieprojekten werden moderne Informations- und Kommunikationstechnologien und im Speziellen Identifikations- und Telematiktechnologien zur Anwendung gebracht. Im Rahmen des ANIKA II Projekts sind insbesondere die Kompetenzen und Leistungen des Fraunhofer IFF aus den Arbeitsbereichen Modellierung und Simulation zum Einsatz gekommen.

Thorsis

Thorsis Technologies GmbH ist seit Gründung im Jahr 1997 im Bereich der industriellen Automation und Kommunikation mit eigenen Hardware- und Softwareprodukten am Markt anwesend. Das in der Firma tätige Ingenieurpersonal verfügt über umfangreiche Kenntnisse in der Entwicklung von Embedded Systemen sowie von Applikationssoftware. Die Tätigkeit von Thorsis Technologies auf den Geschäftsgebieten der Industrieautomation und kooperativen Systeme resultiert in einer Reihe von Erfahrungen, die für die Durchführung des Projekts ANIKA II genutzt wurden.

Im Bereich der Kommunikationstechnik werden für die Feldbussysteme PROFIBUS und CAN sowohl die Hardware in verschiedenen Formfaktoren (Schaltplanentwicklung, Layouterstellung, Leiterkartenproduktion, -bestückung und -testung) als auch die Protokollsoftware sowie verschiedene Softwarewerkzeuge (Systementwurf, Implementierung, Integration und Testung) entwickelt und produziert. Diese Tätigkeiten werden im Geschäftsgebiet der Automatisierung bei der Gestaltung von offenen (Software-) Prozessschnittstellen (z.B. OPC, EDD, FDT, Web-Services) fortgesetzt. Hier spielt insbesondere die technische Kooperation mit Kunden und Wettbewerbern in sehr dynamischen Spezifikations- und Standardisierungsumfeldern eine wichtige Rolle. Dies wird durch das Geschäftsgebiet Industrieautomation abgedeckt.

Thorsis Technologies ist weiterhin auf dem Gebiet der Verkehrstelematik und Logistik tätig. Diese Querschnittsabteilung setzt auf dem Know-How der Technologieabteilungen Industrieautomation und kooperative Systeme auf und entwickelt eigene Applikationskonzepte für ihre Anwendungsfelder. Insbesondere die Nutzung industrieller Standards gehört zur Basis der Arbeiten. An dieser Stelle sei auf den im Rahmen des Dmotion-Projekts in zwei Stufen entwickelten OTS-Kommunikationsstandard zur Realisierung herstellergemischter Verkehrssteuerungs- und Verkehrsmanagementsysteme verwiesen. Dieser kommt in den in diesem Bereich angesiedelten Produkten der Firma zum Einsatz. Thorsis Technologies bietet mit Produkten zur Fahrgastinformation und zur Verkehrsdatenerfassung eigenständige Produktlinien für den kommunalen und privaten Betreiber.

GATE-IC

Mit der Unterzeichnung der Kooperationsvereinbarung zwischen dem Ministerium für Landesentwicklung und Verkehr, dem Kultusministerium, dem Ministerium für Wirtschaft und Arbeit des Landes Sachsen-Anhalt sowie der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg am 30. September 2008 zum Aufbau eines Entwicklungslabors und Testfeldes für Ortung, Navigation und Kommunikation in Verkehr und Logistik - Galileo-Testfeld Sachsen-Anhalt - hat sich der Universität die Chance eröffnet, eine zentrale Stellung in einem Hochtechnologiebereich des Verkehrs-, Logistik- und Kommunikationssektors einzunehmen. Die Otto-von-Guericke-Universität und das Land Sachsen-Anhalt setzen mit dem Galileo-Testfeld einen Meilenstein für ein überregionales und innovatives Kompetenzzentrum zur Mobilität in Deutschland. Das Galileo-Testfeld ist das Referenzprojekt Sachsen-Anhalts basierend auf der Landesinitiative „Angewandte Verkehrsforschung“. Es bündelt Synergien und Kernkompetenzen für die Zukunft der Mobilität in Mitteldeutschland zur Einführung intelligenter Verkehrs- und Logistiksysteme.

In seiner Weiterentwicklung firmiert das Galileo-Testfeld seit 2016 als Innovation Center für Digitale Infrastruktur, Mobilität und Logistik. Insbesondere die Digitalisierung der Gesellschaft soll ein zentraler Baustein des Innovation Centers (Galileo Testfeld) werden und deren Vernetzung zur Mobilität und Logistik.

Im Rahmen des ANIKA II Vorhabens kamen insbesondere die Kompetenzen und Leistungen des Innovation Centers / Galileo Testfeld aus den Arbeitsbereichen Telematik, Verkehr und Kommunikation sowie Ortung und Navigation zum Einsatz. Das Innovation Center / Galileo-Testfeld übernahm als Impulsgeber des ANIKA-II-Vorhabens vor allem die technologische Zusammenführung der Komponenten sowie deren funktionale Machbarkeitstests und die Versuchsaufbauten bevor diese im Digitalen Testfeld Autobahn genutzt wurden.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Im Rahmen der Beantragung ist für das Projekt zur Bearbeitung der Inhalte ein Arbeitsplan erarbeitet worden, der in der Abbildung 1 dargestellt ist. Die Abbildung zeigt neben der Auflistung der Arbeitspakete auch deren zeitliche Einordnung bezüglich der Bearbeitung und Fertigstellung. Weiterhin ist der Abbildung ebenfalls die zeitliche Einordnung der zu erreichenden Meilensteine zu entnehmen.

Gegenüber der ursprünglichen Planung ist eine Anpassung des Arbeits- und Zeitplans vorgenommen worden.

Nachfolgend wird die vom Plan abweichende Bearbeitung und Fertigstellung von Arbeitspaketen sowie die Erreichung von Meilensteinen beschrieben. Alle anderen Arbeitsinhalte und Arbeitspakete sind auf der Grundlage des ursprünglichen Arbeitsplans wie in Abbildung 1 dargestellt bearbeitet worden.

Weiterhin sind aus administrativer Sicht Anpassungen vorgenommen und gemeinsam mit dem Fördergeldgeber innerhalb des Berichtszeitraums vorabgestimmt worden.

Die Bearbeitung der Arbeitspakete sind bis auf die nachfolgend beschriebenen notwendigen Anpassungen innerhalb des geplanten Arbeitsumfangs sowie Zeitplans wie geplant abgeschlossen worden.

Ein wesentlicher Fortschritt konnte bis zur Meilensteinpräsentation am 09. April 2019 demonstriert werden. So konnte die prinzipielle Funktionalität des Projektansatzes und die Eignung des ausgewählten Abschnitts an der A9 erfolgreich nachgewiesen werden. Die Vorbereitung und Vergabe der für die Installationen im Digitalen Testfeld Autobahn erforderlichen Unteraufträge gestaltete sich jedoch deutlich zeitintensiver als geplant. Im Rahmen der weiteren Bearbeitung wurde erkennbar, dass die für die Vorbereitung der Tests erforderlichen Arbeitspakete (AP 2.8, AP 3.6) und darauf aufbauenden Tests nicht planmäßig durchgeführt werden, da die Vorbereitung der Baumaßnahmen (Ausschreibungsprozess mit bestimmter Laufzeit und Ablauf) deutlich die im Antrag ursprünglich geplanten und angenommenen Zeiten übertrafen. Aufgrund dessen ist eine Anpassung des Arbeits- und Zeitplans erforderlich geworden, um die noch offenen Arbeitspakete mit den Bearbeitungszeiträumen zu verschieben oder zu verlängern.

Da absehbar war, dass die noch auszuführenden Leistungen nicht innerhalb der ursprünglich geplanten Laufzeit erbracht und bearbeitet werden konnten, ist aufgrund der Verzögerungen in den obigen Arbeitspaketen vom Fraunhofer IFF am 13.09.2019 eine kostenneutrale Projektverlängerung um 11 Monate und einem neuen Projektende zum 31.10.2020 beantragt worden. Diesem Projektantrag ist mit einem Änderungsbescheid vom 30.09.2019 zugestimmt worden.

Nach erfolgter und bestätigter Verlängerung der Projektlaufzeit ist die erforderliche Ausschreibung für die Beauftragung der Tiefbauarbeiten am 11.10.2019 mit der Beauftragung des Unternehmens Axians GA Netztechnik erfolgreich abgeschlossen worden. Mit Beginn der Leistungserbringung der Tiefbauleistungen und Abstimmung eines Zeitplans konnte darauf aufbauend die Ausschreibung der Komponenten für die Installation der Stromversorgung und datentechnischen Anbindung vorbereitet werden. Hier ist eine Beauftragung an die Firma Telent im März 2020 erfolgt, die nach Durchführung von Labortests die Installation der Technik im Digitalen Testfeld Autobahn installiert hat. Anschließend ist durch das Projektkonsortium eine Installation der im Projekt entwickelten Technik bestehend aus den Roadside-ITS-Stationen entlang der Autobahn sowie deren Anbindung an die Stromversorgung und Datenverbindung vorgenommen worden, die am 09.06.2020 durch die Inbetriebnahme des Systems erfolgreich abgeschlossen werden konnte. Ab diesem Datum sind bis Ende September Praxistests in Form von Testfahrten durch das Projektkonsortium sowie durch einen Dauerbetrieb mit der Aufnahme von Daten von Fahrzeugen, die bereits mit ITS-G5-Technik ausgestattet sind und den Autobahnabschnitt befahren haben, durchgeführt worden.

Mit Beendigung des Projekts bestand die Anforderung, alle vorgenommenen Installationen im Digitalen Testfeld Autobahn komplett zurückzubauen. Die Deinstallation der Technik durch das Projektkonsortium und die Firma Telent sowie der Rückbau der Tiefbaumaßnahmen sind im Oktober erfolgt und mit Ende des Projekts Ende Oktober ebenfalls erfolgreich abgeschlossen worden.

Aus der vorangegangenen Zusammenfassung der Bearbeitung der weiteren Projektinhalte ist ersichtlich, dass sich eine Anpassung des Arbeits- und Zeitplans ergeben hat, wie er in Tabelle 1 sowie Abbildung 2 dargestellt ist. Hier sind die Verschiebungen bzw. angepassten Bearbeitungszeiten erläutert.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Bearbeitung des Projektes aus Sicht des Gesamtkonsortiums und gibt einen Überblick, in welchen Arbeitspaketen die jeweils verantwortlichen Projektpartner (Fraunhofer IFF (IFF), Galileo-Testfeld der Otto-von-Guericke-Universität (GATE) sowie Thorsis Technologies (TT)) tätig waren.

Weiterhin enthält die nachfolgende Tabelle die sich aus den inhaltlichen Verzögerungen der APs 2.8 und 3.6 ergebenden Verlängerungen oder Verschiebungen, die insbesondere das AP 3.6 selbst sowie die Arbeitspakete für den Test im Digitalen Testfeld Autobahn (4.3) sowie dessen Evaluierung und Auswertung (4.4, 5.1, 5.2, 5.3 und 5.4) betreffen.

| AP | Verantwortlich | Inhalte | Bearbeitungszeit gemäß Arbeitsplan | |
|-------|----------------|---|------------------------------------|-------------------------------|
| | | | von | bis |
| 1.1 | IFF | Projektkoordination | 01.12.2017 | 30.11.2019 Neu: 31.10.2020 |
| 1.2 | GATE | Projektdokumentation | 01.12.2017 | 30.11.2019 Neu: 31.10.2020 |
| 1.3 | GATE | Qualitätsmanagement | 01.12.2017 | 30.11.2019 Neu: 31.10.2020 |
| 1.4 | IFF | Ergebnisverbreitung | 01.12.2017 | 30.11.2019 Neu: 31.10.2020 |
| 2.1 | TT | Konzeption Roadside-ITS-Station | 01.12.2017 | 31.03.2018 |
| 2.1.1 | TT | Konzeption Funkeigenschaften | 01.12.2017 | 31.01.2018 |
| 2.1.2 | TT | Konzeption Energiemanagement | 01.01.2018 | 28.02.2018 |
| 2.1.3 | TT | Konzeption HW-Eigenanforderungen | 01.01.2018 | 31.03.2018 |
| 2.1.4 | TT | Konzeption Mechanik | 01.02.2018 Neu: 01.06.2018 | 31.03.2018 Neu: 31.07.2018 |
| 2.2 | TT | Konzeption Vehicle-ITS-Station | 01.03.2018 | 31.05.2018 |
| 2.3 | TT | Konzeption Anbindung an VMZ | 01.02.2018 | 31.05.2018 |
| 2.4 | IFF | Konzeption IT Security | 01.02.2018 | 30.06.2018 |
| 2.5 | GATE | Konzeption Use-Cases Kommunikation | 01.12.2017 | 31.07.2018 |
| 2.6 | IFF | Konzeption Virtuelles Infrastrukturmodell | 01.02.2018 | 31.07.2018 |
| 2.6.1 | IFF | Konzeption Erweiterung Virtuelles Infrastrukturmodell | 01.02.2018 | 31.05.2018 |

| | | | | |
|-------|------|--|----------------------------------|----------------------------------|
| 2.6.2 | TT | Konzeption Funkmodell und Middleware | 01.03.2018 | 31.07.2018 Neu: 30.06.2018 |
| 2.7 | GATE | Konzeption Testdesign | 01.02.2018 | 31.07.2018 |
| 2.7.1 | TT | Konzeption Testplan | 01.02.2018 | 31.05.2018 |
| 2.7.2 | TT | Konzeption Testfallspezifikation | 01.04.2018 | 31.07.2018 |
| 2.8 | IFF | Analyse Infrastruktur Testfeld Autobahn | 01.12.2017 | 31.12.2018 Neu: 09.04.2019 |
| 3.1 | TT | Entwicklung Roadside- ITS-Station | 01.05.2018 | 30.11.2018 |
| 3.1.1 | TT | Entwicklung Elektronik | 01.05.2018 | 30.11.2018 |
| 3.1.2 | TT | Entwicklung Mechanik | 01.06.2018 | 31.08.2018 |
| 3.1.3 | TT | Entwicklung Software | 01.06.2018 | 30.11.2018 Neu: 31.12.2018 |
| 3.2 | TT | Entwicklung Applikation Roadside- ITS-Station | 01.09.2018 | 28.02.2019 |
| 3.3 | TT | Entwicklung Applikation Vehicle- ITS-Station | 01.10.2018 | 31.01.2019 |
| 3.4 | TT | Entwicklung Anbindung an VMZ | 01.12.2018 | 31.03.2019 |
| 3.5 | IFF | Implementierung Virtuelles Infrastrukturmodell | 01.09.2018 | 30.04.2019 |
| 3.6 | IFF | Vorbereitung Testfeld Autobahn | 01.11.2018 | 28.02.2019 Neu: 31.10.2020 |
| 4.1 | TT | Komponententest | 01.09.2018 | 31.07.2019 |
| 4.2 | GATE | Test auf Teststrecke GATE-IC | 01.12.2018 | 31.03.2019 |
| 4.3 | GATE | Testfeld Autobahn | 01.03.2019 Neu: 01.06.2020 | 31.07.2019 Neu: 30.09.2020 |
| 4.4 | IFF | Virtuelle Demonstration | 01.12.2018 | 30.09.2019 Neu: 31.08.2020 |
| 5.1 | GATE | Auswertung Testbetrieb | 01.01.2019 | 31.10.2019 Neu: 30.09.2020 |
| 5.2 | IFF | Risiko-/Potenzialanalyse | 01.07.2019 Neu: 01.06.2020 | 31.10.2019 Neu: 30.09.2020 |

| | | | | |
|-----|-----|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 5.3 | TT | Komponentenupgrade | 01.01.2019 | 31.07.2019 neu: 30.06.2020 |
| 5.4 | IFF | Abschließende Bewertung | 01.10.2019 Neu: 01.09.2020 | 30.11.2019 Neu: 31.10.2020 |

Tabelle 1 - Projektbearbeitung, Stand 30.10.2020, nach bewilligter Projektverlängerung

I.4 Stand von Wissenschaft und Technik

Seit Jahren bemüht sich die Autoindustrie den Schutz von Verkehrsteilnehmern oder die Unterstützung von Fahrzeugführern durch die Entwicklung technologischer Lösungen wie Sicherheitsgurte, Airbag, ABS, ESP oder Assistenzsystemen wie ACC¹ zu verbessern. Lebensgefährliche Situationen sollten durch aktive Sicherheitssysteme vermieden werden, damit die Anzahl der Verkehrsunfallopfer auf null gesenkt wird. Der Begriff „aktive Systeme“ bezeichnet alle technologischen Lösungen wie ABS, ESP oder ACC, welche direkt bzw. aktiv in die Fahrzeugdynamik eingreifen und Fehler des Fahrers rechtzeitig korrigieren können. Um dies auf intelligente Weise zu erreichen, ist es jedoch nötig, dass jedes Fahrzeug gewisse Kenntnisse über seine Umgebung und über das Verhalten anderer Fahrzeuge erhält, d.h. alle Fahrzeuge und Elemente der Verkehrsinfrastruktur müssen in der Lage sein, Informationen miteinander austauschen zu können. Diese Art von Verkehrsinfrastruktur wird unter der Bezeichnung „Intelligent Transport System“ – abgekürzt mit ITS – zusammengefasst. Die Kommunikation zwischen den Komponenten wird als „Vehicle-to-Everything“- (oder V2X-) Kommunikation bezeichnet.

Anders als bei traditionellen Mobilfunknetzen bergen ITS-Systeme zusätzliche technische Herausforderungen an die Bitübertragungs- und Sicherungsschichten, welche von den spezifischen Eigenschaften des Verkehrs direkt abhängig sind. Diese können hauptsächlich in folgenden Punkten zusammengefasst werden:

- Relative Geschwindigkeit der Fahrzeuge bei der Vorbeifahrt an der Roadside ITS Station (R-ITS-S)
Die relative Geschwindigkeit zwischen Fahrzeugen und Verkehrsinfrastruktur kann bis zu 250 km/h betragen. Hierbei kann ein extrem hoher Doppler-Effekt entstehen, der eine deutliche Frequenzverschiebung und folglich erhöhte Interferenz in den ausgetauschten Kommunikationskanälen verursachen kann.
- Verkehrsdichte
Die Verkehrsdichte, d.h. die Anzahl von Fahrzeugen, die sich zu einem spezifischen Zeitpunkt auf der Straße befinden, kann hoch sein. Deshalb können Störungen und Paketkollisionen auftreten. Alle Fahrzeuge müssen jedoch miteinander und mit der Verkehrsinfrastruktur weiter kommunizieren können. Entsprechende Lösungen zur Minderung von Informationsverlusten und zur effizienten Nutzung und Zugriff auf das physikalische Kommunikationsmedium müssen daher erarbeitet werden.
- Zeitsynchronisierung
Zeitsynchronisierung spielt bei ITS eine extrem wichtige Rolle, da alle Fahrzeuge nicht nur immer die aktuellsten Informationen brauchen, sondern auch in der Lage sein müssen, Ereignisse wie z.B. plötzliches Notbremsen oder Unfälle zeitlich zuordnen zu können. In klassischen Mobilfunklösungen wird die Zeitsynchronisierung durch GPS-Uhren an den Abdeckungszellen realisiert. Obwohl diese Lösung extrem präzise Uhrzeiten liefert, funktioniert sie aber nur, wenn sich die Fahrzeuge in einer vom Mobilfunkanbieter abgedeckten Zone befinden.

Es ist eindeutig, dass für V2X-Anwendungen neue Lösungen zur effizienten und sicheren Datenübertragung auf Bitübertragungs- und Sicherungsebene erforderlich sind. Derzeit werden in diesem Bereich hauptsächlich zwei technologische Ansätze verfolgt: Einerseits arbeitet das ETSI – Institut für die europäischen Telekommunikationsstandards – an der Entwicklung der ITS-G5-Infrastruktur auf Basis des IEEE-Standards 802.11p; auf der

¹ Adaptive Cruise Control – Automatischer Abstandshalter. Dynamischer Tempomat, welcher die Fahrzeuggeschwindigkeit basierend auf der Angabe einer Maximalgeschwindigkeit an das vorausfahrende Fahrzeug anpassen kann.

anderen Seite versucht die 3GPP – 3rd Generation Partner Projekt, weltweites Kooperationsprojekt für die Standardisierung im Mobilfunk – die neue Version von LTE (5G) für V2X-Anwendungen zu erweitern und das entsprechende Protokoll „Proximity Service“ (ProSe) zur direkten V2V-Kommunikation zu etablieren. Die zwei Lösungen unterscheiden sich erheblich nicht nur technisch voneinander, sondern auch bzgl. Anwendung- und Entwicklungskosten, welche sich bei Endnutzern und Stakeholdern deutlich bemerkbar machen.

Lösung 1: ITS-G5 für die V2X-Kommunikation

Der europäische Standard ITS-G5 ist auf Basis des IEEE-Standards 802.11p aus dem Jahr 2004 entwickelt worden, d.h. als Bitübertragungs- und Sicherungsschicht wird eine WLAN-ähnliche-Lösung genutzt, welche für die spezifischen, oben genannten Anforderungen der V2X-Kommunikation angepasst worden ist. Der Standard benutzt das Spektrum zwischen 5.850 und 5.925 MHz und definiert 7 unterschiedliche Kommunikationskanäle, wie in Abbildung 3 dargestellt.

Der Standard ist mit besonderem Fokus auf die Straßenverkehrssicherheit sowie auf der Sicherheit und Anonymisierung der ausgetauschten Datenpakete entwickelt worden. Obwohl kompatibel mit normalem WLAN, sind aus Sicherheitsgründen vier unterschiedliche Frequenzbänder, sprich G5A, G5B, G5C und G5D, definiert worden. Die ITS-G5A-Kanäle werden explizit für Applikationen bzgl. Verkehrssicherheit reserviert und dürfen nur bei ITS-G5-Geräten verwendet werden, d.h. alle anderen zugelassenen WLAN-Geräte dürfen keine Störung in diesem Frequenzbereich generieren. Das ITS-G5B-Band ist stattdessen für nicht für die Verkehrssicherheit relevante Anwendungen reserviert, darf aber ebenfalls nur von ITS-G5-zugelassenen Geräte verwendet werden.

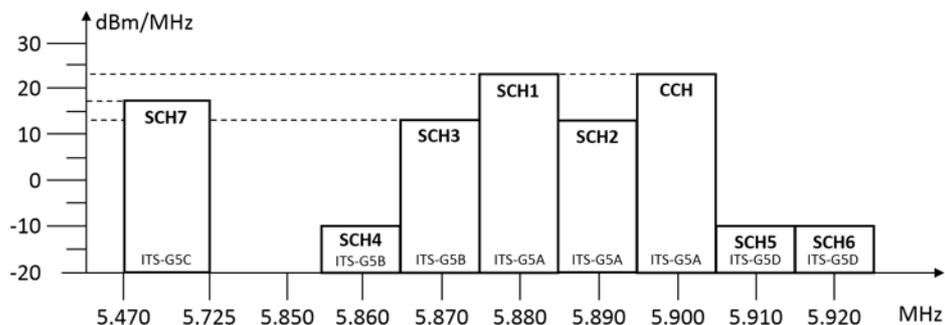


Abbildung 3: Spektrum der Kanäle für ITS-G5 und entsprechende maximale Sendeleistungsdichte, [2].

Das Spektrum von ITS-G5C wird im Gegensatz zu normalen WLAN-Geräten geteilt und darf nur für nicht-sicherheitsrelevante Applikationen wie z.B. Infotainment verwendet werden. ITS-G5- und WLAN-Geräte dürfen in diesem Frequenzbereich koexistieren. Dazu ist das höhere Frequenzspektrum von ITS-G5D für zukünftige Anwendungen reserviert worden. In Tabelle 2 ist ein Vergleich zwischen WLAN und ITS-G5 dargestellt. Hieraus wird ersichtlich, welche Veränderungen bei diesem neuen Standard vorgesehen sind, das Protokoll robuster gegenüber Intersymbol- und Multipath-Fehlern zu gestalten und es somit für die Anwendung im V2X-Bereich bei hohen relativen Geschwindigkeiten und mit großer Verkehrsdichte geeignet ist.

Tabelle 2: Vergleich zwischen IEEE 802.11a (WLAN) und IEEE 802.11p (ITS-G5).

| | IEEE 802.11a (WLAN) | IEEE 802.11p (ITS-G5) | Verbesserungen: |
|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| Data Rate | 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps | 3, 4, 5, 6,9, 12, 18, 24, 27 Mbps | |
| Modulation | BPSK OFDM QPSK OFDM | BPSK OFDM QPSK OFDM | |

| | | | |
|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|---|
| | 16-QAM OFDM 64-QAM OFDM | 16-QAM OFDM 64-QAM OFDM | |
| Error Correction Coding | Convolutional Coding (K=7) | Convolutional Coding (K=7) | |
| Coding Rate | 1/2, 2/3, 3/4 | 1/2, 2/3, 3/4 | |
| Number of Carriers | 52 net | 52 net | |
| OFDM Symbol Duration | 4,0 μ s | 4,0 μ s | |
| Guard Period | 0,8 μ s | 1,6 μ s | Weniger Intersymbolinterferenz. Robuster gegenüber Multipath-Fehlern. |
| Occupied Bandwidth | 20 MHz | 10 MHz | Verbesserte Multipath-Unterdrückung. |
| Frequency | 5 GHz ISM Band | 5.850-5.925 GHz | Weniger Gleichkanalinterferenz. |

Die allgemeine abstrakte Struktur eines ITS-G5-Systems ist in Abbildung 4 dargestellt. Wie in der Abbildung zu sehen ist, verzichtet der ITS-G5-Standard auf eine zentralisierte Infrastruktur, d.h. es gibt kein spezifisches Backbone-Netz, zu dem sich die Geräte verbinden müssen, um miteinander kommunizieren zu können. Der Ansatz ist eine komplett dezentralisierte Struktur. Jedes Fahrzeug und jedes Element der Verkehrsinfrastruktur kann mit allen Nachbarn direkt kommunizieren, sodass ein dynamisches Ad-Hoc-Kommunikationsnetz entsteht.

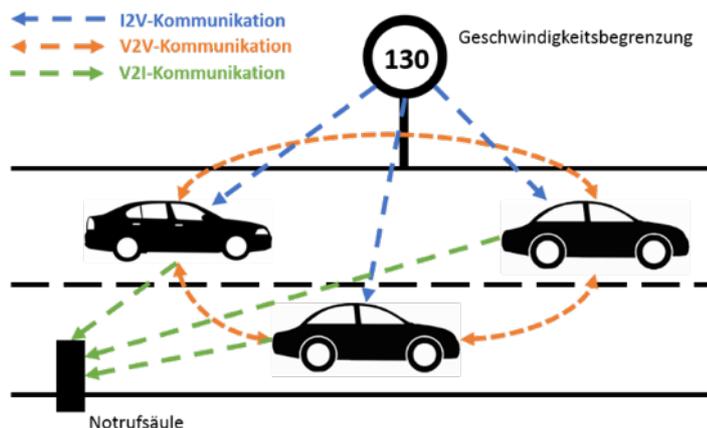


Abbildung 4: Basisidee der ITS-G5-Infrastruktur, bei der die V2V-, V2I- und I2V-Kommunikation dargestellt ist.

Eine dezentralisierte Lösung hat viele Vorteile: Auf ein Backbone-Netz zu verzichten bedeutet, wenige Probleme mit Kapazität und Bottlenecks auf der Uplink-Seite zu haben, d.h. es gibt theoretisch keine Begrenzung in der Anzahl von Fahrzeugen und Elementen der Verkehrsinfrastruktur, die gleichzeitig Daten miteinander austauschen dürfen. In der Praxis kann aber die Mitbenutzung des Übertragungsmedium zu Paketkollisionen führen, wenn viele User gleichzeitig kommunizieren möchten. Das Problem wird durch die Implementierung von einem Decentralized-Congestion-Control-(DCC)-Algorithmus für CSMA (Carrier Sense Multiple Access) gelöst. Protokollanalysen zeigen, dass der aktuelle DCC-ETSI-Standard [3] in der Lage ist, eine Anzahl von maximal ca. 300 aktiven Sendern und Empfängern ohne gravierende Leistungsverluste gleichzeitig zu bedienen (siehe z.B. [4]).

Ein weiterer Vorteil dezentralisierter Lösungen sind die niedrigen Kosten für den Infrastrukturausbau, da das Netz mit der Steigerung der Anzahl ITS-G5-fähiger

Fahrzeuge erweitert wird. Nur die Elemente der bestehenden Verkehrsinfrastruktur wie Schilder oder Notrufsäulenstandorte müssen nachträglich ausgerüstet werden. Die Kosten hierfür sind jedoch deutlich geringer als der Ausbau eines gesamten neuen Backbone-Netzes. Außerdem entstehen keine Probleme bzgl. Verbindungsübergabe (Handover), wenn die Verbindung von einer Funkzelle in eine andere übergeleitet werden muss oder bei Ressourcenallokation. Eine spezifische Infrastruktur ist jedoch zur Verteilung von Sicherheitszertifikaten nötig, wenn Authentifizierung und sicherere kryptographische Lösungen implementiert werden sollen.

Ein weiterer Vorteil ist, dass das Netz in Echtzeit durch dynamische Verbindungen ausgebildet ist und keine Erreichbarkeits- oder Abdeckungsprobleme wie bei traditionellen Mobilfunknetzen entstehen. Fahrzeuge können beispielweise problemlos auch in einem Tunnel miteinander kommunizieren. Die entsprechenden Anpassungen am IEEE 802.11p-Standard ermöglichen dazu kürzere Latenzzeiten sowie die V2X-Kommunikation bis zu einer relativen Geschwindigkeit von 250 km/h und einer Distanz von ca. 200 m. Diese kann zusätzlich mittels Multi-Hopping deutlich verlängert werden kann. Nach jetzigem Kenntnisstand soll die Kommunikation per ITS-G5 komplett kostenlos zur Verfügung gestellt werden, d.h. die Benutzer müssen keine Gebühren oder zusätzliche Kosten für den Datenaustausch bezahlen.

Diese technologische Lösung wird besonders von der Europäischen Union und einem Teil der Autoindustrie unterstützt, die an einer von allen Stakeholdern und Operatoren der Mobilfunknetzbranche unabhängigen Lösungen interessiert sind. Langfristig wird angestrebt, einen kostenlosen Verkehrssicherheits-Service in der gesamten EU für den Endnutzer zur Verfügung stellen zu können.

Lösung 2: 5G und LTE-V2V

Eine Alternative zu ITS-G5 ist die Anwendung von LTE-Technologien für die Datenübertragung. Insbesondere könnte die Weiterentwicklung von LTE – 5G genannt – für V2X-Anwendungen gut geeignet sein. Diese Lösung wird hauptsächlich von Mobilfunkanbietern und Stakeholdern der Mobilfunkbranche wie Qualcomm und Ericsson vorangetrieben, welche ein großes langfristiges Gewinnpotential in der 5G-Technologie sehen. Die Basisidee der V2X-Kommunikation über LTE ist in Abbildung 5 schematisch dargestellt.

Im Vergleich zu ITS-G5 (siehe Abbildung 4) geht dieser Ansatz von der Nutzung der traditionellen Struktur eines Mobilfunknetzes aus, bei dem die Kommunikation und alle Verbindungen durch eine oder mehrere Mobilfunkzellen geleitet wird. Das bedeutet, dass jedes Fahrzeug und aktives Element der Verkehrsinfrastruktur einen bestimmten Kommunikationskanal von einer Funkzelle bekommt. Die Fahrzeuge dürfen daher nur durch die abdeckende Mobilfunkzelle miteinander kommunizieren. Grund für diese Lösung ist, eine erhöhte Kompatibilität mit der bestehenden Mobilfunkinfrastruktur zu gewährleisten. Allerdings ist LTE (auch in der Version 5G) nicht explizit für V2X-Anwendungen konzipiert worden und im aktuellen Zustand nicht in der Lage, alle V2X-Anforderungen zu erfüllen. In der Tat ist 5G hauptsächlich dafür entwickelt worden, niedrige Latenzzeiten und hohe Datenübertragungsraten nur für semi-statische und nicht für dynamische Szenarien zu erreichen. Obwohl theoretisch niedrigere Intrazell-Latenzzeiten als bei ITS-G5 erreicht werden können, kann es bei einer Verbindungsübertragung (Handover) zwischen Nachbarmobilfunkzellen nicht mehr garantiert werden. Außerdem sind Handover zwischen heterogenen Netzanbietern noch nicht standardisiert worden und es ist noch nicht klar, wie dieses Problem behandelt werden soll.

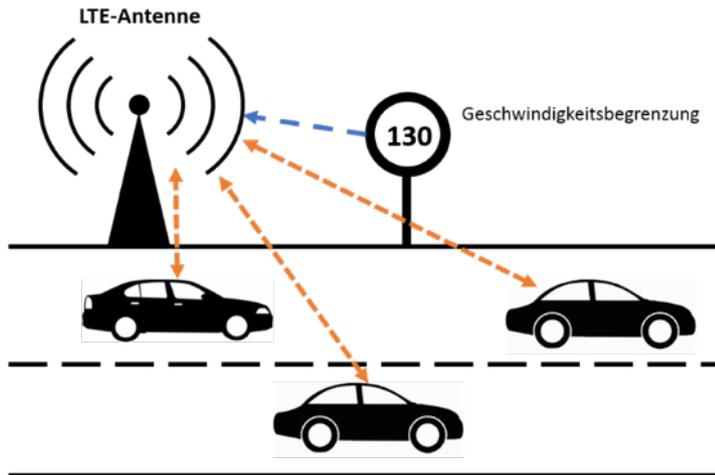


Abbildung 5: Basisidee der V2X-Kommunikation über Mobilfunknetz bzw. LTE.

Eine der Hauptanforderungen der V2V-Kommunikation (Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation) sind die kontinuierliche Abdeckung und Erreichbarkeit für verkehrssicherheitsrelevante Anwendungen. In Zellulernetzen müssen sich aber die Fahrzeuge in einer abgedeckten Zone befinden, um kommunizieren zu können. Auch wenn man die ganze bestehende Mobilfunkinfrastruktur aktualisieren würde, könnte nie diese vollständige Abdeckung erreicht und garantiert werden. Außerdem ist das bestehende Mobilfunknetz nicht in der Lage die nötige Menge an ausgetauschten Daten behandeln zu können und es ist noch nicht klar, ob dies ein Problem bei 5G sein wird. Beispielhaft soll dies an der nachfolgenden Rechnung gezeigt werden: Gemäß V2V-Spezifikation sendet ein Fahrzeug unter normalen Bedingungen fünf „Cooperative Awareness Messages“ (CAMs) pro Sekunde. Wenn jede Nachricht 256 Bytes groß ist und das Fahrzeug für ungefähr vier Stunden pro Tag bewegt wird, würde dieses Fahrzeug durchschnittlich 0,5 GByte Daten pro Monat mit einer Spitzengeschwindigkeit von 2,5 KByte pro Sekunde austauschen müssen. Mobilfunkzellen sind jedoch in der Lage nur eine begrenzte Anzahl von Teilnehmern gleichzeitig bedienen zu können. Wenn die maximale Kapazität erreicht ist, müssen zusätzliche Verbindungsanforderungen abgelehnt werden. Das heißt, dass auch in diesem Fall keine konstanten Latenzzeiten garantiert werden können.

Um diese Probleme zu lösen, hat die 3GPP im Juli 2015 das „Proximity Service“-Protokoll (ProSe) für Direct-to-Direct-Kommunikation zwischen LTE-Geräten vorgestellt. Die Implementierung von ProSe für V2X-Kommunikation wird in der Literatur oft als LTE-V2V genannt. Im Gegensatz zu 5G ermöglicht ProSe die Herstellung einer direkten Verbindung mit einem oder mehreren LTE-fähigen Geräten durch die Etablierung von einem sogenannten Sidelink. Ein Sidelink ist ein Sub-Kanal eines Uplinks und kann in zwei Modalitäten arbeiten: In Mode 1 (*scheduled* oder zentralisiert) werden die Ressourcen für den Sidelink von der zuständigen Mobilfunkzelle zugeteilt; in Mode 2 (*autonomous* oder dezentralisiert) werden die Ressourcen direkt vom LTE-Sender auf Basis eines vordefinierten Konfigurationsschemas zur Verfügung gestellt. In der aktuellen Version ist das Protokoll jedoch noch für Multicasting bei fast-statischen Szenarien ohne explizite Garantie auf QoS (Quality of Service) konzipiert worden. Das heißt, dass dieses Protokoll für spezifische V2X-Anforderungen noch optimiert werden muss. Eine Zusammenfassung der offenen Punkte bzgl. ProSe bzw. LTE-V2V ist in Tabelle 3 auf Seite 45 von [5] zu finden.

Im Gegensatz zum ITS-G5-Standard, der schon ausführlich standardisiert, implementiert und getestet worden ist, befinden sich 5G und LTE-V2V noch in der ersten Standardisierungsphase und stehen noch nicht für V2X-Anwendungen zur Verfügung. Da die LTE-Technologien nicht explizit für V2X-Kommunikation entwickelt worden sind, müssen diese in einem ersten Schritt noch an die spezifischen Anforderungen des V2X-

Standards angepasst und für diese getestet werden. Aktuelle Ergebnisse bzgl. verbesserter Latenzzeiten und erhöhter Reichweite von LTE-5G sind bisher von Qualcomm nur simuliert und nicht experimentell getestet worden. Trotz ihres vermuteten Potentials könnte es noch zehn bis fünfzehn Jahre dauern, bis diese Technologie für V2X-Anwendungen reif genug ist. Im Gegensatz hierzu sind ITS-G5-Produkte schon am Markt verfügbar und ihre Effektivität ist im großen Maß ausführlich getestet worden, wie die zahlreichen nationalen und internationalen Projekte in diesem Bereich aufzeigen (siehe Abbildung 6).

LTE-Lösungen bergen außerdem erhöhte oder bisher noch nicht bekannte und quantifizierte Kosten für den Anwender sowie für alle involvierten Stakeholder oder Lösungsanbieter. Wesentlich hierbei ist, dass die bestehende Mobilfunk-Infrastruktur zunächst aktualisiert und nachgerüstet werden muss. Die Folge sind möglicherweise lange Nachrüstungszeiten sowie hohe Kosten für die Mobilfunkanbieter. Die LTE-Modems für V2X-Kommunikation müssen trotzdem die Normen für die Verkehrssicherheit bei V2X-Systemen von ETSI erfüllen, welche deutlich restriktiver als normale LTE-Anforderungen sind. Deshalb entstehen zusätzliche Herstellungskosten im Vergleich zu normalen 5G-Modems. Ob die Hersteller derartiger Geräte und Technologien tatsächlich bereit sein werden, diese zusätzlichen Kosten und Risiken nur für die Autoindustrie einzugehen und zu tragen, ist bisher offen.

Zudem muss die V2V-Kommunikation laut ETSI kostenlos sein. LTE-Netze sind jedoch in der Hand von privaten Mobilfunkanbietern, die zusätzliche Kosten und Gebühren für die Datenübertragung innerhalb ihrer Netze einfordern. Das bedeutet, dass die V2X-Kommunikation über LTE-Technologien nicht gratis sein kann. Obwohl die Entwicklung entsprechender V2X-Tarife relativ einfach ist, müssen noch passende allgemeine Businessmodelle zwischen den unterschiedlichen Mobilfunkanbietern erarbeitet und vereinbart werden. Welche Kosten fallen beispielweise bei der Verbindungübergabe an die Mobilfunkzelle eines Fremdanbieters an (Roaming)? Sind diese Kosten zwischen sicherheitsrelevanten und nicht-sicherheitsrelevanten Anwendungen unterschiedlich? Dazu müssen alle Anbieter miteinander kooperieren, wenn sie zusätzliche Services bzw. Applikationen kontinuierlich und optimal anbieten möchten. Wie sollte aber diese aktive Kooperation aussehen? Müssen Daten von dem Teilnehmer/Anwender ausgetauscht werden? Wenn ja, welche? Wie und mit welchem Sicherheitsniveau? Für alle diese Fragen sind noch keine Lösungen erarbeitet worden. Für ITS-G5 sind derartige Herausforderungen entweder nicht erforderlich zu betrachten oder bereits gelöst worden. Die Technologie ist schon am Markt anwendungsbereit und ist für den Endnutzer, die Autoindustrie und alle involvierten Stakeholder kostenlos auch für Anwendungen, die nicht im Bereich der Verkehrssicherheit liegen.

Ein detaillierter und vollständiger Vergleich zwischen diesen Technologien sowie offene Punkte zur Standardisierung von LTE-V2V sind unter anderem in [5], [6], [7], [8], [9], [10] und [11] zu finden. Festzustellen ist zusammenfassend jedoch, dass eine finale Entscheidung oder Durchsetzung einer einzelnen Technologie noch offen ist und verschiedene Automobilhersteller und die Mobilfunkbranche unterschiedliche Technologien bevorzugen. Wie unter anderem in [5] und [8] dargestellt, wird sich möglicherweise in den kommenden 10 bis 15 Jahren aufgrund der starken Interessen und entsprechendem Nachdruck der Mobilfunkbranche eine Zwischenlösung durchsetzen, bei der für sicherheitsrelevante Anwendungen ITS-G5 und nicht-sicherheitsrelevante (z.B. Infotainment) 5G verwendet werden könnte.

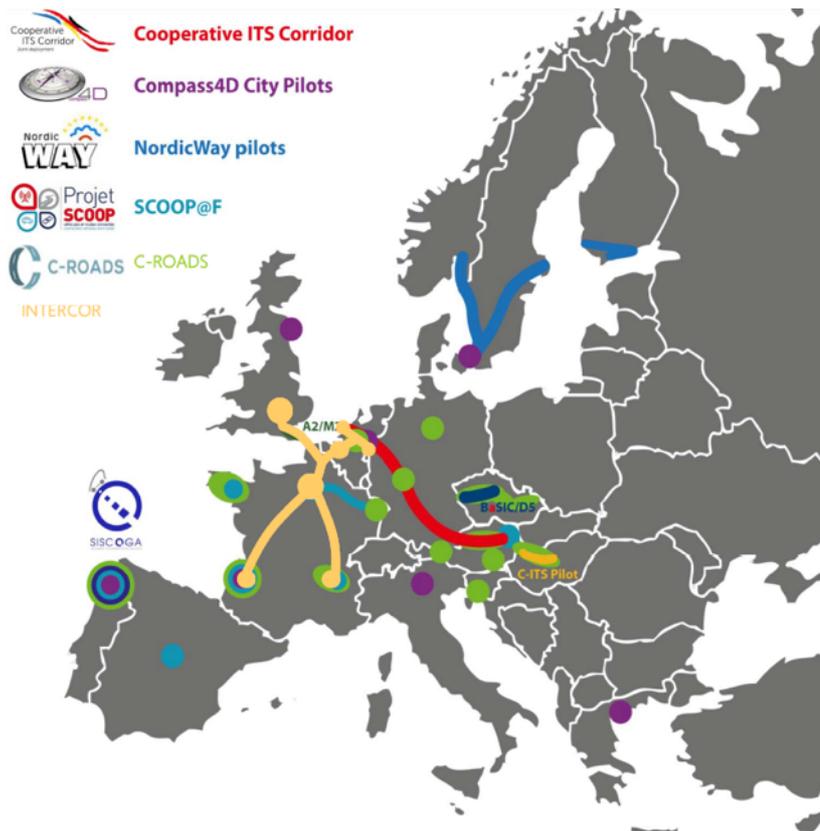


Abbildung 6: Derzeitige europäische Projekte und entsprechende Teststrecke innerhalb der europäischen Union, [12].

In Abbildung 6 sind die derzeitigen europäischen Hauptprojekte im Bereich ITS-Systeme schematisch dargestellt. C-Roads ist eine Open-Plattform zur Erarbeitung und Entwicklung von konsistenten, homogenen, technischen Spezifikationen für C-ITS-Systeme innerhalb der europäischen Union mit dem Ziel, den Straßenverkehr zu optimieren und die Verkehrssicherheit zu erhöhen. Das Projekt wird direkt von der „Connecting Europe Facility“ (CEF) und der EU finanziert und hat schon die Unterstützung von vielen Stakeholdern wie das „CAR2CAR Communication Consortium“ erhalten. Im Projekt sind primär Themen wie die Standardisierung und Implementierung von spezifischen Sicherheit-Services für Wetterbedingungen, stockenden Verkehr und annäherndes Rettungsfahrzeug (siehe [13] für weitere Informationen) bearbeitet worden.

Das Projekt „Cooperative ITS Corridor“ beschäftigt sich mit der Entwicklung und Erprobung von V2X-Anwendungsszenarien auf einem Korridor durch Österreich, Deutschland und die Niederlande. Die ersten kooperativen Anwendungen, die zunächst vollständig implementiert werden, sind Baustellenwarnung und Verkehrslageerfassung. Weitere Informationen bzgl. dieses Projekts sind unter [14] zu finden.

Im Rahmen des sim^{TD}-Projekts, bei dem unterschiedliche Stakeholder der Automobil- und Telekommunikationsbranche sowie der öffentlichen Hand involviert waren, sind realitätsnahe Verkehrsszenarien in einer großflächigen Testfeld-Infrastruktur rund um die hessische Metropole Frankfurt im Zusammenhang mit V2X-Kommunikation adressiert worden. Es wurden außerdem die politischen, wirtschaftlichen und technologischen Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Einführung der V2X-Kommunikation analysiert. Das Projekt hat aufgezeigt, dass nur durch die aktive Kooperation von Autoindustrie, Telekommunikationsanbieter und staatlichen Einrichtungen V2X-Technologien schnell eine Anwendbarkeit und Verbreitung erreichen können. Weitere Informationen über das Projekt können unter [15] gefunden werden.

Eine ausführliche Analyse der Patentlage ist im Rahmen des Projekts Anika 1 über die Machbarkeit der Nachrüstung von Notrufsäulen mit entsprechender Hardware für V2X-Anwendungen durchgeführt worden. Nach Projektabschluss hat die Wolfsburg AG ein Patent im europäischen Raum angemeldet, welches sich auf die Aufrüstung vorhandener Notrufsäulen um eine Road-Side-Station bezieht. Der Patentinhaber sichert Nutzungsrechte für das europäische Patent zu. Ansonsten sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine Schutzrechte bekannt, welche durch das geplante Projektvorhaben verletzt werden können.

Das Konsortium hat im Bereich der Aufrüstung von Infrastrukturen und insbesondere im Betrachtungsbereich der Notrufsäuleninfrastruktur und dem hiervon genutzten Fernmeldenetz an deutschen Autobahnen im Rahmen von Vorprojekten bereits eine Vielzahl von Rahmenbedingungen und die Machbarkeit näher untersucht. Im Folgenden werden die vorangegangenen Projekte – im ersten die Länderprojekte in Niedersachsen und Sachsen-Anhalt sowie anschließend die Machbarkeitsstudie – kurz hinsichtlich ihrer Inhalte und Ergebnisse beschrieben.

I.4.1 ANIKA in Niedersachsen und Sachsen-Anhalt

Im Rahmen von ANIKA 1 hat sich als wesentliche Herausforderung die Integration einer Roadside-ITS-Station in die Plattform Notrufsäule, die Daten vorbeifahrender V2X-fähiger Fahrzeuge erfasst, an eine auswertende Stelle (z.B. eine VMZ) weitergibt und auch von dort zur gezielten Aussendung von Informationen an Fahrzeuge adressiert werden kann, herauskristallisiert. So sind die Notrufsäulen zwar nur für eine reine Telefonanwendung mit Energie versorgt, weisen hiermit jedoch einen Vorteil gegenüber neu zu schaffenden Plattformen für die Positionierung von Roadside-ITS-Station ohne jegliche Energieversorgung auf. Die Frage, ob die vorhandene Energieversorgung auch ausreichen wird, um den Betrieb zusätzlicher V2X-Hardware mitsamt der benötigten Rechenleistung bei Aufrechterhaltung des originären Notrufbetriebs sicherzustellen, bedurfte eingehender Analysen. Vor diesem Hintergrund hatte ANIKA 1 die deutliche Zielstellung, zunächst die grundsätzliche technische Machbarkeit der V2I-Kommunikation über Notrufsäulen zu prüfen und die Rahmenbedingungen der Aufrüstung abzustecken, bevor konkrete Anwendungsfälle erprobt werden.

ANIKA 1 hat sich der Prüfung der grundsätzlichen technischen Machbarkeit schrittweise über die einzelnen Abschnitte auf dem Ideal-Kommunikationsweg Fahrzeug zu Roadside-ITS-Station an Notrufsäule, Roadside-ITS-Station zur auswertenden Stelle, Datenauswertung, auswertende Stelle zu Roadside-ITS-Station und Roadside-ITS-Station zu Fahrzeug genähert. Nach der Anforderungsanalyse und Spezifikationen von Hard- und Softwarekomponenten wurden Tests und die Datenauswertung vorgenommen sowie abschließende Empfehlungen formuliert. Die nachfolgende Beschreibung der Ergebnisse beruht auf den tatsächlichen und zu dem damaligen Zeitpunkt gewonnenen Erkenntnissen und Rahmenbedingungen. Mit der Beantragung des Vorhabens ANIKA II sind wesentliche Spezifika des Lösungsansatzes angepasst worden, die in der nachfolgenden Beschreibung der Projektergebnisse nicht Berücksichtigung finden und erst später wie in der vorliegenden Vorhabenbeschreibung spezifiziert, angepasst worden.

Im Folgenden sind die wichtigsten Ergebnisse von ANIKA 1 zusammengefasst:

- Die Anforderungen an eine Serien-Hardware wurden in ANIKA1 definiert. Bei der Hardware-Auswahl stand die Betrachtung der Machbarkeit im Vordergrund. Laut Spezifikation lässt sich diese Hardware direkt in eine Notrufsäule integrieren, erfüllt aber nicht die Anforderungen für die Nutzung der bestehenden Infrastruktur (z.B. Energieversorgung). Die Anforderungen der bestehenden Infrastruktur spielen in ANIKA II eine essentielle Rolle. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, ist für die IRS eine grundsätzlich andere Hardware zu verwenden.

- Die vorhandene Energieversorgung innerhalb der Notrufsäulen reicht für den Betrieb zusätzlicher Hardware und Rechenprozesse nicht aus. Die Analysen der Bestandsinfrastruktur haben jedoch gezeigt, dass das entlang der Autobahnen verlegte Streckenfernmeldekanal noch Kapazitäten aufweist, welche über eine neu zu verlegende Zuleitung zur Notrufsäule für weitere Hardwarekomponenten genutzt werden können. Dazu wurde in ANIKA 1 die bestehende Infrastruktur auf der Autobahn A39 zwischen Dreieck Wolfsburg/Königsutter und Dreieck Salzgitter untersucht.
- Intensive Recherchen zu alternativen Möglichkeiten der zusätzlichen Energieeinspeisung, auch unter Berücksichtigung regenerativer Energien, z.B. über Solarpanel oder Windrad, wurden unternommen. Hier bedarf es jedoch noch weiterer Untersuchungen unter den Aspekten der Kosten und der Anzahl der Säulen, die je nach favorisiertem Dienst aufzurüsten sind.
- Die Datenübertragung auf dem Kommunikationsweg zwischen Fahrzeug und Roadside-ITS-Station wurde bereits von zahlreichen Feldtests ausgiebig erprobt und basiert auf bereits verabschiedeten Standards. Diese sind bei der Systemspezifikation für die Notrufsäulenausrüstung leitgebend, um die Interoperabilität zukünftig in Fahrzeugen eingesetzten Serienlösungen sicher zu stellen.
- Der aktuelle Status der Standardisierung macht die Einbindung einer auswertenden Instanz in die Kommunikationsarchitektur zwischen Notrufsäulen und Fahrzeugen erforderlich. Stationäre Infrastruktur wie die Notrufsäule kann Ereignisdaten von Fahrzeugen aufnehmen und weitergeben, jedoch ist die eigenständige Generierung von Ereignisnachrichten aus Positions-, Geschwindigkeits- und Fahrtrichtungsinformationen (noch) nicht per Standard festgelegt.
- Um die Prüfung der technischen Machbarkeit autark von länderspezifischen Verkehrsmanagementzentralen zu vollziehen, wurde ein eigener ANIKA-Leitstand konzipiert, spezifiziert und simuliert. Er empfängt über die ITS-Stationen an Notrufsäulen Fahrzeugdaten und Ereignisse, stellt sie auf einer Nutzeroberfläche dar und visualisiert die Verkehrslage.
- Für die Datenübertragung zwischen Notrufsäule und Leitstand konnten geeignete Kommunikationsprotokolle (Wbp-Protokoll als Nutzlast über UDP/IP in einem VPN-Tunnel zum Schutz der Kommunikation) identifiziert werden.
- Es ist technisch machbar, im ANIKA-Leitstand eine V2X-Nachricht zu initiieren und gezielt über adressierte Notrufsäulen zu erzeugen und an Fahrzeuge zu verteilen.
- Die Projektpartner überprüften erfolgreich die grundsätzliche Datenübertragung anhand von Komponententests und einer Test-Implementierung der ANIKA-Gesamtarchitektur aus V2X-fähigem Fahrzeug, Roadside-ITS-Station an Notrufsäule und angebundenem ANIKA-Leitstand innerhalb einer Laborumgebung.
- Für die ANIKA-Gesamtarchitektur ist ein virtuelles Infrastrukturmodell erarbeitet worden, in dem die Datenübertragung zwischen den Systemkomponenten simuliert wird. Im Infrastrukturmodell lassen sich Parameter wie zum Beispiel die Notrufsäulenstandorte, die Dichte des eine Notrufsäule passierenden Verkehrs sowie Reichweiten systematisch variieren. Aus dem Infrastrukturmodell lassen sich somit Aussagen zur Nachrüst- und Migrierbarkeit der Notrufsäulen unter unterschiedlichen Standortbedingungen ableiten.
- Folgende Anwendungen wurden in ANIKA 1 für diese Gesamtarchitektur theoretisch betrachtet:
 - Warnungen vor liegen gebliebenen Fahrzeugen
 - Warnung vor einem Stau-Ende
 - Warnungen und Informationen zu Baustellen
 - Verkehrszeichen verteilen
 - Information zu manuell abgesetztem Notruf
 - Erfassung der aktuellen Verkehrslage
 - Warnung vor einem Falschfahrer
 - Warnung vor witterungsbedingt gefährlichen Straßenverhältnissen

- Für Test- und Demonstrationszwecke wurden die Anwendungsfälle „Warnung vor lieggebliebenen Fahrzeugen“, „Erfassung der aktuellen Verkehrslage“ und „Warnung vor einem Falschfahrer“ prototypisch umgesetzt.

Neben den aufgeführten Inhalten von ANIKA 1 wurde im Rahmen der Projekte das Anwendungsszenario „Warnung vor einem Falschfahrer“ noch etwas ausführlicher betrachtet, da Falschfahrer, die entgegen der Fahrtrichtung auf die Autobahn auffahren, eine besondere im Verkehrsszenario Autobahn auftretende Gefahrensituation darstellen. Sie ereignet sich im Vergleich zu anderen zwar verhältnismäßig selten, bedeuten aber eine erhebliche Gefährdung nicht nur des Falschfahrers selbst, sondern auch des entgegenkommenden Verkehrs. Die Unfallfolgen sind meist gravierend, sodass ein großes Interesse besteht, die Falschfahrerproblematik mit Hilfe innovativer Technologien zu lösen.

Da auch die Notrufsäuleninfrastruktur ein typisches Charakteristikum des Verkehrsumfeldes Autobahn ist, wurden in ANIKA 1 bereits Überlegungen angestellt, eine Falschfahrerererkennung und -signalisierung über die ANIKA-Gesamtarchitektur zu realisieren. Eine zuverlässige Detektion von Falschfahrern mit Hilfe der V2X-Kommunikation, die Warnung des Falschfahrers selbst und der ihm auf der Strecke entgegenkommenden Verkehrsteilnehmer wird als konzeptionell möglich eingeschätzt. Sie setzt jedoch eine vollständige Marktpenetration kooperativer Systeme voraus. Für die Migrationsphase von geringer Marktpenetration bis hin zur Vollausrüstung sind hybride Ansätze aus bestehenden Telematik- und Informationsdiensten, Detektion über Sensorik und ITS-G5-Technologie denkbar.

Die Konsortien der länderspezifischen Projekte bestanden aus den nachfolgend genannten Partnern:

- dem Fraunhofer IFF aus Magdeburg, das sich der Forschung und Entwicklung innovativer Technologien für Logistik, Automatisierung, Prozess- und Anlagentechnik sowie Digital Engineering widmet,
- der ITS automotive nord GmbH, einem in Braunschweig ansässigen non-profit Netzwerk zur Bündelung der Interessen norddeutscher ITS Unternehmen,
- dem der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg angehörenden Galileo-Testfeld Sachsen-Anhalt, einem Entwicklungslabor und Testfeld für Ortung, Navigation und Kommunikation in Verkehr und Logistik,
- der OECON Products & Services GmbH, der führende Systemarchitekt und Betreiber für Anwendungen mobiler Ortungstechnologien sowie Anbieter zertifizierter eCall Hard- und Softwarekomponenten,
- der NORDSYS GmbH, einem mittelständischen Unternehmen mit den Schwerpunkten Consulting sowie Software- und Systementwicklung in den Fachgebieten Automotive, kooperative Verkehrssysteme und Kommunikationstechnologie,
- der Tonfunk Systementwicklung und Service GmbH, einem mittelständischen Unternehmen, welches sich als Dienstleister auf die Fertigung elektronischer Baugruppen und Geräte konzentriert
- und der Thorsis Technologies GmbH (ehemals ifak system GmbH), einem mittelständischen Unternehmen mit den Schwerpunkten Hardware-, Firmware- und Softwareentwicklung in den Bereichen Industrielle Kommunikation, Automation sowie Verkehrstelematik und Logistik.

Die Mehrheit der Mitglieder dieses Konsortiums hat die ANIKA-Projektidee führend initiiert und war in die Prüfung der technischen Machbarkeit im Rahmen der ANIKA-Länderprojekte Niedersachsen und Sachsen-Anhalt involviert. Sie besitzen daher die Expertise sowie das Netzwerk, das ANIKA-Konzept in eine Referenzimplementierung im realen Verkehrsszenario zu überführen und somit ein kooperatives ITS-System auf Grundlage eines Bestandssystems zu entwickeln.

I.4.2 Elektrotechnische Integration einer R-ITS-S – Ergebnisse der Studie „Machbarkeit der Nutzung der bestehenden Notrufsäuleninfrastruktur für kooperative IVS Technologien (FE 03.544-2016-IRB)“

Im Rahmen der Studie sollte untersucht werden, inwieweit sich die vorhandenen Notrufsäulen (NRS) bzw. die Notrufsäuleninfrastruktur als Träger weiterer moderner Kommunikationstechnologien nutzen lassen und ob die am NRS-Standort verfügbare Fernmeldekabelinfrastruktur für zusätzliche Energie- und Datenübertragung geeignet ist. Dazu sollte theoretisch und praktisch untersucht werden, ob die bestehende Verkabelung genügend Kapazität sowohl zur Energie- als auch zur Datenübertragung bereitstellen kann. Dabei sollten die bestehenden Randbedingungen, wie die Einhaltung von Normen sowie die rechtlichen Rahmenbedingungen für den störungsfreien Parallelbetrieb von Notrufsäulen und künftigen Notrufsäulen geklärt werden. Das Thema der technischen Integration einer RSS in die Notrufsäule war kein Bestandteil der Studie, sondern wurde ausschließlich im Rahmen der Klärung rechtlicher Fragestellungen im Bereich Gewährleistung und Wartung betrachtet.

Die Ziele und Schwerpunkte der ANIKA Studie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Klärung der Rahmenbedingungen zur Nutzung und Modifikation von bestehenden Notrufsäulen (z.B. Gewährleistung und Wartungsverträge) und Abstimmung zukünftiger rechtlicher Regelungen
- Klärung der Patentrechte hinsichtlich Nutzung für die Entwickler und Hersteller späterer Produkte, die aus dem Vorhaben ANIKA entstehen sollen
- Theoretischer Nachweis einer ausreichenden Fernversorgung (Energie und Daten) bei gleichzeitiger Störungsfreiheit der vorhandenen Dienste auf dem Fernmeldekabel
- Nachweis der technischen Machbarkeit der Fernversorgung durch einen Versuchsaufbau an einem geeigneten Fernmeldekabel

Die Ergebnisse der ANIKA Machbarkeitsstudie können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Wolfsburg AG hat ein Patent im europäischen Raum angemeldet, welches sich auf die Aufrüstung vorhandener Notrufsäulen um eine Road-Side-Station bezieht. Der Patentinhaber sichert Nutzungsrechte für das europäische Patent zu.
- Bezüglich der Rahmenbedingungen zur Nutzung und Modifikation der bestehenden Notrufsäuleninfrastruktur stellte die Siemens AG klar, dass sie keinerlei Verantwortung, Gewährleistung oder Haftung dafür übernimmt, dass baulich oder technisch veränderte Notrufsäulen für ihren eigentlichen vorgesehenen Verwendungszweck noch fehler- und störungsfrei funktionieren sowie die Anforderungen der „passiven Sicherheit von Tragkonstruktionen für die Straßenausstattung“ erfüllen.
- Sowohl der theoretische als auch der praktische Nachweis einer ausreichenden Fernspeisungsmöglichkeit über die Fernmeldeleitung unter realistischen Bedingungen ohne eine Beeinträchtigung der elektrischen Eigenschaften des Fernmeldekabels und ohne eine Störung anderer Dienste wurde im Rahmen der Machbarkeitsstudie erbracht.
- Die vorangegangene Analyse des elektrischen Netzwerks hat hierbei gezeigt, dass die hier als realistisch eingestuftes Nennleistungen der Verbraucher (4 bis 12 W) nicht bedingungslos bereitgestellt werden können. Als beeinflussende Parameter wurden hierbei die Anzahl der stromführenden Doppeladern, die Betriebsspannung, die Anzahl angeschlossener Verbraucher, der Abstand zwischen der Einspeisung und dem am weitesten entfernten Verbraucher sowie die Leistungsaufnahme der Verbraucher identifiziert. Es hängt von deren Kombination ab, ob eine hinreichende Versorgung mit elektrischer Energie gewährleistet ist. Dies soll exemplarisch an drei Fällen gezeigt werden (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Drei ausgewählte Kombinationen der relevanten Parameter zur Illustration der Versorgungssituation.

| Parameter | Ungünstiger Fall | Realistischer Fall | Günstiger Fall |
|---------------------------------|------------------|--------------------|----------------|
| Anzahl Doppeladern DA | 1 | 2 bis 3 | 4 |
| Betriebsspannung U_b [V] | 95 | 115 | 115 |
| Anzahl Verbraucher N | 7 | 7 | 7 |
| Nennleistung P_{nenn} [W] | 7 | 7 bis 8 | 5 |
| Max. Abstand $D_{max,75V}$ [Km] | 14 | 14 | 12 |

- Theoretischer Nachweis
 - Durch die theoretische Vorbetrachtung der technischen Machbarkeit konnte zunächst durch rechnerische Betrachtungen für zwei Fallbeispiele nachgewiesen werden, dass eine ausreichende Fernversorgung von 7 Verbrauchern mit einer Nennleistung von bis zu 10 Watt unter den gegebenen Bedingungen möglich ist.
 - Zusätzlich wurde eine Simulationsstudie durchgeführt, um die zentrale Frage der Energieverfügbarkeit für Verbrauchseinheiten, die über ein Fernmeldekabel 60'' (16/44/0) mit Strom versorgt werden, zu bewerten. Es zeigte sich, dass die ausreichende Versorgung der Verbraucher mit elektrischer Energie nicht bedingungslos gewährleistet ist. Die bestimmenden Parameter (NDA , UB , NV , $Dmax$, PVn) lassen für realistische Werte jedoch ausreichend viele Kombinationen zu, bei denen für Verbraucher in regelmäßigen Abständen an einer Kabelstrecke von durchschnittlich 14 km Länge (Abstand zwischen zwei Einspeisepunkten) die Versorgungssicherheit gewährleistet ist. Bei einer Nennleistung von unter 7 W und einer Stromversorgung durch drei oder mehr Doppeladern ist in den meisten Fällen die Versorgungssicherheit gegeben.
- Praktischer Nachweis
 - Auf einer Teststrecke konnte im praktischen Nachweis eine Versorgung von 7 Verbrauchern mit je 5,5 W pro Verbraucher unter Nutzung von 6 freien nicht pupinisierten Doppeladern nachgewiesen werden.
 - Das theoretisch zulässige Maximum liegt bei gegebener Anordnung bei 10,02 W. Wird die Anordnung der Teststrecke mit einer Speisung über 1 FSP-Pfad gewählt, ist eine Steigerung der Verbraucherleistung auf maximal 10,67 W möglich.
 - Des Weiteren konnte für den Versuchsaufbau eine Datenübertragungsrate von 3-5 Mbit/s über eine DSL-Anbindung realisiert werden.
 - Die parallel durchgeführten Kabelmessungen sowie Überprüfungen der weiteren vorhandenen Dienste ergaben keinerlei Beeinträchtigung der vorhandenen Fernmeldekabelinfrastruktur.

Zusammenfassend ließ sich im Rahmen der Machbarkeitsstudie sowohl theoretisch als auch praktisch feststellen, dass eine ausreichende Fernspeisungsmöglichkeit über vorhandene Fernmeldeleitungen unter realistischen Bedingungen ohne eine Beeinträchtigung der elektrischen Eigenschaften des Fernmeldekabels und ohne eine Störung anderer Dienste möglich ist.

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Fraunhofer IFF

Weiterhin hat das Fraunhofer IFF in enger Zusammenarbeit mit Thorsis die Weiterentwicklung des virtuellen Infrastrukturmodells bearbeitet. Insbesondere ist durch das Fraunhofer die Simulationsplattform VSimRTI, welche vom Fraunhofer FOKUS entwickelt wurde, zur Anwendung gebracht worden.

Ebenfalls ist eine enge Zusammenarbeit und Abstimmung mit Thorsis und GATE-IC insbesondere in der Analyse und Vorbereitung des Digitalen Testfelds Autobahn mit Aufnahme und Abgleich der Anforderungen an die Hardware und Infrastruktur erfolgt. Hierbei hat das Fraunhofer IFF die Klärung der Montage und Befestigung der von Thorsis entwickelten Hardware sowie erforderlichen technischen Schnittstellen (Stromversorgung und Datenübertragung) zwischen Thorsis und den jeweilig involvierten und beauftragten Unterauftragnehmern Axians und Telent übernommen.

Eine weitere Aufgabe des Fraunhofer IFF war die Beauftragung und Abstimmung mit folgenden Unterauftragnehmern, die nicht direkt als Projektpartner im Projekt involviert waren:

- SSP Consult: Vorabplanung und Ausarbeitung der Anforderungen an die Infrastrukturarbeiten sowie Baubegleitung (Aufbau und Rückbau)
- Axians: Einrichtung der Infrastruktur bestehend aus Masten und Abzweigen vom Fernmeldekabel
- Telent: elektrische Ausstattung bestehend aus Netzteilen für Einspeisung von Strom sowie DSL-Modems für die Datenübertragung jeweils an den 14 Standorten entlang des Autobahnabschnitts

Ebenfalls abgestimmt wurden die Arbeiten innerhalb des Projekts mit der Autobahndirektion Nordbayern, die für die Durchführung der praktischen Erprobung der im Projekt entwickelten Lösung einen Autobahnabschnitt entlang des Digitalen Testfelds Autobahn an der Autobahn A9 zwischen Greding und Göggelsbuch zur Verfügung gestellt hat. Unter anderem sind neben der Aufnahme der zu erfüllenden Anforderungen für die Einrichtung und Installation der Technik des Projektkonsortiums ebenfalls die Projektergebnisse der Autobahndirektion Nordbayern vorgestellt worden.

Thorsis

Der Schwerpunkt der Arbeiten der Thorsis Technologies lag auf der Konzeption und Implementierung des C-ITS-Systems. Weiterhin war die Entwicklung der Simulatorsoftware für die physikalischen Funkeigenschaften im Fokus. Einen Bestandteil der geleisteten Arbeiten bildete die Mitarbeit an der Testung des Gesamtsystems. Aufgrund dieser Tätigkeiten bestanden Schnittstellen zu allen weiteren Projektpartnern.

So waren sowohl das Gate-IC als auch das Fraunhofer IFF in die konzeptionellen Arbeiten eingebunden. Die Hard- und Softwareentwicklung fand im Wesentlichen unabhängig, jedoch unter Berücksichtigung des kontinuierlichen Inputs der anderen Projektpartner statt. Die Entwicklung der Simulationssoftware erfolgte in enger Abstimmung mit dem Fraunhofer IFF, da als gemeinsame Basis die vom Fraunhofer Fokus entwickelte Simulationsplattform VSimRTI diente. In der Testphase gab es eine besonders enge Kooperation mit dem Gate-IC. Diese umfasste sowohl die gemeinsame Entwicklung der Testwerkzeuge als auch die kooperative Durchführung der Testfahrten und -auswertung.

GATE-IC

Das Galileo-Testfeld (GATE-IC) hat als universitärer Partner und Impulsgeber des Gesamtvorhabens Aufgaben in den zentralen Arbeitsbereichen wie der Projektdokumentation und dem Qualitätsmanagement des Projekts als auch Aufgaben für Testungen, Analysen und konzeptionellen Detailplanungen im Labor und auf der Teststrecke sowie der Dokumentation innerhalb des Projekts in enger Abstimmung mit den Projektpartnern Thorsis und Fraunhofer IFF übernommen.

In enger Zusammenarbeit und Abstimmung mit Thorsis und Fraunhofer IFF erfolgten insbesondere in der Analyse und Vorbereitung des Digitalen Testfelds Autobahn die Aufnahme und Abgleich der Anforderungen an die Hardware und Infrastruktur. Dazu wurden insbesondere mit dem Partner Thorsis die Feld- und Komponententests im Labor des GATE-IC sowie auf den Teststrecken im Magdeburger Wissenschaftshafen und zusätzlich zu den geplanten Tests ebenfalls in der Motorsport-Arena in Oschersleben (bei Magdeburg) gemeinsam abgestimmt und vorbereitet sowie durchgeführt inkl. der Datenauswertung und -analyse.

Die Arbeiten innerhalb des Projekts insbesondere mit der Autobahndirektion Nordbayern, die wesentlich bzw. absolut essentiell waren für die Durchführung des Gesamtvorhabens im Autobahnabschnitt entlang des Digitalen Testfelds Autobahn an der Autobahn A9 zwischen Greding und Gögelsbuch wurden ebenfalls begleitet durch das GATE-IC in Abstimmung mit den Projektpartnern. Insbesondere die Testfahrten in ihrer Detaillierung zu den Use Cases und dazugehörigen Auswertungen und installierten V2X-Technik wurden mit Thorsis abgestimmt, d.h. auch validiert und verifiziert. Die Präsentation der Projektergebnisse bei der Autobahndirektion Nordbayern wurde mit den Projektpartnern Fraunhofer IFF und Thorsis abgestimmt und durchgeführt.

I I Eingehende Darstellung

II.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Der vorliegende Bericht stellt eine Gesamtdarstellung aller Projekthalte aller Projektpartner dar. Es werden alle im Projektzeitraum vom 01.12.2017 bis 30.10.2020 (inkl. Verlängerung) durchgeführten Arbeiten sowie erreichten Ergebnisse im Detail beschrieben.

II.1.1 Arbeitspaket 1.1 – Projektkoordination (Fraunhofer IFF)

Das Arbeitspaket 1.1 – Projektkoordination dient der übergeordneten Steuerung des Projekts. Das Fraunhofer IFF hat dies in Form der Durchführung und Organisation von Projekttreffen (siehe besondere Ereignisse) sowie regelmäßigen internen Abstimmungen des Projektkonsortiums (mindestens einmal im Monat) in leitender Funktion mit dem Ziel einer zielgerichteten Bearbeitung der Arbeitsinhalte sowie einer Projektfortschrittskontrolle übernommen.

Dieses Arbeitspaket war während des gesamten Projekts aktiv, da die hier zu erfüllenden Aufgaben innerhalb der gesamten Projektlaufzeit kontinuierlich zu bearbeiten waren. Innerhalb dieses Arbeitspakets sind auch notwendigen Anpassungen bezüglich der Arbeitsinhalte und Planungen der Arbeitspakete erfolgt.

II.1.2 Arbeitspaket 1.2 – Projektdokumentation (GATE)

Während des gesamten Projektverlaufs hat das Galileo Testfeld hauptverantwortlich an der Dokumentation der erreichten Ergebnisse innerhalb der laufenden Arbeitspakete gearbeitet. Es erfolgte die Vorbereitung von Folien, Präsentationen und Berichten. Der Prozess der Projektdokumentation erfolgt kontinuierlich und erstreckt sich iterativ über die gesamte Projektlaufzeit.

Dabei wurden folgende Kriterien für die Dokumentation berücksichtigt, um dazu auch das Qualitätsmanagement des Vorhabens gewährleisten bzw. sicherstellen zu können:

- Projektvorfeld (IST-Analyse) Aufgabenstellung (SOLL-Konzept) Anforderungen.
- Projektziele (SOLL-IST-VERGLEICH)
- Zeitplanung / Meilenstein (Projektmanagement)
- Wirtschaftlichkeit (eingesetzte Mittel und Aufwände gegenüber geplanten Aktivitäten)
- Projektverlauf
- Ausblick / Folgeaktivitäten
- Fazit aus den Zwischenberichten / Meilensteinbericht

Zur Projektdokumentation wurde „Redmine“ verwendet. Dies diente als Projektplanungs- und Managementwerkzeug. Dokumentiert wurde u.a. die Entwicklung der Hard- und Software.

Die Planung der einzelnen Tests / Use Cases erfolgte in „Testlink“ in der Version 1.9.14. Dort wurde der Testablauf geplant und die Durchführung dokumentiert. Definiert wurden folgende Testpläne:

- Galileo Testfeld / Labor – Teststrecke im Wissenschaftshafen Magdeburg
- Galileo-Testfeld / Motorsport-Arena Oschersleben
- Magdeburg Bundestrasse B1 Thorsis Technologies
- A9 Greding – Göggelsbuch (Teststrecke 22 km)

Jeder Testplan umfasste verschiedene Testszenarien. Dies umfasste die im Arbeitspaket 2.5 definierten Use-Cases. Die einzelnen Schritte wurden dabei implementiert.

Für die Ergebniserreichung ist die Dokumentation wesentlicher Bestandteil, um alle Projektpartner in den Vorgaben und Arbeitsweisen einer Kontinuität und Stringenz zu unterziehen. Diese Vorgehensweise diente der Erreichung des Projektziels. Dahingehend wurde darauf hingearbeitet einen einheitlichen Standard mit allen Projektpartnern abzustimmen und durchzusetzen.

Die Dokumentation sollte sicherstellen, dass keine unnötigen Mehrarbeiten und Zeitverluste durch die verschiedenen Projektpartner entstehen und alle Daten und Dateien einheitlich erfasst, gespeichert und zugänglich gemacht werden.

Mit Hilfe der Dokumentation ist ferner geregelt, welche Arbeits- und Zeitpläne zu erfüllen sind und sich Problemlagen schon im Vorfeld ergeben können. Allen Partnern war es möglich, direkt auf die Daten zugreifen zu können, um diese in den jeweiligen eigenen Projektphasen nutzen zu können.

Neue Anforderungen, Störungen oder Änderungen während des Projektverlaufs konnten ebenfalls erfasst und in der fortlaufenden Dokumentation sichergestellt werden. Damit war zu jedem Zeitpunkt im Projektverlauf sichergestellt, dass alle wesentlichen Vorgaben und Ziele aus den einzelnen Arbeitspaketen erreicht werden können. Allen Projektpartnern standen mit der Dokumentation alle geordneten Informationen und das Wissen über den aktuellen Stand des Projektes zu Verfügung. Diese Informationen wurden dann in den jeweiligen Zwischen- und Meilensteinberichten an die BAST übergeben.

Fazit: Die Dokumentation ist den Vorgaben entsprechend umgesetzt worden und diente der Zielsetzungen des Projektvorhabens. Damit konnten Entscheidungen in allen Phasen des Projektes nachvollzogen und für alle Projektpartner verbindlich umgesetzt werden. Die Dokumentation begleitete auch die iterativen Prozesse der Abstimmungen, Termine und der Testphasen als auch den Auf- und Abbauphasen an der Teststrecke A9. Vor allem der permanente SOLL-IST-Vergleich in einem Projekt bedarf einer einheitlichen und genauen Dokumentation. Diese Rahmenbedingungen der Dokumentation wurden umfänglich umgesetzt und leisteten einen Beitrag zur Erreichung der Projektziele.

II.1.3 Arbeitspaket 1.3 – Qualitätsmanagement (GATE)

Das Arbeitspaket Qualitätsmanagement dient dem Controlling und der Steuerung des Projekts zur Gewährleistung der Zielerreichung des Gesamtprojekts. Das Galileo Testfeld (GATE-IC) hat sich während des gesamten Projektzeitraums um das regelmäßige Controlling in Abstimmung mit Projektpartnern für ANIKA II gekümmert, damit alle relevanten Vorgänge des Projekts von einem passenden Qualitätsmanagement begleitet werden. Bei der Erstellung der internen Projektdokumente wurden die Richtlinien der ISO 9001 Norm berücksichtigt. Insbesondere wurde großer Wert auf die klare Definition der zu erfüllenden Aufgaben gelegt (Zuständigkeit, Abnahmekriterien, Zeit, Meilenstein). Es wurde stets geprüft und dokumentiert, ob den Projektpartnern für die definierten Aufgaben alle notwendigen Ressourcen, insbesondere die Arbeitsergebnisse anderer Projektpartner, zur Verfügung stehen.

Es wurde engmaschig monatlich auch teilweise 14tägig unter Leitung von GATE-IC ein Projektreview unter dem Aspekt von Projektrisiken durchgeführt. Das Projektreview umfasste unter anderem Protokollierungs-, Präsentations- und Interviewtätigkeiten. Mögliche Risiken wurden identifiziert und hinsichtlich ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit und ihrer Auswirkungen eingeordnet. Risiken wurden dokumentiert bzw. erfasst und mit den Partnern Fraunhofer IFF und Thorsis entsprechend abgestimmt, um Folgeschäden wie Zeitverzögerungen und qualitative Beeinträchtigungen von Testungen möglichst zu vermeiden. Dahingehend wurden entsprechende Korrekturmaßnahmen zur Verhinderung von oder zum Umgang mit Ereignissen, welche den Projektverlauf gefährden können abgeleitet. Die Umsetzung der Korrekturmaßnahmen wurde im Projektkonsortium abgestimmt und von GATE-IC organisatorisch begleitet. Durch das

durchgeführte Risikomanagement konnten früh Probleme wie personelle Defizite, Terminprobleme vor allem in der Umsetzung des Aufbaus und des Bauantragsverfahrens im Bereich des Digitalen Testfelds Autobahn auf der A9, fehlerhafte Priorisierung bei der Entwicklung bestimmter Eigenschaften des Prototyps, inkompatible Benutzerschnittstellen erkannt und vermieden werden.

Für die Beschreibung der Testprozesse und der dazugehörigen Testdokumentation sind die ISO/IEC/IEEE 29119:2013-2 und die ISO/IEC/IEEE 29119:2013-3 herangezogen worden. Der Testplanungsprozess wurde vom GATE-IC durchgeführt. Hier wurden die Ergebnisse des Risikomanagements integriert und Teststrategien (Zeitpläne, Personelle Zuständigkeiten) entwickelt. Die Ebene der dynamischen Tests wurde vom GATE-IC moderiert und von den jeweiligen Entwicklungspartnern selbst ausgestaltet. Dies betraf die Ableitung der Testfälle, die Installation und Wartung der Testumgebung, die Erzeugung und Dokumentation von Testdaten sowie schließlich die Ausführung der Testprozeduren. Neben den Testergebnissen wurde auch die Testausführung dokumentiert. Zusammen mit den Partnern wurden die Testergebnisse analysiert und eine Fehlerdokumentation erstellt und aktualisiert. Es wurden Fehlerberichte erstellt. Quartalsweise wurde auf Basis der gemachten Erfahrungen Lessons-Learned-Meetings abgehalten, um zukünftige Fehler bei der Testplanung und -ausführung zu vermeiden.

Der Qualitätsmanagement-Prozess für dieses Vorhaben hatte zur Folge, dass alle wesentlichen Positionen aus der Antragstellung berücksichtigt werden konnten, um die gesteckten Ziele des Vorhabens erreichen zu können. Iterativ stattfindende Meetings über den gesamten Projektzeitraum zwischen dem Projektkonsortium und der BAST, TÜV Rheinland und ABDNB stellten kontinuierlich die Zielstellung des Projektes in den Fokus. Daraus konnten gewinnbringend für das Vorhaben ANIKA II vor allem den veränderlichen Rahmenbedingungen, welche sich während der gesamten Projektlaufzeit immer wieder ergaben, gegengesteuert werden.

Fazit: Das Qualitätsmanagement als Prozess hat in seiner Kontinuität und Funktion sich über die gesamte Projektlaufzeit erstreckt. Das Arbeitspaket Qualitätsmanagement mit Controlling und Steuerung des Projekts hat zur Gewährleistung der Zielerreichung des Gesamtprojekts beigetragen. Das Galileo Testfeld (GATE-IC) hat sich in Abstimmung mit den Projektpartnern während des gesamten Projektzeitraums, um das regelmäßige Controlling für ANIKA II gekümmert, damit alle relevanten Vorgänge des Projekts von einem passenden Qualitätsmanagement begleitet werden konnten.

II.1.4 Arbeitspaket 1.4 – Ergebnisverbreitung (Fraunhofer IFF)

Die Aufgabe des Arbeitspakets 1.4 – Ergebnisverbreitung ist die Verbreitung der wissenschaftlichen Ergebnisse des Projekts auf Messen und Kongressen sowie in Entscheidungsgremien zur Vernetzung innerhalb des Themenbereichs sowie weiteren Aktivitäten im Themenfeld V2X-Kommunikation. Zusätzlich zu den genannten öffentlichkeitswirksamen Aktivitäten auf Messen oder Kongressen werden auch Präsentationen der Ergebnisse in bestehenden Netzwerken, in denen die Projektpartner Mitglieder sind (z.B. ITS Deutschland, ITS mobility), genutzt.

Veranstaltungen auf denen ANIKA II präsentiert wurde:

- Cluster Meeting #10 „Digitale Mobilität“ des Clusters „ITS mobility“ am 15. Mai 2019 in Magdeburg: „Aufrüstung der Notrufsäulen-Fernmeldenetzinfrastruktur zur V2I-Kommunikation an Autobahnen“ (Fraunhofer IFF)
- Smart SysTech 2019 vom 05. Juni bis 06. Juni 2019 in Magdeburg (Thorsis und Fraunhofer IFF), Vorträge:
 - o Development of an ITS-G5 Road Side Unit for Intelligent Transportation Systems

- Simulation Software for Radio Wave Propagation in V2X-applications
- Teilnahme am ITEA Workshop "Smart Mobility" in Stockholm durch Thorsis und Präsentation des Projekts ANIKA II
- Logistik-Konferenz Mitteldeutschland (28.11.2019 im IGZ Barleben, <https://www.magdeburg.ihk.de/innovation/Verkehrswirtschaft/-logistik-konferenz-mitteldeutschland-2019-/4560426>)
- Präsentation und Live-Vorstellung der ersten ANIKA-II Ergebnisse in der Motorsportarena in Oschersleben (bei Magdeburg) am 21.08.2019
 - Berichterstattung erfolgte dazu in der regionalen Zeitung Volksstimme sowie beim MDR-Hörfunk und beim MDR-Fernsehen „Sachsen-Anhalt heute“

Aufgrund der im letzten Projektjahr 2020 aufgetretenen Beschränkungen durch das Corona-Virus haben keine weiteren Messen oder Kongresse stattgefunden, auf denen das Vorhaben präsentiert werden konnte. In webbasierten Arbeits- und Vorstandssitzungen des ITS mobility e.V. konnte das Projektvorhaben vorgestellt werden. Ebenfalls auf Anfrage aus dem BMVI wurde das Vorhaben im September 2020 in Berlin präsentiert.

Das Konsortium beabsichtigt jedoch für das Jahr 2021 auf dem in Hamburg stattfindenden ITS-Weltkongress die Projektergebnisse zu präsentieren. Weiterhin plant das Fraunhofer IFF im Jahr 2021 die Veröffentlichung des Projekts und seiner Ergebnisse in Form eines Video-Podcasts in der Reihe „Wissenschaft erklärt“ des Fraunhofer IFF (Quelle: <https://youtube.com/playlist?list=PLIjFDzTdgkO-HMCqSiIW-Bq2YB9RNFRT>).

Weiterhin ist das Projekt und dessen aktueller Entwicklungsstand im Rahmen eines Interviews für die Wissenschafts-Radiosendung Quarks im WDR5 im August 2019 präsentiert worden.

II.1.5 Arbeitspaket 2.1 – Konzeption Roadside-ITS-Station (TT)

In diesem AP wurden die Hardware-Anforderungen und Software-Spezifikationen für die Roadside-ITS-Station analysiert. Für die Implementierung wurde ITS-G5 als Standard für die V2X-Kommunikation ausgewählt. Die Bevorzugung von ITS-G5 im Vergleich zu 5G hat technische Gründe. Während ITS-G5 schon zum größten Teil spezifiziert und standardisiert ist, sodass schon einige kommerzielle Produkte, die diesen Standard implementieren, verfügbar sind, ist 5G noch in der ersten Spezifikationsphase, d.h. es ist noch nicht klar, wann es tatsächlich anwendungsbereit sein wird. Innerhalb des Arbeitspakets wurden die unterschiedlichen Protokollschichten des Standards für die spätere Implementierung in einer selbstentwickelten Hardware für die Roadside-ITS-Station untersucht.

Es ist zu beachten, dass es im Rahmen dieses Projekts nicht vorgesehen war, alle Schichten des ITS-G5-Standards zu realisieren. Security Layer, DDC Management und für das Projekt nicht relevante Komponenten auf Facility Ebene standen außerhalb des Projektfokus. Von den Facilities werden nur CA (für CAM-Nachrichten) und DEN (für DENM-Nachrichten) explizit betrachtet.

CAM Nachrichten (Cooperative Awareness Messages) enthalten Informationen über den Status und die Position eines Fahrzeugs [16] und werden von diesem in regelmäßigen Zeitabständen ausgesendet. Diese Nachrichten können von einer ITS-Station empfangen und ausgewertet, von dieser jedoch nicht weitergeleitet werden. Im Gegensatz hierzu werden Decentralized Environmental Notification Messages nicht permanent sondern durch bestimmte Ereignisse ausgelöst und dienen zur Benachrichtigung der Verkehrsteilnehmer [16].

UAP 2.1.1 – Konzeption Funkeigenschaften

In der ersten Phase wurden die Funkeigenschaften der Kommunikationsmodule für die Roadside-ITS-Station analysiert. Auf der Übertragungsschicht baut ITS-G5 auf dem Funkübertragungsstandard IEEE 802.11p, [1], welcher für die europäische Union von ETSI in den Normen EN 202 663 und EN 302 571 detailliert spezifiziert wird. Dieser Standard ist insbesondere für die Kommunikation sich schnell bewegender Fahrzeuge gedacht, um ein zuverlässiges lokales Ad-Hoc-Netz aufzubauen. Die gesamten Anforderungen der Übertragungsschicht inklusive der maximalen Sendeleistungen für die unterschiedlichen Kanäle sind in der ETSI-Norm EN 302 571 spezifiziert.

Im Ergebnis des Arbeitspakets wurden noch einmal zusammenfassend folgende Funkeigenschaften als notwendige Attribute der zu entwickelnden Elektronik identifiziert:

- nutzbare Bandbreite im Bereich 5,850 GHz bis 5,925 GHz
- ein Kontroll-Kanal (CCH) bei 5,90 GHz für den Austausch von sicherheitsrelevanten Nachrichten,
- zwei Service-Kanäle (SCH3, SCH4) bei 5,870 GHz und 5,860 GHz für weitere Service-Nachrichten, die aber nicht sicherheitsrelevant sind.
- aus Sicherheitsgründen muss immer eine Verbindung zum Kontroll-Kanal CCH vorhanden sein
- Laut Standard sind weitere Service-Kanäle (SCH1, SCH2, SCH5, SCH6 und SCH7) für zukünftige Anwendungen geplant, die jedoch aktuell nicht genutzt werden.
- Aufnahme und Analyse der Eigenschaften der Übertragungsschicht – Ermittlung der Dauer jedes OFDM-Symbols (4,0 μ s) sowie einem Guard-Intervall von 1,6 μ s. Hieraus ergibt sich eine geringere Intersymbol-Interferenz, die das Signal gleichzeitig gegenüber Multipath-Interferenzen stabilisiert.

UAP 2.1.2 – Konzeption Energiemanagement

Für die Konzeption eines Energiemanagement-Systems (EMS) wurden die anderen Protokollschichten des ITS-G5-Stacks ausführlich analysiert. Mit diesen Informationen und nach Betrachtung der V2X-Day-One Use Cases, in welchem unterschiedliche Anwendungsszenarien für die V2X-Kommunikation ausführlich untersucht wurden, sind Metriken zur Definition von Prioritätsklassen für die ausgetauschten Nachrichten definiert worden. Aus diesen Klassen wurden Regeln für das EMS abgeleitet.

Tabelle 4 - Klassifizierung der Use-Cases in Abhängigkeit von Sendeleistung und Wiederholungsintervall für das EMS.

| | Sendeleistung | Frequenz | Bemerkungen: |
|-----------------|---------------|--------------------|--|
| Klasse 1 | geringe | niedrige (1 Hz) | Für Verkehrsinformationen, Umgebungstemperatur, Geschwindigkeitsbegrenzung, Verkehrsregeln |
| Klasse 2 | mittlere | mittlere (2 Hz) | Warnung vor langsamen Fahrzeugen, schlechten Wetterverhältnissen |
| Klasse 3 | mittlere | hohe (10 Hz) | Erhöhte Aufmerksamkeit und angepasste Fahrweise, schnelle Änderung der Ereignisse, z.B. Glatteis |
| Klasse 4 | hohe | mittlere (2 Hz) | Statische Ereignisse mit hoher Einflussreichweite |

| | | | |
|-----------------|------|-----------------|---|
| Klasse 5 | hohe | hohe (10 Hz) | Akute Gefahr für Verkehrsteilnehmer, Bewegliche Ereignisse, geringe Vorwarnzeit, z.B. Unfälle |
|-----------------|------|-----------------|---|

Die Analyse zeigte, dass die wichtigsten Pakete für Day1-Services CAM und DENM sind. Einerseits sind CAM-Pakete unabhängig von der Applikationsebene und können genutzt werden, die derzeitige Position und den aktuellen Status eines Fahrzeuges zu übertragen. DENM-Pakete werden genutzt um Ereignismeldungen zwischen der Infrastruktur und dem Fahrzeug zu übertragen.

UAP 2.1.3 – Konzeption HW-Eigenanforderungen

Nachdem die Eigenschaften des Funkmoduls und des EMSs analysiert wurden, sind die entsprechenden Hardwareanforderungen für die Roadside-ITS-Station erarbeitet worden. Mit Berücksichtigung der Ergebnisse von der ersten Machbarkeitsstudie für die Erweiterung der Notrufsäule wurde die maximale verfügbare Energie mit ca. 7 Watt abgeschätzt. Die Hardware-Komponente, die am meisten Energie verbraucht, ist das V2X-Modul für ITS-G5. Deshalb wurden unterschiedliche V2X-Module für ITS-G5 auf Basis der vorliegenden technischen Spezifikationen betrachtet, welche ein Maximum von 5 Watt verbrauchen.

Folgende am Markt verfügbare ITS-G5-Module wurden hierbei ermittelt:

Tabelle 5: Liste von am Markt verfügbaren ITS-G5-Modulen

| Hersteller | Name | Link |
|---------------|------------------|--------------------------------|
| Arada Systems | DriveOn | Link DriveOn |
| Ublox | VERA-P1 series | Link Vera |
| | THEO-P173 | Link Theo |
| Renesas | R-Car W2R | Link R-Car W2R |
| Autotalks | PLUTON (ATK3100) | Link Pluton |
| | SECTON | Link Secton |
| | CRATON (ATK4100) | Link Craton |
| | CRATON2 | Link Craton2 |
| NXP | RoadLink SAF5400 | Link RoadLink |
| Marvell | 88W8987xA | Link Marvell |

Im Ergebnis der Analyse wurde das Vera-Modul der Firma Ublox (in der Tabelle hervorgehoben) aufgrund des besten Preis-/Leistungsverhältnisses als Basis die Hardware der Roadside-ITS-Station ausgewählt.

Für die Signalausstrahlung wurden außerdem zwei Antennen-Konfigurationen erarbeitet:

1. Eine Stabantenne, welche in der horizontalen Ebene in allen Richtungen mit gleicher Leistung abstrahlt, d.h. für jede Roadside-ITS-Station würde daher eine einzige Antenne ausreichen. Dabei geht aber sehr viel Leistung für Bereiche verloren, die nicht abgedeckt werden müssen.

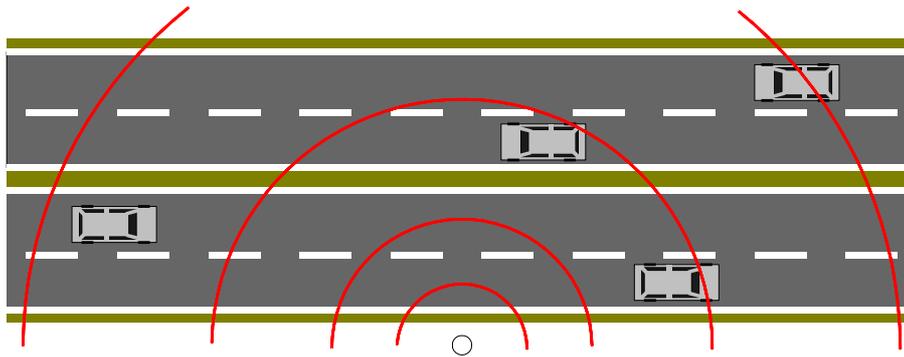


Abbildung 7: Darstellung der Konfiguration mit einer Stabantenne pro Roadside-ITS-Station.

2. Zwei Richtantennen, einmal links und einmal rechts. Mit Richtantennen lassen sich meist höhere Reichweiten erzielen, es können jedoch Probleme bei kurvigem Straßenverlauf entstehen, bei dem eine optimale Ausrichtung zu finden nicht trivial ist. Es werden zwei Richtantennen benötigt, um die Funkabdeckung entlang des Straßenverlaufs in beide Richtungen möglichst nah an das Funkfeld der nächsten Roadside-ITS-Station zu gewährleisten. Hierbei ist es unerheblich, in welche Richtung sich die Fahrzeuge bewegen und ob sie sich auf die Roadside-ITS-Station zu oder weg bewegen. Wichtig ist nur die grundsätzlich größtmögliche Funkabdeckung.

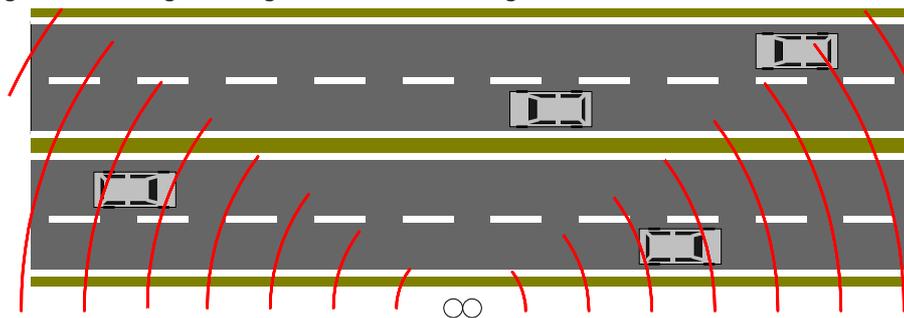


Abbildung 8: Darstellung der Antennenkonfiguration mit zwei Richtantennen, eine links und eine rechts, pro Roadside-ITS-Station.

UAP 2.1.4 – Konzeption Mechanik

In diesem AP wurden passende Lösungen für das Hardware-Gehäuse der Roadside-ITS-Station erarbeitet. Verschiedene Lösungen für die Befestigung des ANIKA-Geräts an den Notrufsäulenstandorten (z.B. an einem Mast) sowie für die optimale Installation der Antennen wurden untersucht. Für die Roadside-ITS-Station werden die elektronischen Komponenten in einer wasserfesten, metallischen Box integriert. Diese Lösung schützt die Komponenten vor schlechten Wetterbedingungen, Wasser und Schmutz und schützt das Gerät ebenfalls vor Manipulationen. Die metallische Box lässt sich aus diesem Grund nur mit passenden Werkzeugen öffnen.

Da laut einer vorläufigen Analyse mit der im Projekt entwickelten Simulationssoftware die Antennen der Roadside-ITS-Station auf einer Höhe von ca. 4 m positioniert werden sollen, sind für die Installation an der Roadside-ITS-Station daher fertige Lichtmastfundamente und entsprechende Masten vorgesehen. An welcher Position am Mast die Hardware befestigt wird, ist eine offene Frage, die während des Testaufbaus final entschieden wird. Aktuell wird konzeptionell von einer Installation des Gerätes auf 3m Höhe am Mast ausgegangen, damit dieses nicht ohne weiteres von Menschen

erreichbar ist. Bei Tests am Galileo-Testfeld werden verschiedene Anbringungshöhen getestet, um die Einflüsse der somit entstehenden Kabellängen ermitteln zu können.

Bei der Konzeption des Gehäuses wurden weiterhin die Anzahl und Abmessungen der notwendigen Anschlüsse für die Stromversorgung, DSL und Datenübertragung sowie für die Verbindung von maximal 2 Antennen berücksichtigt.

II.1.6 Arbeitspaket 2.2 – Konzeption Vehicle-ITS-Station (TT)

In diesem AP wurden beispielhafte Applikationsimplementierungen für die Vehicle-ITS-Station für unterschiedliche Service-Klassen untersucht. Als Testplattform für die Konzeption der Vehicle-ITS-Station wurden Raspberry-Pi-Module verwendet, auf welchen Ubuntu MATE 16.04 installiert worden ist.

Da die Anforderungen in Bezug auf die mechanische Beanspruchung an die Vehicle-ITS-Stationen nicht so hoch sind, wie an die Roadside-ITS-Stationen, werden hier einfache Kunststoffgehäuse genutzt. Diese Komponenten werden nur im Rahmen der Tests im GATE-IC sowie im Digitalen Testfeld Autobahn eingesetzt und müssen aufgrund der (überwachten) Nutzung im Fahrzeug keine besonderen Anforderungen hinsichtlich Schutz vor Vandalismus, Manipulation oder Witterung vorweisen.

OpenC2X [17] wurde in den Modulen installiert und als Basis für die Entwicklung einer Weboberfläche zur Simulation und Testung der Vehicle-ITS-Stationen sowie auch für die Roadside-ITS-Stationen verwendet. Die Vorteile von OpenC2X sind CAM- und DENM-Nachrichten anzuzeigen und gleichzeitig die Visualisierung der entsprechenden Geopositionen der involvierten Akteure graphisch in Echtzeit darstellen zu können. Für die Konzeption und Simulation der Vehicle-ITS-Stationen wurden reale GPS-Daten generiert. OpenC2X implementiert aber nur teilweise den ITS-G5-Stack, welcher für das Projekt selbst weiterentwickelt werden muss. Der ITS-G5-Stack sowie die Business-Logik für die Vehicle-ITS-Station wurden ausführlich bearbeitet und dokumentiert.

Da aber die Entwicklung einer Hardware-Software-Lösung für die Vehicle-ITS-Station kein Hauptziel des Projekts ist, wurde im Rahmen dieses Arbeitspakets nach passenden bestehenden Lösungen für die Nachrüstung für Fahrzeuge gesucht. Ziel ist ebenfalls die Kompatibilität von der im Projekt entwickelten Hardware und Software an der Roadside-ITS-Station-Seite mit existierenden, kommerziellen Produkten zu validieren. Aus den am Markt verfügbaren Geräten wurde die Lösung von Cohda Wireless ausgewählt, welche das Modul MK5 OBU verwendet.

Da die Anforderungen in Bezug auf die mechanische Beanspruchung an die Vehicle-ITS-Stationen nicht so hoch sind, wie an die Roadside-ITS-Stationen, werden hier abweichend von der in 2.1.4 konzipierten Mechanik einfache, handelsübliche Kunststoffgehäuse genutzt. Diese Komponenten werden nur im Rahmen der Tests im GATE-IC sowie im Testfeld Autobahn eingesetzt und müssen aufgrund der (überwachten) Nutzung im Fahrzeug keine besonderen Anforderungen hinsichtlich Schutz vor Vandalismus, Manipulation oder Witterung vorweisen.

II.1.7 Arbeitspaket 2.3 – Konzeption Anbindung an VMZ (TT)

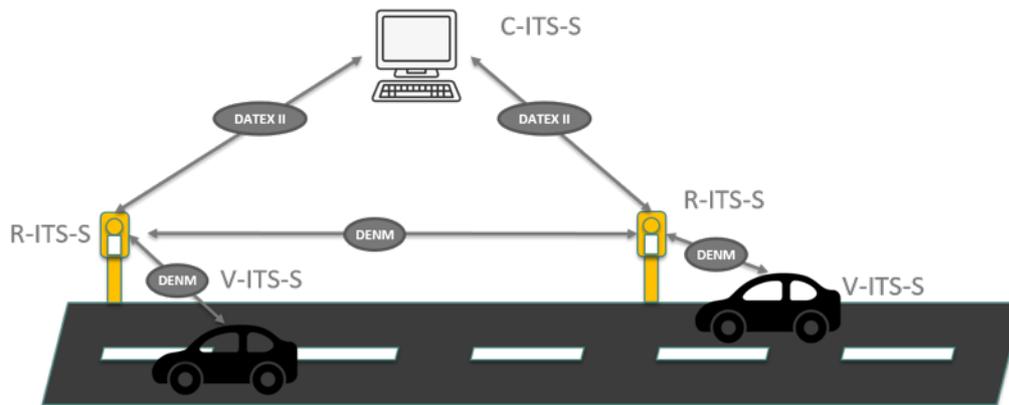


Abbildung 9: Allgemeine Infrastruktur eines ITSs auf Basis von ITS-G5, inklusive Verbindung mit einem VMZ.

Zur Realisierung einer V2X-Kommunikation müssen die Roadside-ITS-Stationen an Verkehrsmanagementzentralen (VMZ) angebunden werden. Die allgemeine Struktur des Systems ist exemplarisch in Abbildung 9 dargestellt. Hier wird die VMZ als Central-ITS-Station (C-ITS-S) gekennzeichnet. Die Kommunikation zwischen Central-ITS-Station und Roadside-ITS-Station erfolgt durch das standardisierte Datenformat DATEX II, welches in der europäischen Norm DIN EN 16157 spezifiziert wird.

Bei dem DATEX II werden anhand eines vordefinierten UML-Schemas passende XML-Dateien mit Verkehrsinformationen generiert, sodass sie für alle VMZ sowie alle Roadside-ITS-Stationen, die diesen Standard implementieren, interpretierbar sind. Das Format sieht insbesondere drei Hauptbetriebsarten für den Datenaustausch vor:

- Operating Mode 1: Publisher Push on occurrence (durch C-ITS-S), d.h. Informationen werden nur bei bestimmten Ereignissen oder nach Wunsch gesendet
- Operating Mode 2: Publisher Push Periodic (durch C-ITS-S), d.h. Informationen werden periodisch gesendet
- Operating Mode 3: Client Pull (durch R-ITS-S), d.h. der Client fragt explizit nach Information, wenn benötigt

Weitere Informationen bzgl. der Übertragung von CAM- und DENM-Nachrichten über DATEX II sind in der Norm DIN EN 16157 zu finden.

II.1.8 Arbeitspaket 2.4 – Konzeption IT Security (IFF)

Die Aufgaben des Arbeitspakets 2.4 – Konzeption IT-Security sind die Analyse und Betrachtung der Informations- und Datensicherheit sowie -schutz bei einer kabelgebundenen Übertragung zwischen Verkehrsmanagementzentrale und Kommunikationseinheiten sowie die Analyse und Bewertung der Arten von Informationen und Daten, Gefährdungsrisiko und Ermittlung potentieller Bedrohungen und Bedrohungsszenarien. Das Fraunhofer IFF hat hierzu neben einer Analyse der IT-Grundsicherheitsstandards des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik ebenfalls spezifische Anforderungen an kritische Infrastrukturen betrachtet, da das Fernmeldenetz als kritische Infrastruktur eingestuft ist. Durch die Veröffentlichung des IT-Grundsicherheits-Kompandiums während der Bearbeitung des Arbeitspaketes haben sich wesentliche Veränderungen in der Durchführung der Modellierung eines IT-Grundsicherheits ergeben. Im Rahmen der Projektbearbeitung sind diese neuen Aspekte des IT-Grundsicherheitskompandiums in die weiteren Betrachtungen eingeflossen.

In einem ersten Schritt sind vor Veröffentlichung des neuen IT-Grundschutz-Kompodiums im Jahr 2018 durch das Fraunhofer IFF die für das Projekt ANIKA II relevanten Bausteine identifiziert und ausgewählt worden:

| Nr. | Titel | Begründung für Auswahl |
|----------------------------------|--------------------------------|---|
| B 1 Übergreifende Aspekte | | |
| B 1.4 | Datensicherungskonzept | Es muss sichergestellt werden, dass übertragene oder erfasste Daten, die gespeichert oder zwischengespeichert werden (müssen), durch ein geeignetes Datensicherungskonzept gegen einen Verlust gesichert werden. |
| B 1.5 | Datenschutz | Es werden schützenswerte Daten übertragen, sodass der Datenschutz gewährleistet werden muss. Insbesondere wird hier die DSGVO Anwendung finden. |
| B 1.7 | Kryptokonzept | Die Datenübertragung zwischen R-ITS-Station sowie Fahrzeugen erfolgt in verschlüsselter Form. Um den weiteren Übertragungsweg bis zur VMZ und zurück abzusichern, ist die Übertragung hier ebenfalls zu verschlüsseln. |
| B 1.14 | Patch- und Änderungsmanagement | Die Hard- und Software wird stetig weiterentwickelt, verbessert oder fehlerbereinigt, sodass ein Patch- und Änderungsmanagement zu entwickeln ist. |
| B 2 Infrastruktur | | |
| B 2.2 | Elektrotechnische Verkabelung | Die R-ITS-Module werden an das Fernmeldenetz zur Stromversorgung und Datenübertragung angebunden. Hierbei sind die genannten Anforderungen bei der Verkabelung zu beachten. |
| B 2.12 | IT-Verkabelung | Wie im vorherigen Punkt genannt, erfolgt neben einer Anbindung an das Fernmeldenetz zur Energieübertragung auch eine datentechnische Anbindung, sodass die Anforderungen an eine IT-Verkabelung ebenfalls erfüllt werden müssen. |
| B 3 IT-Systeme | | |
| B 3.301 | Sicherheitsgateway (Firewall) | Die Systeme in der R-ITS-Station sowie in den Kabelhäusern, welche entweder untereinander oder mit Verkehrsmanagementzentralen datentechnisch verbunden werden, müssen über geeignete Maßnahmen gegen unbefugten Zugriff oder Abgreifen der Datenübertragung gesichert werden. Hierzu sind entsprechende Sicherheitsmechanismen (wie z.B. Firewalls) zu installieren. |

| | | |
|------------------------|--------------------------------|---|
| B 3.302 | Router und Switches | Da eine Datenübertragung über Netzwerktopologien erfolgt, sind hierfür verwendete Router und Switches ebenfalls gegen unbefugten Zugriff, Ausfall oder Störung abzusichern. |
| B 3.407 | Eingebettes System | Der Systemaufbau der R-ITS-Station basiert auf einer Embedded Hardware, die insbesondere für einen niedrigen Energiebedarf optimiert ist. Da das eingebette System keine direkte Benutzerinteraktion bietet, ist hierfür der genannte Baustein mit den genannten Sicherungsmaßnahmen anzuwenden. |
| B 4 Netze | | |
| B 4.1 | Lokale Netze | Die Datenübertragung erfolgt in Teilen über ein LAN, sodass diese lokalen Netze analysiert und unter den genannten Sicherheitsaspekten aufgebaut und betrieben werden. |
| B 4.2 | Netz- und Systemmanagement | Das Gesamtsystem besteht aus mehreren Netzkomponenten, die auf fehlerfreie Funktion überwacht werden müssen. Weiterhin müssen diese verteilten Systeme verwaltet werden. |
| B 4.6 | WLAN | Die Übertragung zwischen der R-ITS-Station sowie Fahrzeugen basiert auf einem WLAN-Standard (802.11p), sodass dieser Baustein ebenfalls Anwendung finden muss. |
| B 5 Anwendungen | | |
| B 5.26 | Serviceorientierte Architektur | Auch wenn in ANIKA II nur konzeptionell betrachtet, so ist vorgesehen, dass die VMZ-Integration auf einer serviceorientierten Architektur basiert. Daher ist dieser Baustein zur Sicherung der serviceorientierten Komponenten anzuwenden. |
| B 5.27 | Softwareentwicklung | Für die Komponenten der R-ITS-Station sowie zentralen Komponenten zur Anbindung an eine VMZ ist Software zu entwickeln, die besonderen Anforderungen standhalten muss. Insbesondere ist sicherzustellen, dass die Informationssicherheit bei der Entwicklung dieser Teilkomponenten gewährleistet ist. Dies kann durch die Anwendung dieses Bausteins erfolgen. |

Durch die Veröffentlichung des IT-Grundschutz-Kompodiums war während der Bearbeitung des Arbeitspakets 2.4 eine Überarbeitung der zu betrachtenden Aspekte erforderlich. Das Fraunhofer IFF hat hierzu zunächst einführend die wichtigsten Aspekte und Neuerungen betrachtet und bewertet. Zur Modellierung eines Informationsverbunds nach IT-Grundschutz sind aus dem IT-Grundschutz-Kompodium die erforderlichen und passenden Bausteine auszuwählen und für eine weitere Umsetzung zu spezifizieren [18].

Im Wesentlichen müssen nahezu alle Bausteine des IT-Grundschutz-Kompodiums (siehe [18] S. 3 - 12) verbindend betrachtet werden, es sei denn derartige Komponenten finden im Umfeld des ANIKA II Lösungsansatzes keine Anwendung. Ausnahmen bilden hierbei insbesondere:

| Nr. | Titel | Begründung für Auswahl |
|---|--|--|
| OPS.1.2.4 | Telearbeit (R3) | Für das zu entwickelnde System sind keine Telearbeitsplätze vorgesehen. |
| APP.1.1 | Office-Produkte (R2) | Für das zu entwickelnde System sind keine Office-Produkte oder -Software oder deren Anwendung vorgesehen. |
| APP.1.2 | Web-Browser (R2) | Für das zu entwickelnde System ist primär nicht vorgesehen, Web-Browser einzusetzen. Das System wird nur einen elektronischen Datenaustausch mit anderen Systemen vornehmen und besitzt kein GUI. Ggf. werden Browser in Nebensystemen eingesetzt, um Daten zu visualisieren. |
| APP.2.1 sowie APP.2.2 | Verzeichnisdienste (Allgemeiner Verzeichnisdienst sowie Active Directory) | Finden keinerlei Anwendung im Gesamtsystem. |
| APP.3.3 APP.3.4 | Fileserver Samba | Findet keine Anwendung, da der Datenaustausch über entsprechende Protokolle und Schnittstellen (z.B. Datex) erfolgt. |
| APP.3.4 | Relationale Datenbanksysteme | Es erfolgt keine Speicherung von Daten in Datenbanken. |
| APP.5.1 APP.5.2 | Allgemeine Groupware Microsoft Exchange und Outlook | Es erfolgt keine E-Mail basierte Kommunikation. |
| SYS.3.2.1, SYS.3.2.2, SYS.3.2.3, SYS.3.2.4, SYS.3.4 | Mobile Devices (für den Endnutzer) | Es sind keine mobilen Endgeräte für Nutzer vorgesehen. Der Datenaustausch erfolgt lediglich über Schnittstellen mit Drittsystemen, die dann eine Benutzerschnittstelle für den Zugriff durch den Endnutzer implementiert haben. Die mobilen Komponenten in den Fahrzeugen, die mit den R-ITS-Stations kommunizieren, fallen nicht unter diese Kategorie. |
| SYS.4.1 | Drucker, Kopierer, Multifunktionsgeräte | Derartige Endgeräte finden im System keinerlei Anwendung. |
| | Bausteine der industriellen IT | Finden ebenfalls keine Anwendung, da das zu entwickelnde System nicht im Produktionsumfeld eingesetzt wird. |
| INF.7 INF.8 INF.9 | Büroarbeitsplatz Häuslicher Arbeitsplatz Mobiler Arbeitsplatz | Derartige Systemkomponenten sind nicht vorgesehen, sodass diese Bausteine keine Anwendung finden. |

INF.10 Besprechungs-, Veranstaltungs- und Schulungsraum

In einem letzten Schritt sind durch das Fraunhofer IFF weitere für den Betrachtungsbereich der V2X-Kommunikation bereits bestehende und relevante Sicherheitsaspekte und existierende Standards betrachtet worden, die für die zu entwickelnde Lösung ebenfalls Berücksichtigung finden müssen.

- ETSI TS 102 731 Intelligent Transport Systems (ITS); Security; Security Services and Architecture
Der Standard beschreibt abstrakt die Level 2 Sicherheitservices und Architekturen des ETSI ITS, die als Basis für die weitere Entwicklung der Architektur dienen. Es wird eine Hierarchie bestehend aus Hersteller, Registrationsbehörde und Autorisationsbehörde definiert. Des Weiteren werden Annahmen über Vertrauen zwischen den ITS Komponenten im normalen Betrieb definiert.
- ETSI EN 302 665 Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture
Das Dokument definiert das globale Framework für ITS Kommunikation im Bereich des Straßenverkehrs. Im Detail beschreibt es OSI Protokollstack, die Managementeinheit des ITS und die Sicherheitsmaßnahmen.
- ETSI TS 102 940 Intelligent Transport Systems (ITS); Security; ITS communications security architecture and security management
In diesem technischen Standard wird basierend auf dem Standard TS 102 731 die Sicherheitsarchitektur für ITS spezifiziert. Es beschreibt und definiert verschiedene Arten von Nachrichten und welche Sicherheitsanforderungen bzgl. Vertraulichkeit und der Privatsphäre notwendig sind.
- ETSI TS 102 941 Intelligent Transport Systems (ITS); Security; Trust and Privacy Management
Dieses Dokument identifiziert welche Maßnahmen implementiert werden müssen, um Vertrauen zwischen den Teilnehmern in einem ITS System herzustellen und den Schutz der Privatsphäre zu wahren. Der Sicherheitszyklus von der Inbetriebnahme bis zum End of Life wird zusammen mit einer PKI definiert.
- ETSI TS 102 942 Intelligent Transport Systems (ITS); Security; Access Control
Dieser Standard beschreibt wie die Authentifizierung und Autorisierung zu implementieren ist.
- ETSI TS 102 943 Intelligent Transport Systems (ITS); Security; Confidentiality services
Zur Gewährleistung der Vertraulichkeit bei der Übertragung von Daten sind die in diesem Standard definierten Vorgaben zu implementieren.
- ETSI TS 103 097 Intelligent Transport Systems (ITS); Security; Security header and certificate formats
Dieser Standard beschreibt Profile von Security zugehörigen Datenstrukturen (verschlüsselte Nachrichten, CAMs, DENMs, Zertifikate, usw.), die nach ITS Sicherheitsrichtlinien gesichert übertragen und gespeichert werden müssen. Die Profile wurden mithilfe der Basis Definitionen in IEEE Std 1609.2-2016 erstellt. Aktuell wird die Version 2 erarbeitet.

Im Rahmen der Bearbeitung des Arbeitspaketes 2.4 kann keine detaillierte Modellierung eines IT-Grundschutzes erfolgen. Es ist lediglich eine Bewertung relevanter und zu betrachtender Aspekte vorgenommen worden. Soll für die Anwendung des Lösungsansatzes ANIKA II und den damit entwickelten Technologien eine Einführung erfolgen, sind die hierfür erforderlichen und im Ergebnis des Arbeitspakets identifizierten Aspekte näher zu betrachten sowie ein auf bestehenden Sicherheitsmaßnahmen weiterentwickeltes Sicherheitskonzept zu erarbeiten.

II.1.9 Arbeitspaket 2.5 – Konzeption Use-Cases Kommunikation (GATE)

In der ersten Phase dieses Arbeitspakets wurden unterschiedliche Use-Cases für die so genannten Day1-Services untersucht, welche für die Ableitung der Spezifikationen und Anforderungen der Systemkomponenten nötig sind. Wie u.a. bei der Amsterdam Gruppe definiert, stellen Day1-Services Basis-Warnungsinformationen bereit und sind insbesondere für die initiale Verbreitungsphase von ITS-Systemen gedacht.

Die Analyse der Day-One-Use-Cases ergab, dass die meisten verwendeten ITS-G5-Nachrichten CAM und DENM sind. Diese Informationen wurden von den anderen Projektpartnern genutzt, um passenden Metriken für die Definition und Auswertung eines Testplans zu konzipieren sowie entsprechende Leistungsklassen für das Energie-Management-System (EMS) zu definieren.

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurden insbesondere für die Kommunikation folgende Szenarien bearbeitet:

- Szenario 1: Schneepflug
- Szenario 2: Unfall
- Szenario 3: Straßenarbeiten
- Szenario 4: Falschfahrer
- Szenario 5: Unwetter

Jedes Szenario ist von der Sendung unterschiedlicher Nachrichten mit verschiedenen Prioritäten, welche zu den im AP2.1.2 erarbeiteten Leistungsklasse zugewiesen worden sind, charakterisiert, d.h. von der Kommunikationsseite beschreiben die obengenannten Szenarien komplexe Situationen bzgl. Nachrichtenaustausch.

In einem ITS-Netzwerk werden die Nachrichten mit Zertifikaten versehen um die Vertraulichkeit der Informationen zu sichern. Ein Fahrzeug mit ITS-G5 Ausrüstung im Regelbetrieb darf nur zertifizierte Nachrichten annehmen, die von einer vertrauenswürdigen Quelle stammen. Alle anderen Nachrichten sollen verworfen werden, da ansonsten die Gefahr für Falschinformationen besteht. Im ANIKA II Stack werden während der Testphase spezielle Zertifikate verwendet, welche nur von Testteilnehmern als gültig anerkannt werden können und von Dritt-Fahrzeugen abzuweisen sind. Auf die Nutzung gültiger Zertifikate ist aufgrund des komplexen Freigabeprozesses aus Zeitgründen im Projekt verzichtet worden. Dies stellte auch keine Herausforderung für den Nachweis der technischen Funktionalität der Lösung dar.

Die nachfolgende Abbildung stellt beispielhaft das Sequenzdiagramm für das Szenario 1 – Schneepflug dar und zeigt, welche Nachrichten zwischen den einzelnen Teilnehmern des V2X-Kommunikationsnetzwerks ausgetauscht werden, um dieses Szenario zu realisieren. Ergänzend hierzu wird in Tabelle 6 sowie in Tabelle 7 gezeigt, in welcher Häufigkeit und welcher erforderlichen Sendeleistung diese Nachrichten ausgesendet werden müssen.

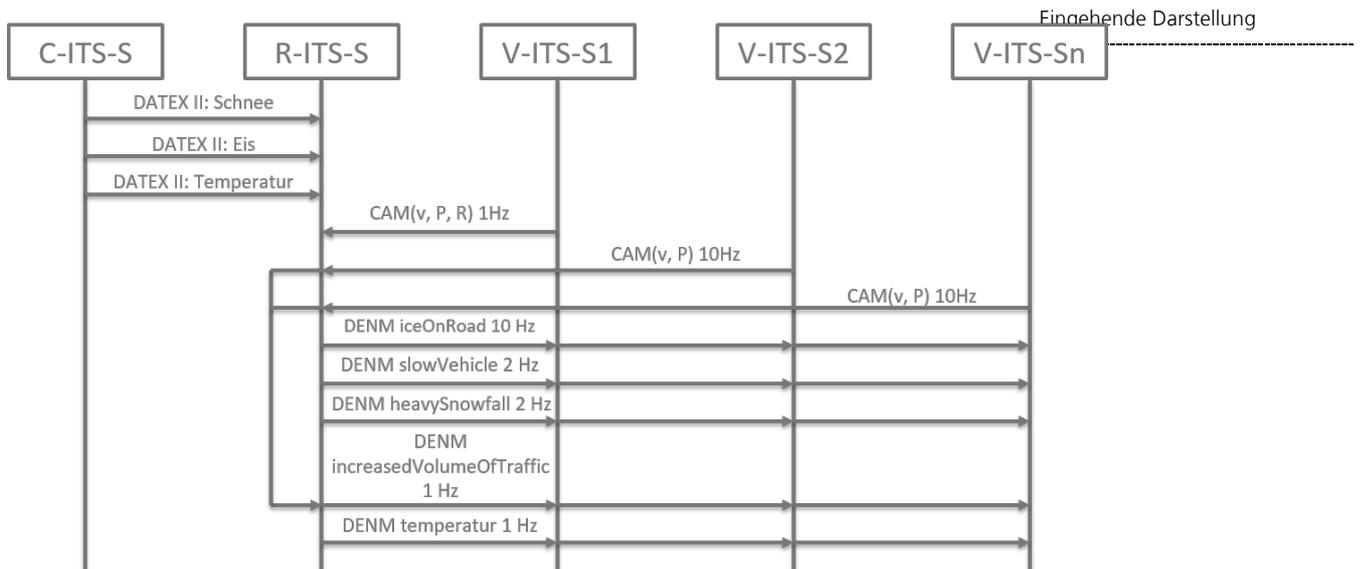


Abbildung 10 - Sequenzdiagramm für das Szenario 1 – Schneeflug.

Tabelle 6 - Beschreibung der nötigen DENM-Nachrichten und entsprechenden Klasse für Szenario 1 – Schneeflug.

| # DENM | Klasse | DCC Profil | Frequenz |
|----------------------------|----------|------------|----------|
| 1 iceOnRoad | Klasse 3 | DP0 | 10 Hz |
| 2 slowVehicle | Klasse 2 | DP1 | 2 Hz |
| 3 heavySnowfall | Klasse 2 | DP2 | 2 Hz |
| 4 increasedVolumeOfTraffic | Klasse 1 | DP3 | 1 Hz |
| 5 externalTemperature | Klasse 1 | DP4 | 1 Hz |

Tabelle 7: Klassifizierung der Use-Cases in Abhängigkeit von Sendeleistung und Wiederholungsintervall für das EMS.

| | Sendeleistung | Frequenz | Bemerkungen: |
|-----------------|---------------|----------|--|
| Klasse 1 | 10 dB | 1 Hz | Für Verkehrsinformationen, Umgebungstemperatur, Geschwindigkeitsbegrenzung, Verkehrsregeln |
| Klasse 2 | 23 dB | 2 Hz | Warnung vor langsamen Fahrzeugen, schlechten Wetterverhältnissen |
| Klasse 3 | 23 dB | 10 Hz | Erhöhte Aufmerksamkeit und angepasste Fahrweise, schnelle Änderung der Ereignisse, z.B. Glatteis |
| Klasse 4 | 33 dB | 2 Hz | Statische Ereignisse mit hoher Einflussreichweite |
| Klasse 5 | 33 Db | 10 Hz | Akute Gefahr für Verkehrsteilnehmer, Bewegliche Ereignisse, geringe Vorwarnzeit, z.B. Unfälle |

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurden insbesondere von GATE-IC folgende Punkte bearbeitet:

- Unterstützung des Fraunhofer IFF bei der Bearbeitung der Spezifikationen der Use-Cases für die Testung und Auswertung, mit besonderem Fokus auf die Anwendbarkeit und Testung am Galileo-Testfeld
- Unterstützung des Fraunhofer IFF bei der Analyse von Modellen zur Beschreibung der Kommunikation in den spezifizierten Use-Cases
- Analyse der Migrierbarkeit der Module für die Vorgaben der Use-Cases
Analyse und Definition der spezifischen technologischen Rahmenbedingungen für die Umsetzung der definierten Use-Cases

II.1.10 Arbeitspaket 2.6 – Konzeption Virtuelles Infrastrukturmodell (IFF)

In diesem Arbeitspaket wurden die wesentlichen Erweiterungen des virtuellen Infrastrukturmodells einerseits für den Teil der Simulation des Verkehrs und dem dadurch entstehenden Kommunikationsaufkommens (AP 2.6.1) sowie dem zweiten Teil zur Simulation der eigentlichen Funkkommunikation (AP 2.6.2) konzipiert. Die jeweiligen Ergebnisse dieser Unterarbeitspakete werden nachfolgend dargestellt.

UAP 2.6.1 – Konzeption Erweiterung Infrastrukturmodell (IFF)

Um unter verschiedenen, realitätsnahen Randbedingungen valide Simulationsergebnisse zu erhalten, wurde das bestehende virtuelle Infrastrukturmodell (VIM), welches in den vorangegangenen Projekten entwickelt wurde, um ein physikalisch korrektes Propagationsmodell für Funkwellen erweitert, um die Nachrichtenübertragung zwischen Fahrzeugen via Multi-Hopping sowie die Topographie der jeweils abzubildenden Teststrecke zu gewährleisten.

Nach erfolgter Beschaffung und Einrichtung der Simulationssoftware VSimRTI¹ sind bereits erste konzeptionelle Arbeiten zur Vorbereitung des am 16.07.2018 stattgefundenen Workshops durchgeführt worden.

Die Software VSimRTI importiert frei verfügbare, geographische Karten aus OpenStreetMap² (OSM) mit sämtlichen verkehrsrelevanten Informationen (Straßenverläufe, Straßentypen, Ampeln etc.). Über einen Editor können manuell Objekte wie Notrufsäulen geographisch exakt platziert und überflüssige Objekte (z.B. Nebenstraßen) entfernt werden. Leider fehlen in diesen OSM-Karten Höhenangaben. Zur Überwindung dieses Umstands wurden zwei Quellen für den Import von Höhenangaben in OSM-Karten geprüft und es wurden beide ergänzend angewendet, um eine höhere Datenqualität zu erreichen:

1. Radardaten der Copernicus-Satellitenmission³,
2. Radardaten der Shuttle Radar Topography Mission⁴.

Durch die Topographie und die koordinatengenaue Positionierung der Notrufsäulen konnte die Teststrecke AM Greding - KH Göggelsbuch exakt abgebildet werden. Die

¹ Siehe Produktwebseite: <https://www.dcaiti.tu-berlin.de/research/simulation/>

² Siehe: <https://www.openstreetmap.org/>

³ Siehe: <http://www.copernicus.eu/data-access-satellite>

⁴ Siehe: <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc>

Verkehrsdynamik wurde mit der vom DLR entwickelten Simulationsumgebung SUMO¹ abgebildet. Für das Multi-Hopping, das eine Netzwerkkommunikation über WLAN mit dem Übertragungsstandard 802.11p im 5,9-GHz-Band darstellt, wurde die Simulationsumgebung OMNeT++² gemeinsam mit der Modellbibliothek INET³ verwendet. Der Arbeitsaufwand bestand darin, die Schnittstelle zwischen INET und VSimRTI zu programmieren. Für die Funkwellen wurde das Raytracing als Propagationsansatz implementiert. Auch hier wurden zwei Alternativen geprüft:

1. Ankopplung des von Thorsis entwickelten Raytracings an VSimRTI und
2. Nutzung des in OMNeT++ implementierten Algorithmus für das Raytracing.

Innerhalb des Projektes wurde der Ansatz 1 weiterverfolgt. Die Nutzung des eigenentwickelten Raytracing-Moduls ermöglicht eine Anpassung der Algorithmen in Abhängigkeit der durchgeführten Validierungen und so eine höhere Genauigkeit der durchzuführenden Simulationen. In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer FOKUS wurde im Rahmen eines Workshops am 16.07.2018 begonnen, das VIM in die Simulationssoftware VSimRTI zu übertragen, das Raytracing-Verfahren als geeignet für die Funkwellenübertragung identifiziert und Möglichkeiten der Implementierung des Multi-Hoppings diskutiert. Durch den ersten Workshop am 16.07.2018 wurde mit dem AP 3.5 vorzeitig begonnen, da nicht nur konzeptionell diskutiert, sondern bereits begonnen wurde, die Teststrecke AM Greding - KH Göggelsbuch in VSimRTI abzubilden. Dadurch laufen Konzeption und Implementierung des VIM ineinander über. Im zweiten Workshop, der im September 2018 stattgefunden hat, wurde mit der konkreten Implementierung der einzelnen Modellbestandteile (Verkehrsdynamik, Multi-Hopping, Topographie) begonnen.

UAP 2.6.2 – Konzeption Funkmodell und Middleware (Thorsis)

Innerhalb der bisherigen Projektlaufzeit hat sich Thorsis intensiv mit der Konzeption und Analyse des Funkmodells und der Middleware für Funk- und Infrastrukturmodell beschäftigt. Da mehr Ressourcen als ursprünglich geplant in dieses UAP investiert worden sind, ist das UAP früher als geplant vollständig bearbeitet worden.

Eine Beispielsimulation ist in Abbildung 11 für eine Stabantenne auf 4 m Höhe dargestellt. Die Simulation berücksichtigt das im AP abgeleitet Funkmodell. Da die Simulation in OCTAVE extrem rechenaufwändig ist, wurde an der Umsetzung der Simulationssoftware in C# und OptiX/CUDA gearbeitet, damit die Ausführung der Simulationen später auf GPUs parallelisiert werden kann. Die untenstehende Abbildung stellt eine beispielhafte Verkehrssituation dar. Die Fahrzeuge mit grüner Kennung können aufgrund der Empfangsfeldstärke ITS-G5 Kommunikationsdienste nutzen. Das Fahrzeug mit roter Kennung ist aufgrund der zu geringen Empfangsfeldstärke nicht in der Lage mit der Roadside-Unit zu kommunizieren.

¹ Siehe: <http://sumo.dlr.de/index.html>

² Siehe Webseite: <https://www.omnetpp.org/>

³ Siehe Webseite: <https://inet.omnetpp.org/>

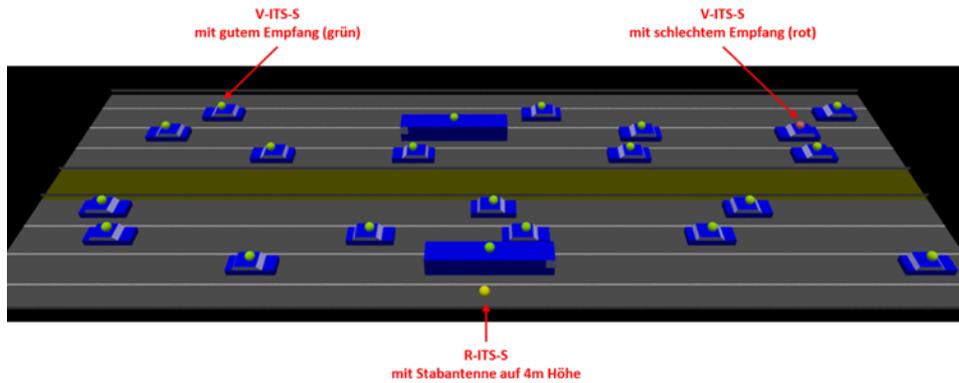


Abbildung 11 - Beispielsimulation für eine R-ITS-S mit der Stabantenne ECO12-5900-WHT auf 4m Höhe.

Innerhalb des ersten Projektabschnitts beschäftigte Thorsis sich intensiv mit der Konzeption und Analyse des Funkmodells und der Middleware für Funk- und Infrastrukturmodell. Da mehr Ressourcen als ursprünglich geplant in dieses UAP investiert worden sind, ist das UAP früher vollständig bearbeitet worden.

Obwohl andere Projekte sich mit der Simulation von Funkmodellen für die Verkehrstelematik beschäftigt haben, sind die meisten dieser Arbeiten nur eingeschränkt nutzbar. Die adaptierte Lösung für die Modellierung basiert auf Raytracing, d.h. ein auf der Aussendung von Strahlen basierender Algorithmus zur Verdeckungsrechnung, also zur Ermittlung der Sichtbarkeit von dreidimensionalen Objekten von einem bestimmten Punkt im Raum aus.

II.1.11 Arbeitspaket 2.7 – Testdesign (GATE)

Im Arbeitspaket 2.7 – Testdesign wurden geeignete Testdesigns für die Demonstration und Tests konzipiert. Das Testkonzept sowie die Testspezifikation der R-ITS-S sind mit dem Projektkonsortium abgestimmt worden. Weiterhin wurden durch Abstimmung aller Partner die Testdesigns harmonisiert. Im Ergebnis ist zunächst ein Testplan erarbeitet worden (AP 2.7.1), in welchem spezifische Rahmenbedingungen je Test definiert wurden. Die Testfallspezifikation (AP 2.7.2) wurde aus den in vorangegangenen Arbeitspaketen erarbeiteten Use Cases abgeleitet um zunächst statische und anschließend dynamische Tests durchzuführen. Die nachfolgende Beschreibung der Unterarbeitspakete stellt die Ergebnisse detailliert dar.

UAP 2.7.1 – Konzeption Testplan (TT)

Auf Basis der durch GATE-IC in AP 2.5 spezifizierten Use Cases für die Kommunikation wurde ein entsprechender Testplan konzipiert. Für jeden Test wird insbesondere eine Testumgebung definiert, welche Informationen bzgl. Wetterbedingungen, Anzahl von Fahrzeugen, Anzahl von Roadside-ITS-Stationen, usw. spezifiziert. Bei der Konzeption des Testplans wurden außerdem die Eigenschaften der Teststrecke vom Galileo-Testfeld sowie von einer allgemeinen Autobahnstrecke berücksichtigt. Die Systemkomponenten, die getestet werden müssen, sind: Central-ITS-Station, Roadside-ITS-Station und Vehicle-ITS-Station. Für jede Komponente werden Störgrößen (Entfernung, Dopplereffekt, Testumgebung), die Sendung multipler DEMNs, der intelligente Datenkonverter und das Multi-Hopping untersucht. Als Metriken für die Bewertung der Testergebnisse wurden die Latenzzeit, Verlustrate und Reichweite definiert.

Thorsis hat sich im Rahmen dieses Arbeitspakets insbesondere folgende Ergebnisse erarbeitet:

- Analyse und Konzeption von Testmethoden und Testumgebungen mit besonderem Fokus auf der Inbetriebnahme an einer Autobahnstrecke
- Bearbeitung von spezifischen Use-Cases für die Testumgebung „Autobahnstrecke“
- Definition von Metriken und Ableitung von Parametern, welche in der Testumgebung „Autobahn“ zur Auswertung und Benchmarking benutzt werden können
- Spezifikation eines Testplans für die Testung an einer echten Autobahnstrecke

UAP 2.7.2 – Konzeption Testfallspezifikationen (TT)

Die Testfallspezifikationen wurden aus den ausgewählten Use-Cases abgeleitet. Es wurde geplant, zunächst statische und darauf folgend dynamische Tests durchzuführen. Die statischen Tests beschäftigen sich mit zwei Hauptthemen:

1. Ermittlung der Sendereichweite aller ITS-Stationen, zur Validierung des im Projekt entwickelten Funkmodells und der entsprechenden Simulationssoftware (analoge Testung).
2. Untersuchung der korrekt empfangenen und gesendeten ITS-G5-Pakete, zur Überprüfung der Funktionalität des implementierten ITS-G5-Protokoll-Stacks (digitale Testung).

Die dynamischen Tests fokussierten auf nachfolgende Themen:

1. Untersuchung der Anzahl korrekt empfangenen und gesendeten ITS-G5-Pakete in Abhängigkeit der Geschwindigkeit eines mit einer Vehicle-ITS-Station ausgestatteten Fahrzeugs.
2. Untersuchung der Anzahl der korrekt empfangenen und gesendeten ITS-G5-Pakete in Abhängigkeit von der Verschattungssituation eines mit einer Vehicle-ITS-Station ausgestatteten Fahrzeugs.

Die Durchführung dieser Tests findet am GATE-IC statt. Weitere dynamische Tests wurden ebenfalls für das GATE-IC sowie für die Autobahnteststrecke vorbereitet. Die einzelnen Schritte zur Vorbereitung und Ausführung der einzelnen spezifischen Tests wurden durch UML- und Sequenzdiagramme dokumentiert.

In diesem Arbeitspaket wurden in Zusammenarbeit mit GATE-IC insbesondere folgende Punkte abgedeckt:

- Identifikation, Analyse und Beschreibung der Anforderungen für die Testfälle am Galileo-Testfeld und ihrer entsprechenden Charakteristiken
- Analyse, Beschreibung und Vorbereitung von Auswertungskriterien für die ausgewählten Szenarien am Galileo-Testfeld

II.1.12 Arbeitspaket 2.8 – Analyse Infrastruktur Testfeld Autobahn (IFF)

Für die Durchführung von Realtests der zu entwickelnden Road Side Units war es vorgesehen, diese an einem Autobahnabschnitt in der Nähe von Standorten von Notrufsäulen in Betrieb zu nehmen. Hierzu ist es erforderlich, einen geeigneten Autobahnabschnitt zu identifizieren und die erforderlichen Rahmenbedingungen im ersten Schritt zu analysieren, um die Energie- und Datenversorgung von bis zu 2 mal 7 R-ITS-Stationen aufbauen zu können. Hierzu ist mit der Autobahndirektion Nordbayern Kontakt aufgenommen worden, ob die Möglichkeit der Durchführung von Realtests in einem Autobahnabschnitt auf dem Digitalen Testfeld Autobahn besteht. Es wurde die Bereitschaft signalisiert, einen Autobahnabschnitt auf der A9 zwischen Göggelsbuch und Greiding zur Verfügung zu stellen. Die weitere Abstimmung sowie die Durchführung von

Vor-Ort-Terminen am 23.05.2018 und 12.07.2018 hatte zum Ergebnis, dass durch die ABDNB (Autobahndirektion Nordbayern) die Bereitstellung des Autobahnabschnitt bestätigt wurde und bereits mit den Grobplanungen sowie der Vorbereitung der Detailplanungen begonnen wurde.

Im Zuge der experimentellen Entwicklung sollen die erarbeiteten Ergebnisse zur Erprobung im Testfeld genutzt werden. Dies betrifft sowohl die R-ITS-S als auch die V-ITS-S (Vehicle-ITS-Station). Zum Nachweis der Funktionsfähigkeit eines kooperativen ITS-Systems werden Feldtests, nach einem vordefinierten Testplan, im Rahmen einer vollständigen Referenzimplementierung durchgeführt. Die Feldtests sind hierbei dreistufig vorgesehen:

- Durchführung der implementierungsbegleitenden Tests der einzelnen Softwaresubmodule und Hardwaremodule (Komponententest)
- Versuchsaufbau für die Integrationstests der gesamten Module und Komponenten auf der Teststrecke "GATE-IC"
- Ausführung der Testdesigns für die Validierung des Systems auf dem Digitalen Testfeld Autobahn

Im Projekt ist für diese Arbeiten das Arbeitspaket 2.8 – Analyse Infrastruktur Testfeld Autobahn definiert worden, in welchem einerseits die Standortanforderungen der einzelnen Standorte in Nähe der Notrufsäulen sowie ein Versorgungskonzept bezüglich der Stromversorgung und dem Datenaustausch für die V2I-Kommunikationsmodule zu erarbeiten sind.

Mit Abschluss des Arbeitspakets 2.8 ist ebenfalls der im Projekt definierte „Meilenstein 3 - Erfolgreiche Analyse und Auswahl des Abschnittes auf der Autobahn für nachfolgenden Test und Validierung“ erreicht. Mit Bewilligung des Vorhabens wurde dem Meilenstein 3 eine übergeordnete Bedeutung zugewiesen. Er dient als Entscheidungspunkt für den Abbruch oder die Fortsetzung des Projekts. Hierzu ist dem Zuwendungsgeber durch einen begutachtungsfähigen Meilensteinbericht nachgewiesen worden, dass die im Meilenstein 3 definierten Fortführungskriterien erfüllt sind. Diese Kriterien sind wie folgt spezifiziert:

- Autobahnabschnitt für Test ausgewählt
- Autobahnabschnitt für Test geeignet (Prüfung und Analyse in AP 2.8 abgeschlossen)

Die genannten Kriterien sind im Rahmen der Projektbearbeitung zur effizienteren Abarbeitung sowie klar gegliederten Darstellung der Ergebnisse in übersichtlichere Teilaufgaben untergliedert worden. Die nachfolgende Aufstellung zeigt, welche Teilaufgaben in diesem Arbeitspaket bearbeitet wurden.

Tabelle 8: Aufgaben und Statusüberblick

| Nr. | Aufgabe | Status |
|------------|--|-----------------------------|
| 1. | Auswahl eines geeigneten Autobahnabschnitts | ✓ Erfolgreich abgeschlossen |
| 2. | Prüfung der Pläne und Vorgaben der zuständigen Autobahndirektion – vorzugsweise der Autobahndirektion Nordbayern, die hierzu schon vor Projektbeginn angefragt wurde | ✓ Erfolgreich abgeschlossen |

| | | |
|-----|--|--|
| 3. | Detaillierte Auswahl der einzubeziehenden Notrufsäulenstandorte auf dem Autobahnabschnitt | ✓ Erfolgreich abgeschlossen |
| 4. | Ortsbegehung der Endstellen und NRS Standorte zur Festlegung der Kabeltrasse und Schachtstandorte | ✓ Erfolgreich abgeschlossen |
| 5. | Erstellung einer Ausführungsplanung für die Kabelinfrastruktur zur Vorlage bei der zuständigen Autobahndirektion | ✓ Erfolgreich abgeschlossen |
| 6. | Nachweis einer ausreichenden Fernversorgung | ✓ Erfolgreich abgeschlossen |
| 6.1 | Durchmessen der Kabelinfrastruktur | ✓ Erfolgreich abgeschlossen |
| 6.2 | Rechnerischer Nachweis einer ausreichenden Fernversorgung für 2 x 7 Standorte (vorzugsweise Digitales Testfeld Autobahn) oder 1 x 7 Standorte (A555) | ✓ Erfolgreich abgeschlossen |
| 7 | Freigabe des Abschnittes für die Installationen und Untersuchungen im Rahmen von ANIKA II | ✓ Erfolgreich abgeschlossen Freigabe ist nach erfolgter Messung der Kabelinfrastruktur eingeholt worden und erfolgt |

Die erfolgreiche Erreichung des Meilensteins 3 ist durch einen Meilensteinbericht dokumentiert, in welchem die nachfolgend zusammengefassten Ergebnisse detailliert dargestellt wurden.

II.1.12.1 Auswahl eines geeigneten Autobahnabschnitts

Für die Auswahl eines geeigneten Autobahnabschnitts ist bereits in der Beantragungsphase des Projekts ANIKA II mit der Autobahndirektion Nordbayern Kontakt aufgenommen worden. Hier wurde abgefragt, ob die Möglichkeit der Durchführung von Realtests in einem Autobahnabschnitt auf dem Digitalen Testfeld A9 besteht. In einer detaillierten Abstimmung nach Projektbeginn sind eine Vielzahl von Vor-Ort-Begehungen erfolgt, und durch die Autobahndirektion Nordbayern ein Abschnitt zwischen Göggelsbuch und Greding zur Verfügung gestellt. Weiterhin sind die benötigte Anzahl an Doppeladern auf dem Fernmeldekabel und die Möglichkeiten zur Installation von Energieversorgungs- und Kommunikationstechnik jeweils im Kabelhaus Göggelsbuch und der Autobahnmeisterei in Greding zugesichert worden. Für die weitere Planung wurden ebenfalls Kabellagepläne und Fotos der NRS-Standorte zur Verfügung gestellt.

II.1.12.2 Prüfung der Pläne und Vorgaben der zuständigen Autobahndirektion

Wie im vorhergehenden Abschnitt dargestellt, sind durch die Autobahndirektion Nordbayern Kabellagepläne in elektronischer Form sowie die Rahmenbedingungen für den Aufbau der Standorte der R-ITS-Stationen übermittelt worden.

In Vorbereitung der weiteren Ausführungsplanung wurden diese Unterlagen zunächst durch die Projektpartner des Konsortiums gesichtet. Weiterhin ist wie vereinbart zur Unterstützung der Prüfung der Pläne und Vorgaben sowie der Ausarbeitung einer Ausführungsplanung (siehe Erläuterungen im nächsten Abschnitt) ein Dienstleister herangezogen worden.

Die Aufgaben des Dienstleisters zur Unterstützung und fachlichen Begleitung sind:

- Vorplanung zur Erstellung eines Grobkonzepts
- Entwurfsplanung der Tiefbau und Kabelarbeiten
- Ausführungsplanung
- Erarbeitung von Leistungsverzeichnissen für die Ausschreibung und Auftragsvergabe der Tiefbau und Kabelverlegearbeiten

Hierzu sind in einem gemäß Beschaffungsordnung durchgeführten Verfahren drei Unternehmen zur Angebotsabgabe aufgefordert worden und es wurde schlussendlich eine Beauftragung an die SSP Consult Beratende Ingenieure GmbH vergeben.

Im Ergebnis der Abstimmungen sind die einzuhaltenden Rahmenbedingungen und Anforderungen an notwendige Infrastrukturmaßnahmen (Tiefbau und Kabelverlegung) zur Vorbereitung des gewählten Autobahnabschnitts definiert worden.

II.1.12.3 Detaillierte Auswahl der einzubeziehenden Notrufsäulenstandorte auf dem Autobahnabschnitt

Für die Durchführung der Tests im Testfeld „Autobahn“ wurde durch die Autobahndirektion Nordbayern der Abschnitt zwischen der Autobahnmeisterei Greding und dem Kabelhaus Göggelsbuch zur Verfügung gestellt. Auf der Grundlage der zur Verfügung gestellten Unterlagen ist ein Lageplan erstellt und eine Auswahl der Standorte vorgenommen worden.

Entlang dieses Autobahnabschnitts auf der Autobahn A9 befinden sich jeweils in Fahrtrichtung Berlin sowie in Fahrtrichtung München vierzehn Notrufsäulen, die durch ein Fernmeldekabel versorgt werden, welches östlich der Autobahn A9 unterirdisch verläuft. Von diesem Fernmeldekabel aus werden über eine Abzweigmuffe die Notrufsäulen in Fahrtrichtung Berlin versorgt. Die Notrufsäulen (Nebensäulen) in Fahrtrichtung München werden an den jeweilig gegenüberliegenden Standorten durch Stichtkabel versorgt, die unterhalb der Fahrstreifen der Autobahn A9 verlegt sind.

Für die praktische Erprobung sind die Notrufsäulenstandorte der Hauptsäulen, die sich östlich der Autobahn und somit in der Nähe des Fernmeldekabels befinden, gewählt worden. Grundsätzlich wird zunächst davon ausgegangen, dass die Funkwellenausbreitung der zu installierenden Antennen beide Fahrtrichtungsstreifen abdeckt, sodass eine einseitige Installation ausreichend ist.

II.1.12.4 Ortsbegehung der Endstellen und NRS Standorte zur Festlegung der Kabeltrasse und Schachtstandorte

Für eine genauere Analyse und Aufnahme des aktuellen Zustands vor Ort an den jeweiligen Endstellen und NRS-Standorten ist eine Ortsbegehung durchgeführt worden. Zunächst wurde durch Vertreter des ANIKA II-Konsortiums, der Autobahndirektion Nordbayern sowie der BAST am 12. Juli 2018 eine Ortsbegehung durchgeführt. Diese hatte das Ziel, örtliche Spezifika aufzunehmen und eine erste Grobplanung der Standorte sowie den Verlauf der Kabeltrasse von der Abzweigmuffe am Fernmeldekabel bis zum Standort für die Roadside ITS Stations zu spezifizieren. Im Ergebnis sind Standortpläne, welche ursprünglich im CAD-Format durch die ABDNB bereitgestellt wurden, durch den

geplanten Standort der Roadside ITS Station und den Mast für die Antennen, den Verlauf der Kabeltrasse sowie – wenn erforderlich – die Installation einer neuen Abzweigmuffe ergänzt worden (siehe Anlage 6 der Baubeschreibung SSP Consult GmbH).

Grundsätzlich wurde bezüglich der Abzweigmuffe der Vorgabe, die vorhandene Abzweigmuffe der Notrufsäule zu nutzen, gefolgt. Im Ergebnis soll jedoch bei einem Standort aufgrund der räumlichen Gegebenheiten hiervon in Absprache mit der Autobahndirektion Nordbayern abgewichen und alternativ eine neue Abzweigmuffe am Fernmeldekabel installiert werden.

Als weitere Besonderheit sind zwei Standorte hervorzuheben, die sich innerhalb einer PWC-Anlage (Rastplatz) befinden und somit nicht direkt in der Nähe der Fahrbahn der Autobahn befinden. Diese Standorte bieten jedoch die Möglichkeit, auf einen zu installierenden Mast zu verzichten und stattdessen Laternenmasten für die Anbringung der Antenne der Roadside ITS Station zu nutzen und an diesem Standort ebenfalls den Kabelverzweigerschrank für Netzteil, DSL-Modem und Roadside ITS Station zu positionieren.

Weiterhin ist durch die SSP Consult ebenfalls eine Vor-Ort-Besichtigung der einzelnen Standorte vorgenommen worden. Aus den Ortsbegehungen und der Sichtung der zur Verfügung gestellten Unterlagen ist eine Standortübersicht mit der Masttypisierung (Mast oder Laternenpfahl), Bewuchs und Muffenspezifikation erstellt worden.

II.1.12.5 Erstellung einer Ausführungsplanung für die Kabelinfrastruktur zur Vorlage bei der zuständigen Autobahndirektion

Zur Vorbereitung des zur Verfügung gestellten Autobahnabschnitts entlang der A9 sind zahlreiche Infrastrukturarbeiten bestehend aus Tiefbau- und Kabelverlegearbeiten erforderlich. Für die Auftragsvergabe an ausführende Bauunternehmen ist es erforderlich, eine detaillierte Ausführungsplanung sowie ein Leistungsverzeichnis zu erstellen, die durch ein beauftragtes Ingenieurbüro (SSP Consult GmbH) erfolgt ist.

II.1.12.6 Nachweis einer ausreichenden Fernversorgung

Zum Nachweis einer ausreichenden Fernversorgung ist im Rahmen des Arbeitspaketes 2.8 die Durchführung einer Kontrollmessung zur Zustandsermittlung des Kabels zum gegenwärtigen Zeitpunkt veranlasst worden. Die Zielstellung der Messung ist einerseits der Nachweis der Fehlerfreiheit des Kabels und andererseits die Ermittlung des Widerstandsbelags der zu nutzenden Doppeladern als Grundlage für den rechnerischen Nachweis einer ausreichenden Fernversorgung.

Zunächst ist durch das Fraunhofer IFF das Messprotokoll einer vorangegangenen Messung vom 26.11.2014, welches durch die Autobahndirektion Nordbayern zur Verfügung gestellt wurde, hinsichtlich der Fehlerfreiheit des Kabels bzw. der zu nutzenden Doppeladern sowie erforderlicher Messgrößen untersucht worden. Weiterhin wird das Kabel durch das Fernwirksystem der ABDNB dauerhaft auf Beeinträchtigungen überwacht. Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass auf dieser Grundlage eine grundsätzliche Eignung des Kabels gegeben ist.

In enger Abstimmung aller Beteiligten ist jedoch aus Aktualitätsgründen eine erneute Messung durch die Autobahndirektion Nordbayern erfolgt. Da die letzte Messung bereits mehr als 4 Jahre zurückliegt, kann die Fehlerfreiheit zum jetzigen Zeitpunkt nicht ausschließlich bestätigt werden.

Die am 04. März 2019 durchgeführte Messung hatte zum Ergebnis, dass weiterhin die Fehlerfreiheit des Kabels bzw. im Speziellen der zu nutzenden Doppeladern gegeben ist und sich der Widerstandsbelag der Doppeladern nur minimal verändert hat. Die

Doppeladern, an welchen Isolationsfehler festgestellt wurden, werden im Projekt ANIKA II nicht genutzt und stellen daher kein Hindernis für die Installation dar.

Auszug Messprotokoll der Axians GA Netztechnik GmbH vom 04.03.2019:

Es konnten alle Aderpaare gemessen werden, da die gesamte Kabelanlage zum Zeitpunkt der Messung freigeschaltet wurde. Außerdem wurden alle Stiche auf der Strecke (NRS, PCM-Repeater und GMA) durchgesteckt.

Bei den gemessenen Gleichstromwiderständen wird festgestellt, dass die Isolationswiderstände die Pflichtwerte größtenteils erfüllen bzw. übererfüllen. Einige Werte für die NRS-Aderpaare bzw. TF-Aderpaare liegen im Pflichtwert-Grenzbereich, während bei den DA 52, 57, 58 und 60 - 62 offensichtlich Isolationsfehler vorliegen. Die gemessenen Schleifenwiderstände und Widerstandsunterschiede erfüllen die Pflichtwerte. Teilweise sind die Aderpaare stark fremdspannungsbehaftet.

Die gemessenen Werte für die Nebensprechdämpfung erfüllen die Vorgabewerte der DB AG ausnahmslos sowohl in den Vierern als auch für die Nebenvierbeziehungen.

Alle gemessenen Doppeladern wurden auf Unterbrechungen und Vertauschungen geprüft. Dabei wurden keine Fehler festgestellt.

Auf der Grundlage der vorliegenden Daten wurde im nächsten Schritt ein rechnerischer Nachweis der Fernversorgung vorgenommen.

Auf der Grundlage der vorliegenden Widerstandsbeläge sowie der basierend auf dem Kabellängen- und Muffenschemaplan erarbeiteten Kabellängen zwischen Einspeisung und Notrufsäulenstandorten ist die an den jeweiligen Entnahmestellen zur Verfügung stehende Leistung ermittelt worden. Zusätzlich werden für die Berechnungen weitere Eingangsparameter benötigt, die ebenso wie die Berechnungsmethodik analog wie in der vorangegangenen Machbarkeitsstudie zu ANIKA II herangezogen wurden.

Die grundsätzliche Vorgehensweise besteht darin, die auf die Doppeladern aufgelegte elektrische Leistung mit dem Widerstandsbelag, den jeweiligen Kabellängen sowie dem Wirkungsgrad der Spannungswandler zu verrechnen und somit an den Entnahmepunkten die zur Verfügung stehende Leistung zu ermitteln. Als wesentliche Einflussgröße gilt daher die Länge des Kabels sowie der Widerstandsbelag, welcher wiederum vom Aderquerschnitt (0,9; 1,2 oder 1,4 mm) abhängig ist. Die zur Verfügung gestellten Doppeladern besitzen einen Querschnitt von 1,2mm.

Da für die Spannungswandler eine Mindesteingangsspannung benötigt wird, ist dies die begrenzende Größe, bis zu welcher die Eingangsspannung reduziert und im Gegenzug der Einspeisestrom erhöht werden kann.

Aus den erfolgten Berechnungen ist die nachfolgende Tabelle 9 erstellt worden, die für den jeweiligen Autobahnabschnitt und die Anzahl an Doppeladern die jeweils zur Verfügung stehende Leistung zusammenfassend darstellt.

Tabelle 9 - Zusammenfassung der maximalen Leistungswerte an den Entnahmepunkten

| Abschnitt | 6 Doppeladern | 8 Doppeladern |
|----------------|---------------|---------------|
| KH Göggelsbuch | 9,16 W | 12,22 W |
| AM Greding | 7,06 W | 9,42 W |

Es lässt sich zusammenfassend feststellen, dass die als untere Grenze definierte und benötigte Leistung zur Versorgung der Funkmodule von 7 W mit 6 Doppeladern realisiert werden kann.

II.1.12.7 Zusammenfassung

Die Ergebnisse des Meilensteins 3 sind gegenüber dem Fördergeldgeber am 09. April 2019 am GATE-IC präsentiert und dessen Erreichung durch diesen bestätigt worden. Somit konnte das Projekt nach Freigabe der gesperrten Mittel zur Durchführung der vorbereitenden Maßnahmen des Digitalen Testfelds Autobahn fortgesetzt werden.

II.1.13 Arbeitspaket 3.1 – Entwicklung Roadside-ITS-Station (TT)

Auf der Basis der in AP 2.1 erarbeiteten Spezifikationen sind in AP 3.1 die Entwicklungen für die Roadside-ITS-Stations durchgeführt worden. In einem ersten Schritt wurde die Elektronik für den Prototypen entwickelt. Für eine detaillierte Beschreibung wird auf die folgenden Unterarbeitspakete verwiesen.

UAP 3.1.1 Entwicklung Elektronik

Die Entwicklung der Elektronik für die Roadside-ITS-Station wurden innerhalb des geplanten Zeitraums abgeschlossen. Eine modulare Lösung mit einer Hauptplatine und einem Kommunikationsmodul für ITS-G5 wurde realisiert. Die ITS-G5-Platine besteht aus einem VERA-P1-Modul [19] für V2X-Kommunikation und verfügt über zwei Antennenanschlüsse. Durch die Anwendung externer Verstärker können jedoch weitere Antennen angeschlossen werden, um diverse Antennenkonfigurationen zu realisieren. Richtantennen sowie Stabantennen lassen sich an der Elektronik befestigen und anwenden. Die entwickelten elektronischen Komponenten sind in Abbildung 12 dargestellt.

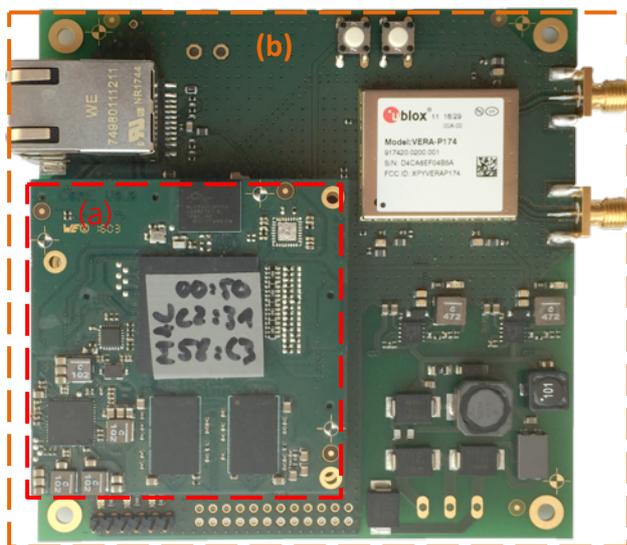


Abbildung 12: Implementierte elektronische Komponenten, bei denen (a) die Basis-Verarbeitungseinheit und (b) das ITS-G5-Kommunikationsmodul ist.

Die Elektronik selbst erfüllt alle Anforderungen – insbesondere die Stromverbrauchsanforderungen –, welche in der Machbarkeitsstudie ANIKA I abgeleitet wurden.

Als Antenne für die Inbetriebnahme im GATE-IC und an der Autobahnstrecke wurden die Stabantenne ECO12-5900-WHT von MobileMark und die Richtantennen

TetraAnt_5_20_19 von Elboxrf, welche in Abbildung 13 dargestellt sind, aufgrund der für den Einsatz geeigneten Antennencharakteristik ausgewählt. Die Entscheidung für die konkreten Hersteller erfolgte aufgrund des Preises und der Verfügbarkeit. Antennen anderer Hersteller mit ähnlicher Charakteristik können alternativ verwendet werden. Für den Einsatz im Gate-IC wurde aufgrund der kompakten räumlichen Abmessungen des Testfeldes ein Rundantennenkonfiguration gewählt. Für den Einsatz auf der Autobahn wurde eine Konfiguration mit 2 Richtantennen verwendet um eine maximale Reichweite zu ermöglichen.



a) Stabantenne ECO12-5900-WHT



b) Richtantenne TetraAnt 5 20 19

Abbildung 13: Ausgewählte Antennen für die Anwendung mit der im Projekt entwickelten Elektronik.

UAP 3.1.2 Entwicklung Mechanik

Für die im UAP3.1.1 entwickelte Elektronik ist ein passendes, Edelstahlgehäuse entwickelt worden, welches für den Langzeitbetrieb (Testphase) verwendet wird. Die metallische Box kann nur mit passenden Werkzeugen geöffnet werden, um das Risiko von Hardware-Manipulationen zu verringern. Die entwickelte Lösung ist in Abbildung 14 und in Abbildung 15 dargestellt. Diese erfüllt alle in der Konzeptionsphase abgeleiteten Spezifikationen von Robustheit und Kompaktheit für die Erweiterung der bestehenden Notrufsäulenstandorte.

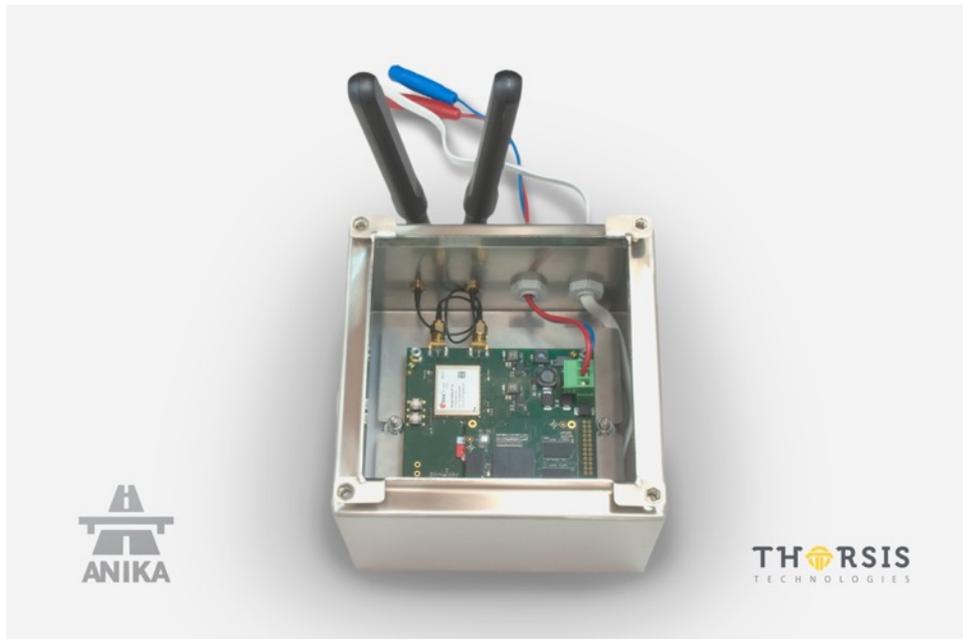


Abbildung 14: Innenleben des ANIKA-Moduls mit der im Projekt entwickelten Elektronik.



Abbildung 15: Mechanische Lösung für das ANIKA-Modul.

Um den Test und die Inbetriebnahme der elektronischen Komponenten zu ermöglichen, war jedoch auch eine Lösung für die Vehicle-ITS-Station nötig. Da in diesem Fall die Anforderungen weniger restriktiv sind, wurde eine einfache Box aus Kunststoff für die Fahrzeuge vorbereitet (siehe Abbildung 16). Es ist dennoch zu beachten, dass das Hauptziel des ANIKA-II-Projekts nicht in der Entwicklung einer Vehicle-ITS-Station liegt und, dass diese prototypische Lösung nur für die Testung und Inbetriebnahme verwendet wird.



Abbildung 16: Provisorische Lösung der Vehicle-ITS-Station für den initialen Test der elektronischen Komponenten am GATE-IC.

UAP 3.1.3 Entwicklung Software

Im Projektzeitraum wurde eine passende Software (Firmware) für das ANIKA-Gerät vorbereitet. Die Firmware realisiert alle Funktionen für die Betätigung der Hardware-Komponenten sowie der Treiber für die Kommunikationsschnittstellen. Ein wesentlicher Teil der Software ist die Implementierung des ITS-G5-Protokoll-Stacks, wie in Abbildung 17 dargestellt.

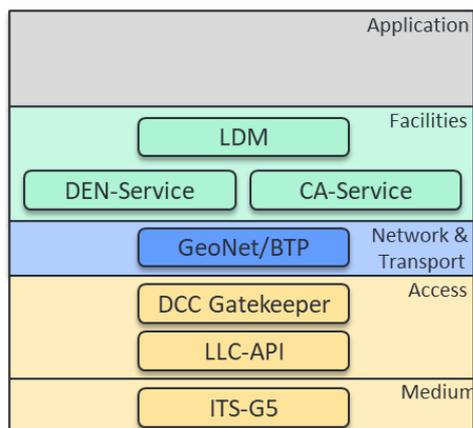


Abbildung 17: Struktur des implementierten ITS-G5-Protokoll-Stacks für das ANIKA-Modul.

Es ist zu beachten, dass nicht alle Protokolle des ITS-G5-Standards implementiert worden sind, sondern nur die Software-Komponenten, die für die Realisierung einer funktionsfähigen, prototypischen Roadside-ITS-Station innerhalb des ANIKA II-Projekts relevant sind. Diese wurden dennoch konform den verfügbaren, spezifizierten ETSI-Normen realisiert. Eine Erweiterung des Protokoll-Stacks mit weiteren neuen Funktionen ist jederzeit möglich, dennoch außerhalb des Projektrahmens.

Die spezifische Applikationsanbindung, welche im Projekt implementiert worden ist, ist in Abbildung 18 dargestellt. Die ausgetauschten Nachrichten werden in ASN1 definiert und in XML kodiert. Das implementierte DENM-Interface ermöglicht das Triggern von drei diversen Typen von Requests: New, zur Generierung neuer DENM; Update, zur Aktualisierung bestehender Daten; Terminate, um eine DENM-Nachricht für ungültig zu erklären. Reply-Nachrichten können andererseits entweder einen Error-Code oder den ActionID der entsprechend angeforderten DENM enthalten, wenn die Anforderung erfolgreich ist.

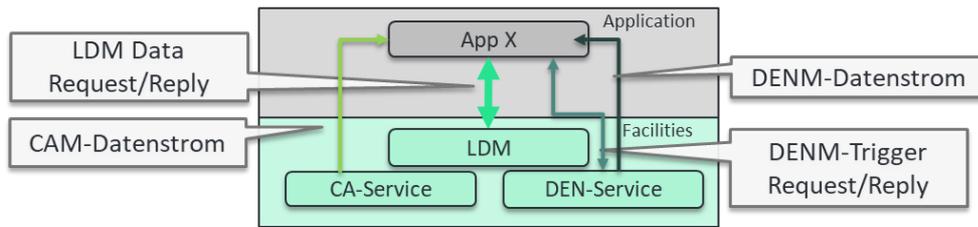


Abbildung 18: Applikation-Layer Anbindung für den implementierten Software-Stack.

Um die Sende-Rate dynamisch anzupassen und entsprechend zu beschränken, sodass Paketverluste minimiert werden, wurde ein Gate-Keeper für das Protokoll-Stack implementiert. Der Gate-Keeper ist formal in Abbildung 19 durch einen Zustandsautomaten mit drei Zuständen beschrieben. In Anhängigkeit von Channel Busy Ratio (CBR) werden die Nachrichten passenden Prioritätsschlangen zugeordnet, welche vom DCC-Profil anhängig sind. Damit wird der Übertragungskanal bei hohem Paketverkehr dynamisch entlastet und verschiedene Sender bzw. Teilnehmer können sich die Kommunikation fair teilen. Überflüssige Nachrichten, die aus dem Applikation-Layer kommen, werden deshalb automatisch vom Gate-Keeper aussortiert. Außerdem wird die Sendeleistung für weitere Kanalentlastungen, wie in Tabelle 10 (für DEN-Services) und in Tabelle 11 (für CA-Services), entsprechend dynamisch angepasst.

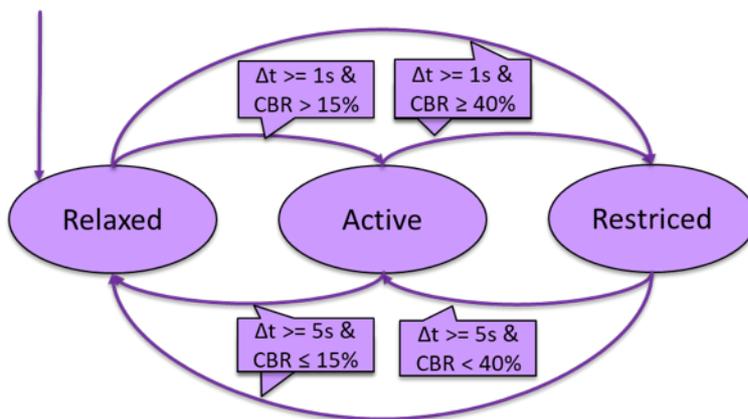


Abbildung 19: Formale Beschreibung vom Gatekeeper zur Begrenzung der Sende-Rate.

Tabelle 10: Anpassung der Sendeleistung vom Gate-Keeper für DEN-Services

| DCC-Profile | Repetition Interval [Hz] | | | Tx-Power [dBm] | | |
|-------------|--------------------------|--------|-------------|----------------|--------|-------------|
| | Relaxed | Active | Restrictive | Relaxed | Active | Restrictive |
| DP0 | 10 | 10 | 10 | 23 | 23 | 23 |
| DP1 | 10 | 5 | 4 | 23 | 20 | 17 |
| DP2 | 10 | 5 | 4 | 20 | 17 | 14 |
| DP3 | 4 | 2 | 1 | 20 | 17 | 14 |
| DP4 | 2 | / | / | 17 | / | / |

Tabelle 11: Anpassung der Sendeleistung vom Gate-Keeper für CA-Services

| DCC-Profile | Repetition Interval [Hz] | | | Tx-Power [dBm] | | |
|-------------|--------------------------|--------|-------------|----------------|--------|-------------|
| | Relaxed | Active | Restrictive | Relaxed | Active | Restrictive |
| DP2 | 1 | 1 | 1 | 23 | 20 | 10 |

II.1.14 Arbeitspaket 3.2 – Entwicklung Applikation Roadside ITS Station (TT)

Zur Realisierung ausgewählter Use-Cases wurde in diesem AP eine Applikation auf der Roadside-ITS-Station-Seite implementiert. Damit kann die Sendung und der Empfang von CAM und DENM Nachrichten emuliert werden. Mittels eines externen Rechners kann der Status der Roadside-ITS-Station jederzeit durch eine webbasierte graphische Oberfläche kontrolliert werden, d.h. die Anzahl empfangener oder gesendeter Nachrichten, ihr Inhalt, Ursprung, Priorität, usw. Dazu wurden für den Testzweck Funktionen zur Simulation bzw. zum manuellen Triggern von spezifischen DENM-Nachrichten in der Applikation implementiert. Alle Funktionen, die für die Realisierung der ausgewählten Use-Cases für die Testung am GATE-IC sowie an der Autobahn relevant sind, wurden in der Applikation der Roadside-ITS-Station realisiert. Geoinformationen bzgl. der Roadside-ITS-Station werden bei der Geräteinstallation integriert. Außerdem sind Funktionen für die Datenübertragung der Roadside-ITS-Station zur VMZ realisiert worden.

II.1.15 Arbeitspaket 3.3 – Entwicklung Applikation Vehicle ITS Station (TT)

Für die Inbetriebnahme und den Test der im Projekt entwickelten Roadside-ITS-Station wurde in diesem AP eine prototypische Applikation für die Vehicle-ITS-Station als mobile App realisiert. Die implementierten Funktionen ermöglichen die einfache Emulation der Sende- und Empfangsfunktionalität von ITS-G5-Nachrichten (CAM und DENM) am Fahrzeug für die ausgewählten Use-Cases. Die allgemeine graphische Oberfläche der Applikation ist in Abbildung 20 dargestellt. Abbildung 21 zeigt eine Beispielmeldung von Glätte und entsprechender Staugefahr.

Die entwickelte Applikation stellt eine intuitive graphische Oberfläche zur Verfügung, mit welcher Informationen, die von der Roadside-ITS-Station gesendet werden, direkt im Fahrzeug visualisiert werden. Es wurden jedoch nur die Funktionen für die ausgewählten, im Projekt relevanten Use-Cases implementiert.

Die Applikation wurde mit Funktionen zur Realisierung der Autobahn-Szenarien vervollständigt. Außerdem wurden Funktionen für die Erfassung von Informationen bzgl. des Datenverkehrs bzw. ITS-G5-Events integriert. Die Software wurde auch mit geospezifischen Funktionen, welche für den Test im Digitalen Testfeld Autobahn relevant sein sind, erweitert. Damit kann beispielsweise die Position und die Geschwindigkeit des Fahrzeugs in der Applikation visualisiert werden.

Es ist dennoch zu beachten, dass eine vollständige Entwicklung einer Applikation auf der Fahrzeugseite nicht innerhalb des Projekts geplant war. Die Applikation diente Test- und Demonstrationszwecken für die Tests im GATE-IC und dem Digitalen Testfeld Autobahn.



Eingehende Darstellung

Abbildung 20: Graphische Oberfläche für die Applikation an der Vehicle-ITS-Station.

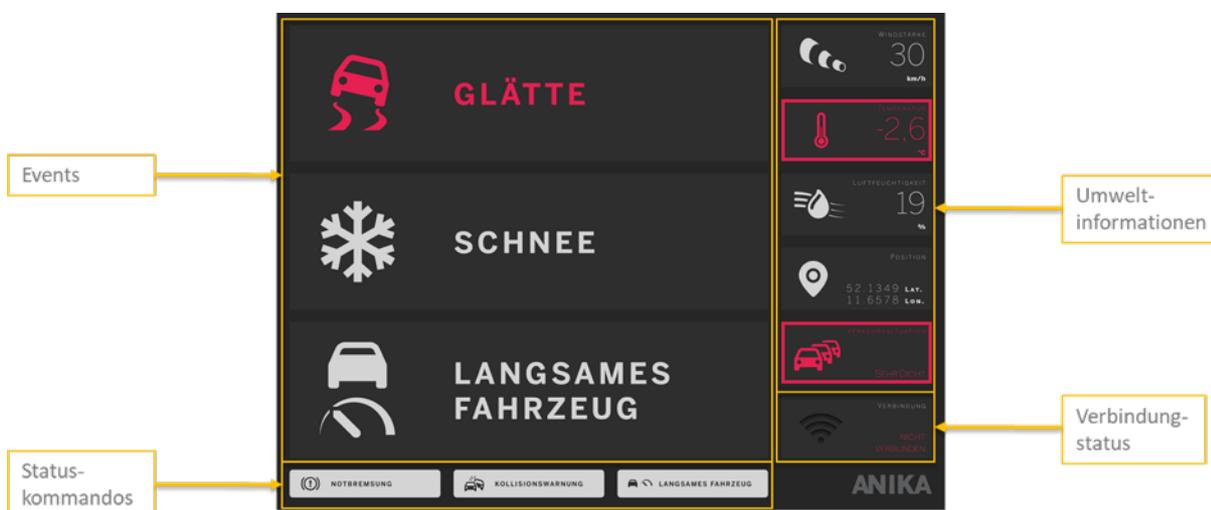


Abbildung 21: Beispiel einer Meldung von Glätte und möglichem Staugefahr bei der Vehicle-ITS-Station.

II.1.16 Arbeitspaket 3.4 – Entwicklung Anbindung an VMZ (TT)

Um die vollständige Kommunikationskette von Vehicle-ITS-Station bis zur VMZ (in Abbildung 22 Central-ITS-Station genannt) – und umgekehrt – zu realisieren, muss eine passende Anbindung zwischen den Roadside-ITS-Stationen und der VMZ implementiert werden. In diesem AP wurde auf Basis des DATEX II Standards eine passende Schnittstelle zwischen diesen zwei Komponenten entwickelt.

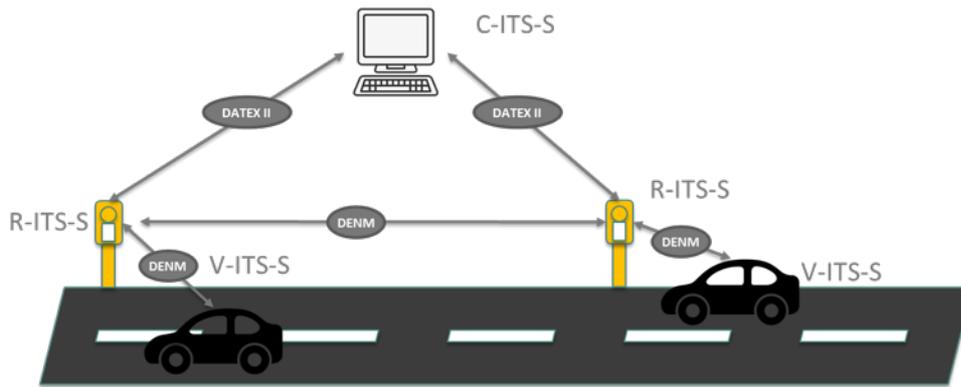


Abbildung 22: Typische ITS-G5-Infrastruktur mit Vehicle-ITS-Stationen (V-ITS-S), Roadside-ITS-Stationen (R-ITS-S) und Central-ITS-Station (C-ITS-S).

Für den Test und die Inbetriebnahme der Roadside-ITS-Stationen ist eine virtuelle VMZ mittels eines Webservers entwickelt worden. Der Zugriff auf den Server wird durch eine im Projekt entwickelte Weboberfläche ermöglicht. Damit lassen sich bestimmte Ereignisse triggern sowie Informationen über empfangene und/oder gesendete DENM-Nachrichten visualisieren bzw. anfordern. Die graphische Oberfläche der implementierten Applikation für die VMZ ist in Abbildung 23 dargestellt.

Einer der Schwerpunkte in der Bearbeitung dieses Arbeitspaketes war die Vervollständigung der DATEX II-Schnittstellen zwischen der Roadside-ITS-Station und der virtuellen Verkehrsmanagementzentrale. Auch in diesem Fall wurde die Entwicklung auf die im Projekt relevanten Use-Cases beschränkt und mit den fehlenden Komponenten für die Inbetriebnahme im Digitalen Testfeld Autobahn erweitert.

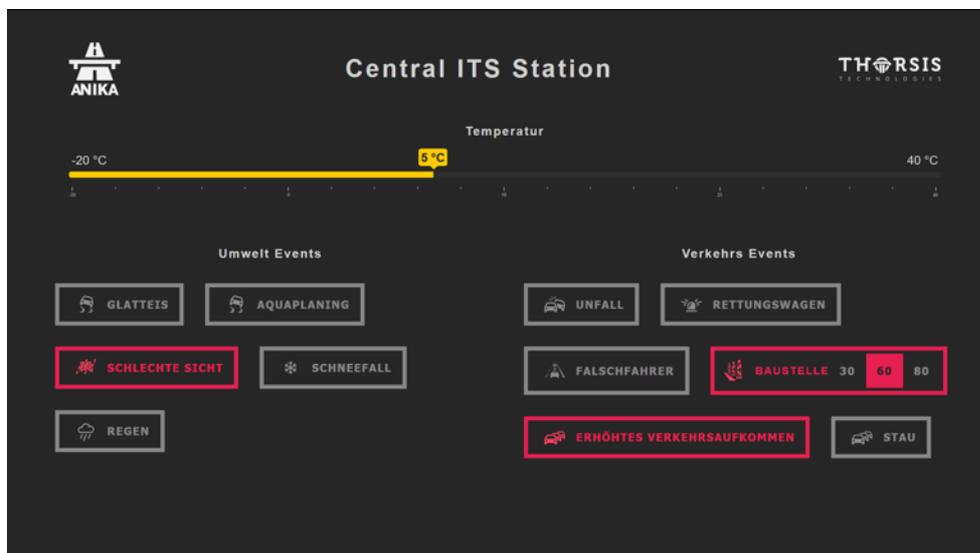


Abbildung 23: Implementierte Applikation für die Central-ITS-Station (VMZ) für Test und Inbetriebnahme.

II.1.17 Arbeitspaket 3.5 – Implementierung Virtuelles Infrastrukturmodell (IFF)

Thorsis Technologies

In diesem Arbeitspaket wurde das virtuelle Infrastrukturmodell implementiert. Thorsis hat sich insbesondere mit der Implementierung der Funktionen für die Anbindung der

Simulationssoftware für das Funkmodell (von Thorsis entwickelt) an die Software zur Verkehrssimulation VSimRTI von IFF beschäftigt.

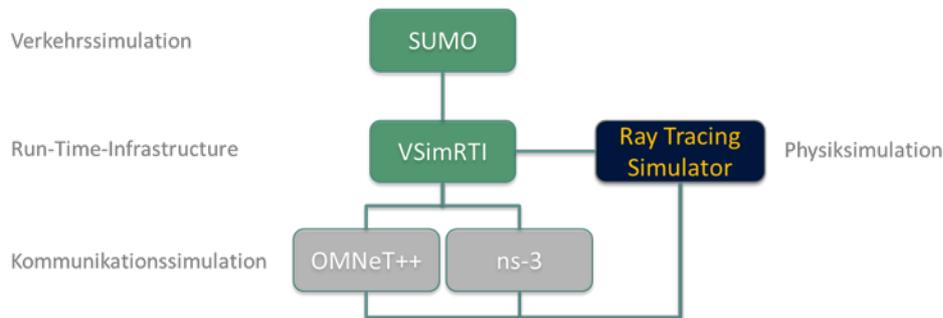


Abbildung 24: Dataflow zwischen den unterschiedlichen Simulationskomponenten.

Das implementierte Interface ermöglicht den bidirektionalen Datenaustausch zwischen den Softwarekomponenten. Der Programmablauf erfolgt in drei Schritten:

- VSimRTI sendet die Position aller ITS-Stationen an OMNeT++/ns-3.
- OMNeT++ und ns-3 ermitteln, welche ITS-Station senden darf (CSMA/CA).
- Ray-Tracing-Simulator berechnet die entsprechende Sendeleistung und -dauer und meldet die Informationen zurück.

Insbesondere liefert der Ray-Tracing-Simulator Informationen bzgl. individueller Leistungspegel aller ITS-Stationen, welche die minimale Empfangsleistung überschreiten und deshalb in der Lage sind, ITS-G5-Pakete zu empfangen.

Die tatsächliche Einbindung erfolgt durch ein so genanntes „Ambassador-Konzept“, bei welchem nur spezifiziert wird, wie das Interface im Sinn von ausgetauschten Daten und Datenformaten aussieht.

Nach Auswertung erster Testläufe wurde die Anbindung zwischen dem Physiks simulator (Ray Tracing Simulator in Abbildung 24) und dem entsprechenden VSimRTI-Modul angepasst, um die Simulationsgeschwindigkeit sowie auch die Berechnungszeit zu verbessern. Mit der neuen Version tauscht der Physiks simulator nicht nur direkt Informationen mit den Kommunikationssimulatoren aus, sondern auch mit der Run-Time-Infrastruktur, damit Informationen wie Fahrzeugposition, Fahrzeuggeschwindigkeit, usw. am Physiks simulator sofort verfügbar sind.

Der Physiks simulator wurde kontinuierlich um weitere Funktionen erweitert, welche z.B. die Simulation von Bäumen, Brücken und weiteren Umgebungselementen ermöglicht. Die Ergebnisse der Simulation wurden ausführlich mit den Messungen an der Teststrecke GATE-IC verglichen: Sie zeigen, dass die Genauigkeit der Simulation qualitativ gut und quantitativ vergleichbar mit der gemessenen Empfang- und Sendeleistungen ist. Sie ist daher ideal geeignet, um eine Simulation der noch durchzuführenden Tests im Digitalen Testfeld Autobahn durchzuführen oder für die Bewertung der Eignung von Autobahnabschnitten eingesetzt zu werden.

Fraunhofer IFF

Zur Implementierung der Simulationsszenarien in der Simulationssoftware VSimRTI sind im AP 2.6.1 zwei Workshops (16.07.2018 und 19.09.2018) mit dem Fraunhofer FOKUS, welches diese Simulationssoftware entwickelt hat, durchgeführt worden. In diesem Arbeitspaket ist der Testabschnitt zwischen den Anschlussstellen Allersberg und Altmühltal/ Eichstätt aus einer OSM-Karte in VSimRTI importiert worden (Abbildung 25) und die Verkehrsdynamik funktioniert auf diesem Abschnitt.

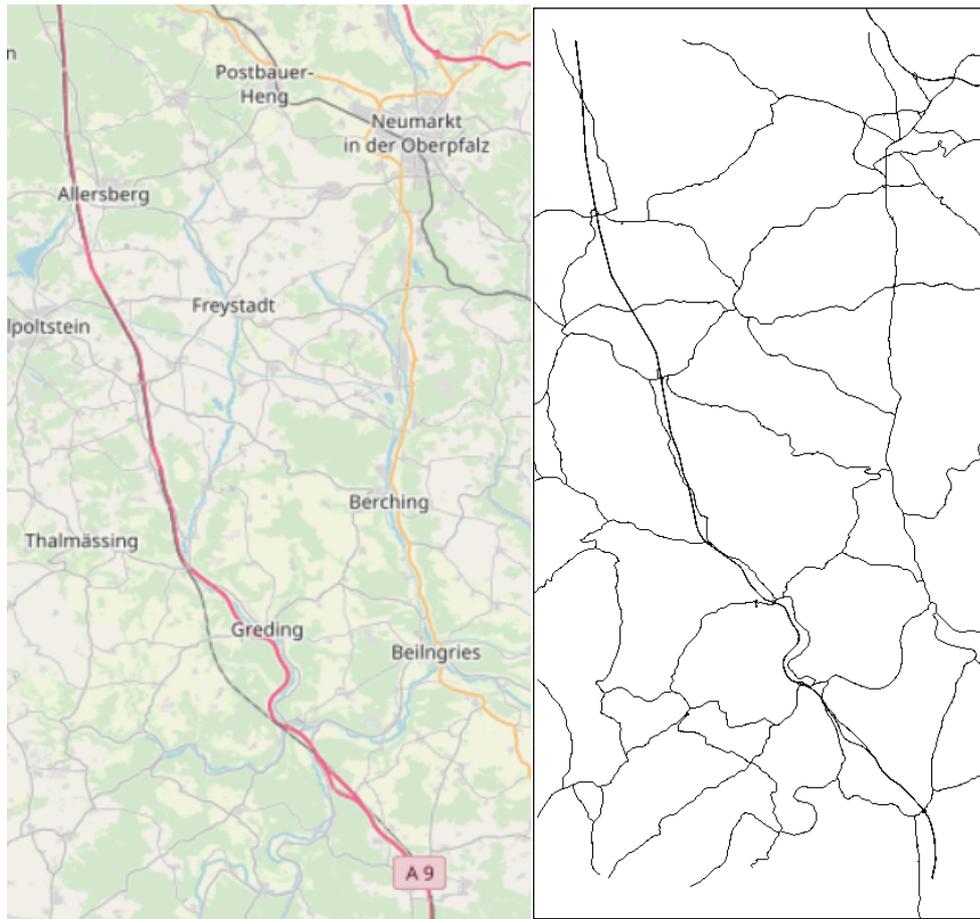


Abbildung 25: Originale Open-Streetmap (OSM)-Karte des Autobahnabschnitts (links) und das in SUMO (rechts).

Als Fahrzeugfolgmodell wurde das Intelligent Driver Model¹ benutzt, da es das als capacity drop² empirisch belegte Phänomen auf Autobahnen realitätsgetreuer abbildet als das traditionelle Krauss-Modell.

Die abgebildeten Verkehrsdichten und -zusammensetzungen basieren auf den stündlichen Zählraten der automatischen Dauerzählstelle an der AS Allersberg auf der A9 aus dem Jahr 2017³.

Ebenso wurden Höhendaten aus den Radardaten der Shuttle Radar Topography Mission importiert. Aufgrund der recht groben Auflösung dieser Daten (eine Höheninformation pro Kachel zu 30 m x 30 m) können Höhensprünge entstehen, die in der Realität nicht vorkommen. Hierzu ist ein Verfahren zur Glättung der Anstiege angewendet worden.

Die Funkmodule (Road Side Units, RSUs) wurden in das Simulationsmodell eingefügt. Sie wurden an den Stellen platziert, an denen sie auch entlang des Autobahnabschnitts

¹ Siehe: https://sumo.dlr.de/userdoc/Definition_of_Vehicles_Vehicle_Types_and_Routes.html#Car-Following_Models

² Nähere Informationen z.B.hier: http://www.victorknoop.eu/research/papers/2015trb_capdrop.pdf

³ Siehe Webseite: https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-verkehrszaehlung/Aktuell/zaehl_aktuell_node.html?nn=1819516&cms_detail=9539&cms_map=0
[abgerufen am 15.01.2019]

aufgestellt wurden. Hierzu sind die in AP 3.6 bei der Festlegung der Mast-Positionen erfassten GPS-Koordinaten genutzt worden. Die RSUs können Nachrichten (DENMs und CAMs) versenden und es ist ebenfalls die Kopplung mit dem Verkehrsfluss erfolgt und erfolgreich getestet, sodass die Fahrzeuge auf ausgesendete Nachrichten reagieren.

In einem weiteren Schritt wurden die einzelnen Szenarien, die jeweils mehrere Use Cases beinhalten, implementiert. Das Schneepflug-Szenario wurde dabei zuerst vollständig behandelt, d.h. nach der Implementierung wurden Simulationsläufe automatisiert durchgeführt und die Ergebnisse visualisiert. Anschließend wurden alle weiteren Szenarien umgesetzt. Dabei arbeitete das Fraunhofer IFF weiterhin eng mit dem Fraunhofer FOKUS zusammen.

Tabelle 12: Simulationsszenarien mit den jeweils abgebildeten Use Cases.

| Use Case | Szenario | | | | |
|----------------------------|-------------|--------|-----------------|---------------|----------|
| | Schneepflug | Unfall | Straßenarbeiten | Geisterfahrer | Unwetter |
| Langsames Fahrzeug | + | + | | + | + |
| Erhöhtes Verkehrsaufkommen | + | | | | + |
| Schneefall | + | | | | |
| Glatteis | + | + | | | |
| Außentemperatur | + | + | + | | |
| Unfall | | + | | | |
| Rettungswagen | | + | | | |
| Straßenarbeiten | | | + | | |
| Stau | | | + | + | |
| Falschfahrer | | | | + | |
| Notbremsung | | | | + | |
| Kollisionsgefahr | | | | + | |
| Niederschlag | | | | | + |
| Aquaplaning | | | | | + |
| Schlechte Sicht | | | | | + |

Für die Propagation der Funkwellen ist in einem ersten Schritt der in OMNeT++ implementierte Algorithmus für das Ray-Tracing benutzt worden. Dieser wurde durch den von Thorsis entwickelten Algorithmus für das Ray-Tracing ersetzt und an VSimRTI angebunden. Damit wird eine Ausbreitung der Radiowellen sowohl zwischen RSU und Fahrzeug (V2I-Kommunikation) als auch zwischen Fahrzeugen (V2V-Kommunikation, Multi-Hopping) ermöglicht, welche mehrere physikalische Effekte berücksichtigt.

II.1.18 Arbeitspaket 3.6 – Vorbereitung Testfeld Autobahn (IFF)

Zur Vorbereitung des Digitalen Testfelds Autobahn wurde in einer ersten Teilaufgabe im November 2018 mit der Erstellung eines detaillierten Verkabelungsplans sowie der Erstellung eines Leistungsverzeichnisses für die in diesem Arbeitspaket durchzuführenden Arbeiten zur Vorbereitung der Infrastruktur mittels Verkabelung und daten- sowie energietechnischen Versorgung der Standorte der Roadside-ITS-Stationen begonnen.

Mit Abschluss des Arbeitspaketes 2.8 wurde die Analyse des Digitalen Testfelds Autobahn abgeschlossen, der Meilenstein 3 erreicht und mit der Präsentation der Projektergebnisse am 09. April 2019 in Magdeburg die Erreichung des Meilensteins bestätigt. In Folge sind die Arbeiten im Arbeitspaket 3.6 weiter fortgesetzt worden.

Insbesondere sind die zur Vorbereitung des Testfelds erforderlichen Baumaßnahmen weiter abgestimmt worden. Mit Erreichen des Meilensteins 3 sind die hierfür erforderlichen und gemäß Förderbescheid bis zur Erreichung dieses Meilensteins gesperrten Mittel umgehend zur Freigabe beantragt worden. Mit Vorliegen des Bewilligungsbescheids am 12. Juni 2019 ist der Vergabeprozess für die Bauleistungen in Form einer Ausschreibung abgestimmt und initiiert worden.

Die erste durchgeführte Ausschreibung, welche die Leistungen für den Tiefbau bestehend aus der kabeltechnischen Anbindung von den jeweiligen 14 Abzweigen (über eine Abzweigmuffe) und dem Bau eines Kabelverzweigerschranks sowie eines Antennenmasts an jedem der 14 Standorte in der Nähe von Notrufsäulen im Autobahnabschnitt zwischen Greding und Göggelsbuch an der Autobahn A9 im Digitalen Testfeld A9 beinhaltet, ist nach Veröffentlichung vom 02.08.2019 bis zum 23.08.2019 erfolgreich abgeschlossen worden. Es wurden durch zwei Unternehmen (Axians GA Netztechnik GmbH sowie vitronet Projekte GmbH) Angebote eingereicht. Die anschließende Prüfung und Bewertung der Angebote hat ergeben, dass der Bieter Axians GA Netztechnik GmbH am 07.10.2019 den Zuschlag erhalten hat. Der Auftragnehmer hat anschließend die Bestellung der erforderlichen Materialien vorgenommen.

Nach erfolgtem Kick-Off der Unterbeauftragung am 07.11.2019 in der Autobahndirektion Nordbayern (Teilnehmer: ABDNB, SSP Consult, Axians GA Netztechnik GmbH sowie Fraunhofer IFF) und Abstimmung des Zeitplans ist die weitere Vorbereitung und Initiierung der Ausschreibung der Komponenten für die Installation der Stromversorgung und datentechnischen Anbindung vorbereitet worden. Auf dieser Grundlage ist die Veröffentlichung der Ausschreibung und Vergabe der Leistungen zur Installation der Stromversorgung und Kommunikation vorangetrieben worden. Hierzu ist am 20.01.2020 durch die Fraunhofer Gesellschaft eine entsprechende weitere Ausschreibung veröffentlicht worden. Die Frist zur Angebotsabgabe wurde zunächst auf den 06.02.2020 23:59 gesetzt und aufgrund zu beantwortender Bieterfragen auf den 19.02.2020 verlängert worden. Nach Auswertung und Vorliegen eines Angebots wurde Telent beauftragt.

Im Weiteren ist gemeinsam durch Axians und Fraunhofer IFF eine Ortsbegehung am 04.02.2020 entlang der Teststrecke zur Festlegung der Standorte von Masten und Kabelverzweigerschränken erfolgt. Anschließend konnten am 19.02.2020 die Kabelverzweigerschränke und Masten basierend auf den getroffenen Vorgaben durch Axians gesetzt werden.

Die Arbeiten der Telent haben mit der Abstimmung bezüglich der Übergabe im Schaltschrank zwischen der Technik seitens Axians, Telent und Thorsis vom Kabel über den KVz und den Mast bis zur Road-Side-Unit am Mast begonnen. Hier wurde vereinbart, dass die zu installierende Technik ebenfalls im Labor zu Testzwecken einmal komplett aufgebaut und angeschlossen wird. Der Laboraufbau ist bei Telent erfolgt, wo die Road Side Units von Thorsis angeschlossen an die Stromversorgung und DSL-Modems der Telent erfolgreich getestet wurden (siehe Abbildung 26 und Abbildung 27). Eine Versorgung mit ausreichend elektrischer Leistung (mindestens 5,5 W) sowie eine Kommunikation konnte erfolgreich hergestellt und nachgewiesen werden.



Abbildung 26: Laboraufbau Stromversorgung bei Telent

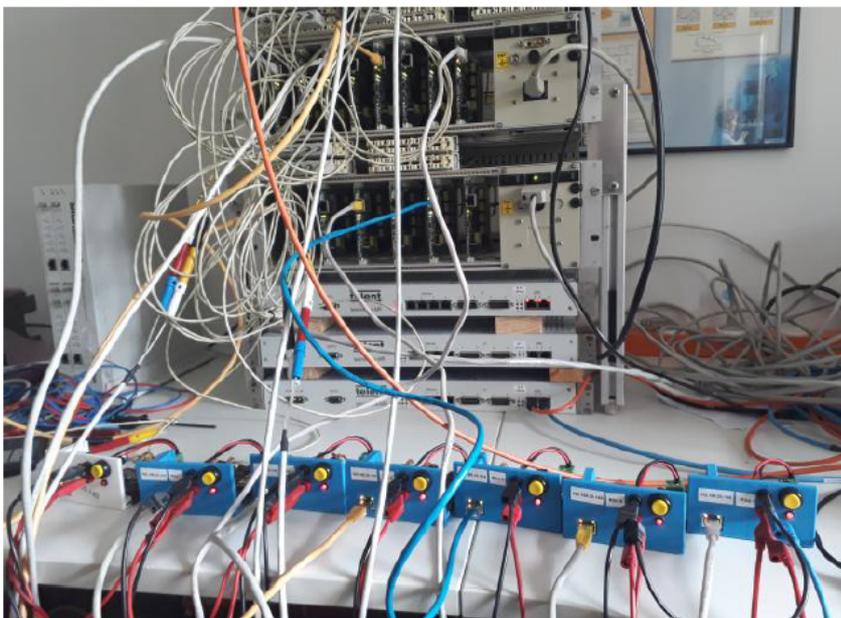


Abbildung 27: Laboraufbau inkl. Roadside-ITS-Units bei Telent

Am 27.04.2020 konnten die Tiefbauarbeiten zur Einrichtung (Teilleistung) sowie Vorliegen eines Messprotokolls über die Eignung des Kabels abgeschlossen und abgerechnet werden. Auszug aus dem Messprotokoll:

Bei der Ader 60 b liegt ein Erdschluss vor. Dieser wurde bereits bei der Kontrollmessung am 04.03.2019 festgestellt. Eine Fehlermessung nach Murray (von beiden Seiten) sowie eine Eingrenzung mittels TDR-Messung von den benachbarten ANIKA-Stichen führte als Fehlerort zur Spulenmuffe P9 (km 412,850).

Alle gemessenen Doppeladern wurden auf Unterbrechungen und Vertauschungen geprüft. Dabei wurden keine Fehler festgestellt.

Die aktuell gemessenen Werte entsprechen in ihrer Größenordnung den gemessenen Werten aus der Kontrollmessung vom 04.03.2019.

Die Messprotokolle sind für eine weitere Prüfung an Telent weitergeleitet worden. Die Prüfung hat keine weiteren zu klärenden oder zu beseitigenden Probleme ergeben.

Anschließend ist in Kalenderwoche 20 die Installation der Technik seitens Telent jeweils im Kabelhaus Göggelsbuch und in der Autobahnmeisterei Greding sowie in den 14 Kabelverzweigerschränken (Netzteile und DSL-Modems) entlang der gesamten Teststrecke erfolgt. Nach Abschluss der Arbeiten ist durch Telent ein erfolgreicher Leitungstest bestehend aus Übertragung der erforderlichen elektrischen Leistung sowie der Datenkommunikation erfolgt.

In der weiteren Vorbereitung ist über die Autobahnmeisterei Greding die Notwendigkeit des Austauschs eines Masts an einem Standort ohne Schutzplanke gemeldet worden, da der Mast an dieser Stelle nicht der vorgegebenen Spezifikation bezüglich des Durchmessers von maximal 76mm entsprach. In Abstimmung zwischen Autobahnmeisterei und Axians als ausführendem Unternehmen wurde der Tausch eines durch die Autobahnmeisterei zur Verfügung gestellten Masts in der KW 23 vereinbart und durchgeführt. Es wurde weiterhin festgestellt, dass die Masten an den anderen Standorten ebenfalls nicht der Vorgabe des maximalen Durchmessers von 76mm entsprachen. Der Sachverhalt der falsch gelieferten Masten ist erst nach Aufbau und Montage festgestellt worden und das ausführende Unternehmen Axians wurde unverzüglich zur Klärung des Sachverhalts aufgefordert. Eine Neulieferung von Ersatzmasten, die der Vorgabe entsprechen würden, war innerhalb der Projektlaufzeit nicht mehr möglich (Lieferzeit mindestens 3 Monate). Nach Rücksprache mit der zuständigen Autobahndirektion Nordbayern war eine Umrüstung jedoch nicht mehr erforderlich, da die Masten hinter einer Schutzeinrichtung (Leitplanke) aufgebaut waren.

Am 08.06 sowie 09.06. sind von Thorsis gemeinsam mit Axians die Road Side Units und Antennen an den Masten angebracht und über ein Kabel, welches durch den Mast in den Kabelverzweigerschrank gelegt wurde, an die Stromversorgung und das DSL-Modem angeschlossen worden.

Am 09.06. ist zusätzlich in Begleitung des Fraunhofer IFF die Inbetriebnahme des Systems erfolgreich durchgeführt worden und es konnten erste Tests durch Befahren der Strecke und Senden sowie Empfangen von Daten zwischen den Fahrzeugen, den Road Side Units und der virtuellen Verkehrsmanagementzentrale durchgeführt werden. Die Ergebnisse der durchgeführten Tests werden in den Arbeitspaketen 4.3 sowie 5.1 näher erläutert.

Zunächst war eine Fertigstellung im April geplant, die aufgrund von Lieferschwierigkeiten der Gehäuse an Telent, erforderlichen Abstimmungsbedarfen zwischen allen Gewerken und der Durchführung eines Labortests bei der Telent und der Corona-bedingten Reisebeschränkungen von Telent ohne Beteiligung des Projektkonsortiums Mitte April durchgeführt wurde, verzögert wurde. In der Besprechung am 25.03. wurde durch das Konsortium bereits angezeigt, dass es aufgrund der zuvor genannten Gründe zu minimalen Verzögerungen in der Installation und Vorbereitung des Digitalen Testfelds Autobahn kommen kann. Als spätester Fertigstellungstermin der Installationsarbeiten, um noch ausreichend Testkapazitäten innerhalb des Projekts haben zu können, ist Ende Juni festgelegt worden. Mit der ersten Inbetriebnahme am 09.06.2020 konnte dieser Termin bereits früher erreicht werden und die Tests konnten mit ausreichend Restlaufzeit beginnen.

Nach der ersten Inbetriebnahme sowie der Durchführung erster Tests sind Ausfälle des Systems aufgetreten, die jedoch schnell behoben werden konnten, oder Anpassungen zur Optimierung vorgenommen worden:

- Ausfall durch Beschädigung des Kabels durch Mäharbeiten am 21.06.2020 trotz entsprechender Markierung – schnelle Behebung durch Axians am 22.06.2020
- Umkonfiguration der DSL-Verbindung, um zusätzlich die Verfügbarkeit und Erreichbarkeit der DSL-Modems überwachen zu können durch Telent am 08.07.2020
- Ausfall der DSL-Modems am 03.08.2020, was durch einen Neustart der Modems wieder behoben werden konnte. Die Roadside Units und Antennen waren jedoch weiterhin in Betrieb

Zu allen anderen Zeiten hat das System fehlerfrei funktioniert und konnte für Tests genutzt werden. Weiterhin ist das System dauerhaft betrieben worden, sodass – ebenfalls als Bestandteil des Tests – auch ohne aktives Befahren der Strecke – die Verfügbarkeit und Erreichbarkeit des Gesamtsystems evaluiert werden konnte. U.a. sind auch Daten weiterer Verkehrsteilnehmer, deren Fahrzeuge bereits über eine moderne V2X-Kommunikationstechnologie verfügen, ebenfalls anonym ausgewertet worden.

Nach Abschluss der Tests, welche bis Ende September durchgeführt wurden, ist der Rückbau der gesamten Anlage erfolgt. Am 25.09.2020 wurde der Rückbau durch die Unternehmen Telent und Axians vom Fraunhofer IFF veranlasst. Die Anlage wurde am 05.10. abgeschaltet. Nach Demontage der Roadside-ITS-Stations durch Thorsis ist durch die Telent der Rückbau aller Komponenten in der KW42/2020 erfolgt. Anschließend sind durch die Axians alle Masten und Kabelverzweigerschränke an den 14 Standorten sowie Abzweige vom Fernmeldekabel zurückgebaut worden. Die Abnahme dieser Leistungen ist durch das Fraunhofer IFF gegenüber Axians und in Begleitung der SSP Consult am 30.10.2020 erfolgt. An diesem Tag ist ebenfalls eine Leitungsmessung erfolgt und das hierbei erstellte Messprotokoll an die Autobahndirektion Nordbayern zur Prüfung zugesandt worden. Die Autobahndirektion Nordbayern hat nach Abschluss aller Arbeiten die Herstellung des Ursprungszustands bestätigt, sodass der Rückbau erfolgreich und umfassend abgeschlossen werden konnte.

II.1.19 Arbeitspaket 4.1 – Komponententest (TT)

In diesem Arbeitspaket wurden unterschiedliche Tests an den einzelnen Hardware- und Software-Komponenten durchgeführt. Alle elektronischen Komponenten wurden erst im Labor einzeln getestet. Aufgrund der Stromversorgungsbeschränkungen an den Standorten wurden zusätzlich Verbrauchstests für die gesamte Elektronik bei maximaler Sendeleistung (Worst-Case-Szenario) durchgeführt. Die Kommunikation zwischen den unterschiedlichen ITS-Stationen wurde ebenfalls in diesem Zeitraum im Labor analysiert, um die Funktionalität des Software-Stacks zu prüfen.

Ebenfalls wurden die im Projekt entwickelten Komponenten unter realen Bedingungen an der Teststrecke GATE-IC getestet. Ergänzend hierzu wurden auch Tests an einer öffentlichen, zweispurigen Straße mit normalem, täglichem Verkehr durchgeführt. Hierbei wurden detaillierte Informationen über die Sende- und Empfangsleistung erfasst, um eine ausführliche Untersuchung des tatsächlichen Stromverbrauchs an der Roadside-ITS-Stationen-Seite, welcher ein kritischer Punkt für die Inbetriebnahme im Digitalen Testfeld Autobahn ist, durchführen zu können.

Die Ergebnisse dieser Tests wurden genutzt, um die bestehenden Komponenten (Hardware und Software) weiter zu verbessern und sie für die Inbetriebnahme im Digitalen Testfeld Autobahn vorzubereiten. Es ist geplant, weitere Tests auch während der Inbetriebnahme im Digitalen Testfeld Autobahn durchzuführen, wie z.B. Testläufe der Anbindung an die virtuelle VMZ.

Zusätzlich zu den bereits durchgeführten Tests an der Teststrecke GATE-IC und ausgewählten öffentlichen Straßen wurde eine Testkampagne in der Motorsport Arena Oschersleben durchgeführt. Aufgrund der Spezifik dieser Erweiterung der Teststrecke

konnten trotz der beschränkten Länge (ca. 1km) verschiedene Szenarien zur Bestimmung der Funkverschattung abgearbeitet werden. Insbesondere die Veränderung der Streckenhöhen und horizontalen Streckenorientierung ermöglichte eine ausführliche Testung der Charakteristik der eingesetzten Antennen in unterschiedlichem Terrain. Vorhandene Schilderbrücken bildeten zusätzliche realitätsnahe Hindernisse für die Funkausbreitung. Durch Einsatz eines Sattelschleppers konnten mobile Verschattungsszenarien generiert werden. Die Ermittlung der Leistungsparameter der Roadside-ITS Stationen stand dabei wiederum im Vordergrund. Das nachfolgende Bild stellt den Leistungsbedarf der R-ITS in Abhängigkeit der gesendeten DENM-Nachrichten pro Sekunde (x-Achse: Anzahl der DENMs in jeder der 5 Prioritätsklassen, z-Achse: Nutzdaten je DENM) dar. Wie ersichtlich, liegt die Leistung konstant unter 4,5 W. Damit besteht ein ausreichender Sicherheitsabstand zu der geforderten maximalen Leistungsaufnahme von 7W je Standort.

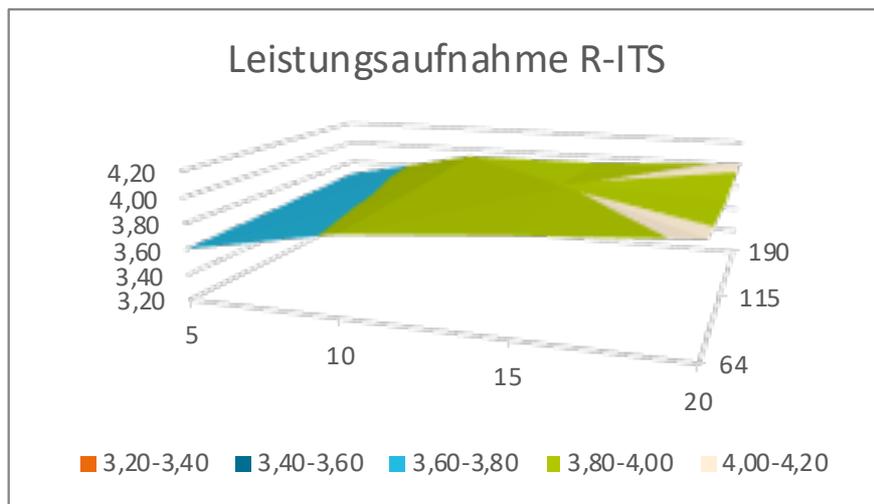


Abbildung 28: Leistungsaufnahme der Elektronik

II.1.20 Arbeitspaket 4.2 – Test auf Teststrecke GATE-IC (TT)

Der Test der entwickelten Komponenten am GATE-IC wurde planmäßig und erfolgreich abgeschlossen. Das Galileo-Testfeld unterstützte die anderen Projektpartner und insbesondere Thorsis bei der Inbetriebnahme des ANIKA-Systems und stellt seine Teststrecke sowie weitere Komponenten der Verkehrsinfrastruktur für den Test unter realen Bedingungen zur Verfügung. Die räumliche Einordnung der Teststrecke ist auf Abbildung 29 dargestellt.

GATE-IC

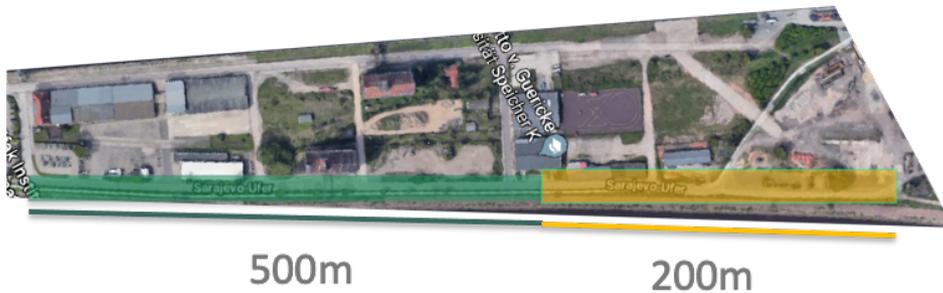


Abbildung 29: Teststrecke am Gate-IC

In Abbildung 30 ist die formale Struktur des ersten, initialen Testaufbaus am GATE-IC vorgestellt. Außerdem zeigt Abbildung 31 ein Beispielsequenzdiagramm für die erfolgten Testläufe.

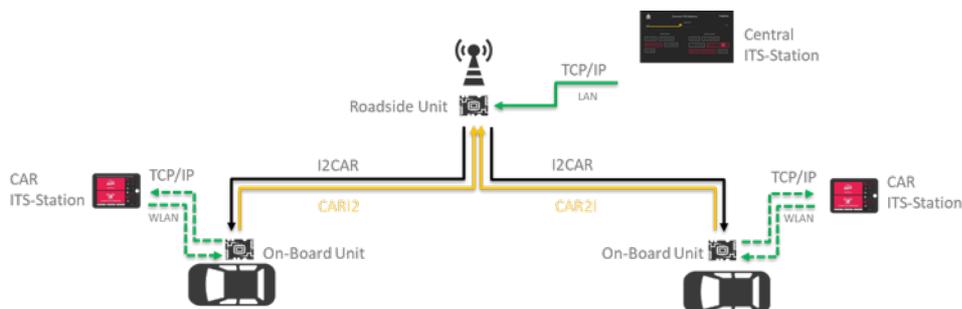


Abbildung 30: Struktur des initialen Testaufbaus am GATE-IC.

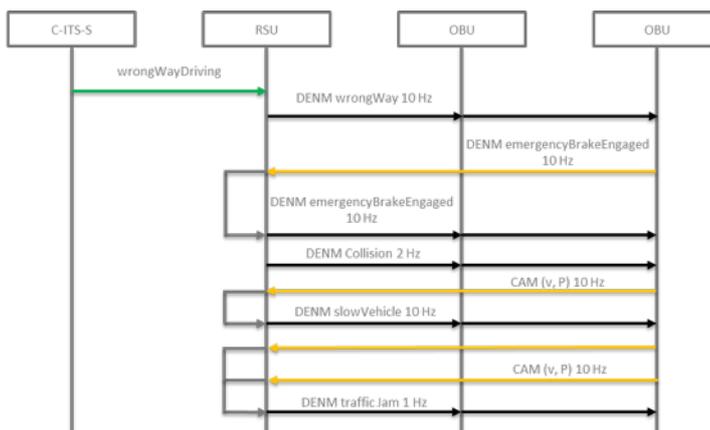


Abbildung 31: Beispielsequenzdiagramm für den initialen Testaufbau am GATE-IC. (Use Case: Falschfahrer)

Diverse Tests zur Auswertung der im Projekt entwickelten Komponenten wurden durchgeführt. Insbesondere wurden folgende Tests durchgeführt:

- Validierungstest zur Überprüfung der maximalen Sendeleistung
- Validierungstest zur Messung der Funkfeldstärke in Abhängigkeit von der Entfernung zur Roadside-ist-Station
- Validierungstest zum Vergleich der gemessenen Werte mit den Simulationenwerten
- Test in Abhängigkeit von der im Leitstand ausgelösten Funktion
- Test von V2V-Kommunikation durch das Triggern von OBU-Kommandos

Ziel der Validierungstests a), b), c) ist hauptsächlich die Überprüfung der Abstimmung zwischen Simulationsergebnissen und gemessenen Werten. Andererseits sollen mit den Funktionstests d) und e) Antworten auf Fragen wie „Wird die richtige CAM bzw. DENM Nachricht empfangen?“, „Triggert die empfangene Nachricht die richtige Funktion?“, „Wird das Kommando korrekt visualisiert?“, usw. ermittelt werden können.

Im Ergebnis der Tests sind einerseits die Energieverbräuche bzw. Leistungsbedarfe der Roadside-ITS-Station ermittelt worden. Andererseits wurde ermittelt, wie weit die Sende- und Empfangsreichweite der über die an Masten installierten Antennen ist. Beispielhaft wird basierend auf den in Abbildung 32 dargestellten 7 Testfällen, bei denen unterschiedliche Dienste aktiviert waren, geprüft, wie sich der in Abbildung 33 dargestellte Leistungsbedarf der Module verändert. Wie in Abbildung 33 zu sehen ist, gibt es eine zwar erkennbare, jedoch minimale Veränderung des maximalen Leistungsbedarfs. Entscheidend jedoch für den Dauerbetrieb ist die durchschnittliche Leistung, die sich nahezu kaum verändert hat und in allen Testfällen unter 3,6W liegt. Weiterhin konnte nach Auswertung der Signalstärke eine theoretische und unter idealen Bedingungen mögliche Reichweite der Funkmodule ermittelt werden. Abbildung 34 zeigt die Signalstärke in Abhängigkeit von der Entfernung zur Antenne der Roadside-ITS-Station. Hier wurden Sendereichweiten von über 1 Kilometer ermittelt.

| Testfall | | Priority | Tx-Power | Repetition | | | | | | | |
|-------------|-----------------|----------|----------|------------|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| DENM Status | Glatteis | 3 | 20 dBm | 10 Hz | on | on | on | on | on | off | on |
| | Aquaplaning | 3 | 20 dBm | 10 Hz | off | on | on | on | on | on | off |
| | Schneeefall | 4 | 20 dBm | 4 Hz | off | on | on | on | on | off | on |
| | Schneepflug | 4 | 20 dBm | 4 Hz | off | off | on | on | on | on | off |
| | Regen | 4 | 20 dBm | 4 Hz | off | off | on | on | on | off | on |
| | Schlechte Sicht | 3 | 20 dBm | 10 Hz | off | off | on | on | on | on | off |
| | Unfall | 1 | 23 dBm | 10 Hz | off | off | off | on | on | off | on |
| | Rettungswagen | 1 | 23 dBm | 10 Hz | off | off | off | on | on | on | off |
| | Falschfahrer | 1 | 23 dBm | 10 Hz | off | off | off | off | on | off | on |
| | Baustelle | 2 | 23 dBm | 10 Hz | off | off | off | off | on | on | off |

Abbildung 32: Testfälle und aktivierte Dienste

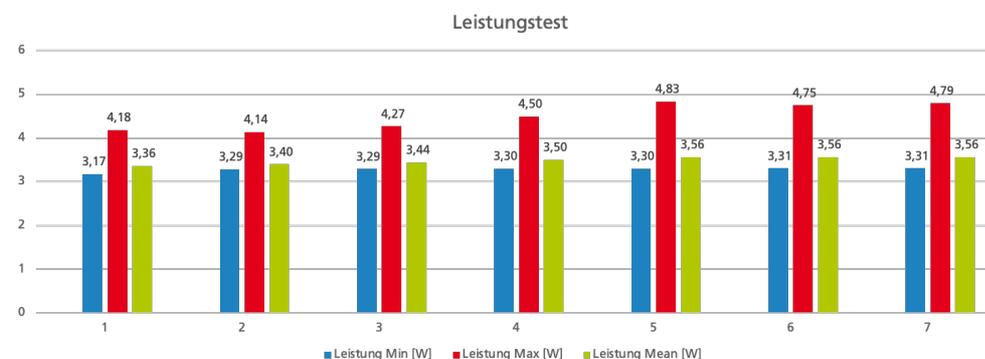


Abbildung 33: Leistungsbedarf der Roadside-ITS-Module in den entsprechenden Testreihen

Thorsis Technologies

Thorsis hat den geplanten Test an der Teststrecke GATE-IC im Rahmen dieses Arbeitspakets vorbereitet und durchgeführt. Die Ergebnisse wurden vorläufig analysiert, um die einzelnen Hard- und Software-Komponenten schon vor der Inbetriebnahme im Digitalen Testfeld Autobahn zu verbessern und optimieren.

Seitens Thorsis wurde besonderer auf die Validierung des Funkwellensimulators (Ray Tracing Simulator) fokussiert. Dieser wurde mit neuen Funktionen erweitert und entsprechend optimiert.

Der Software-Stack für die Hardware wurde weiterentwickelt: Fehler wurden korrigiert; neue Funktionen für die Erfassung und Auswertung wichtiger Metriken wurden integriert.

Insgesamt wurden somit die Tests an der Teststrecke GATE-IC erfolgreich und mit positiven Ergebnissen für die Validierung (siehe Abbildung 34) sowie auch für die Funktionstests abgeschlossen.

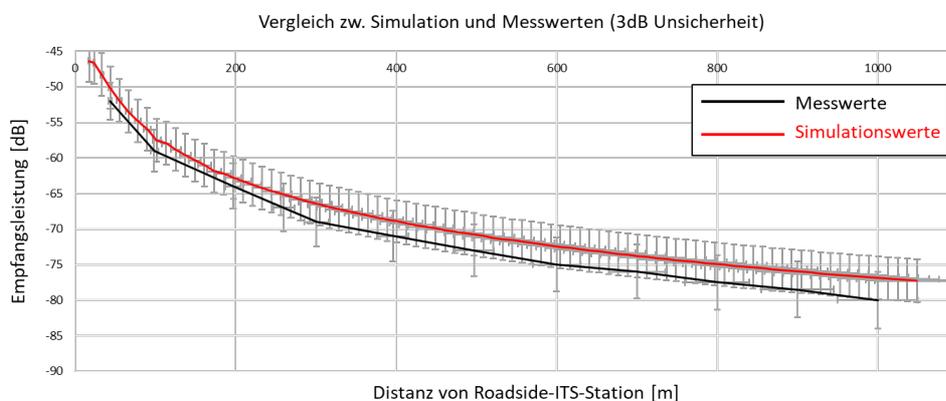


Abbildung 34: Simulationsergebnisse für den Validierungstest c)

GATE-IC

Erste Tests der entwickelten Komponenten unter Realbedingungen erfolgten auf der Teststrecke des GATE-IC. Nicht alle Testszenarien zu den speziellen Anwendungsfällen (Use Cases) konnten auf der Autobahn durchgeführt werden. Einerseits weil bestimmte definierte Rahmenbedingungen (Wetter wie Schneefall oder Verkehrssituationen wie Stau) während der Tests nicht auftraten, oder weil bestimmte Szenarien (Falschfahrer oder langsames Fahrzeug) ein erhebliches Risiko für andere Verkehrsteilnehmer hätten darstellen können. Diese Szenarien wurden auf der Teststrecke des GATE-IC als auch in der Motorsportarena in Oschersleben (bei Magdeburg) eingehend erprobt. Die Motorsportarena bot ideale Rahmenbedingungen für die Testung der verschiedenen Use Cases, welche nie im öffentlichen Straßenverkehr auf der Autobahn A9 hätten getestet werden können und dürfen. Nachdem die Funktionalität der einzelnen Komponenten erfolgreich erprobt wurde konnten die finalen Tests auf dem Testfeld Autobahn erfolgen.

II.1.21 Arbeitspaket 4.3 – Testfeld Autobahn (GATE)

Wie im AP 3.6 beschrieben, verschob sich die Fertigstellung der Vorbereitung des Digitalen Testfelds Autobahn, so dass die Durchführung der Tests erst nach Abschluss der vorbereitenden Maßnahmen (Tiefbau, Kabelverlegung und elektrotechnische Installation) erfolgen konnte. Aus diesem Grund wurde das AP4.3. (ursprünglicher Anfang 01.03.2019) um 11 Monate verschoben. Nach der Abstimmung des überarbeiteten Zeitplans mit BAST, TÜV Rheinland, BMVI, Autobahndirektion Nordbayern wurde der Anfang der Tests im Digitalen Testfeld Autobahn auf Juni 2020 verschoben. Die Arbeitspaketdauer hat sich hierdurch auf 4 Monate reduziert. Aufgrund der

verkürzten Testzeit wurden weniger Testfahrten mit eigenen Fahrzeugen durchgeführt. Dies wurde jedoch durch die Beobachtung und Auswertung der Daten von Fahrzeugen mit OBUs anderer Hersteller bzw. bereits ab Werk ausgestatteter Fahrzeuge mehr als ausgeglichen. So konnten entgegen der ursprünglichen Planungen, nur Tests mit eigenen Fahrzeugen, die mit einer nicht fest installierten Vehicle-ITS-Station ausgerüstet wurden, auch während des gesamten Testzeitraums Datenaufnahmen von bereits mit dieser Technologie ausgestatteten Fahrzeugen und eine Auswertung dieser Daten erfolgen. Somit konnte die Verkürzung des Testzeitraums nicht nur ausgeglichen werden, sondern hat zusätzliche Mehrwerte geschaffen, indem auch eine erfolgreiche Bewertung erfolgen konnte, das die im Projekt ANIKA II entwickelten Roadside-ITS-Stationen nicht nur die Anforderungen an den Energieverbrauch und Kommunikation erfüllen, sondern auch mit Serienfahrzeugen, die über die V2X-Technologie verfügen, funktioniert.

Nach Installation der RSU im Testfeld am 08. Juni und der Inbetriebnahme am 09. Juni 2020 konnten erste Testfahrten erfolgen. Primär wurde bei diesen ersten Testfahrten zunächst die grundsätzliche Funktionsweise des Gesamtsystems getestet. Dies beinhaltete zunächst die grundsätzliche Herstellung einer Kommunikationsverbindung zwischen OBUs in den Fahrzeugen und den an der Strecke installierten RSUs. Weiterhin wurde getestet, ob die Datenübertragung über die DSL-Verbindung zur virtuellen Verkehrsmanagementzentrale (Middleware und Datenbank) erfolgen kann, so dass einerseits Daten von den Fahrzeugen an das zentrale System oder in umgekehrter Richtung vom zentralen System zu den Fahrzeugen übertragen werden können. In weiteren Tests sind dann in Kombination mit den geschaffenen Schnittstellen, über welche Daten übertragen und an ein zentrales System zur Speicherung übermittelt werden, ebenfalls Tests zur Bestimmung der Empfangsqualität erfolgt. Die mit diesen Tests erfassten Daten sind im Arbeitspaket 5.1 ausgewertet worden.

Die Teststrecke umfasste 14 RSUs (siehe Abbildung 35), welche jeweils auf der Ostseite der Strecke verbaut wurden. Neben Langzeittests, welche die Erreichbarkeit und den Dauerbetrieb unter realen Bedingungen untersuchten, wurden Vor-Ort-Tests durchgeführt.

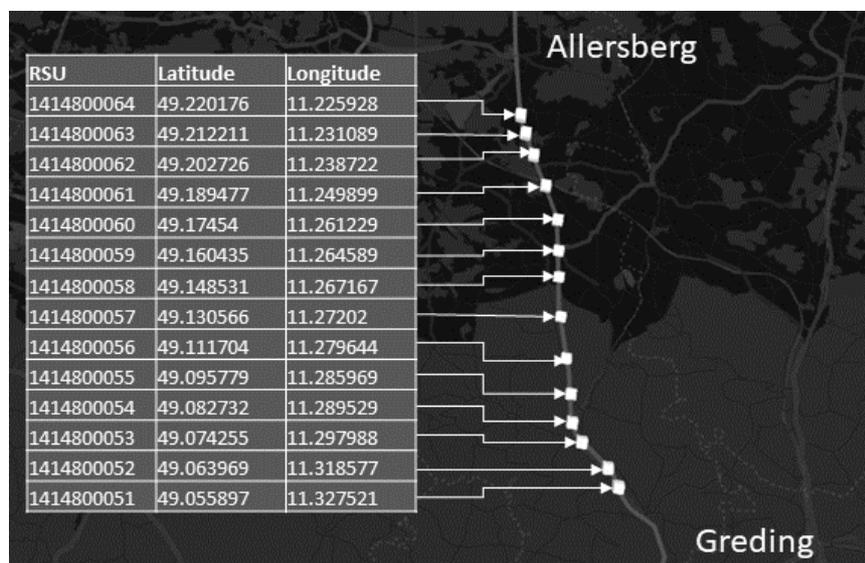


Abbildung 35: RSU Positionen entlang der Teststrecke im Digitalen Testfeld Autobahn

Als Testplattform dienten zwei Fahrzeuge, ein Volkswagen Golf 8 (V-ITS-S1) und ein BMW 3 (V-ITS-S2). Der Golf 8 ist serienmäßig mit einer OBU ausgestattet. Dadurch konnten Signalstärke und Reichweite mit einer Marktreifen OBU erprobt werden. Die OBU im BMW wurde von der Thorsis Technologies entwickelt. Mit dieser quelloffenen Variante war es möglich detailliertere Informationen auf der Fahrzeugseite zu sammeln.

Dazu gehörten die Fahrzeugposition, Signalstärke jedes empfangenen Pakets und die aktuelle Uhrzeit mit einer hohen Genauigkeit.

Nicht alle Testszenarien zu den speziellen Anwendungsfällen (Use Cases) konnten auf der Autobahn durchgeführt werden. Einerseits weil bestimmte definierte Rahmenbedingungen (Wetter wie Schneefall oder Verkehrssituationen wie Stau) während der Tests nicht auftraten, oder weil bestimmte Szenarien (Falschfahrer oder langsames Fahrzeug) ein erhebliches Risiko für andere Verkehrsteilnehmer hätte darstellen können. Diese Szenarien wurden auf der Teststrecke des GATE-IC als auch in der Motorsportarena in Oschersleben (bei Magdeburg) eingehend erprobt. Die Motorsportarena bot ideale Rahmenbedingungen für die Testung der verschiedenen Use Cases, welche nie im öffentlichen Straßenverkehr auf der Autobahn A9 hätten getestet werden können und dürfen.

Ein Beispielszenario (Use Case), welches allerdings im zugewiesenen Testabschnitt im Digitalen Testfeld Autobahn erprobt werden konnte, war das Baustellenszenario. Dieses bot sich an, da während des Testzeitraum auf der Höhe der Ortschaft Allersberg tatsächlich größere Straßenarbeiten durchgeführt wurden. Abbildung 36 zeigt das dazugehörige Sequenzdiagramm mit den gesendeten Datenpaketen.

Eine Testfahrt umfasste die Fahrt beider Fahrzeuge in einem möglichst konstanten Abstand jeweils von Süd nach Nord und zurück von Nord nach Süd. Jede RSU bekam ein anderes Szenario, wodurch verschiedene Szenarien gleichzeitig erprobt werden konnten und es für den Tester schnell ersichtlich war, dass man sich in Reichweite anderer RSU befand.

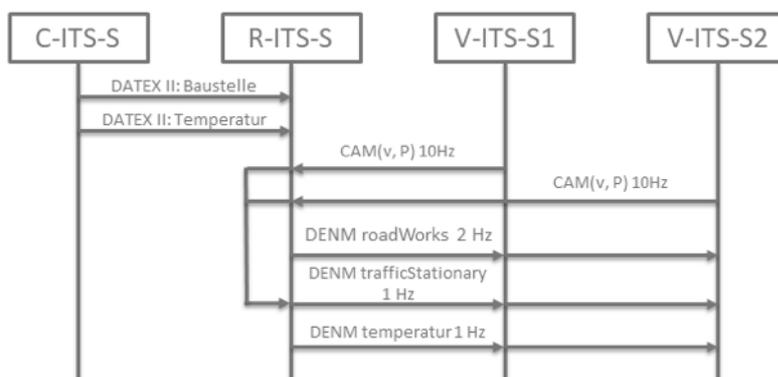


Abbildung 36: Baustellenszenario Sequenzdiagramm

Jedes Szenario wurde dabei mehrmals durchgeführt, um zufällige Fehler (Abschattung anderer Verkehrsteilnehmer) auszuschließen. Zusätzlich wurde detailliert der Einfluss der Geschwindigkeit untersucht.

Getestet wurden drei Geschwindigkeitsbereiche:

- Bereich 1: Geschwindigkeit < 100 km/h, rechter Fahrstreifen
- Bereich 2: Geschwindigkeit 100 km/h bis 140 km/h, mittlerer Fahrstreifen
- Bereich 3: Geschwindigkeit >140 km/h, rechter Fahrstreifen

Für eine Übersicht über die erzielten Ergebnisse wird auf die Auswertung in Arbeitspaket 5.1 verwiesen.

II.1.22 Arbeitspaket 4.4 – Virtuelle Demonstration (IFF)

Die virtuelle Demonstration ist mit der Durchführung der Simulationsstudien der einzelnen Szenarien (siehe Tabelle 12) umgesetzt worden. Hierzu sind die beschriebenen Szenarien erstellt und abgebildet worden. In die Simulation sind anschließend die für die Visualisierung der Simulationsergebnisse vorgesehenen Kennzahlen definiert und in die

grafische Ausgabe der Simulation integriert worden. Folgende Kennzahlen sind hierbei integriert worden:

- Anzahl nicht zugestellter Datenpakete (Abschattungseffekte)
- Räumlich und zeitlich aufgelöste Übertragungswahrscheinlichkeit data transfer
- Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und erfolgreichem Datentransfer

Weiterhin ist die Visualisierung so angepasst worden, dass die simulierten Fahrzeuge entsprechend des Zustands der Datenübertragung farblich hervorgehoben werden, wie in Abbildung 37 dargestellt wird. Diese grafische Aufbereitung erfolgt auf der Grundlage simulierter und erfasster Zustandsdaten der einzelnen Systembestandteile, die ebenfalls für statistische Auswertungen herangezogen werden können. Auf der Grundlage dieser sehr detaillierten Daten können nach Aggregation und Auswertung Analysen hinsichtlich der Versorgungsqualität und -sicherheit vorgenommen werden.

Diese Kennzahlen werden sowohl als repräsentative Werte (Minimum, Maximum, Mittelwert) für den gesamten Autobahnabschnitt als auch zeitlich (Abhängigkeit von temporären Randbedingungen wie Verkehrsstärke und Wetter dargestellt als Zeitreihe) und räumlich (Abhängigkeit von örtlichen Gegebenheiten dargestellt als Heatmap) aufgelöst ermittelt.

Auf der Basis der implementierten Use Cases ist die virtuelle Demonstration, d.h. die Durchführung von Simulationsstudien der einzelnen Szenarien erfolgt. Das Verkehrssystem zeigt das erwartete Verhalten auf der Basis der im System simulierten V2X-Nachrichten und ist mit den Realtests abgeglichen und validiert worden.

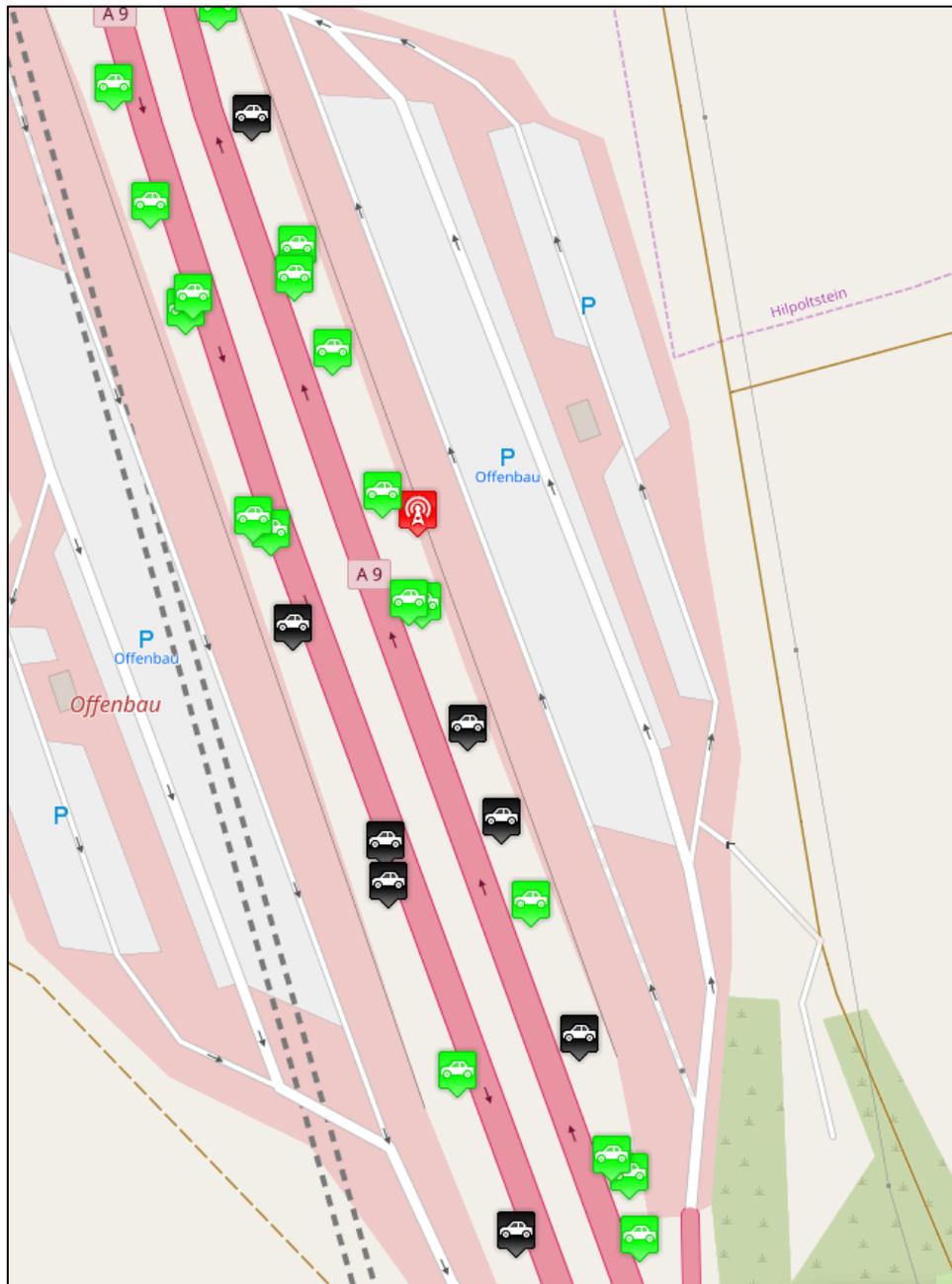


Abbildung 37 Ausschnitt der Visualisierung der Simulation (Grün= empfangen von Nachrichten; rot= senden von Nachrichten; schwarz=none)

Die Validierung der Simulationsergebnisse der Szenarien ist auf der Grundlage der Tests im GATE-TC, auf der Rennstrecke „Motorsport Arena Oschersleben“ sowie im Digitalen Testfeld Autobahn auf der A9 erfolgt. Hierbei sind die erfassten Daten der Realtests mit denen der Simulation verglichen und erforderliche Anpassungen am Simulationsmodell vorgenommen worden.

Thorsis Technologies

Die Implementierung des Physiksensors wurde im 1. HJ 2019 abgeschlossen. Schwerpunkt innerhalb des APs bildete die Kalibrierung der verwendeten Modelle. Dazu wurden die auf den Teststrecken gesammelten Daten zur Funkausbreitung unter verschiedenen Umgebungsbedingungen ermittelt. Als Teststrecken wurden genutzt:

- Teststrecke GATE-IC
- Teilstrecken der B1 (innerorts Magdeburg)
- Motorsport Arena Oschersleben

Die unterschiedliche Ausprägung dieser Teststrecken ermöglichte die Validierung spezifischer Modellbestandteile. Diese sind geografische Bedingungen (Höhenprofile, Straßenverlauf, Bäume, Hügel), stationäre Hindernisse Mittelstreifen, Brückenbauwerke, Schilderbrücken sowie mobile Hindernisse (PKW, LKW). Weiterhin wurden verschiedene Umweltbedingungen (keine Bewölkung, Regen, Nebel) untersucht. Die nachfolgende Tabelle illustriert die an der jeweiligen Teststrecke validierbaren Modelbestandteile:

| | | TS Gate-IC | TS B1 | TS OSL |
|--------------------------|-----------------|------------|-------|--------|
| geografische Bedingungen | Straßenverlauf | X | X | X |
| | Höhenprofile | | X | X |
| | Bäume | | X | |
| | Hügel | | | X |
| Stationäre Hindernisse | Brücken | | | X |
| | Schilderbrücken | | | X |
| mobile Hindernisse | PKW | X | X | X |
| | LKW | | | X |

In Vorbereitung des Arbeitspaketes 4.3 (Testfeld Autobahn) wurde mit der Simulation des betreffenden Autobahnabschnittes begonnen. Die durchgeführten Testfahrten im Digitalen Testfeld Autobahn wurden zur Validierung der Simulationsergebnisse genutzt. Dabei identifizierte Chancen der Leistungsverbesserung in der Implementierung der Software und des Modells wurden schritt haltend innerhalb eines Updateprozesses umgesetzt. Weiterhin wurde eine Erweiterung der Firmware der im Test einzusetzenden OBUs vorgenommen. Diese gestattete das automatische Logging der Funkfeldstärke während der Testfahrten. Dies unterstützt die automatisierte Bewertung der Modellgüte der Software. Die aus dem Vergleich der simulierten und der gemessenen Parameter resultierende Bewertung der Qualität der Simulationsergebnisse diente als Basis der Kalibrierung der Modellparameter. Nach Installation der RSU im Testfeld Anfang Juni erfolgten erste Testfahrten zur Bestimmung der Empfangsqualität. Die erfassten Daten dienten als Basis für die fortlaufende Validierung der Qualität der Simulationsmodelle und ihrer Kalibrierung.

II.1.23 Arbeitspaket 5.1 – Auswertung Testbetrieb (GATE)

Schwerpunkt des Arbeitspaketes war die Evaluierung der Ergebnisse der Tests an der Teststrecke GATE-IC, um ein iteratives Upgrade für die Hardware- und Software-Komponenten zu ermöglichen.

Die Tests an der Teststrecke GATE-IC waren erfolgreich, sodass diese auf eine öffentliche Straße mit normalem Verkehr erweitert wurden. Thorsis hat sich in diesem Zeitraum an der Vorbereitung und Durchführung der neuen Tests sowohl auch an der Auswertung und Evaluierung der entsprechenden Ergebnisse beteiligt.

Da ebenfalls die Tests im Digitalen Testfeld Autobahn im Rahmen dieses Arbeitspaketes ausgewertet werden sollten und diese Tests jedoch aufgrund der Verzögerungen in den vorbereitenden Maßnahmen des Digitalen Testfelds Autobahn erst später durchgeführt werden konnten, wurden die Autobahntests und die nachfolgende Auswertung verschoben.

Im Weiteren wurden die Ergebnisse der untersuchten Teststrecken evaluiert. Zusätzliche zur Teststrecke Gate-IC wurden zwei weitere Teststrecken untersucht. Hierbei handelt es sich um einen Teilabschnitt der B1 (innerorts Magdeburg) sowie die Motorsport Arena Oschersleben. Alle Tests konnten erfolgreich abgeschlossen und begleitet werden. Die Testdurchführung wurde ferner auch von Thorsis begleitet, um eine enge Verzahnung mit dem AP5.3 (Komponentenupgrade) zu ermöglichen. Die Testergebnisse wurden dokumentiert und den Projektpartnern zur Verfügung gestellt. Sie dienen als Basis der Verbesserung an den Kommunikationskomponenten sowie der Simulationssoftware bei Thorsis und IFF.

Aufgrund der Verlängerung des Projektes und der damit einhergehenden Verschiebung der Testung auf dem Digitalen Testfeld Autobahn kann das Arbeitspaket erst mit entsprechender Verzögerung abgeschlossen werden.

Arbeitspaket 5.1 wurde unter Federführung des GATE-IC gemeinsam mit Thorsis bearbeitet. Der Fokus lag auf der Umsetzung der Auswertungsmetriken für den Testbetrieb. Dazu wurde eine entsprechende Softwarelösung implementiert. Diese unterteilt sich in:

- Datenbank
- Middleware
- User Interface

Als Datenbank kam MySQL zum Einsatz. Diese ermöglicht eine einfache Skalierung auch für größere Datenmengen und gestattet hohe Zugriffsgeschwindigkeiten. Es wurden die für die Auswertung notwendigen Tabellen spezifiziert und implementiert. Die Middleware besteht aus Modulen zur Datenakquisition, Dienststeuerung und Datenaggregation. Die Datenakquise erfolgt direkt aus den RSUs mittels einer proprietären TCP/IP-Schnittstelle. Diese erlaubt die zeit- und ereignisgesteuerte Erfassung der von der RSU empfangenen ITS-G5 Telegramme sowie die Überwachung des Sendestatus. Das Modul der Dienststeuerung gestattet die Übertragung der durch die Software zur Nachbildung der Leitzentrale ausgelösten Sendeereignisse (z.B. Glatteis, Unfall) an die RSU. Die Implementierung der Middleware wurde mittels PHP-Skripten realisiert. Die Module der Datenaggregation dienen der Aufbereitung der Rohdaten entsprechend der für die Auswertung definierten, aus den Auswertungsmetriken abgeleiteten Ansichten. Auch hier wurde bei der Implementierung auf die Skriptsprache PHP zurückgegriffen. Für das User-Interface wurde eine webbasierte Lösung erarbeitet. Diese bietet verschiedene Ansichten auf die erfassten Daten. Es werden sowohl aktuelle Daten (Live Data) als auch historische Daten (Aggregated Data) bereitgestellt.

- Live Data
 - Map
Kartendarstellung des aktuellen Sende- und Empfangsstatus der RSUs sowie die Anzeige im Digitalen Testfeld Autobahn befindlicher OBUs
 - Car Data
Echtzeitdarstellung der von einer Fahrzeug-Kommunikationseinheit (OBU) übertragenen Zustandsinformationen
 - Network Status
Überwachung der Betriebsbereitschaft der RSUs und Streckenmodems (DSL-Verbindung)
 - Central-ITS-Station
Eingabemaske der Leitzentralensimulation zur Auslösung von durch die RSUs zu sendenden Informationen (Umwelt- und Verkehrsereignisse)
- Aggregated Data
 - Track Data
Auswertung der maximalen, minimalen und durchschnittlichen Geschwindigkeiten im Empfangsbereich der einzelnen RSUs

- Trip Data
Historische Übersicht über räumliche, zeitliche und technische Zustandsinformationen im Digitalen Testfeld Autobahn anonymisiert erfasster Fahrzeugdaten
- System Uptime
Auswertung der Betriebsbereitschaft der RSUs über den Testzeitraum (Ein und Drei-Monatsansicht, Tages- und Stundenansicht für die aktuelle Woche)

Nach Installation der RSUs im Digitalen Testfeld Autobahn konnte die Funktionsfähigkeit der Lösung innerhalb des geplanten Mengengerüsts (Datenumfang, Reaktionszeit) nachgewiesen werden. Die kontinuierliche Datenerfassung bildete die Basis der Evaluierung des Gesamtsystems.

Für die Bewertung der Funktion der Roadside-ITS-Stationen und Auswertung der Testfahrten sind die folgenden Kennzahlen definiert worden: Reichweite und Empfangsrate. Für die Reichweite wurde die Position des Fahrzeuges bestimmt, bei dem ein Signal das erste Mal auftrat. Da die RSUs die jeweiligen DENMs mit einer konstanten Frequenz sendeten, kann über die Anzahl der empfangenen DENMs zwischen erstem und letztem Auftreten eine Aussage über die Empfangsrate geben. Die Empfangsrate ergibt sich demnach aus dem Quotienten der empfangenen Daten an der OBU und den gesendeten Daten der RSU. Einflussfaktoren auf die Reichweite sind unter anderem topographische Gegebenheiten (Höhenunterschiede im Straßenverlauf), Vegetation und Vegetationsdichte am Straßenrand und mittig der Autobahn sowie Wetterbedingungen. Die Empfangsrate zeigt eine Abschattung durch andere Verkehrsteilnehmer auf. Abbildung 38 zeigt die aggregierten Messreihen eines Testtages. Es ist deutlich zu erkennen, dass es keine technisch-systembedingten Lücken auf der Teststrecke gibt. Das im Bild verwendete Farbschema zeigt, wie gut der Empfang des Signals ist:

- grün = sehr guter Empfang,
- gelb = guter Empfang,
- orange = schlechter Empfang,
- rot = kein Empfang.

Unter Idealbedingungen ist somit eine Reichweite von 1,8 km und mehr möglich.

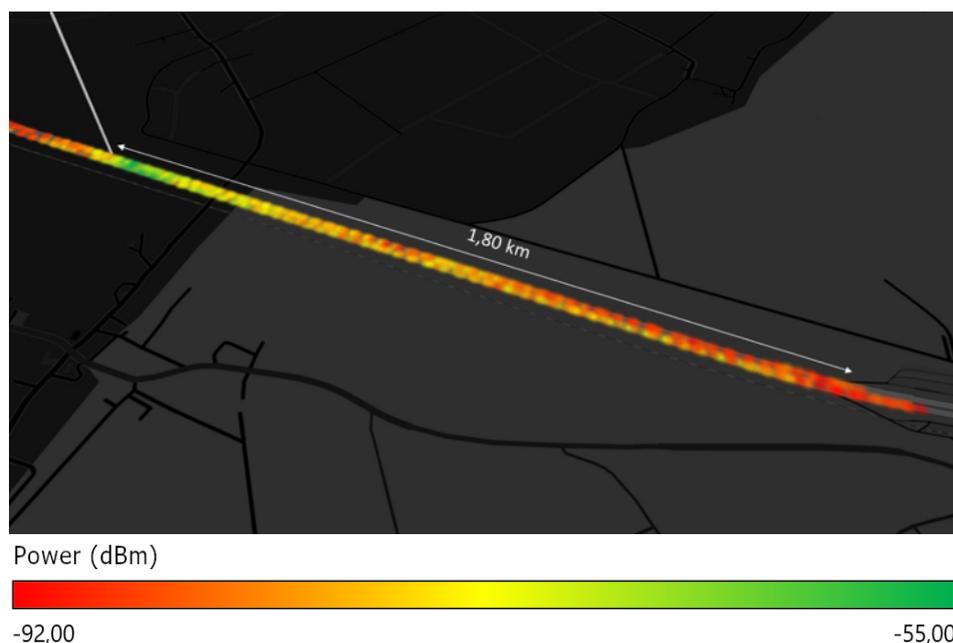


Abbildung 38: Sendeleistung an RSU1414800058

Wie in Abbildung 39 dargestellt, sind auf dem Digitalen Testfeld Autobahn Höhenunterschiede von über 70 m möglich. Die Sendereichweite einiger RSUs korreliert mit dem Höhenprofil der Strecke. Eine erhöhte Position der RSU zeigte Vorteile bei der Reichweite. Die Tests haben in diesen Fällen, die Erwartungen deutlich übertroffen. Eine ungünstige Position, bspw. in einer Senke oder kleinen Tal, kann die Reichweite der RSU stark einschränken bzw. räumlich begrenzen. Diese Erkenntnisse sowie das Wissen über die Topologie einer Strecke kann ebenfalls genutzt werden, um die Standortplanung zu unterstützen. Unter Umständen kann es sinnvoll sein, einen Standort minimal zu verändern, um eine erheblich bessere Funkabdeckung zu erreichen. Andererseits kann es auch möglich sein, einen Standort nicht mit einem Roadside-ITS-Modul auszustatten, da dies nicht notwendig ist.

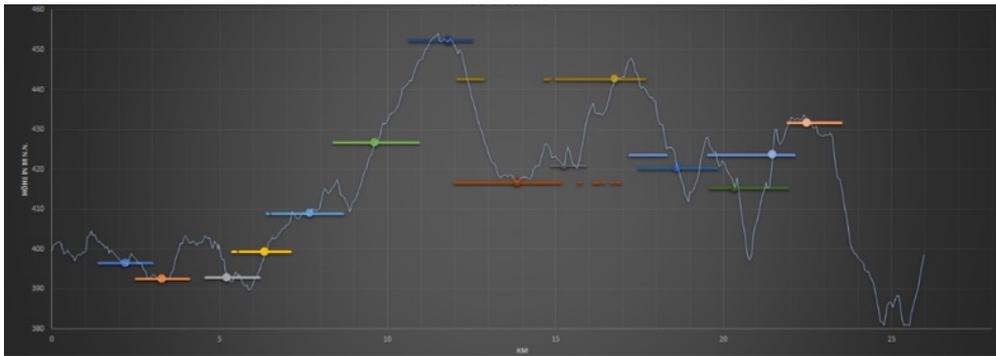


Abbildung 39: Datenempfang in Abhängigkeit der Höhenlage

Der Test jedes Szenarios wurde mehrmals durchgeführt, um den Einfluss verschiedener Verkehrssituationen vergleichen und analysieren zu können. Es wurde jeder Teilabschnitt jeweils mit hoher und niedriger Verkehrsdichte gefahren.

Ziel von Szenario 1 war zu testen, ob ein vorausfahrender LKW einen Einfluss auf den Datenempfang hat. Dabei wurde die Strecke direkt hinter einer Gruppe LKWs in einem möglichst kleinen Sicherheitsabstand befahren.

In Szenario 2 wurde erfasst, ob es zu einer Abschattung kam, während man sich parallel zu einem LKW befand. Besonderes Augenmerk wurde auf Überholvorgänge von LKWs gelegt, da man so vom vorausfahrendem und vom Fahrzeug auf der rechten Spur blockiert werden konnte.

Szenario 1 und 2 ergaben, dass es zwar zu sporadischen Störungen kommen kann. Durch die sich ständig ändernden Positionen aller Verkehrsteilnehmer konnte kein längerer Datenverlust registriert bzw. verzeichnet werden. Eine Stausituation trat während der Tests nicht auf und konnte während der Testphase somit nicht getestet werden. Auffällig bei allen Testfahrten war, dass es auf der Gegenfahrbahn seltener zu Unterbrechungen aufgrund von Verschattungen kam. Aufgrund des erhöhten Abstandes zur RSU verringerte sich die allerdings die Reichweite. Demzufolge kann die Netzabdeckung stark verbessert werden, wenn RSUs auf beiden Fahrbahnseiten platziert werden können. Dabei ist zu überlegen bzw. zu untersuchen, ob die RSU wechselseitig oder jeweils parallel platziert werden können. Dabei werden die topographischen Gegebenheiten und die damit verbundene Straßenführung wesentlich die Standortwahl beeinflussen und vorgeben.

Mit Szenario 3 wurde der Einfluss hoher Geschwindigkeiten auf den Datenempfang getestet. Da Verschattungen ein lokales Ereignis sind sollten höhere Geschwindigkeiten die Auswirkungen auf den Datenempfang minimieren. Im Umkehrschluss verringert sich die Verweildauer in der sich das Fahrzeug im Sendebereich der RSU befindet. Die Tests zeigten, dass auf Autobahnabschnitten ohne allgemeine Geschwindigkeitsbegrenzung kann eine erhöhte Nachrichtenfrequenz dem entgegenwirken.

Abbildung 40 zeigt als Beispiel eine Fahrt auf der mittleren Spur im Testbereich der A9. Im Ausschnitt oben rechts ist zu sehen, dass ein LKW ein Überholmanöver durchführt und dadurch eine Verschattung erfolgt. In diesem Fall entspricht die Lücke ca. 5 Sekunden. Für diesen (RSU 1414800058) Streckenabschnitt betrug die Empfangsrate der RSU 77%.

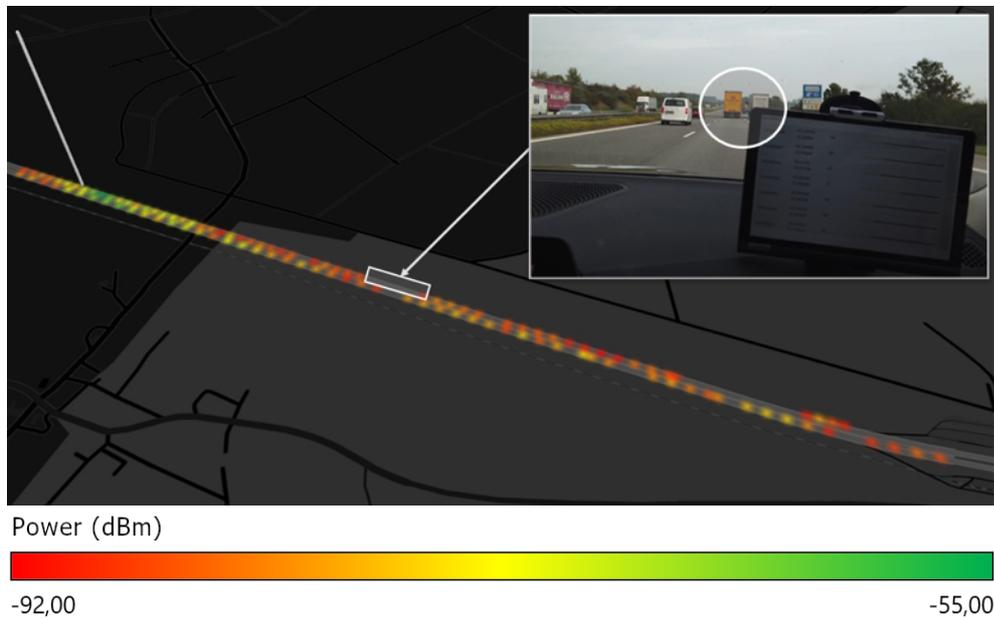


Abbildung 40: Abschattung durch LKW-Überholvorgang

Abbildung 41 zeigt die darauf folgende Fahrt zum Vergleich. Es ist deutlich zu erkennen, dass es nicht zu großen Lücken kam.

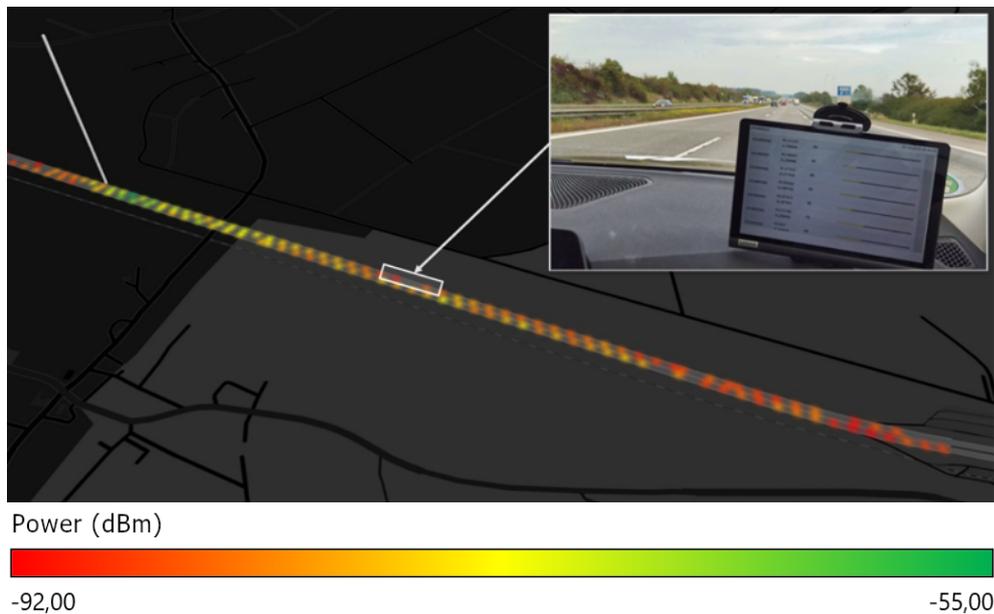


Abbildung 41: Vergleichsfahrt

Obwohl es während der Testfahrten immer wieder zu kleinen Datenverlusten bei der Übertragung kam (bis maximal 1 Paket pro Sekunde), hatte dies keinen Einfluss auf das

subjektive Empfinden der Testfahrer. Aufgrund des Konzepts des genutzten ITS-G5 Standards, das Daten per Broadcast ausgesendet werden und keine Bestätigung des Empfangs erfolgt, besteht die Möglichkeit, dass Datenpakete nicht empfangen werden. Durch eine hohe Sendefrequenz sowie wiederholte bzw. häufige Aussendung von Meldungen können Lücken in der Datenübertragung ausgeglichen werden. Diese Lücken sind jedoch prinzipbedingt (Broadcast Messaging) und können bei jeder anderen Implementierung ebenfalls auftreten. Das Broadcast Messaging Prinzip stellt im Gegensatz zur Request Response Kommunikation nicht sicher, dass Nachrichten korrekt übertragen wurden, da keine Bestätigung einer empfangenen Nachricht oder wiederholtes Aussenden bei ausbleibender Bestätigung vorgesehen ist und erfolgt.

Neben Reichweite und Empfangsrate wurden auch die technische Funktionsbereitschaft der RSUs, die Erreichbarkeit über die Kabelverbindung und zu den Fahrzeugen sowie die Relevanz der Informationen permanent getestet. Um die Funktionsbereitschaft zu testen, sendete jede RSU regelmäßig ihren Status an den Server. Dadurch war ein Systemausfall einzelner RSUs schnell zu erkennen und zu lokalisieren. Trat ein Ausfall an mehreren RSUs gleichzeitig auf, war davon auszugehen, dass der Fehler vom DSL-Netzwerk ausgehen musste. Um die Erreichbarkeit der Fahrzeuge sowie die Relevanz der Informationen zu testen, wurden die Daten anderer Verkehrsteilnehmer, deren Fahrzeuge mit ITS-G5-Kommunikationsmodulen ausgestattet waren, erfasst und ausgewertet (siehe Abbildung 42). Dadurch konnten Rückschlüsse auf das Fahrerverhalten gesammelt werden. Die blaue Kurve zeigt den Anteil der Fahrzeuge des jeweiligen Tages, welche die Teststrecke in Nord-Süd Richtung vollständig durchquert haben. Der grüne Anteil sind Fahrzeuge, welche die Autobahn an der Ausfahrt Sindersdorf verlassen haben. Der gelbe Anteil fuhr in Sindersdorf auf die Autobahn in Richtung Süden.

Die von den Roadside-ITS-Stationen dekodierten CAMs der Fahrzeuge oder On-Board-Units der eigenen Testfahrzeuge sowie der Fahrzeuge, die über ein ITS-G5-Modul verfügen und den Testabschnitt durchfahren haben, wurden dabei in einer Datenbank gespeichert und ausgewertet. Im Verlauf der Testphase wurden die Datensätze kontinuierlich erweitert.

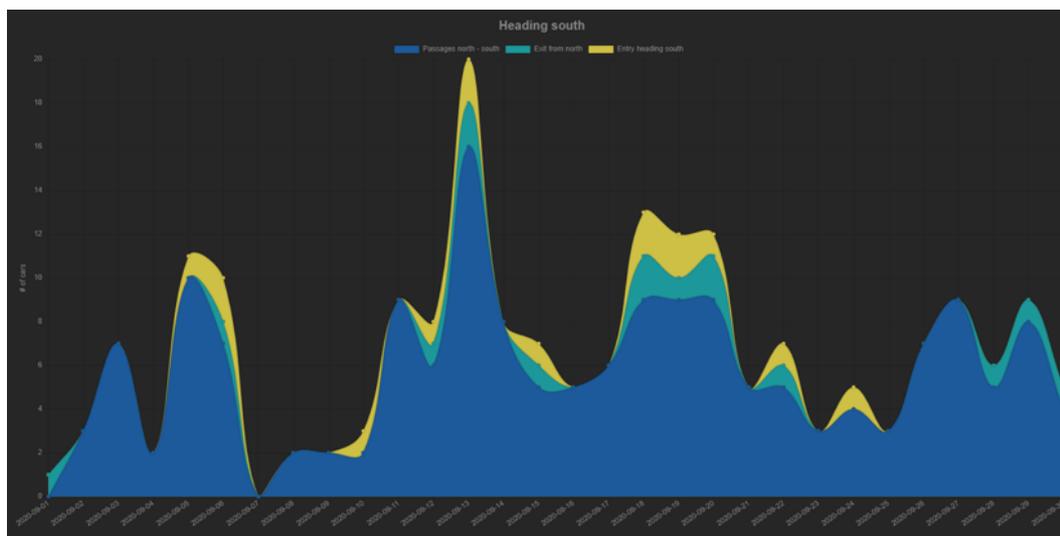


Abbildung 42: Anzahl Erfasste Fahrzeuge vom 01.09.20 bis zum 30.09.20

Dabei wurden neben Position und Geschwindigkeit (Abbildung 43) auch der Fahrzeugzustand wie Licht und das Verhalten des Fahrers (Gas, Bremse, Adaptive Cruise Control) anonymisiert gespeichert und analysiert. Dabei zeigte sich, dass der Durchschnittsfahrer bei konstanter Geschwindigkeit eher die Nutzung des ACC

(Adaptive Cruise Control, auf Deutsch: Adaptive Geschwindigkeitsregelung) bevorzugt und in der Nähe von Baustellen zunehmend manuell fährt. Im Zeitraum vom 01.09.2020 bis zum 30.09.2020 wurden 477 Fahrzeuge erfasst, welche mit einer RSU ausgestattet sind.

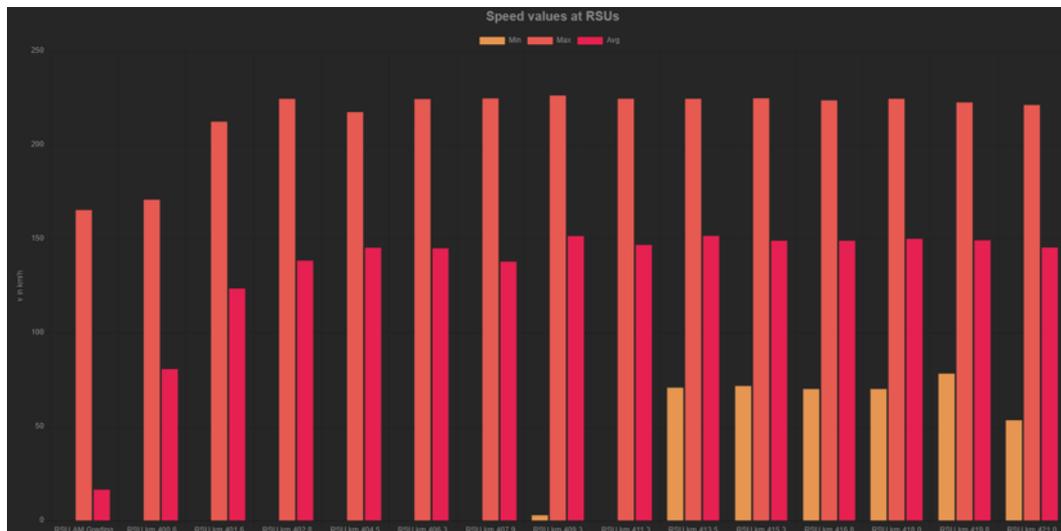


Abbildung 43: Gemessene Geschwindigkeiten in beiden Fahrrichtungen an jeder RSU vom 01.09.20 bis zum 30.09.20

Mit Abschluss der Testdurchführung (AP 4.3) sowie der in diesem Arbeitspaket beschriebenen Auswertung der Testergebnisse der Tests im Digitalen Testfeld Autobahn an der Autobahn A9 konnte mit den erzielten Ergebnissen der Meilenstein 5 erfolgreich erreicht und abgeschlossen werden.

II.1.24 Arbeitspaket 5.2 – Risiko-/Potenzialanalyse (IFF)

In der Risiko- und Potenzialanalyse, welche am Ende des Projekts auf der Basis der Testergebnisse sowie Validierung der Funktionalität des Systems als Ganzem sowie von realisierten Teilkomponenten erfolgt ist, widmete sich zwei wesentlichen Schwerpunkten:

- Risikoanalyse und -bewertung hinsichtlich Umsetzung und Einsatz
- Potenzialanalyse der Einsatzmöglichkeiten

Hierzu sind die Testergebnisse in Form der aufgezeichneten Rohdaten als auch die durch die Projektpartner GATE-IC und Thorsis vorgenommenen statistischen Auswertungen herangezogen worden. Für die Auswertung und Ableitung der entsprechenden Risiken und Potenziale ist als Methodik die SWOT-Analyse (Stärken-Schwächen-Chancen-Risiken) angewandt worden. Das Ziel dieser methodischen Vorgehensweise war die Analyse und Ermittlung der Anwendbarkeit, des Bedarfs an Weiterentwicklung sowie dem Nutzen der entwickelten Lösung in anderen Bereichen.

Stärken

Zu den wesentlichen Stärken des realisierten Ansatzes, der nicht nur erfolgreich umgesetzt wurde, sondern die Erwartungen und Vorgaben deutlich übertroffen hat, ist der deutlich niedrigere Energieverbrauch der Systemkomponenten als vorab geschätzt zu zählen. Unter den gegebenen Randbedingungen, die in der Vorstudie vor dem Projekt sowie ergänzt durch Analysen und Messungen am Fernmeldekabel ermittelt wurden, sind Parameter definiert worden, die zur Zielerreichung des Vorhabens einzuhalten waren. Ein wesentlicher Parameter war der Energieverbrauch, da aufgrund des Aufbaus

des Fernmeldekabels (und dessen Kabellängen) nur bestimmte Energiemengen zur Verfügung gestellt werden konnten. Als ursprüngliche Anforderung aus der vorangegangenen Machbarkeitsstudie ermittelt wurde eine maximale Leistungsaufnahme von 5,5 W pro Standort definiert. Nach Aufbau der Technik entlang der Strecke im Autobahnabschnitt Digitales Testfeld A9 wurde jedoch festgestellt, dass die zur Verfügung stehende Leistung 5W nicht überschreiten sollte. Der Leistungsbedarf der im Projekt entwickelten Roadside ITS-Stations hat jedoch niemals den Wert von 5 Watt überschritten. Eine Reduzierung des Leistungsbedarfs auf 4 Watt wird durch den Projektpartner Thorsis als realistisch eingeschätzt. Weiterhin sind die Bandbreiten für die Datenübertragung begrenzt, jedoch stellen die ermittelten Grenzwerte bei der Datenübertragung keinerlei Problem für die zu übertragenden Daten dar. Durch Messungen der Telent, welche die Technik installiert hat, sind als Maximum an allen Standorten Datenübertragungsraten von bis zu 5Mbit/s ermittelt worden. Die während der Tests angefallenen Datenraten lagen im Bereich unter 0,1Mbit/s und würden mit zunehmender Anzahl an Fahrzeugen entsprechend ansteigen. Da jedoch nur kleine Datenpakete in Frequenzen von maximal 10Hz verschickt werden, ist die Bandbreite von bis zu 5Mbit/s ausreichend.¹ Somit ist das System ideal für den Einsatz unter Anbindung an das Fernmeldenetz und der Aufrüstung entlang von Autobahnen geeignet.

Weiterhin konnte im Rahmen der Evaluierung des Gesamtsystems festgestellt werden, dass bei gleichzeitig niedrigem Energiebedarf die für die Netzabdeckung erforderliche Funkreichweite bis auf eine Abschätzung von ca. 300m (entspricht 1,4% der Gesamtstreckenlänge von ca. 22km) gewährleistet werden konnte (siehe Abbildung 44).

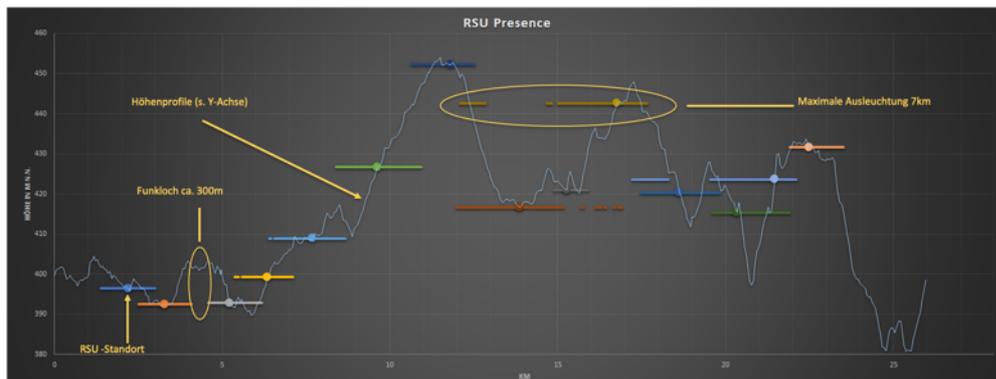


Abbildung 44: Funkabdeckung – Auswertung der Positionen, an denen eine Datenübertragung erfolgt ist

Obwohl – wie im Projekt ebenfalls erforderlich – Tiefbaumaßnahmen und eine Verkabelung mittels Legens eines Abzweiges vom Fernmeldekabel zum Notrufsäulenstandort notwendig war, so sind die hierbei entstehenden Anforderungen an die infrastrukturellen Maßnahmen deutlich geringer als bei einer kompletten Neueinrichtung einer zusätzlichen Stromversorgung entlang eines zu versorgenden Autobahnabschnitts. Da bereits installierte Infrastruktur mitgenutzt werden kann und neben ihrer Eignung im Projekt auch die Funktion der entwickelten Roadside-ITS-Stationen unter den gegebenen Bedingungen nachgewiesen werden konnte, ist eine zusätzliche oder alternative Verlegung einer Versorgung für Strom und Daten nicht erforderlich. Somit sind zu erwartende Kosten für die Ertüchtigung der Infrastruktur erheblich niedriger als für eine komplette Neueinrichtung. Ebenfalls ist es nicht

¹ Annahmen: Die durchschnittliche Größe einer V2X-Nachricht beträgt 350 bytes (siehe [20] und [21]). Bei einer maximalen Frequenz von 10 Hz fallen maximal 3,5 kilobytes an. Würden sich 100 Fahrzeuge sendende Fahrzeuge innerhalb des Sichtbereichs einer Roadside-ITS-Station befinden, so würden insgesamt 350kilobyte pro Sekunde (entspricht 2,8Mbit/s) anfallen.

erforderlich, zusätzliche Einspeisepunkte, die zusätzliche elektrische Energie an den jeweiligen Bedarfsstellen zur Verfügung stellen könnten, einzurichten.

Schwächen

Für eine vollständige Umsetzung aller Anforderungen an ein System zur V2X-Kommunikation ist es erforderlich, dass dieses System über ein gültiges Sicherheitszertifikat sowie Mechanismen zur Validierung von Sicherheitszertifikaten anderer Teilnehmer des Funknetzwerks verfügen muss. Das im Projekt ANIKA II entwickelte System verfügt noch nicht über dieses erforderliche Sicherheitszertifikat sowie den Mechanismus zur Validierung von Zertifikaten.

Für das Projekt ANIKA II lag der Fokus jedoch am Nachweis der grundsätzlichen funktionsrealisierbaren Realisierbarkeit des Datenaustauschs. Eine Integration eines erforderlichen Sicherheitszertifikates ist jedoch ohne weiteres in die Integration des Softwarestacks möglich. Hierzu ist lediglich im Rahmen einer Weiterentwicklung des Systems zu einem Produkt die Ausstellung eines Zertifikats durch eine entsprechende zertifikatsausstellende Institution und Einbindung in das System erforderlich.

Im Projekt konnte jedoch auch ohne das Zertifikat die Evaluierung des Systemansatzes erfolgen: einerseits sind eigene ITS-Kommunikationsmodule für den Einsatz im Fahrzeug entwickelt worden, die nicht die Notwendigkeit eines Sicherheitszertifikats zum Austausch von Daten erforderten. Andererseits konnten Daten von Fahrzeugen, die bereits über die ITS-G5-Technologie verfügen auch ohne die Gültigkeitsprüfung des übermittelten Sicherheitszertifikats empfangen und ausgewertet werden. Lediglich die Übertragung an die Fahrzeuge war aufgrund des fehlenden Sicherheitszertifikats nicht möglich. Die Fahrzeuge haben in diesem Fall die ausgesendeten Nachrichten ignoriert.

Weiterhin verfügt das System nicht über die Möglichkeit der Nutzung der 5G-Technologie zur direkten Kommunikation mit Fahrzeugen, die für die Übertragung von V2X-Nachrichten auf eine Weiterentwicklung des 5G-Standards setzen. Eine Erweiterung um derartige Module ist jedoch jederzeit aus technischer Sicht möglich. Zu klären wäre jedoch der sich ergebende Mehrbedarf an elektrischer Energie für die zusätzliche Versorgung eines 5G-Moduls mit Strom. Hierzu sind jedoch weitere Tests und Evaluierungen erforderlich, die im Rahmen von ANIKA II nicht erfolgt sind, da der Fokus nur auf der Umsetzung des ITS-G5-Standards lag.

Chancen

Durch einen Einsatz des im Projekt realisierten energieeffizienten Lösungsansatzes zur V2X-Kommunikation an Autobahnen steht eine Technologie für eine mögliche flächendeckende Ausstattung des Autobahnnetzes zur Verfügung, die einen wesentlichen Beitrag zur Einführung und Nutzung der V2X-Technologien liefern kann. Einerseits könnten so Nutzenpotenziale hinsichtlich der Verbreitung und Akzeptanz der Technologie und im Weiteren indirekt die sich durch die Nutzung der Technologie ergebenden Potenziale zur Erhöhung der Verkehrssicherheit erschlossen werden.

Als Grundlage hierfür stellt das Projekt ebenfalls ein Ergebnis bereit, welches für die Bewertung der Eignung der Autobahninfrastruktur genutzt werden kann: das virtuelle Infrastrukturmodell und dessen Implementierung in Form einer Simulation kann zur Analyse der Einsatzmöglichkeiten und Potenziale der Autobahninfrastruktur sowie des nebengelagerten Fernmeldenetzes genutzt werden.

Der gezeigte Lösungsansatz zur Nutzung von V2X-basierter Kommunikation kann aus Sicht des Projektkonsortiums auch in weiteren Bereichen Anwendung finden. So werden neben Autobahnen auch weitere Verkehrsinfrastrukturtypen wie Bundes- oder Landstraßen, innerstädtische oder auch innerbetriebliche Verkehrsinfrastrukturen als geeignete Einsatzgebiete gesehen. Setzt sich die Technologie neben den bisher im Einsatz befindlichen auch in weiteren Fahrzeugtypen wie z.B. Nutzfahrzeugen durch, könnten hier insbesondere beim Einsatz innerbetrieblicher Infrastrukturen weitere Anwendungsszenarien zur Erhöhung der Verkehrssicherheit realisiert werden.

Die Demonstration des Einsatzes und der Funktionsweise ist in einem Autobahnabschnitt entlang des Digitalen Testfelds Autobahn auf der Autobahn A9 erfolgt. Freundlicherweise ist hier durch die Autobahndirektion Nordbayern der entsprechende Autobahnabschnitt zur Verfügung gestellt worden. Im Rahmen der Ergebnispräsentation wurde die Gelegenheit genutzt, der Autobahndirektion Nordbayern die Projektergebnisse zu präsentieren, was auf großes Interesse insbesondere bezüglich der verkehrstechnischen Auswertung der erfassten Fahrzeugdaten gestoßen ist.

Zu guter Letzt ergeben sich Chancen zum Einsatz der Lösung insbesondere dadurch, dass die Technologie im Allgemeinen zunehmend Verbreitung findet und bereits in Serienfahrzeugen wie dem Volkswagen Golf 8 zur Verfügung steht. Je mehr Fahrzeuge über diese Technologie verfügen, umso mehr besteht auch der Bedarf an erforderlicher infrastruktureller Ausstattung entlang der Straße, um die Möglichkeiten, die sich durch diese Technologie bieten, umfangreicher ausschöpfen zu können.

Risiken

Trotz einer sehr umfangreichen Betrachtung einer Vielzahl an Randbedingungen und weiterer Einsatzmöglichkeiten konnten im Projekt nicht alle Aspekte näher betrachtet werden. Auch wenn für den gewählten Autobahnabschnitt der Nachweis erbracht werden konnte, dass eine infrastrukturelle Aufrüstung mit der ITS-G5-Kommunikationstechnologie unter den gegebenen Randbedingungen möglich ist, so steht dieser Nachweis für eine flächendeckende mögliche Ausstattung entlang des deutschen Autobahnnetzes noch aus. So kann unter anderem durch Anwendung der entwickelten Simulationslösung und des virtuellen Infrastrukturmodells eine erste theoretische Evaluierung und Bewertung erfolgen. Zusätzlich müssen ebenfalls die Anforderungen bzw. die Verfügbarkeit entsprechender freier Doppeladern und die Pupinisierung überprüft werden, da hier das Risiko einer beschränkenden Anforderung besteht. Diese Betrachtungen und Bewertungen waren nicht Projektbestandteil, könnten aber unter Zuhilfenahme der entwickelten Lösungen im Nachgang zu ANIKA II erfolgen.

Weiterhin ist aufgrund der Projektlaufzeit die Testdurchführung in den Sommermonaten sowie im Beginn des Herbstes erfolgt. Ein Test der Lösung auch unter schwierigeren Witterungsbedingungen zu denen unter anderem Schnee und Kälte gehören, steht da noch aus.

Die entwickelte Lösung steht im Wettbewerb zur entwickelten Lösung des Herstellers Siemens, der jedoch einen anderen Ansatz – insbesondere was die erforderlichen infrastrukturellen Voraussetzungen aber auch die bereitgestellten Übertragungskanäle neben ITS-G5 angeht – verfolgt. Eine Darstellung und Bewertung des Lösungsansatzes von Siemens kann dem Abschnitt II.5 entnommen werden.

II.1.25 Arbeitspaket 5.3 – Komponentenupgrade (TT)

Innerhalb des Arbeitspaketes wurden durch Thorsis die Ergebnisse der Tests der einzelnen Komponenten (Labortests) sowie auch des Tests an der Teststrecke GATE-IC verwendet, um die Hardware- und Software-Komponenten zu aktualisieren, zu erweitern und zu verbessern. Dieses Upgrade ist ein iterativer Prozess, der durch die Testphase parallel läuft und ermöglicht die rechtzeitige Korrektur von Fehlern, welche in der Entwicklung und Integration nicht beseitigt bzw. erkannt wurden.

Insbesondere der Test in der Motorsport Arena führte durch die mögliche Untersuchung von komplexen Funkszenarien zu Erkenntnissen über die Performance des ITS-G5 Stacks die in den Upgrade-Zyklus eingeflossen sind. Dieses Upgrade ist ein iterativer Prozess der testbegleitend kontinuierlich durchgeführt würde. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten war die Implementierung eines On-the-fly Update-Mechanismus innerhalb der

Firmware der RSU. Dieser ermöglichte eine einfache Fernwartung zur Korrektur von Fehlern oder Optimierungen während der Testphase. So konnten in Magdeburg bei Thorsis entwickelte Updates der Funktionalität direkt über den Zugang des Datenservers in Greding auf die einzelnen RSUs übertragen werden ohne direkten, physischen Zugang zur Installation im Digitalen Testfeld Autobahn zu benötigen. Weiterhin wurde im Arbeitspaket die Firmware um Monitoringmodule erweitert, die die Datenakquisition während der Testphase unterstützten. Die in 3.1.1 entwickelte Hardware der Roadside ITS-Station konnte erfolgreich validiert werden, Änderungen waren nicht notwendig.

II.1.26 Arbeitspaket 5.4 – Abschließende Bewertung (IFF)

Mit Beendigung der Tests sowie dem perspektivischen Abschluss des Projekts sind noch einmal die wesentlichen Projektergebnisse zusammengefasst und bewertet worden. Die Zielstellung dieses Arbeitspaketes war die Ableitung von Handlungsempfehlungen basierend auf den Projektergebnissen, die zu einer weiteren Verwertung des in diesem Projekt erarbeiteten Lösungsansatzes beitragen können.

Zunächst ist mit dem Projekt das Hauptziel, den Nachweis zu erbringen, dass eine Lösung entwickelt werden kann, welche angeschlossen an das Fernmeldenetz und unter den gegebenen Randbedingungen bezogen auf die zur Verfügung stehende elektrische Leistung, eine V2X-Kommunikation an Autobahnen ermöglicht, erbracht worden. Die primäre Herausforderung bestand darin, die aus der vorangegangenen Machbarkeitsstudie ermittelten Grenzen bezüglich der bereitstellbaren Leistung an den Notrufsäulenstandorten mit einer zu entwickelnden Hard- und Softwarelösung zur V2X-Kommunikation basierend auf dem ITS-G5 Standard nicht zu überbieten. Zunächst ist als Grenzwert in den vorangegangenen Betrachtungen als maximale Leistungsaufnahme ein Wert von 7 Watt definiert worden. Die Machbarkeitsstudie hat in einer praktischen Erprobung gezeigt, dass als garantierter Grenzwert für die maximale Leistungsbereitstellung pro Standort 5,5 Watt möglich sind.

Im Projekt konnte durch eine praktische Evaluierung durch Installation und Durchführung eines 3,5-monatigen Testbetriebs von 14 Roadside-ITS-Stationen zur V2X-Kommunikation basierend auf dem ITS-G5-Standard entlang eines Autobahnabschnitts an der A9 angeschlossen an das Fernmeldenetz zur Stromversorgung und Datenübertragung der Nachweis der grundsätzlichen Funktionalität des Systems selbst erbracht sowie der benötigte Leistungsbedarf der Komponenten ermittelt werden. Hierzu ist eine infrastrukturelle Vorbereitung erfolgt, indem an das Fernmeldekabel an bestehenden Abzweigen weitere Adern bis zu den jeweiligen Standorten der Roadside-ITS-Stationen verlegt wurden. An diesen Standorten wurden Kabelverzweigerschränke aufgebaut, in denen ein Spannungswandler sowie DSL-Modem installiert waren. Zusätzlich ist durch den Unterauftragnehmer Telent ein Wattmeter installiert worden, mit welchem je Standort die mögliche bereitstehende Leistung eingesehen werden konnte (siehe Abbildung 45). Die an den Standorten zur Verfügung stehende Leistung lag bei jedem Standort bei mindestens 5 Watt, an einigen Standorten sogar darüber. Hierbei ist jedoch anzumerken, dass die angegebene Leistung einem Wert entspricht, der nach Abzug der für das DSL-Modem und dem Spannungswandler entstehenden Leistungsverluste noch zur Verfügung steht.



Abbildung 45: Wattmeter im Kabelverzweigerschrank

Nach Auswertung aller durchgeführten Testreihen konnte festgestellt werden, dass eine maximale Leistungsaufnahme durch die jeweiligen Roadside-ITS-Stationen von 5 Watt nie überschritten wurde. Durch eine weitere Optimierung der Systemkomponenten ist aus Sicht des Projektpartners Thorsis eine weitere Reduktion auf einen Leistungsbedarf unter 4 Watt als realistisch einzuschätzen. Neben stromsparenderen Komponenten könnten auch durch intelligente Steuerung und Ausführung verbrauchsintensiver Rechenoperationen die Leistungsbedarfe reduziert werden. Die Stromversorgung ist über 6 Doppeladern sowie die Kommunikation über 2 Doppeladern angebunden worden.

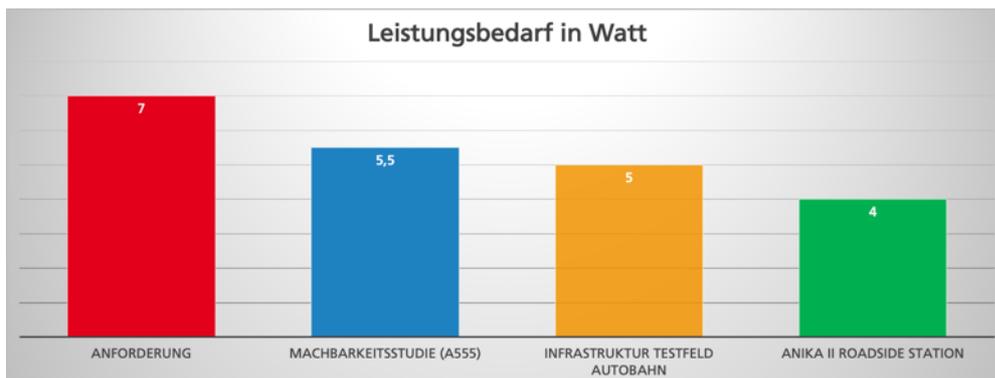


Abbildung 46: Leistungsbedarf der Module in Watt, Anforderung vor dem Projekt, Entwicklung im Projekt und Ergebnis

Das Ergebnis des Nachweises für den niedrigen Leistungsbedarf stellt ein wesentliches Alleinstellungsmerkmal für die Bereitstellung einer entlang von Autobahnen installierbaren Roadside-ITS-Station dar. Hiermit wird es möglich, bestehende Infrastrukturen zu nutzen und lediglich geringe Anpassungen vornehmen zu müssen, zu

denen unter anderem das Legen des Abzweigs und die Anbindung der Strom- und Datenversorgung gehört.

Somit konnte der Nachweis erbracht werden, eine Lösung zu entwickeln, die unter den oben genannten Rahmenbedingungen zum Einsatz kommen kann und kompatibel zum ITS-G5-Standard zur V2X-Kommunikation ist. Unter anderem durch die Gelegenheit, durch eigene Testfahrten mit dem Volkswagen Golf 8, der bereits über diese Technik serienmäßig verfügt, sowie durch weitere im Digitalen Testfeld Autobahn vorbeifahrende Fahrzeuge, deren Daten aufgenommen werden konnten, konnte der Nachweis der Kompatibilität erbracht werden. Es ist lediglich für die bidirektionale Kommunikation noch erforderlich, ein eigens benötigtes Sicherheitszertifikat zu integrieren und die Auswertung der Zertifikate anderer Teilnehmer zu implementieren. Die Kompatibilität konnte jedoch auch ohne das Zertifikat und dessen Validierung durch Empfang und Auswertung der durch die Fahrzeuge ausgesendeten Daten erfolgen. Hierzu wurden durch das Konsortium eigene Fahrzeuge mit Vehicle-ITS-Stations ausgestattet und für die Testfahrten genutzt.

Weiterhin sind im Rahmen der Testauswertung in den Leitstand eine Vielzahl an Datenanalysen und statistische Auswertungen integriert worden, um einerseits die Auswertung und Evaluierung der Testreihen durchführen zu können und andererseits die Nutzenpotenziale, die sich durch diese Daten ergeben, aufzeigen zu können. Hier bestehen noch weitergehende Möglichkeiten der Verwertung der aufgenommenen Daten. Hier sei auf die ebenfalls demonstrierte Integration in eine virtuelle Verkehrsmanagementzentrale mittels des Datex-II Standards verwiesen. Die hierfür implementierte Schnittstelle kann für den Datenaustausch mit externen Systemen zur Übernahme von aufgenommenen Daten, aber auch zur Übermittlung von Informationen, die über die ANIKA II Infrastruktur (Roadside-ITS-Stationen) wiederum an Fahrzeuge weitergeleitet werden können, genutzt werden. Diese geschaffenen Möglichkeiten des Datenaustauschs sowie der Datenvorverarbeitung bieten eine ideale Grundlage für neue Dienste und Dienstleistungen.

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

II.2.1 Personalkosten

Im Rahmen der Projektbearbeitung sind Kosten und Ausgaben für Personal wie beantragt angefallen und abgerechnet worden.

II.2.2 Reisen

Die beantragten Reisemittel dienten der Finanzierung von Reisen zu Projektkoordinationstreffen (Bergisch Gladbach, Greding) oder Reisen in das Digitale Testfeld Autobahn zur Abstimmung und Überwachung der Baumaßnahmen sowie zur Testdurchführung.

Aufgrund der im Jahr 2020 aufgetretenen Corona-Pandemie, die zu erheblichen Einschränkungen des öffentlichen Lebens und auch Reisen geführt hat, sind Reisekosten nicht wie geplant durchgeführt worden, da Meetings gemeinsam mit dem Fördergeldgeber seit März 2020 online abgehalten wurden. Dienstreisen zum Digitalen Testfeld Autobahn sind jedoch weiterhin – wenn auch in geringerem Maße als ursprünglich geplant – durchgeführt worden.

II.2.3 Beschaffungen bzw. Unteraufträge

Das Fraunhofer IFF hat folgende Beschaffungen bzw. beauftragte Leistungen abgerechnet:

1. Beschaffung Lizenz VSimRTI
2. Beauftragung zur Unterstützung der Planungsarbeiten zur Beauftragung von Tiefbau- und Kabelverlegearbeiten
3. Beauftragung Baubegleitung der Baumaßnahmen
4. Beauftragung Tiefbaumaßnahmen zur Schaffung des Abzweigs und Verlegung von Kabeln zu den Maststandorten sowie der Installation von Kabelverzweigerschränken. Ebenfalls Bestandteil dieser Kostenposition war der Rückbau der gesamten Anlage zur Wiederherstellung des Ursprungszustands
5. Beauftragung der Installation von Netzteilen und DSL-Modems in den Einspeisepunkten (Greding und Kabelhaus Göggelsbuch) sowie an den 14 Standorten die Installation von Spannungswandlern und DSL-Modems in den Kabelverzweigerschränken inkl. Deinstallation und Rückbau.

Thorsis hat folgende Beschaffung abgerechnet:

1. Beschaffung von Materialien / Hardwarekomponenten zur Entwicklung der Hardwarelösung der Roadside-ITS-Stations sowie On-Board-Units in den Fahrzeugen

Das GALILEO Testfeld hat entgegen der Planung keine Unterbeauftragungen vorgenommen und die vorgesehenen Leistungen mit eigenen Personalressourcen bearbeitet.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Basierend auf den geplanten Leistungsinhalten der einzelnen Arbeitspakete ist eine zeitliche Verteilung sowie Aufwandskalkulation der durchzuführenden Arbeiten vorgenommen worden. Der Arbeitsplan beinhaltet alle erforderlichen Schritte zur Erreichung des Projektziels und orientiert sich an der Vorgehensweise von Hard- und Software-Entwicklungsprojekten bestehend aus den Phasen Analyse, Konzeption, Umsetzung und Test.

Die Analysephase ist bereits durch die Vorprojekte abgedeckt, sodass im Projekt mit der Konzeption des Gesamtsystems und seinen Komponenten bestehend aus Hard- und Software begonnen wurde. Ebenfalls Bestandteil der Analysephase war die Untersuchung des Digitalen Testfelds Autobahn in welchem die Realtests durchgeführt wurden. Auf dieser Grundlage ist anschließend die Entwicklung der Hard- und Software erfolgt, die durch eine Vorbereitung der Testinfrastruktur begleitet wurde. Zur Validierung der entwickelten Lösung war ein Test im Projekt vorgesehen. Die Testphase ist in mehrere Phasen unterteilt worden: nachdem ein Komponententest – vorrangig im Labor – erfolgt ist, sind im Galileo Testcenter erste Integrationstests vorgenommen worden. Nach erfolgreichem Abschluss der Labortests sowie der Vorbereitung der Testinfrastruktur entlang der Autobahn sind die entwickelten Systemkomponenten im Autobahnabschnitt installiert und getestet worden. Abschließend ist eine Auswertung und Bewertung der Testergebnisse vorgenommen worden.

Dem Aufwand entsprechend ist die Anzahl der Personenmonate sehr wirtschaftlich kalkuliert worden.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Mit dem Projekt ANIKA II konnte der Nachweis erbracht werden, eine Lösung zu entwickeln, die unter den Rahmenbedingungen, die bei einer Anbindung an das Fernmeldenetz bestehen, zum Einsatz kommen kann und kompatibel zum ITS-G5-Standard zur V2X-Kommunikation sowie Serienimplementierungen ist. Hieraus ergeben sich eine Vielzahl an Nutzenpotenziale, die eine Verwertung der Projektergebnisse in unterschiedlichster Form ermöglichen.

Eine direkte Verwertung der Projektergebnisse ist durch die Weiterentwicklung zu einem vermarktbareren Produkt vorgesehen. Somit könnte die Lösung für eine Installation entlang von Autobahnen in Verbindung mit den im Projekt ebenfalls erfolgten Maßnahmen der Infrastrukturanpassungen zur Anbindung an das Fernmeldekabel zur Verfügung gestellt werden. Neben der Bereitstellung der Hardware steht ein umfangreiches Methoden- und Werkzeugset zur Bewertung der Infrastrukturen in Form des virtuellen Infrastrukturmodells und dessen Simulationsumgebung zur Verfügung. Sollte die Entscheidung getroffen werden, deutsche Autobahnen mit dieser Technologie auszustatten, könnten vorab Untersuchungen unter Zuhilfenahme dieses Werkzeuges erfolgen. Weiterhin konnte das Projektkonsortium seine Expertise in diesem Bereich weiter ausbauen und verfügt nun neben der entwickelten Technologie über umfangreiche Erfahrungen in der Anwendung und Weiterentwicklung.

Da die entwickelte Lösung über eine Erweiterbarkeit zur Anbindung weiterer Datenquellen und Schnittstellen sowie von weiteren Kommunikationstechnologien wie dem Mobilfunkstandard 5G verfügt, besteht ein erhebliches Nutzungs- sowie Verwertungspotenzial auch in anderen Bereichen, die heute noch nicht adressiert wurden.

Neben der Nutzung entlang von Autobahnen wird ein Nutzenpotenzial in der Übertragung auf andere Bereiche – z.B. andere Straßenarten, neben Autobahnen auch Bundes- und Landstraßen sowie innerstädtische Bereiche - gesehen. Darüber hinaus bestehen Nutzenpotenziale für die Anwendung auch in innerbetrieblichen Umgebungen, wenn bewegte Betriebsmittel mit dieser Technologie nachgerüstet werden oder auch zukünftig LKW mit dieser Technologie ausgestattet sind. Eine Ausrüstung von Lkw würde eine Verwendung von ITS-G5 als kostengünstige (da nicht mit Subskription belegte) Alternative zu 5G-Anwendungen im Bereich der innerbetrieblichen Logistik ermöglichen. Somit könnten die Nutzenpotenziale wie die Verbesserung des Verkehrsflusses und die Erhöhung der Sicherheit im Straßenverkehr auch für Nutzfahrzeuge erschlossen werden. Hier plant das Projektkonsortium in direkten Folgeaktivitäten zur Entwicklung von Digitalen Testfeldern (z.B. entlang von Wasserstraßen oder in Häfen) den Einsatz der entwickelten Komponenten.

II.5 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen während der Durchführung des Vorhabens

Während der Durchführung des Vorhabens sind dem Projektkonsortium relevante FuE-Ergebnisse von dritter Seite nach Antragstellung wie folgt bekannt geworden.

Der Hersteller Siemens bietet eine Lösung zur V2X-Kommunikation namens Sitraffic¹ an, die einen ähnlichen Ansatz wie die ANIKA II Lösung sowie den vorangegangenen ANIKA Projektvorhaben (ANIKA I auf Landesebene in Niedersachsen und Sachsen-Anhalt sowie ANIKA-Machbarkeitsstudie) verfolgt. Das Konsortium hatte die Gelegenheit, diese Technologie in München zu besichtigen. Die öffentlich verfügbaren Informationen beschreiben den wesentlichen Lösungsumfang darin, dass die von Siemens angebotene Lösung als Hardwareschnittstelle neben einem ITS-G5-Modul, welches auf WLAN basiert, zusätzlich ein weiteres Modul enthält, welches auf der Basis von LTE-V2X im mobilfunkbasierten Netz eine Nahfeldkommunikation zwischen Fahrzeugen ermöglicht. Welche jeweiligen Vor- und Nachteile sich durch diese Implementierung ergeben und welche technischen Anforderungen hinsichtlich Strombedarf bestehen, konnten bis Anfang 2020 aufgrund der für eine Bewertung erforderlichen technischen Details, die durch Siemens nicht zur Verfügung gestellt wurden, nicht bewertet werden.

In der weiteren Fortführung des Projekts sind durch Siemens weitere Informationen zur Lösung Sitraffic RSU² veröffentlicht worden. So ist nun bekannt, dass die angebotene Lösung neben der Kommunikationsmöglichkeiten über ITS-G5 (basierend auf WLAN) ebenfalls über Komponenten zur Kommunikation per C-V2X (basierend auf Mobilfunktechnologien) verfügt. Laut Datenblatt benötigt die Sitraffic RSU im typischen Betrieb aufgrund der Vielzahl an installierten Kommunikationskomponenten 12 Watt, was deutlich über den im Projekt ermittelten Kapazitäten des Fernmeldekabels liegt. Um einen Betrieb der Lösung von Siemens zu ermöglichen, die dem Konzept der ANIKA II Lösung entspricht, wäre eine zusätzliche Einspeisung von elektrischer Leistung oder die Nutzung von mindestens der doppelten Anzahl an Doppeladern erforderlich, um die 12W an möglichen Standorten abdecken zu können. Dies ist jedoch entweder nicht überall möglich (Doppeladern) oder mit erheblichem Aufwand verbunden (zusätzliche Einspeisung).

Weitere relevante Lösungen, die einen Bezug zu den Projektergebnissen und im Projekt umgesetzten Ansätzen haben, sind dem Projektkonsortium nicht bekannt.

¹ Siehe <https://www.mobility.siemens.com/global/de/portfolio/strasse/verkehrsmanagement/coconnect-mobility-solutions/sitraffic-vehicle2x.html>

² <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:91807c82-8673-4e40-b324-d7ef257f4193/sitraffic-vehicle2x-en-200316.pdf>

II.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Im Rahmen der Projektbearbeitung hat das Projektkonsortium die Gelegenheit der Präsentation von Projektergebnissen auf verschiedenen Veranstaltungen wie Messen oder Kongressen genutzt.

Veranstaltungen auf denen ANIKA II präsentiert wurde:

- Cluster Meeting #10 „Digitale Mobilität“ des Clusters „ITS mobility“ am 15. Mai 2019 in Magdeburg: “Aufrüstung der Notrufsäulen-Fernmeldenetzinfrastruktur zur V2I-Kommunikation an Autobahnen” (Fraunhofer IFF)
- Smart SysTech 2019 vom 05. Juni bis 06. Juni 2019 in Magdeburg (Thorsis und Fraunhofer IFF), Vorträge:
 - o Development of an ITS-G5 Road Side Unit for Intelligent Transportation Systems
 - o Simulation Software for Radio Wave Propagation in V2X-applications
- Teilnahme am ITEA Workshop "Smart Mobility" in Stockholm durch Thorsis und Präsentation des Projekts ANIKA II
- Logistik-Konferenz Mitteldeutschland (28.11.2019 im IGZ Barleben, <https://www.magdeburg.ihk.de/innovation/Verkehrswirtschaft/-logistik-konferenz-mitteldeutschland-2019-/4560426>)

Aufgrund der im letzten Projektjahr 2020 aufgetretenen Beschränkungen durch das Corona-Virus haben keine weiteren Messen oder Kongresse stattgefunden, auf denen das Vorhaben präsentiert werden konnte. Das Konsortium beabsichtigt jedoch für das Jahr 2021 auf dem in Hamburg stattfindenden ITS-Weltkongress die Projektergebnisse zu präsentieren. Weiterhin plant das Fraunhofer IFF im Jahr 2021 die Veröffentlichung des Projekts und seiner Ergebnisse in Form eines Video-Podcasts in der Reihe „Wissenschaft erklärt“ des Fraunhofer IFF (Quelle: <https://youtube.com/playlist?list=PLIjFDzTdgkO-HMCqSiIW-Bq2YB9RNFRT>).

Weiterhin ist das Projekt und dessen aktueller Entwicklungsstand im Rahmen eines Interviews für die Wissenschafts-Radiosendung Quarks im WDR5 im August 2019 präsentiert worden.

III Anlage Erfolgskontrollbericht

III.1 Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen Zielen

Das Vorhaben zielte auf die Entwicklung und Erforschung von Lösungsansätzen und Technologien ab, die einen wesentlichen Beitrag zur Unterstützung bei der Gestaltung eines leistungs- und zukunftsfähigen Systems Straße leisten. Einerseits lag der Schwerpunkt in diesem Zusammenhang auf der Fokussierung auf wirtschaftliche Aspekte durch eine nachhaltige Nutzung bestehender und dem Bund gehörender Infrastruktur, welche durch entsprechende Investitionen geschaffen wurde. Andererseits war auch die Schaffung technologischer Grundlagen, die das vorausschauende Fahren unterstützen, Unfälle vermeiden sowie einen Beitrag zur gesteigerten Verkehrseffizienz leisten und somit die Straßen „intelligenter“ zu gestalten im Fokus des Projekts. Das Projekt lässt sich daher dem Innovationsfeld „Die intelligente Straße“ der Gesamtprogrammatisierung „Innovationsprogramm Straße“, in dessen Rahmen die Einreichung des Projektantrags erfolgt, einordnen.

Im Rahmen des Projekts wurde das in den Vorprojekten vom Fraunhofer IFF erarbeitete virtuelle Infrastrukturmodell zur modellhaften Darstellung des Betrachtungsbereichs sowie den dort ablaufenden Prozessen und Kommunikationsaufkommen bezüglich spezifischer Funktionen – u.a. zur Evaluierung des Multi-Hop-Prinzips zur Weiterleitung von V2X-Nachrichten – erweitert und für die Evaluierung und Bewertung von Use-Cases zur Anwendung gebracht. Hierbei wurden Realisierungsszenarien sowohl unter wirtschaftlichen als auch technologischen Aspekten betrachtet. Damit sind die Voraussetzungen zur Unterstützung operativer und strategischer Entscheidungen, insbesondere für die Neu- oder Aufrüstung sowie einer möglichen Nachnutzung der betrachteten Kommunikations- und Versorgungsinfrastruktur geschaffen worden.

Im Weiteren ist durch den Ansatz des Projekts, einen neuartigen Lösungsansatz zur Realisierung einer V2I-Kommunikation an Autobahnen basierend auf vorhandenen Infrastrukturen durch Möglichkeiten des Datenaustauschs über standardisierte Technologien und Protokolle zu schaffen, ein wesentlicher Beitrag zur Vernetzung von Fahrzeugen und Straßeninfrastruktur geleistet worden.

III.2 Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens, erreichte Nebenergebnisse und gesammelte wesentliche Erfahrungen

Das wissenschaftlich technische Ergebnis des Vorhabens besteht in der Erbringung des Nachweises, dass eine Lösung entwickelt werden kann, welche angeschlossen an das Fernmeldenetz und unter den gegebenen Randbedingungen bezogen auf die zur Verfügung stehende elektrische Leistung, eine V2X-Kommunikation an Autobahnen ermöglicht. Bestandteil dieses Ergebnisses ist eine Roadside-ITS-Station, welche für den Einsatz zur Installation entlang der Autobahn entwickelt wurde. Sie ermöglicht unter den gegebenen Bedingungen – beschrieben durch die zur Verfügung stehende elektrische Leistung in Höhe von bis zu 5,5 Watt sowie der für die Datenübertragung ausreichende Bandbreite von bis zu 7 Mbits/s – die Bereitstellung einer V2X-Kommunikationsinfrastruktur.

Als Nebenergebnisse innerhalb der Bearbeitung des Projekts sind das weiterentwickelte Infrastrukturmodell, welches zur Bewertung von Verkehrsinfrastrukturen sowie der nebengelagerten Fernmeldenetzinfrastruktur genutzt werden kann, die für die Durchführung von Tests ebenfalls entwickelten mobilen ITS-Devices, die in den Fahrzeugen zum Einsatz kamen, sowie die für eine Anbindung an Verkehrsmanagementzentralen entwickelte Datex-II Schnittstellen entstanden.

Das Projektkonsortium konnte seine Expertise in diesem Bereich weiter ausbauen und verfügt nun neben der entwickelten Technologie ebenfalls über umfangreiche Erfahrungen in der Anwendung und Weiterentwicklung der angewandten Technologien. Weiterhin konnten die bei der Einrichtung der Infrastruktur entstandenen und gelösten Herausforderungen zu einem erheblichen Erkenntnisgewinn beitragen. Insbesondere der umfangreiche Abstimmungsbedarf zwischen allen Beteiligten (Autobahndirektion Nordbayern, Bauausführung sowie Installation der Technik und Projektpartner) sowie die zu spezifizierenden Anforderungen haben gezeigt, dass der Konzeption und vorausgehenden Planung und umfassende Dokumentation aller auszuführenden Aktivitäten eine übergeordnete Priorität zur Klärung relevanter Fragestellungen vor der eigentlichen Ausführung zuzuordnen ist.

Das Fraunhofer IFF konnte im Rahmen der Projektbearbeitung umfangreiche Erfahrungen in der Koordinierung der infrastrukturellen Maßnahmen aufbauen, die für zukünftige Aktivitäten in diesem Anwendungsbereich Anwendung finden können. Zusätzlich verfügt das Fraunhofer durch die Weiterentwicklung des virtuellen Infrastrukturmodells über umfangreiches Wissen und Erfahrung in der Anwendung der im Projekt genutzten Simulationsumgebung VSimRTI und der darin umgesetzten Simulationsumgebung des virtuellen Infrastrukturmodells.

III.3 Fortschreibung des Verwertungsplans

III.3.1 Erfindungen und Schutzrechtemeldungen

Im Berichtszeitraum sind keine Schutzrechts- bzw. Erfindungsanmeldungen vorgenommen worden. Es sind keine Schutzrechtsanmeldung erfolgt, da die entwickelten Infrastrukturkomponenten existierende Standards implementieren und keine spezifische Applikation entwickelt wurde.

III.3.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (innerhalb 2 Jahre nach Projektende)

Innerhalb der ersten zwei Jahre nach Projektende ist es vorgesehen, ein marktreifes Produkt zur Erweiterung bestehender Notrufsäulenstandorte mit ITS-G5 zu erreichen, welches von Thorsis nicht nur in Deutschland, sondern innerhalb des gesamten EU-Raums verkauft werden kann. Das entlang der Autobahn bestehende Fernmeldenetz sowie die große Anzahl an Notrufsäulen, neben deren Standorten die im ANIKA II Vorhaben entwickelte Technologie platziert werden kann, bietet ein relativ hohes Marktpotential eines Produktes, welches aus den Ergebnissen dieses Vorhabens entwickelt werden kann. Dazu ist vorgesehen ein TRL¹ Level von mindestens 8 (Qualifiziertes System mit Nachweis der Funktionstüchtigkeit im Einsatzbereich) zu erreichen. Folgende Schritte unter Mitwirkung aller Projektpartner sind dazu geplant:

Re-design der Prototypischen Hardware

Die in der finalen Projektphase gesammelten Erfahrungen fließen in die Entwicklung der Hardware des geplanten Produktes ein. Die Doppelplatinen-Lösung wird dabei durch eine Einplatinenlösung ersetzt. Das Hauptziel ist die Optimierung der elektromagnetischen Eigenschaften in Vorbereitung des Zertifizierungstests. Zusätzlich kann durch diese Lösung eine weitere (wenn auch geringere) Reduzierung des Stromverbrauchs erfolgen. Ein dritter wesentlicher Aspekt ist die Anpassung der Leiterplatte und Bauelemente an eine effiziente Serienfertigung. Dies betrifft sowohl die Fertigungszeit- als auch die Kosteneffizienz.

Zertifizierungstest

Eine wesentliche Voraussetzung für das Inverkehrbringen eines Produktes in der Europäischen Union ist die Abgabe einer CE-Erklärung. Diese setzt eine Testung entsprechen der für die Anwendung geltenden Produktnormen voraus. Im Falle der ITS-Stationen ist eine Testung auf Elektromagnetische Verträglichkeit notwendig. Nach Abschluss des Re-Designs ist eine entsprechende Testung in einem EMV-Labor vorgesehen.

Applikationstest

Nach Abschluss der Entwicklung und Testung der Produkthardware ist eine Applikationstestung der Komponenten im Gate-IC vorgesehen. Die dort bestehenden Umgebungsbedingungen werden als ausreichender Vergleich mit eine Einsatzbereich im öffentlichen Straßenverkehr angesehen.

Mit Abschluss der beschriebenen Maßnahmen wird das TRL 8 erreicht. Eine Erreichung des TRL 9 (Qualifiziertes System mit Nachweis des erfolgreichen Einsatzes) wird angestrebt, hängt aber von externen Einflüssen (Gewinnung von Ausschreibungen etc.) außerhalb der direkten Einflussnahme der Thorsis Technologies GmbH ab.

¹ Technology Readiness Level - Technologiereifegrad

Außerdem ist es vorgesehen, eine Simulationssoftware-Suite für ITS-G5-Geräte aus der im Projekt verwendeten und erweiterten Basissoftware zu entwickeln, um die Planung und Entwicklung von ITS-Infrastrukturen zu unterstützen. Auch in diesem Fall wird das Marktpotential für eine solche Lösung als relativ hoch eingeschätzt. Diese kann beispielweise von Straßenbehörden bzw. Bundesländern sowie auch von der Automobilindustrie als Unterstützung bei der Entwicklung neuer Lösungen für ITS-Systeme genutzt werden.

III.3.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (innerhalb 2 Jahre nach Projektende)

Mit ANIKA II ist zu erwarten, dass sich innerhalb von 2 Jahren nach Projektende die Kooperation mit anderen Unternehmen und Forschungseinrichtungen, die im Umfeld der Verkehrstelematik arbeiten, intensivieren wird. Insbesondere können neue Kooperationsnetzwerke etabliert werden. Da das endgültige Produkt nicht nur in Deutschland, sondern innerhalb des gesamten EU-Raums verwendet werden kann, sind ebenfalls internationale Kooperationen voraussichtlich zu erwarten.

Im Rahmen der Lehrveranstaltung Verkehrslogistik des Studiengangs Wirtschaftsingenieurwesen Logistik (WLO) an der Fakultät für Maschinenbau der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg werden im diesjährigen Sommersemester 2021 V2X-Lösungen vorgestellt und u.a. das ANIKA-Projektvorhaben explizit vorgestellt. Dazu werden erste V2X-Demonstratoren aus dem ANIKA-Vorhaben den Studenten vorgestellt und Lösungsansätze angesprochen. Dazu werden erste Datensätze in die Lehre eingebunden und Ergebnisse diskutiert. Diese sollen dann in weiteren Lehrveranstaltungen im kommenden Wintersemester 2021/22 eine Basis bieten, um neue Forschungsansätze zu den V2X-Technologien vermitteln und erarbeiten zu können.

Des Weiteren sollen die Ergebnisse aus dem ANIKA-Vorhaben dazu genutzt werden können, um V2X-Themen für Bachelor-, Master- und Promotionsarbeiten anbieten zu können. Diese V2X-Themen bieten zudem ein hohes Potential für die Vernetzung zu anderen Technologien, welche an der Otto-von-Guericke-Universität erforscht werden. Dahingehend bieten sich viele Optionen an, das ANIKA-Vorhaben letztendlich in die weitere anwendungsorientierte Forschung der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg integrieren zu können. Davon profitiert die Ausbildung der Studenten als auch die enge wissenschaftliche Zusammenarbeit der Universität Magdeburg mit der Wirtschaft. Neue oder neu konzipierte Studiengänge in den Fakultäten des Maschinenbaus, der Informatik oder Elektrotechnik zu den Schwerpunkten Kommunikation und vernetzte Mobilität können vom Knowhow des Projektes ANIKA II profitieren. Dahingehend sind interdisziplinäre Workshops an der Universität Magdeburg als auch mit der Wirtschaft sowie regionalen und Überregionalen Verbänden in der Planung.

III.3.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Nach dem Projekt wird das Projektkonsortium umfangreiches neues Know-How im Bereich ITS-G5 sowie entsprechender Hard- und Software für die Simulation erlangt haben. Die Kenntnisse, die durch die eigene Entwicklung eines ITS-G5-Stacks und der entsprechenden Hardware für V2X-Kommunikation entstehen, können auch in die Entwicklung weiterer Produkte übertragen werden, z.B. Geräte für die Nachrüstung bestehender Fahrzeuge mit ITS-G5. Außerdem wird wichtiges, neues Know-How im Bereich der Funkwellenausbreitung, Simulation und Umfeldwahrnehmung gebündelt, welches in anderen Ingenieurbereichen von hoher wirtschaftlicher Relevanz sein kann. Hierzu können weiterreichende Forschungen vorangetrieben werden, welche sich aus den Ergebnissen und Analysen aus ANIKA II ableiten lassen. Des Weiteren sollen die Ergebnisse gezielt in die Forschung und Lehre integriert werden, um neue Impulse zu

setzen und die Wissenschaft und Wirtschaft stärker zu neuen Mobilitätsdiensten zu vernetzen.

III.4 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Keine der geplanten Arbeiten des Teilvorhabens haben zu keiner Lösung geführt. Alle geplanten Inhalte der Arbeitspakete sind erfolgreich bearbeitet worden.

III.5 Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Das Projektkonsortium hat wie bereits dargestellt, das Projekt selbst sowie dessen Ergebnisse auf zahlreichen Veranstaltungen (Messen, Kongresse) präsentiert. Zusätzlich wurde in einer Meilensteinpräsentation im GATE-IC sowie einer Abschlusspräsentation im Digitalen Testfeld Autobahn an der A9 gegenüber der Bundesanstalt für Straßenwesen sowie dem TÜV Rheinland im GATE-IC das Projekt sowie dessen Ergebnisse präsentiert und die Funktion live vorgeführt. Es bestand die Möglichkeit der Teilnahme an Testfahrten, in denen die Technik erläutert und dessen Funktionsweise eingesehen werden konnte.

Aufgrund der Maßgabe, die im Digitalen Testfeld Autobahn an der Autobahn A9 installierte Technik zum Projektende wieder zurückzubauen, besteht nicht mehr die Möglichkeit, diese Technologie präsentieren zu können. Das Projektkonsortium beabsichtigt jedoch im Rahmen weiterer geplanter Aktivitäten, zu denen unter anderem die Nutzung und Integration der Technik in Digitalen Testfeldern (Binnenwasserstraßen und Häfen) vorgesehen ist, einen Wiederaufbau und die Weiterentwicklung durchzuführen. Hierüber ist vorgesehen, interessierten Nutzern die Gelegenheit zur Besichtigung des Systems und dessen Funktionsweise geben zu können. Weiterhin schaffen die geplanten Aktivitäten ebenfalls die Grundlage für eine Kooperation mit interessierten Institutionen an einer Weiterentwicklung des Systems.

Ebenfalls geplant ist der Aufbau der Technik im Galileo Testfeld zur Demonstration für kommerzielle Nutzer und Interessenten.

III.6 Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung

Für die Bearbeitung des Gesamtprojekts ist mit der Beantragung eine Kosten- und Zeitplanung erfolgt, die zum Zeitpunkt der Beantragung als realistisch und notwendig angesehen war. In der Bearbeitung des Projekts sind Anpassungen der Kosten- und Zeitplanung erforderlich geworden. Grundsätzlich ist jedoch auf eine Nichtüberschreitung des Gesamtbudgets geachtet worden und auf die Vermeidung von Mehrkosten eingewirkt worden. Anpassungen in der Kostenplanung sind lediglich in der Verschiebung von Mitteln auf andere Kostenpositionen erfolgt.

Die Bearbeitung der Arbeitspakete sind bis auf die nachfolgend beschriebenen notwendigen Anpassungen innerhalb des geplanten Arbeitsumfangs sowie Zeitplans abgeschlossen worden.

Ein wesentlicher Fortschritt konnte bis Meilensteinpräsentation am 09. April 2019 demonstriert werden. So konnte die prinzipielle Funktionalität des ANIKA Ansatzes und die Eignung des ausgewählten Abschnitts an der A9 erfolgreich nachgewiesen werden. Die Vorbereitung und Vergabe der für die Installationen im Digitalen Testfeld Autobahn erforderlichen Unteraufträge gestaltete sich jedoch deutlich zeitintensiver als geplant. Im Rahmen der weiteren Bearbeitung wurde erkennbar, dass die für die Vorbereitung der Tests erforderlichen Arbeitspakete (AP 2.8, AP 3.6) und darauf aufbauenden Tests nicht planmäßig durchgeführt werden, da die Vorbereitung der Baumaßnahmen (Ausschreibungsprozess mit bestimmter Laufzeit und Ablauf) deutlich die im Antrag ursprünglich geplanten und angenommenen Zeiten übertrafen. Aufgrund dessen ist eine Anpassung des Arbeits- und Zeitplans erforderlich geworden, um die noch offenen Arbeitspakete mit den Bearbeitungszeiträumen zu verschieben oder zu verlängern.

Die Vorbereitung und Vergabe der Installationen im bereitgestellten Abschnitt des Digitalen Testfelds Autobahn gestaltete sich deutlich zeitintensiver als ursprünglich geplant. Neben dem Vorliegen der erforderlichen Entsperrung der Mittel für die Baumaßnahmen sind umfangreiche erforderliche Aktivitäten (u.a. Kabelmessung, Präsentation Meilenstein 3, Vor-Ort-Begehungen, Detailplanung der Ausführung sowie Erstellung des Leistungsverzeichnisses) erforderlich gewesen. Weiterhin bestanden nicht beeinflussbare Rahmenbedingungen für die Ausführung wie jahreszeitliche Restriktionen für die Bauarbeiten (kein Frost für Tiefbau, Temperatur muss über 5°C liegen für Arbeiten am Kabel), die eine Verlängerung der Projektlaufzeit notwendig machten. Innerhalb der ursprünglich geplanten Projektlaufzeit und Ende des Projekts zum 30.11.2019 hätten weder die Baumaßnahmen noch Tests und Rückbau erfolgen können, sodass aufgrund der Verzögerungen in den oben genannten Arbeitspaketen vom Fraunhofer IFF am 13.09.2019 eine kostenneutrale Projektverlängerung um 11 Monate und einem neuen Projektende zum 31.10.2020 beantragt worden. Diesem Antrag auf Laufzeitverlängerung ist mit einem Änderungsbescheid vom 30.09.2019 zugestimmt worden.

Nach erfolgter und bestätigter Verlängerung der Projektlaufzeit ist die erforderliche Ausschreibung für die Beauftragung der Tiefbauarbeiten am 11.10.2019 mit der Beauftragung des Unternehmens Axians GA Netztechnik erfolgreich abgeschlossen worden. Mit Beginn der Leistungserbringung der Tiefbauleistungen und Abstimmung eines Zeitplans konnte darauf aufbauend die Ausschreibung der Komponenten für die Installation der Stromversorgung und datentechnischen Anbindung vorbereitet werden. Hier ist eine Beauftragung an die Telent im März 2020 erfolgt, die nach Durchführung von Labortests die Installation der Technik im Digitalen Testfeld Autobahn installiert hat. Anschließend ist durch das Projektkonsortium eine Installation der im Projekt entwickelten Technik bestehend aus den Roadside-ITS-Stationen entlang der Autobahn sowie deren Anbindung an die Stromversorgung und Datenverbindung vorgenommen worden, die am 09.06.2020 durch die Inbetriebnahme des Systems erfolgreich abgeschlossen werden konnte. Ab diesem Datum sind bis Ende September Praxistests in

Form von Testfahrten durch das Projektkonsortium sowie durch einen Dauerbetrieb mit der Aufnahme von Daten von Fahrzeugen, die bereits über diese Technik verfügen und den Autobahnabschnitt befahren haben, durchgeführt worden.

Fraunhofer IFF

Personalkosten des Fraunhofer IFF sind wie geplant in Anspruch genommen worden.

Die für die Ausführung der Leistungen des Tiefbaus sowie elektrotechnischen Installation benötigten Mittel sind um ca. 2% überbucht worden.

Entgegen der ursprünglich geplanten benötigten und beantragten Höhe an Mitteln für sonstige unmittelbare Vorhabenkosten, zu denen die genannten Unterbeauftragungen gehören, sind bereits bei den in den jeweiligen Ausschreibungen eingereichten Angeboten Preisanpassungen seitens der anbietenden Unternehmen vorgenommen worden, die sich aus über die Zeit entstehenden Preissteigerungen ergeben haben. Weiterhin ist es bei Beauftragung von Bauleistungen laut VOB (Vergabe- und Vertragsordnung von Bauleistungen) und auch aufgrund sich während der Baumaßnahmen ergebenden Änderungen möglich und erforderlich, Anpassungen an den einzelnen Leistungspositionen vorzunehmen.

Im Rahmen einer Beantragung der Umwidmung von Reisekosten, die nicht in vollem Umfang genutzt wurden, ist vorgesehen, die Mehrkosten auszugleichen.

GATE-IC

Die geplanten Personalkosten sind vollumfänglich wie geplant in Anspruch genommen worden. Die Reisekosten wurden mit mehr als 50% überbucht. D.h., hier ist ein Defizit zur ursprünglichen Planung der Reisekosten entstanden. Die Zunahme hängt damit zusammen, dass mehr Reiseaktivitäten als ursprünglich geplant für die Testungen notwendig waren. Die geplante Position für die Unterbeauftragung an einen Dritten im Bereich des AP 5 und AP 1.4 wurde nicht mehr realisiert, da sich dieser Bedarf der Unterbeauftragung im Projektverlauf als nicht mehr notwendig ergeben hat und vom Projektkonsortium übernommen wurde. Für die o.g. Position wurden im Antrag explizit Kosten kalkuliert. Diese Kosten werden an den Fördermittelgeber zurückgegeben.

Dahingehend ist abschließend mit dem Fördermittelgeber der Ausgleich abzuklären und ein Antrag auf Mittelumwidmung zu stellen, damit die zusätzlichen beanspruchten Reisekosten zurückerstattet werden können. Basis für diese Mittelumwidmung sind die Finanzmittel für die nichterfolgte o.g. Unterbeauftragung, welche an den Fördermittelgeber zurückgegeben werden.

Thorsis

Die geplanten Personalkosten wurden in voller Höhe, wie beantragt, in Anspruch genommen. Zur Erstellung der Software zur Testauswertung wurden mehr Personalressourcen benötigt als geplant und es entstanden nicht geplante Mehraufwände, die nicht über das Projekt abgerechnet wurden. Die geplanten Materialkosten wurden in Höhe von 90% der bewilligten Mittel abgerufen.

Dienstreisen wurden durchgeführt, jedoch sind diese intern verrechnet worden, sodass die beantragten Reisekosten nicht in Anspruch genommen worden.

Es sind keine Mittelumwidmungen zur Mittelverschiebung auf andere Kostenpositionen erfolgt.

I V Literaturverzeichnis

- [1] ETSI, *EN 202 663 - Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specifications for Intelligent Transport Systems operating in the 5GHz frequency band*, ETSI, 2013.
- [2] ETSI EN 302 663, *Intelligent Transport Systems ITS*, 2012.
- [3] ETSI TS 102 687, *Intelligent Transport Systems ITS*, 2011.
- [4] Qualcomm, „MAC Layer Performance of ITS G5 - Optimized DCC and Advanced Transmitter Coordination,“ in *4th ETSI TC ITS Workshop*, Doha, 2012.
- [5] 5G Infrastructure Public Private Partnership, „5G Automotive Vision,“ 2015.
- [6] C. Cordero, *Optimizing 5G for V2X - Requirements, Implications and Challenges*, Cisco Systems Inc., 2016.
- [7] A. Festag, „Standards for Vehicular Communication - from IEEE 802.11p to 5G,“ *Elektrotechnik und Informationstechnik*, Bd. 132, Nr. 7, pp. 409-416, September 2015.
- [8] A. Filippi, K. Moerman, G. Daalderop, P. D. Alexander, F. Schober und W. Pfliegl, „Why 802.11p beats LTE and 5G for V2x,“ April 2016. [Online]. Available: <http://www.eenewsautomotive.com/design-center/why-80211p-beats-lte-and-5g-v2x>.
- [9] H. Gajek, „Da funkt sich was zusammen,“ Dezember 2016. [Online]. Available: <https://www.golem.de/news/vernetztes-fahren-da-funkt-sich-was-zusammen-1612-124758.html>.
- [1] F. Greis, „Großes Bohei um kurze Latenzzeiten,“ März 2017. [Online]. Available: <https://www.golem.de/news/vernetztes-fahren-die-pseudo-tests-auf-der-autobahn-9-1703-126633-2.html>.
- [1] F. Greis, „Delphi lässt Autos serienmäßig per WLAN kommunizieren,“ Januar 2017. [Online]. Available: <https://www.golem.de/news/vernetztes-fahren-delphi-laesst-autos-serienmaessig-per-wlan-kommunizieren-1701-125361.html>.
- [1] J. B. Kenney, *ICT for ITS: An industry view on safety and global harmonization*,
 2] Toyota InfoTechnology Center, USA, 2017.
- [1] CEF, „C-ROADS,“ 2017. [Online]. Available: <https://www.c-roads.eu/platform.html>.
- [1] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, „Cooperative ITS Corridor,“ 2017. [Online]. Available: <http://c-its-korridor.de/?menuId=1&sp=de>.

- [1] „simTd,“ 2017. [Online]. Available:
5] <http://www.simtd.de/index.dhtml/deDE/index.html>.
- [1] C. Payerl, „Integration von Car-to-X Kommunikation in die E/E-Architektur von
6] Fahrzeugen,“ Technische Universität Graz, Graz, 2013.
- [1] S. Laux und e. al, „Demo: OpenC2X - An Open Source Experimental and
7] Prototyping Plattform Supporting ETSI ITS-G5,“ in *IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*, 2016.
- [1] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, Bonn, IT-Grundschutz-
8] Kompendium, Bonn: Bundesanzeiger Verlage, 2018.
- [1] ublox, „VERA-P1-series,“ ublox, [Online]. Available: <https://www.u-blox.com/en/product/vera-p1-series>.
- [2] C. F. M. J. C. D. C.-M. Leandro Miguel Lopez, „Understanding the Impact of the
0] PC5 Resource Grid Design on the Capacity and Efficiency of LTE-V2X in Vehicular Networks,“ *Wireless Communications and Mobile Computing*, Bd. 2020, p. 13, 2020.
- [2] V. Martinez und F. Berens, „Survey on CAM statistics,“ 14 December 2018.
1] [Online]. Available: https://www.car-2-car.org/fileadmin/documents/General_Documents/C2CCC_TR_2052_Survey_on_CAM_statistics.pdf. [Zugriff am 15 10 2020].