Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DLR

Fraunhofer IIS
& Partner

DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT UND RAUMFAHRT
INSTITUT FÜR VERKEHRSSYSTEMTECHNIK

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR INTEGRIERTE SCHALTUNGEN IIS

HALI-BERLIN

Abschlussbericht

Förderkennzeichen:
50NP1702 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Verkehrssystemtechnik
50NP1703 Fraunhofer - Institut für Integrierte Schaltungen IIS

Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2017 – 31.12.2023

Berichtsversion: 1.0, 28.06.2024

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

ZUWENDUNGSEMPFÄNGER

Die Zuwendungsempfänger sind:

- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR, 51170 Köln)
- Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der Angewandten Forschung e.V. (Hansastraße 27c, 80686 München) für ihre Institute

#	Partner / Anschrift	Projektleitung	Telefon / Fax / E-Mail	Webseite
1	**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Verkehrssystemtechnik** Rutherfordstraße 2 12489 Berlin	Dr. Robert Oertel, Ronald Nippold	+49 3067055-650 robert.oertel@dlr.de +49 3067055-263 ronald.nippold@dlr.de	www.dlr.de/ts
2	**Fraunhofer IIS** Nordostpark 84 90411 Nürnberg	Matthias Overbeck, Alexander Rügamer	+49 911 58061-6368 matthias.over-beck@iis.fraunhofer.de +49 911 58061-6379 alexander.rue-gamer@iis.fraunhofer.de	www.iis.fraunhofer.de

UNTERAUFTRAGNEHMER

#	Unterauftragnehmer / Anschrift	Leitung des Unterauf-trags	Telefon / Fax / E-Mail	Webseite
1	**Siemens AG** DF FA SE DS SD 2 Breslauer Straße 5 90766 Fürth	Ronald Weigel	+49 911 750-4596 +49 911 750-4664 ronald.weigel@sie-mens.com	www.siemens.de
2	**Airbus Defence and Space GmbH** 81663 München	Dr. Jan Wendel	+49 89 607-33833 +49 89 607-21023 jan.wendel@airbus.com	www.airbus.com
3	**IABG mbH** Einsteinstraße 20 85521 Ottobrunn	Dr. Stefan Baumann	+49 89 6088-4093 +49 89 6088 13-4093 baumanns@iabg.de	www.iabg.de
4	**Alarm Dispatcher Systems GmbH** Breitscheidstraße 84 01237 Dresden	Willi Schmidt	+49 351 418836-112 +49 351 418836-65 ws@alarm-dispatcher.de	www.alarm-dispat-cher.de

AUTOREN

#	Organisation	Autoren
1	**Fraunhofer IIS**	Matthias Overbeck
2	**Fraunhofer IIS**	Mathias Zink
3	**Fraunhofer IIS**	Christoph Miksovsky
4	**DLR**	Robert Oertel
5	**DLR**	Ronald Nippold

ÄNDERUNGEN

Version	Änderung
0.9	Initiale Version durch FhG-IIS
1.0	Ergänzte Version durch DLR

Inhaltsverzeichnis

1 Kurzbeschreibung des Vorhabens 5
1.1 Aufgabenstellung mit Ergebnissen 5
1.2 Voraussetzungen 6
1.3 Planung und Ablauf 7
1.4 Anknüpfung an wissenschaftlichen und technischen Stand 10
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen 10
2 Eingehende Darstellung 11
2.1 Verwendung der Zuwendung und erzieltes Ergebnis 11
2.1.1 Motivation und vorgegebene Ziele 11
2.1.2 Durchgeführte Arbeiten nach Arbeitspaketen 13
2.1.2.1 AP 1000 Projektmanagement (DLR) 13
2.1.2.2 AP 2000 Anforderungsanalyse (FhG-IIS) 13
2.1.2.3 AP 3000 Entwicklung (FhG-IIS) 21
2.1.2.4 AP 4000 Installation und Validierung (DLR) 23
2.1.2.5 AP 5000 Demonstration (DLR) 44
2.1.2.6 AP 6000 Maintenance (DLR, FhG) 47
2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 53
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 53
2.4 Voraussichtlicher Nutzen 53
2.5 Während der Durchführung bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen 54
2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse 54

1 Kurzbeschreibung des Vorhabens

1.1 Aufgabenstellung mit Ergebnissen

Galileo PRS (Public Regulated Service) ist ein spezieller, kryptographisch geschützter Navigationsdienst, welcher ausschließlich behördlichen und von Behörden autorisierten Nutzern zur Verfügung steht. Durch eine leistungsstarke Verschlüsselung ist die absichtliche Verfälschung von Zeit und Position (Spoofing) nicht möglich. Darüber hinaus erschwert Galileo PRS durch die Verwendung unterschiedlicher Frequenzen auch die Unterbrechung bzw. Überdeckung der Navigationssignale durch eine Störquelle (Jamming). Auf diese Weise lässt sich eine Vielzahl sicherheitskritischer und anspruchsvoller Anwendungen realisieren, die mit anderen Navigationsdiensten in dieser Form nicht möglich sind.
Die genannten Eigenschaften wurden im Forschungsvorhaben HALI-Berlin genutzt, um Sondereinsatzfahrzeugen (SEF) von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) den potenziellen Fahrweg an Kreuzungen mit Lichtsignalanlagen (LSA) freizuschalten. Damit die für eine Freischaltung notwendige Positionsbestimmung der SEF zuverlässig in innerstädtischen Umgebungen funktioniert und dieser Dienst nicht missbraucht werden kann, erfolgte die Ortung mit Hilfe der geschützten Galileo PRS-Signale. Für diesen Zweck wurde der PROOF miniPRS-Empfänger für die Verwendung in verschiedenen SEF der Polizei Berlin und der Berliner Feuerwehr unter realen Einsatzbedingungen weiterentwickelt. Darüber hinaus wurden eine Anzahl von acht LSA in einem verkehrlich hoch belasteten, innerstädtischen Bereich Berlins für die Kommunikation mit einem zentralen HALI-Server technisch umgerüstet sowie die Signalprogramme entsprechend angepasst. Auf diese Weise wurde die Umsetzbarkeit der Priorisierung von SEF an LSA auf Basis von Galileo PRS praktisch demonstriert und der dadurch erzielbare verkehrliche und volkwirtschaftliche Nutzen gezeigt.

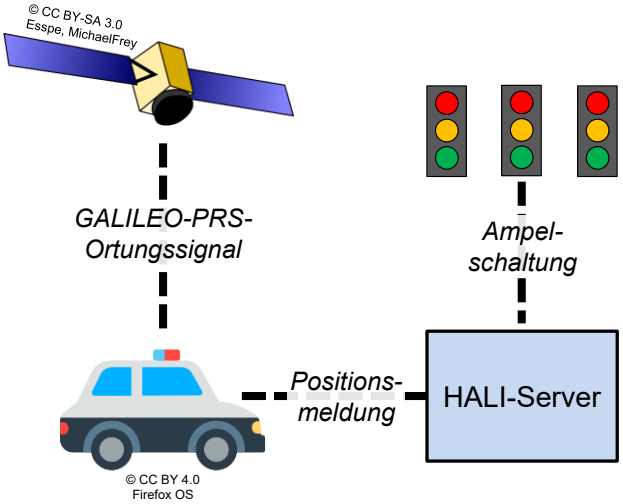


Abbildung 1-1: Schematischer Systemaufbau von HALI-Berlin.

Das Fraunhofer IIS verantwortete bei dem vorliegenden Forschungsvorhaben die Weiterentwicklung der PRS-Hard- und -Software für die Verwendung unter realen Einsatzbedingungen. Zur Durchführung dieser Aufgabe wurden in Phase 1 des Vorhabens Unteraufträge an Airbus Defence and Space GmbH, Siemens AG und IABG GmbH vergeben. In Phase 2 wurden die Unteraufträge an Airbus Defence and Space GmbH und Siemens AG erweitert. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt hatte die Gesamtprojektleitung inne und war für die verkehrlichen Aufgabenstellungen im Projekt verantwortlich. Dazu zählten die Umsetzung des HALI-Servers im Backend, die hardwareseitige Umrüstung der Verkehrssteuerung im Testfeld sowie die Realisierung von an HALI-Berlin angepasste LSA-Steuerprogramme. Die Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt und die Senatsverwaltung für Inneres und Sport unterstützten das Vorhaben bei der Umsetzung von HALI-Berlin im innerstädtischen Testfeld in Berlin-Moabit. Die Alliander Stadtlicht GmbH war als Berliner LSA-Generalübernehmer

ebenso bei der Umsetzung eingebunden. In Phase 2 wurde das DLR durch die Alarm Dispatcher Services GmbH als Unterauftragnehmer bei der Optimierung und Sicherstellung des Demobetriebs im Testfeld unterstützt. Die Endanwender Polizei Berlin und Berliner Feuerwehr definierten die Nutzeranforderungen und testeten das implementierte HALI-Gesamtsystem unter realen Einsatzbedingungen. Darüber hinaus evaluierten diese Endnutzer gemeinsam mit dem DLR den verkehrlichen Nutzen unter besonderer Berücksichtigung der Einsatzerfordernisse.

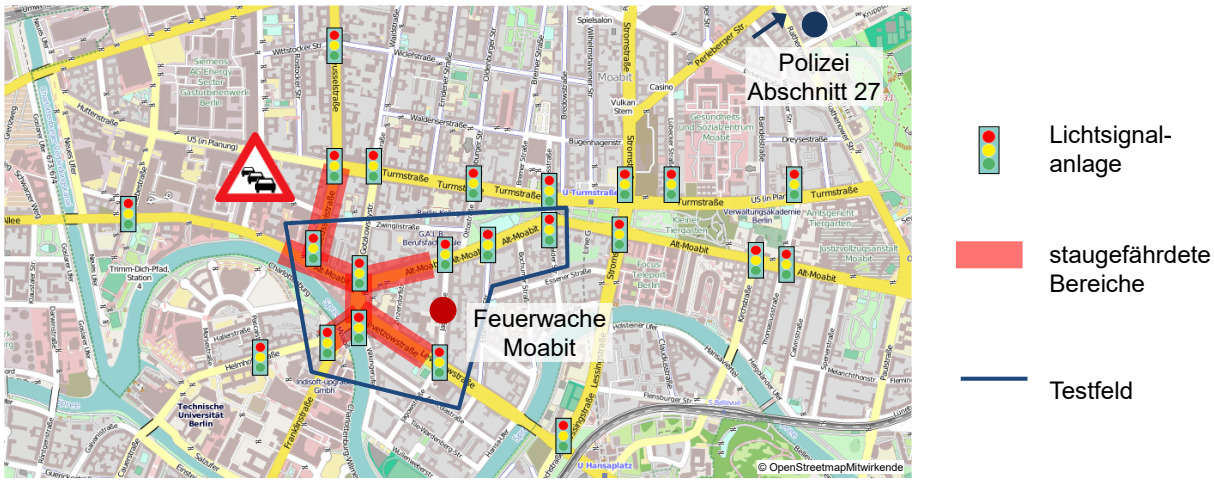


Abbildung 1-2: Innerstädtisches Testfeld für HALI-Berlin im Stadtteil Moabit.

Der nationale PROOF-Empfänger wurde 2014 entworfen und sukzessiv verbessert. Ursprünglich stammt die Hard- und Software von P3RS-2 ab, einem Empfänger, welcher nicht für „Performance“, sondern nur unter Gesichtspunkten der vollständigen Umsetzung der PRS-Sicherheitsfunktionen entwickelt wurde. Innerhalb von PROOF wurden neue Anti-Stör und Anti-Täusch-Technologien implementiert. Des Weiteren wurde die Akquisition des PROOF durch das DIRACU-Modul signifikant verbessert und das Projekt HALI-Berlin trug zur Erhöhung der Tracking-Performance in schwierigen Umgebungen bei.

Aufgrund von großen Verzögerungen bei der Zulassung der Galileo PRS-Empfänger konnten in Phase 1 hauptsächlich nur Daten mit Hilfe der Galileo OS-Signale gewonnen werden. Der Zulassungsprozess der PROOF-PRS-Empfänger konnte erst Ende 2022 erfolgreich beendet werden. Aus diesem Grund – und mit weiteren Verbesserungen aus der ersten Projektphase – wurde in der Phase 2 erneut eine Dauer-Evaluierung durchgeführt, nun aber unter dem Einsatz von echtem PRS. Dies war weltweit das erste Mal, dass Galileo PRS in einem nicht-militärischen Dauerbetrieb von hoheitlichen Anwendern eingesetzt wurde. Die Abschlussveranstaltung der ersten Phase mit Teilnehmern von anderen europäischen Galileo PRS-Behörden hat das große Interesse – auch im EU-Außenraum -- an diesen Einsatztests bestätigt. Phase 2 sollte zunächst für 12 Monate durchgeführt werden, um neben den entsprechenden Optimierungen des Testfeldes, den Umrüstungen der Testfahrzeuge mit echten Galileo PRS-Empfängern auch eine ausreichende Sammlung von Daten zu unterschiedlichen Verkehrssituationen für eine valide Ergebnisauswertung zu gewährleisten. Aufgrund der beschriebenen Verzögerungen im Zulassungsprozess wurde die Phase 2 letztendlich auf 24 Monate verlängert. Die Gesamtlaufzeit des Vorhabens betrug somit 78 Monate.

1.2 Voraussetzungen

Mit der Durchführung dieses Vorhabens wurden Rahmenbedingungen für die Schaffung von Know-how und geistigem Eigentum (IP, Intellectual Property) im Bereich Galileo PRS, Sicherheitstechnik und Satellitensignalverarbeitung im Allgemeinen sowie im satellitennavigationsbasierten Bereich der Verkehrssteuerung und -bevorrechtigung von Sondereinsatzfahrzeugen gefördert und vorangetrieben. Damit verbunden sind der Erhalt und die Schaffung von hochqualifizierten Arbeitsplätzen in einem zukunftsträchtigen Wachstumsbereich (Schlüsseltechnologien).

Die durchgeführten Untersuchungen und erzielten Ergebnisse sollen als Grundlage für eine mögliche, anschließende PRS-Technologie-(Weiter-)Entwicklung zur Realisierung von zulassungsfähigen Galileo PRS „unclassified-even-when-keyed“ Empfängerkarten dienen.

Neben den funktionalen Anforderungen gehörten dazu ebenfalls die (zumindest nach Herstellerangaben) zu erreichende Sicherheit. Auch kommerzielle und vertraglichen Aspekte spielen eine wichtige Rolle in der Bewertung der IP.

HALI-Berlin ist ein Projekt, welches aktiv einen Beitrag zu den Zielen der Raumfahrtstrategie der Bundesregierung leistet [Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Stand 2012, „Für eine zukunftsfähige deutsche Raumfahrt – Die Raumfahrtstrategie der Bundesregierung“]:

- Die in HALI-Berlin untersuchten Methoden tragen zur Unterstützung hoheitlicher Aufgaben für die Gewährleistung einer gesamtstaatlichen Sicherheitsvorsorge bei.
- Die HALI-Projektziele tragen zur Behauptung der Führungsrolle Deutschlands bei Galileo und innovativen Navigationsanwendungen bei.
- Die im Vorhaben HALI-Berlin entwickelten Technologien demonstrieren erstmals eine hoheitliche Nutzung von Galileo PRS-Empfängern in einem realen, zivilen Applikationsszenario.

1.3 Planung und Ablauf

Das Projekt HALI-Berlin war in 6 Arbeitspakete (AP) und bis zu 6 Unterarbeitspakete gegliedert. Die Verantwortung für die einzelnen Arbeits- und Unterarbeitspakete war zwischen den Projektpartner DLR und FhG sowie den Unterauftragnehmern Airbus, IABG und Siemens verteilt.

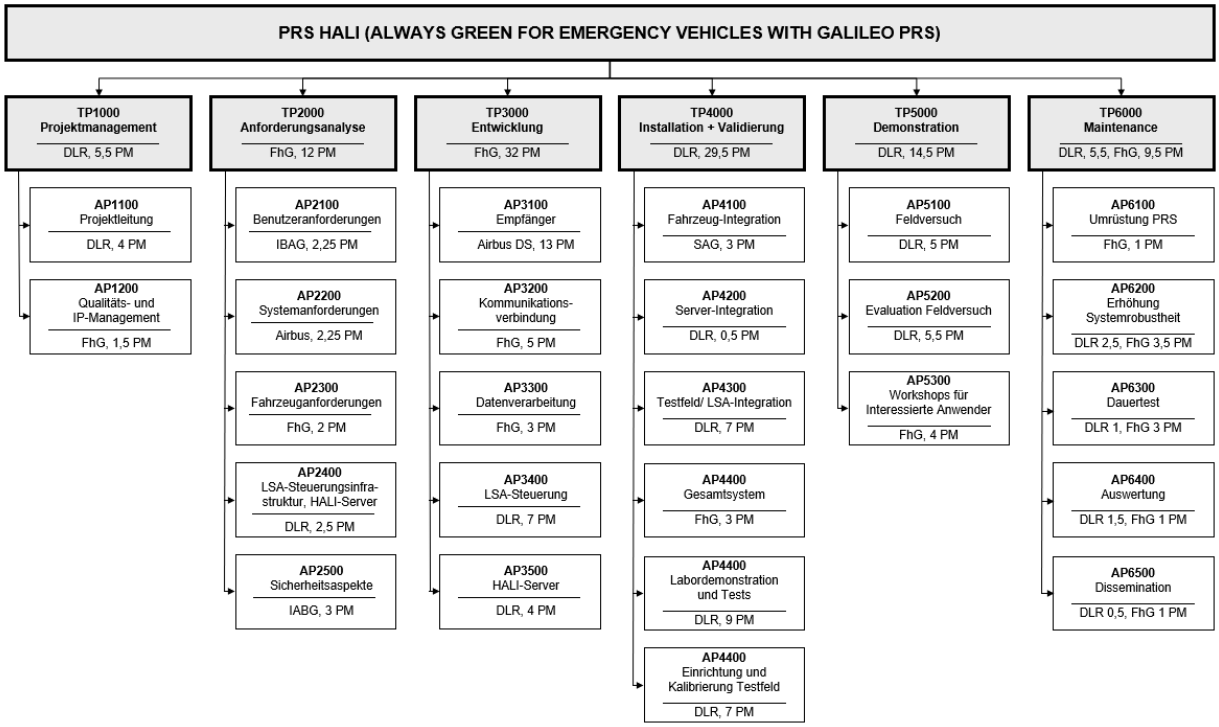


Abbildung 1-3: Arbeitspaketstrukturplan

Ursprünglich war das Projekt vom 01.07.2017 bis 30.06.2019 (2 Jahre) geplant, mit einem Kickoff (KO), einem Progress Review 1 (PR1), einem Progress Review 2 (PR2) und einem Final Review (FR) als Meilensteine. Da sich die geplante Zertifizierung des P3RS2-Empfängers, auf der die Delta-Zertifizierung des PROOF miniPRS-Empfängers basiert, mehrfach verzögerte und das Projektteam darauf keinen Einfluss hatte, musste die Projektlaufzeit mehrmals angepasst werden. Mit dem Kurzbericht März 2019 wurde eine kostenneutrale Laufzeitverlängerung um 6 Monate bis Ende 2019, mit dem Kurzbericht November 2019 eine Verlängerung bis September 2020 und mit dem Kurzbericht Juli 2020 eine weitere Verlängerung bis März 2021 beantragt.

Im Februar 2021 wurde bekannt, dass die Zertifizierung des PROOF miniPRS-Empfängers nicht während der verlängerten Projektlaufzeit abgeschlossen sein wird und wegen der COVID19-Pandemie keine gültigen PRS-Schlüssel verfügbar sein werden. Deswegen konnten die PRS-Tests nicht wie geplant bis Ende März 2021 abgeschlossen werden.

Folgende Punkte wurden deswegen mit dem Projektträger als Gegenmaßnahmen abgestimmt:

- eine kostenneutrale Projektverlängerung um weitere 4 Monate bis zum 31.07.2021,
- eine Demonstration der PRS-Funktionalität der miniPRS-Empfänger innerhalb dieses Zeitraums mit einer Sondergenehmigung,
- eine OS-Demonstration des Gesamtsystems einschließlich LSA-Bevorrechtigung.

Mit Juli 2021 musste das Projekt abermals um 3 Monate, bis zum 31.10.2021, verlängert werden, da die PRS-Schlüssel zunächst weiterhin nicht zur Verfügung standen. Die angestrebte PRS-Demo konnte dann, trotz dieser zahlreichen Verzögerungen bei der Zertifizierung, erfolgreich durchgeführt und, unter Beachtung der damaligen Veranstaltungsbeschränkungen aufgrund der COVID19-Pandemie, im Rahmen einer Zwischenabschlussveranstaltung am 12.08.2021 im Live-Einsatz präsentiert werden.

Nach der PRS-Demo 2021 wurde eine Projektphase 2 für weitere 2 Jahre beschlossen und vom Projektträger genehmigt. Diese sollte in erster Linie folgende Punkte umfassen:

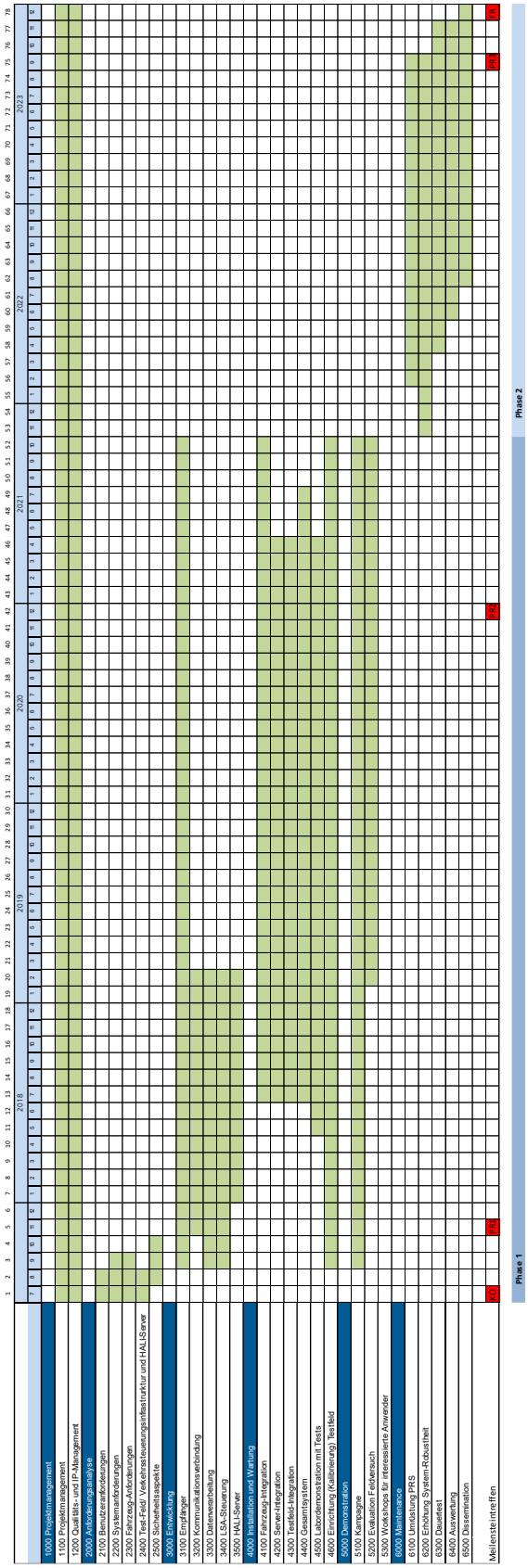
- eine Langzeitstudie zu Galileo (PRS) Empfang in urbanen Szenarien
- PRS-Demonstration des Gesamtsystems, einschließlich LSA-Steuerung, mit zugelassenen „UNCLA-even-when-keyed“ Empfängern (Zulassung ist im nationalen PRS-Projekt "SIZE" erfolgt)

Aufgrund weiterer Verzögerungen im Zulassungsprozess der Empfänger wurde das Projekt zwei weitere Male um je 6 Monate bis 30.06.2023 bzw. 31.12.2023 verlängert.

Am 19.12.2023 wurde das Gesamtsystem mit PRS und „UNCLA-even-when-keyed“ Empfängern in Berlin vor Vertretern von Polizei, Feuerwehr, dem Projektteam und dem Projektträger präsentiert und demonstriert und das Projekt somit erfolgreich abgeschlossen.

Im Folgenden ist der Arbeitsplan im Projekt HALI-Berlin im Detail dargestellt. Dieser enthält beide Projektphasen sowie alle kostenneutralen Projektverlängerungen.

Tabelle 1-1: Projektplan HALI-Berlin mit den beiden Projektphasen inkl. allen kostenneutralen Projektverlängerungen



1.4 Anknüpfung an wissenschaftlichen und technischen Stand

Die Bevorrechtigung von Sondereinsatzfahrzeugen an Lichtsignalanlagen durch Freischalten einer gewünschten Fahrtrichtung ist an sich betrachtet kein neues Konzept. Weltweit ist eine Vielzahl solcher Anlagen im täglichen Einsatz. Allerdings weisen diese herkömmlichen Systeme entscheidende Nachteile sowohl für die BOS als auch für das Verkehrssystem im Allgemeinen auf: Eine Ortung von Fahrzeugen kann mit bisherigen Komponenten (Standard GPS L1 Empfänger) nicht mit der erforderlichen Zuverlässigkeit, Genauigkeit und Verfügbarkeit erfolgen. Standardmäßig verwenden GNSS-Massenmarkt-Empfänger das ungesicherte GPS L1CA Signal für eine Positionierung. In einer Innenstadtumgebung mit Unterführungen oder Tunneln, Häuserschluchten und reflektierenden Oberflächen in allen Richtungen sind diese Komponenten für sicherheitskritische Anwendungen wie das Schalten von LSA ungeeignet. Es wird zusätzlich die Fusion von Inertialsensordaten und Fahrzeugdaten benötigt, um dem System mit hoher Verfügbarkeit und Zuverlässig die Positionen des Einsatzfahrzeugs mitteilen zu können. Darüber hinaus besteht bei einem System, welches Lichtsignalanlagen schaltet, stets die Gefahr des Missbrauchs. Es muss verhindert werden, dass der Einsatz von Rettungsfahrzeugen im Katastrophenfall absichtlich behindert, verzögert oder unmöglich gemacht werden können. Dafür ist es notwendig, die Position der SEF auf Basis eines gesicherten Signals, wie Galileo PRS, zu berechnen.

HALI-Berlin nutzt den in vorangegangenen Forschungsprojekten entwickelten miniPRS-Empfänger und stützt die GNSS-Positionsberechnung mit Hilfe von Sensorik, um Signalabschattungen im urbanen Umfeld entgegenzuwirken. Der für HALI zugrundeliegende Empfänger ist „PROOF“, welcher innerhalb eines F&T Projektes der WTD81 entstanden ist. In „PROOF“ sind Störunterdrückungsmethoden (Pulse-Blanking, einstellbare Bandpass- und Notch-Filter sowie Bandpass-Chirp-Blanking) entstanden. Dieser PROOF-Empfänger mit seinen Möglichkeiten wurde innerhalb von HALI in Richtung Robustheit gegen Signalabschattungen mit Hilfe von Sensorfusion von Inertialsensorik, Odometer und OS-GNSS-Messungen eines weiteren Empfängers weiterentwickelt. Damit konnte ebenfalls die Verfügbarkeit im urbanen Gebiet signifikant zu einer PRS-only-Lösung gesteigert werden.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Themenbereich rund um den Empfänger wurden Unteraufträge an die Siemens AG (SAG), die Airbus Defence and Space GmbH (ADS) und die IABG mbH vergeben. SAG verantwortete den Einbau der Empfänger in die Einsatzfahrzeuge, während die Hauptaufgaben von ADS die Weiterentwicklung und Optimierung von zwei wesentlichen Softwarekomponenten des miniPRS-Empfängers – der Sensorfusion- und Empfängermanager - waren. Die IABG besitzt Kernkompetenzen im Bereich der Erstellung der Einsatz- und Sicherheitskonzepte eines PRS-Empfängers und sollte diese nutzen, um in den Arbeitspaketen Benutzeranforderungen und Sicherheitsaspekte zusammen mit der Polizei Berlin und der Berliner Feuerwehr ein umsetzbares und akzeptiertes Nutzermerkblatt zu erstellen, welches die Sicherheit des Empfängers im Einsatz bestmöglich gewährleistet und auch die Zustimmung der nationalen PRS-Behörde hat.

Im Themenbereich zur Verkehrssteuerung wurde ein Unterauftrag an die Alarm Dispatcher Services GmbH vergeben, welche bei der Optimierung und Sicherstellung des Demobetriebs im Testfeld unterstützte. Daneben war eine Zusammenarbeit mit der Alliander Stadtlicht GmbH notwendig, welche der Berliner Generalübernehmer der rund 2.100 Lichtsignalanlagen in der Stadt ist. Umrüstungen und Anpassungen der Lichtsignalanlagen im Testfeld wurden entsprechend beauftragt. In diesem Zusammenhang waren auch Abstimmungen mit der Berliner Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt notwendig, die die genehmigende Behörde für sämtliche Umrüstungen und Anpassungen war.

Daneben wurde mit der Berliner Senatsverwaltung für Inneres und Sport sowie der Polizei Berlin und der Berliner Feuerwehr zusammengearbeitet, die die Bereitstellung der Sondereinsatzfahrzeuge sowie den Praxisbetrieb unterstützten.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung und erzieltes Ergebnis

2.1.1 Motivation und vorgegebene Ziele

Gesamtziel des Vorhabens: Das Ziel des Vorhabens HALI-Berlin bestand in der Demonstration und praktischen Nutzung von Galileo PRS für die Positionsbestimmung von Sondereinsatzfahrzeugen (SEF) unter realen Einsatzbedingungen in einer komplexen, innerstädtischen Umgebung. Auf Basis dieser Positionsbestimmung sollte einerseits eine Verringerung der Fahrtzeiten von SEF durch das rechtzeitige Freischalten der Fahrwege und entsprechende Räumung der Kreuzungsbereiche an lichtsignalgesteuerten Knoten bewirkt werden. Andererseits soll HALI-Berlin die Verkehrssicherheit für alle Verkehrsteilnehmer wesentlich erhöhen und negative Auswirkungen von Einsatzfahrten auf den allgemeinen Verkehrsfluss möglichst minimieren. Für diese Zwecke mussten aktuelle Positionsdaten von SEF sicher und störungsfrei erfasst und an die Verkehrssteuerung übermittelt werden. Außerdem sollten die Signalprogramme an den Lichtsignalanlagen (LSA) so erweitert werden, dass anhand der Positionsdaten die Fahrwege mit einem entsprechenden zeitlichen Vorlauf für die SEF freigeschaltet werden können.
Zur Erfüllung der Anforderungen hinsichtlich Verlässlichkeit, Störresistenz und Genauigkeit der Positionsbestimmung der SEF unter realen Einsatzbedingungen musste der MiniPRS-Empfänger weiterentwickelt werden. Die bisherigen Entwicklungen für den MiniPRS-Empfänger zielten auf die reine Funktionalität mit den OS- und den PRS-Signalen unter Laborbedingungen ab. Im HALI-Projekt sollten neue Algorithmen für das schwierige Umfeld „Innenstadt“ für diesen Empfänger entwickelt werden, die trotz Abschattungen und Reflexionen eine robuste und präzise Positionsbestimmung mit einer hohen Verfügbarkeit zulässt. Außerdem musste der Empfänger für den Einsatz in Straßenfahrzeugen gehärtet werden, damit er sich widerstandsfähig gegenüber Witterungseinflüssen, Temperaturschwankungen, Beschleunigungen, Erschütterungen und Stößen zeigt. Darüber hinaus waren die notwendigen Schnittstellen zur Anbindung der Fahrzeugsensorik bereitzustellen.
Die Potentiale zur Einsparung der Reisezeiten für Fahrzeuge der polizeilichen und nicht-polizeilichen Gefahrenabwehr und damit zur verlässlicheren Einhaltung der Hilfsfrist, sollten im Rahmen des Vorhabens HALI-Berlin über einen längeren Zeitraum und bei verschiedenen Verkehrssituationen ermittelt und bewertet werden. Außerdem können durch diese Analyse statistische Aussagen zur Unfallhäufigkeit und der Erhöhung der (Verkehrs-)Sicherheit aller Verkehrsteilnehmer an LSA-geregelten Kreuzungen in Zusammenhang mit Einsatzfahrten ableiten werden. Dadurch können die Potentiale zur Verringerung der volkswirtschaftlichen Kosten infolge von Unfallschäden der SEF und anderer Verkehrsteilnehmer abgeschätzt werden. Schlussendlich kann auch die erzielbare verkehrliche Wirkung der durch HALI-Berlin ermöglichten Freigabe nicht-feindlicher Verkehrsströme während Einsatzfahrten und insbesondere ihr Potential zur Vermeidung weitreichender Staus in hochbelasteten, innerstädtischen Bereichen bewertet werden.
Die Eignung von HALI-Berlin sollte für alltägliche Einsatzlagen analysiert und bewertet werden. Der systembedingte Vorteil von Galileo PRS kommt jedoch insbesondere während Krisenfällen zum Tragen, wenn die rein GPS-gestützte Positionsbestimmung gestört oder nicht mehr verfügbar ist.

Weiterentwicklung der miniPRS-Hardware: Die im Projekt GOOSE entwickelte Antenne, als prototypische Antenne für Einsatzfahrzeuge, wurde weiterentwickelt und verwendet. Hierbei wurden besonders die Empfangseigenschaften auf dem Fahrzeug geprüft. Damit eine inertiale Messeinheit (IMU) und Raddrehzahlen und Lenkwinkel mit GNSS-Positionsdaten fusioniert werden konnte, wurden neue Schnittstellen entwickelt, mit welchen man derartige Informationen in den Empfänger einlesen und verarbeiten kann.
Zusätzlich wurde der PROOF-Empfänger mit einem Kommunikationsmodul verbunden, damit Korrekturdaten und initiale GNSS-Daten empfangen und Positionsdaten versendet werden konnten. Der Empfänger wurde für die Bedingungen im Einsatzfahrzeug gehärtet. Der Nutzen der neu entwickelten Algorithmen bzgl. Abschattungen und

Mehrwege sowie der engen Kopplung wurde von Fraunhofer über den mobilen LINK-Galileo-Van validiert, bevor es zur Einrüstung in die Einsatzfahrzeuge kam.

Weiterentwicklung von PRS-Software-Komponenten: Für die Tests der Algorithmen wurde eine Testumgebung entworfen, die GNSS-Signale und INS-Rohdaten synchronisiert bereitstellt. Mit diesen Daten konnte für Vorab-Tests ein Software Defined Radio (SDR) betrieben werden.
Zusätzlich wurden einige der im PRS-Empfänger eingesetzten Algorithmen (z.B. das Tracken auf dem Haupt-Peak bei den PRS-Signalen als auch eine Optimierung der Akquisitionsstrategie zur Erhöhung der Verfügbarkeit) durch Neuentwicklungen ersetzt. Ziel der Optimierungen war eine verbesserte Akquisitionsstrategie und ein verbessertes Verhalten bei Mehrwegeausbreitung. Des Weiteren wurde die Positionslösung durch eine enge Kopplung mit Inertialsensoren und Fahrzeugsensoren robuster und verfügbarer gemacht.

Weiterentwicklung und Validierung des Schlüsselmanagements: In enger Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) wurden die notwendige Schlüsseltransporte für die PRS-Signale mit Hilfe des Black Box Key Management Equipment durchgeführt bzw. auch das BSI durch das Projektteam unterstützt.

Implementierung PRS-Hardware in SEF von Polizei und Feuerwehr Berlin: Für den vibrationsarmen und passgenauen Einbau des HALI-Empfängers in SEF von Polizei und Feuerwehr wurde ein Montage-Kit entwickelt. Bestandteil des Kits waren auch die Verbindungen des Empfängers zur Fahrzeugelektronik und -sensorik. Der HALI-Empfänger wurden in insg. fünf Einsatzfahrzeuge getestet.
In Phase 2 wurden alle bisherigen Empfänger durch PROOF-Empfänger mit entsprechenden abstrahlgeschützten Gehäusen getauscht, damit man echtes, operationelles PRS einsetzen kann.

Implementierung HALI-Server: Ein zentraler HALI-Server wurde implementieren, der die Positionen der SEF auf einer digitalen Karte des Testfeldes verortet. Ausgehend von diesem Map-Matching konnten die LSA des Testfeldes bei Annäherung der SEF ausgelöst werden. Auf dem HALI-Server wurden daneben noch vielfältige weitere Dienste und Services umgesetzt. Dazu zählen z.B. ein Routing-Service, der die Einsatzroute für eine Fahrt berechnet, ein Annäherungs-Service, der für die zeitlich und phasenabhängig passgenaue Auslösung einer Bevorrechtigung sorgt, Kommunikationsdienste zum Datenaustausch mit den HALI-Empfängern und Einsatzleitsystemen von Polizei und Feuerwehr sowie Logging-Dienste für die Datenaufzeichnung.

Entwicklung einer LSA-Schaltung für HALI-Berlin und Implementierung im Testfeld: Für die einzelnen LSA im Testfeld wurden lokale Schaltprogramme entwickelt, die die Bevorrechtigung der SEF ermöglichen und den übrigen Verkehr dabei möglichst wenig beeinflussen. Diese Schaltprogramme wurden in der Laborumgebung getestet, durch die genehmigende Behörde freigeben und in den LSAs im Testfeld eingespielt. Die LSAs wurden technisch um eine Schnittstelle erweitert, so dass sie die Schaltwünsche des HALI-Servers empfangen und die zuvor hinterlegten Schaltprogramme auf den Anlagen aktivieren können.

Härtung des Gesamtsystems hinsichtlich Einsatzbedingungen: Das implementierte Gesamtsystem aus den umgerüsteten LSAs, den in den Einsatzfahrzeugen verbauten Galileo-PRS-Empfängern sowie HALI- und Assistenzdaten-Server befand sich zum Ende von Phase 1 grundsätzlich in einem funktionsfähigen Zustand und lief bereits im Schattenbetrieb. In Phase 2 wurde das Zusammenspiel der Systemkomponenten unter Berücksichtigung einer Vielzahl möglicher Einsatz- und Umfeldbedingungen weiter optimiert, damit das HALI-Gesamtsystem verlässlich unter allen Bedingungen zur Verfügung stand. Dies schloss eine Härtung aller Kommunikationsweg explizit mit ein.

Demonstration und Evaluation von HALI-Berlin: Das Gesamtsystem aus PRS-Hardware, Schlüsselmanagement, Implementierung in den SEF, HALI-Server und Umsetzung der LSA-Schaltungen wurde im Testfeld für alle

Beteiligten demonstrieren. Dabei fand begleitend eine Evaluation statt, die zum einen die verkehrlichen Effekte für die SEF beurteilt und zum anderen die Auswirkungen von HALI-Berlin auf den übrigen Verkehr bewertet.

2.1.2 Durchgeführte Arbeiten nach Arbeitspaketen

2.1.2.1 AP 1000 Projektmanagement (DLR)

Begleitet wurden die inhaltlichen Arbeiten fortlaufend durch das organisatorische AP 1000, welches das Projektmanagement selbst und das Qualitäts- und IP-Management beinhaltete. Das Gesamtprojektmanagement lag beim DLR.

AP 1100 Projektleitung (DLR)

Die Projektleitung unter AP 1100 umfasste u.a. regelmäßige Jour Fixes mit den Projektpartnern, Controlling und Steuerung des Projektablaufs, Abstimmungen mit dem Fördermittelgeber sowie die turnusmäßige Berichtserstellung. Im Rahmen dessen wurden zudem Laufzeitverlängerungen, Mittelumwidmungen sowie -verschiebungen koordiniert. Fraunhofer IIS unterstütze hier die Kollegen vom DLR und war insbesondere für die Koordination seiner Unterauftragnehmer Airbus, Siemens und IABG zuständig.

AP 1200 Qualitäts- und IP-Management (FhG-IIS)

Die Qualität der durchgeführten Arbeiten wurde fortlaufend gemonitort und dokumentiert. Die beiden Projektpartner DLR und Fraunhofer IIS haben sich dabei eng abgestimmt und Ergebnisse gegenseitig gereviewt. Fraunhofer IIS übernahm außerdem das Geheimschutzmanagement im Projekt, um etwa die VS-Unteraufträge zu verwalten, die Schnittstelle zu den PRS-Behörden darzustellen und die VS-Informationen im Projekt zu betreuen.

2.1.2.2 AP 2000 Anforderungsanalyse (FhG-IIS)

Ziel der Arbeitspaketgruppe 2000 „Anforderungsanalyse“ war die Erfassung aller Anforderungen, die für die Umsetzung des HALI-Systems in den nachfolgenden APs notwendig waren. Dies beinhaltete die Anforderungen von Feuerwehr und Polizei als Endnutzer des Galileo PRS-Systems, von denen mit Technik auszurüstenden Einsatzfahrzeugen sowie von der Verkehrsinfrastruktur. Zudem wurden alle für das Gesamtsystem sicherheitsrelevanten Anforderungen erfasst.

AP 2100 Benutzeranforderungen (IABG)

Das AP2100 unter der Leitung von IABG umfasste folgende Arbeiten: Zuerst wurden mögliche Anwender identifiziert und bei der Realisierung des HALI-Systems involvierte Firmen, Organisationen und Behörden. Danach wurden die spezifischen Anforderungen und Aufgaben durch einen Fragebogen, telefonische Befragungen und persönliche Besprechungen ermittelt. Anhand dieser Informationen wurden die erforderlichen Funktionen identifiziert, Use Cases und Anwendungsszenarien definiert und Einflüsse auf eine abschließende Demonstration ermittelt.

Interaktion mit den HALI-Nutzergruppen

Zur Berücksichtigung der Nutzeranforderungen von Polizei und Feuerwehr Berlin an das HALI-System wurde ein enger Informationsaustausch zwischen dem Projektteam und den Verantwortlichen auf Anwenderseite etabliert. Zur Erfassung der HALI-Nutzeranforderungen ist ein detaillierter Fragebogen erstellt worden. Dieser diente als inhaltlicher Leitfaden für die konstruktiven Gespräche mit den Verantwortlichen bei Polizei und Feuerwehr Berlin. Der Fragebogen war in folgende Themenschwerpunkte untergliedert:

- Allgemeine Fragen zur Erfassung der Gesamtsystemanforderungen.
- Ablauf der Einsatzsignalisierung und Einsatzkoordination zwischen Leitstelle und Sondereinsatzfahrzeug (SEF).
- Wichtige Systeminformationen, die das HALI-System dem Nutzer während der Betriebsphase zur Verfügung stellen soll.
- Fragen zu den Anforderungen an die Empfängerdynamik, die während der Fahrt zum Einsatzort auftreten.

- Fragen zur Klärung der Verantwortlichkeiten für den operationellen Betrieb des HALI-Servers und Speicherung von wichtigen Statusmeldungen.
- Möglichkeiten der Kommunikationsanbindung zwischen PRS-Empfänger im SEF und HALI-Server.
- Zielgerichtete Fragenstellung für den Einsatz des Galileo Empfängers im HALI-Systemverbund hinsichtlich der Fahrzeugintegration und der Ausgabe von Warnsignalen bei abgeschwächten oder gestörtem GNSS-Signalempfang.
- Fragen zur Nutzung von bereitgestellten Fahrzeugtelemetrie-Daten, um die Galileo Positions-, Geschwindigkeits- und Zeitinformationen durch ein separates System zu stützen.
- Fragen zu den nutzerseitigen Sicherheitsanforderungen, die den Schutz von missionsspezifischen Einsatzdaten sicherstellen.
- Abklärung möglicher Szenarien, während derer eine Benutzung der SEFs durch unautorisiertes Personal stattfindet.
- Fragen an die Nutzer zur Einschätzung der aktuellen und zukünftigen Bedrohungslage von GNSS durch Jamming und Spoofing Attacken.
- Allgemeine Anforderung von BOS an ein späteres HALI-Produkt.
- Identifikation von weiteren Anwendungsfällen für einen HALI-Einsatz, die über die primäre Aufgabe zur Vorrangschaltung für Einsatzfahrzeuge hinausgehen.

Zunächst wurden die HALI-Anwendungsfällen und Einsatzszenarien aus den Ergebnissen der Interviews abgeleitet und definiert. Die Beantwortung des Fragebogens von den Nutzerorganisationen stellte die Grundlage zur Ableitung der Nutzeranforderung an die HALI-Systemkomponenten dar, die im Anschluss systematisch in einer Anforderungstabelle erfasst wurden.
Der Fokus zur Erfassung der Nutzeranforderungen richtete sich nicht nur an das HALI-Demonstrationsprojekt selbst, sondern auch gezielt an eine spätere Vermarktung von HALI. Damit wurde sichergestellt, dass das Projekt auch über die Demonstrator-Phase hinaus deutschlandweiten Anklang bei den BOS findet. Da manche Nutzeranforderungen aufgrund der technischen Umsetzbarkeit nicht innerhalb des Demonstrator-Projektes realisierbar, aber hinsichtlich eines HALI-Produktes essenziell sind, wurden diese in der Anforderungstabelle mit dem Erfüllungsgrad „teilweise“ gekennzeichnet.

HALI-Anwendungsfälle (Use Cases)

Hier werden die primären Anwendungsfälle für eine HALI-Nutzung aufgezählt, die aus den Gesprächen mit der Polizei und Feuerwehr Berlin hervorgegangen sind:

- Verkürzung der Anfahrtszeiten
- Verringerung der Unfallgefahr auf Kreuzungen
- Aufrechterhaltung des Verkehrsflusses während der Zeit von Einsatzfahrten
- Unterstützung des Dispositionsprozesses von Einsatzfahrzeugen

HALI-Einsatzszenarien

Aktivierung des HALI-Systems
In Abbildung 2-1 ist der prinzipielle Ablauf der Aktivierung des HALI-Systems bei Einsatzalarmierung dargestellt.

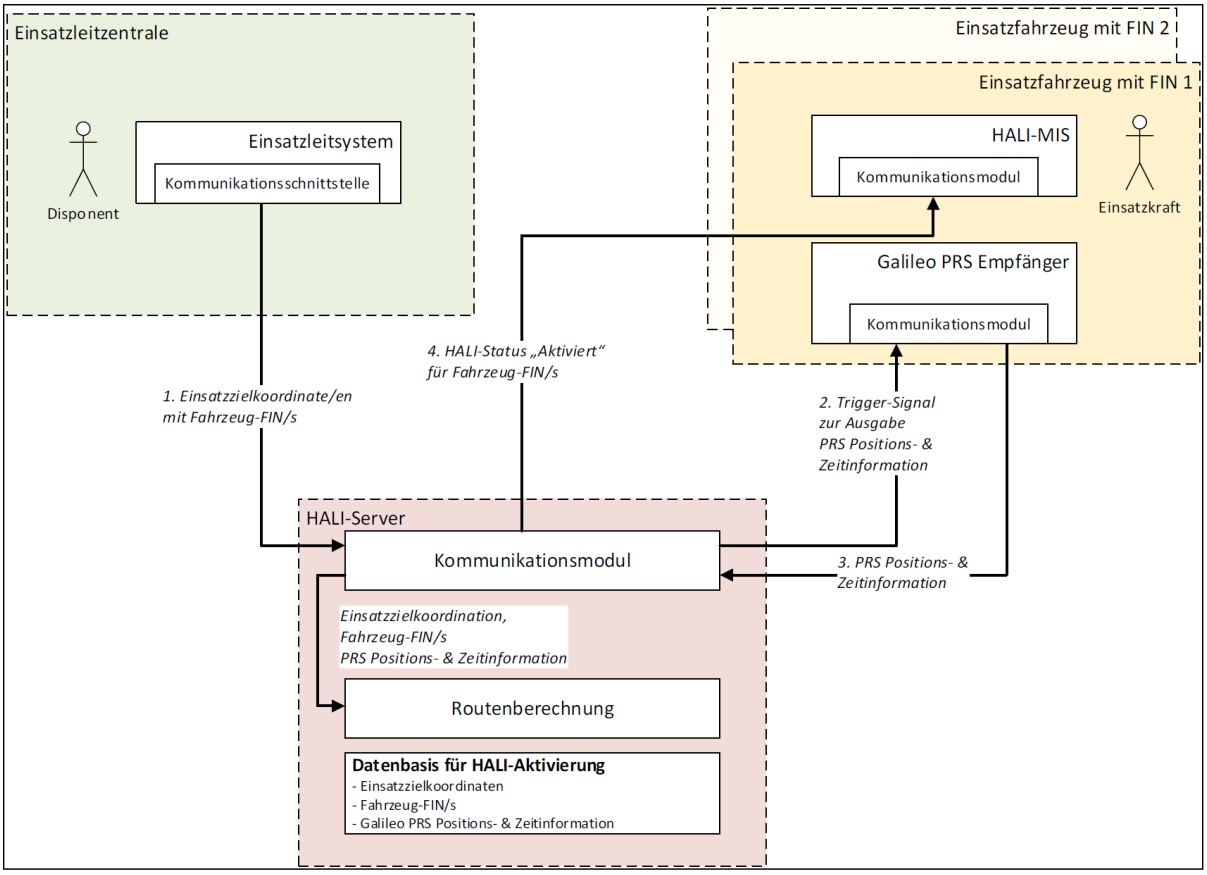


Abbildung 2-1: Ablauf Aktivierung HALI-System

Nachdem ein Notruf in der Leitstelle der Feuerwehr oder der Einsatzzentrale der Polizei eingegangen ist, alarmiert der Disponent die vorgesehenen Rettungsmittel. Dazu greift er auf die hinterlegte Datenbank im Einsatzleitsystem (ELS) zurück, in der die aktuell einsatzbereiten SEFs aufgelistet sind. Er erhält einen Überblick über den aktuellen Fahrzeugbestand auf der / den Wache/n, die am nächsten zum Einsatzort gelegen ist/sind. Die Disposition der Fahrzeuge erfolgt gemäß der Alarm- und Ausrückordnung. Die Einsatzkräfte quittieren die Alarmierung zum Ausrückzeitpunkt mittels des Funk-Melde-System-Status (FMS) - 3 „Auf dem Weg zum Einsatzort“. Der Disponent weiß nun, dass die SEFs sich auf dem Weg zum Einsatzort befinden. Für die Aktivierung des HALI-Systems müssen dem HALI-Server die Einsatzzielkoordinaten sowie die entsprechenden Fahrzeug-Identifikations-Nummer (FIN)s der SEFs übermittelt werden. Eine automatische Übermittelung der Einsatzinformationen über eine Kommunikationsschnittstelle des Einsatzleitsystems zum HALI-Server ist anzustreben. Damit eine möglichst schnelle Akquisition der Satellitensignale durch den Galileo-PRS-Empfänger nach dem Verlassen des SEFs aus der Wache gewährleistet ist, werden dem Empfänger kontinuierlich aktuelle Galileo Stützinformationen wie z. B. aktuelle Ephemeriden-Daten bereitgestellt. Über ein Trigger-Signal vom HALI-Server wird der PRS-Empfänger vom Ruhemodus in den aktiven Betriebsmodus versetzt. Sobald die Akquisition und das Tracking von mindestens vier Satellitensignalen erfolgt ist, liefert der Empfänger in gleichmäßigen Zeitintervallen aktuelle 3D-Positions-, -Geschwindigkeits- und Zeitinformationen.

Damit der Fahrer über die Aktivierung des Systems informiert wird, überträgt der HALI-Server die Statusmeldung „HALI-System aktiviert“ an das HALI-Multimedia-Informations-System (MIS) z.B. ein Tablet im Fahrzeug. Die Kommunikationswege zwischen dem Einsatzleitsystem und dem HALI-Server bzw. dem HALI-Server und MIS sowie PRS-Empfänger werden per VPN über Mobilfunk realisiert.

Für den Fall, dass sich die SEFs innerhalb des Stadtgebiets befinden und eine Alarmierung erfolgt, ist die aktuelle Position der SEFs im HALI-Server apriorisch nicht bekannt. Typischer Anwendungsfall sind Streifenfahrten der Polizei. Da sich der PRS-Empfänger während der Fahrt im aktiven Betriebsmodus befindet und i.d.R. bereits vor der Alarmierung gültige Positions-, Geschwindigkeits- und Zeitinformationen berechnet werden, stehen dem HALI-

Server nach Übermittlung des Aktivierungssignals zum Empfänger unmittelbar gültige Positionsinformationen zur Verfügung.
Grundsätzlich ergeben sich für die HALI-Systemaktivierung drei unterschiedliche Einsatzszenarien, die Einfluss auf die Aktivierungsdauer haben:

- Szenario 1: Die SEFs von Polizei und Feuerwehr sind zum Zeitpunkt der Alarmierung innerhalb des Stadtgebietes unterwegs und der Galileo PRS Empfänger befindet sich bereits im „Tracking"-Modus der Satellitensignale. Für eine vollständige Aktivierung des gesamten HALI-Systems für die Demonstrationsphase sollte eine Aktivierungsdauer von 10 s nicht überschritten werden. Für ein späteres HALI-Produkt ist eine Zeitdauer von höchstens 3 s anzustreben.
- Szenario 2: Die Einsatzfahrtzeuge und Rettungswägen der Feuerwehr stehen für den nächsten Einsatz auf der Wache zur Verfügung. Dabei werden die Fahrzeuge der Feuerwehr, im Gegensatz zu den Polizeifahrzeugen, mit fremdeingespeister elektrischer Energie auf der Wache versorgt. Der PRS-Empfänger hat zum Zeitpunkt der Alarmierung keine freie Sicht zum Satelliten, ist aber durchgehend betriebsbereit. Damit zügige Positionsbestimmungen der SEFs nach dem Ausrücken von der Wache erfolgen, werden die Galileo Positions- und Zeitinformationen mit bereitgestellten Inertial Messeinheit (IME) Stützinformationen fusioniert. Eine erste Aussage über die gefahrene Strecke der SEFs sollte innerhalb von 10 s erfolgen. Dazu werden zu Beginn der Fahrt die IME-Daten ausgewertet und ein Indikator für eine Abbiegerichtung unmittelbar nach Verlassen der Wache gegeben. Das HALI-System soll in einer Zeitspanne von maximal 60 s nach der Aktivierung unter Verwendung von gültigen PRS-Positions-, -Geschwindigkeits- und -Zeitinformationen betriebsbereit sein. 10 s Aktivierungszeit sollten für eine Produktlösung für dieses Szenario umsetzbar sein.
- Szenario 3: Die SEFs der Polizei stehen auf der Wache oder befinden sich innerhalb des Stadtgebietes, wobei der Motor der Fahrzeuge zum Alarmierungszeitpunkt abgeschaltet ist. Der PRS-Empfänger muss zunächst vom Ruhemodus mit einer verringerten Stromaufnahme in den aktiven Betriebsmodus wechseln. Während der Hochlaufphase des Empfängers wird zunächst ausschließlich auf die Daten der IME zurückgegriffen. Die PRS-Signalakquisition muss in einem Zeitraum von 60 s starten, nachdem das Fahrzeug von der Wache ausgerückt ist. Die Voraussetzung hierfür ist, dass der PRS-Empfänger während der Signalakquisitionsphase mit aktuellen Ephemeriden-Daten versorgt wird. Die Gesamtaktivierungsdauer des HALI-Systems darf eine Zeitspanne von 120 s nicht überschreiten. Für ein zukünftiges HALI-Produkt sollte eine Gesamtaktivierungsdauer von 60 sec für dieses Szenario eingehalten werden.

Betrieb während einer Einsatzfahrt

Nachdem das HALI-System erfolgreich aktiviert wurde, werden in regelmäßigen Zeitintervallen Positions- und Zeitinformationen vom Galileo PRS Empfänger an den HALI-Server mit der dazugehörigen FIN geschickt. In Abbildung 2-2 ist der schematische Zusammenhang aller beteiligten Subsystemkomponenten im HALI-System während der Fahrt zum Einsatzort skizziert.

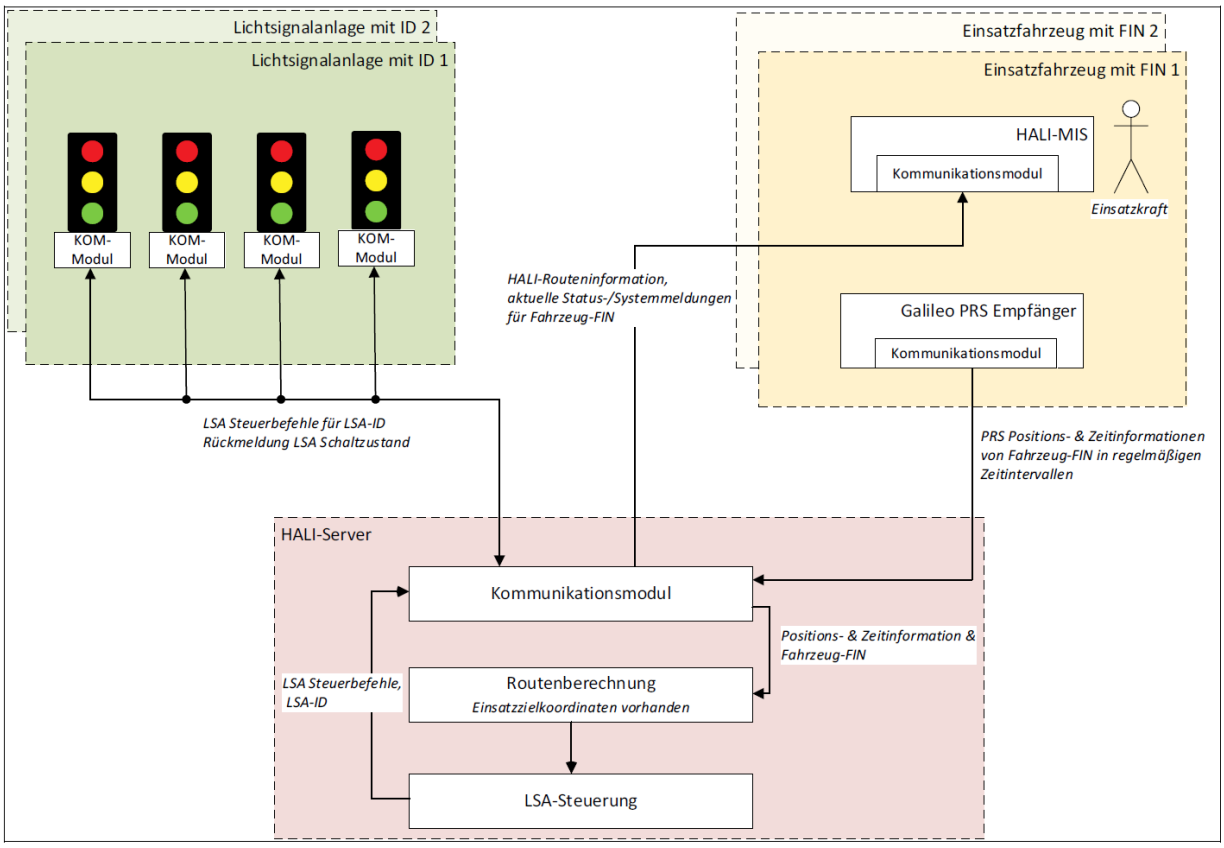


Abbildung 2-2: Beteiligte HALI-Subsystemkomponenten während der Einsatzfahrt

Aus der Einsatzzielposition und der aktuellen Position des SEFs wird die optimale Route zum Einsatzort im Server berechnet und die LSA so angesteuert, dass zum Eintreffzeitpunkt der SEFs die LSA eine Grünphase aufweisen. Die berechnete Route wird über den Kommunikationslink an das Multimediainformationssystem (MIS) im Fahrzeug übertragen und dem Fahrer auf dem Display dargestellt. Nimmt der Fahrer auf dem Weg zum Einsatzort Routenänderungen aufgrund von einer Stausituation oder auftretenden Hindernissen vor, müssen die Positionsabweichungen des SEFs von der ursprünglichen Route erkannt und eine Alternativroute vom HALI-Server berechnet werden. Das HALI-System ist für einen kooperativen Systembetrieb auszulegen, sodass bei mehreren gleichzeitig auftretenden Einsätzen mit unterschiedlichen Fahrzeugen eine optimale Routenwahl für jedes SEF besteht, unter der Bedingung, dass die Gesamteinsatzzeit aller SEFs minimal wird.
Verwenden mehrere Einsatzkräfte das HALI-System gleichzeitig, so soll den Fahrern eine Displaymeldung generiert werden, für den Fall, dass zwei SEF gleichzeitig auf eine Straßenkreuzung aus unterschiedlichen Richtungen eintreffen. Des Weiteren ist der HALI-Routenberechnungsalgorithmus für eine Verbundfahrt (unmittelbare zeitliche Abfolge) von mehreren Einsatzfahrzeugen zum Einsatzort so auszulegen, dass eine „Grüne Welle“ für die SEFs im Verbund besteht.

Deaktivierung des Systems

In Abbildung 2-3 ist der prinzipielle Ablauf mit den entsprechenden Kommunikationswegen und Subsystemkomponenten bei einer Deaktivierung des HALI-Systems dargestellt.

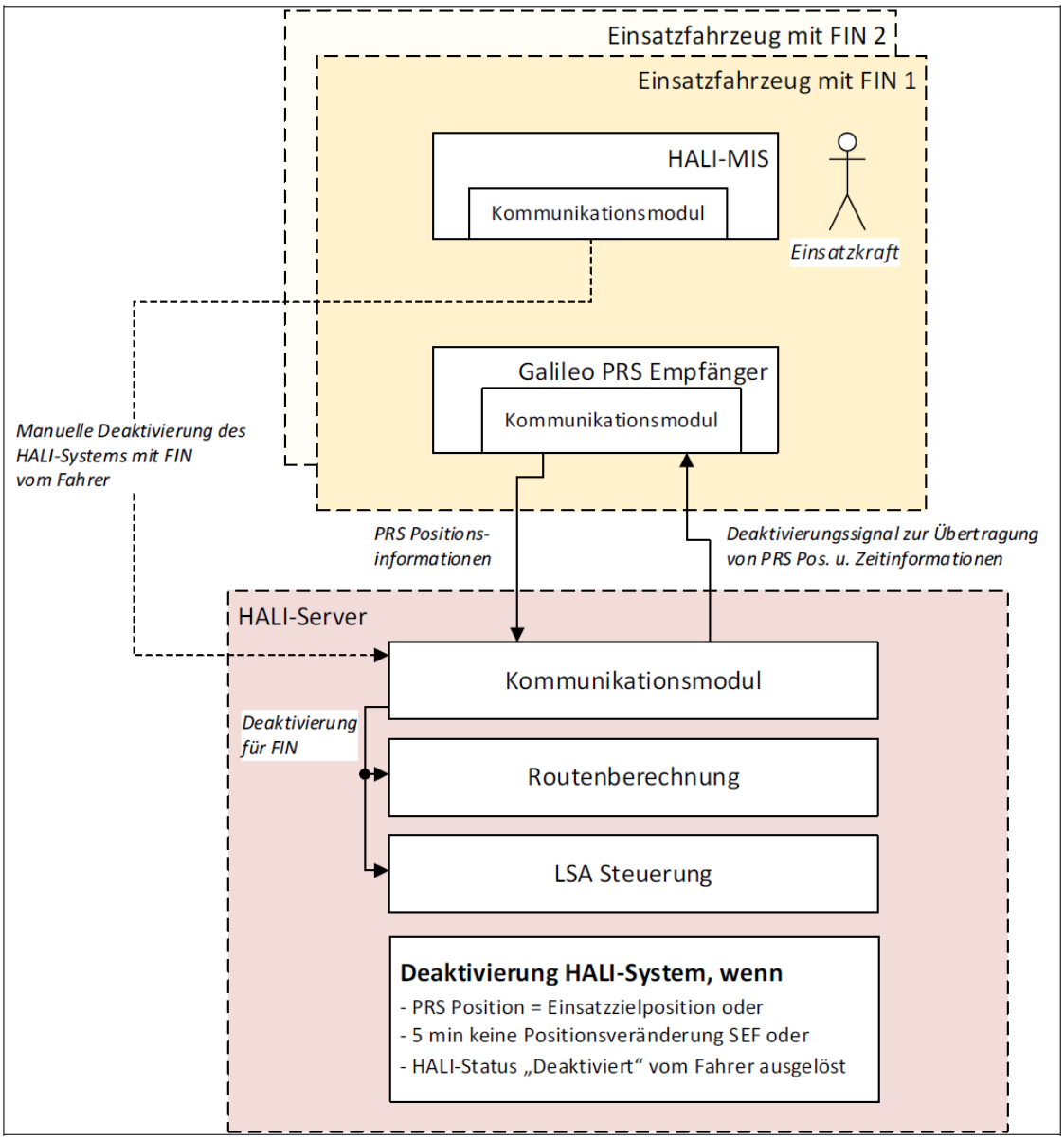


Abbildung 2-3: Ablauf zur Deaktivierung des HALI-Systems

Unmittelbar nachdem das SEF das Einsatzziel erreicht hat, übermittelt die Einsatzkraft die FMS-Statusmeldung 4 „Am Einsatzort eingetroffen“ an das ELS.
Zur Signalisierung einer erfolgreichen Deaktivierung wird die Information „HALI-Status deaktiviert“ an das MIS des betroffenen Einsatzfahrzeuges gesendet und die Routenberechnung sowie die LSA-Steuerung im Server beendet.
Grundsätzlich geht der Galileo-Empfänger in den aktiven Betriebsmodus über, sobald der Motor des SEFs gestartet wird. Während der Durchführung eines Einsatzes ist es möglich, dass der Motor des SEFs ausgeschaltet wird. Dabei muss dieser in den Ruhemodus mit einer verringerten Stromaufnahme versetzt werden, damit die Entladedauer der Fahrzeugbatterie verlängert wird.
Dies ist für einen Einsatz des Galileo-Empfängers im Polizeifahrzeug von besonderem Interesse, da die Fahrzeuge auf der Wache bzw. während der Einsatzdurchführung nicht mit fremdeingespeister elektrischer Energie versorgt werden.
Für eine schnelle PRS-Signalakquisition bei Reaktivierung des HALI-Systems werden dem Empfänger aktuelle Ephemeriden-Daten bereitgestellt und die letzte gültig berechnete Position abgespeichert, bevor der Empfänger in den Ruhemodus versetzt wird.

HALI-Nutzeranforderung

Aus den Ergebnissen der Fragebögen wurden insgesamt 30 verschiedene Nutzeranforderungen extrahiert, die in technische Anforderungen mündeten. Die Anforderungen wurden in einer Excel-Tabelle gemonitort In Tabelle 2-1 ist ein Beispiel für eine Nutzeranforderung mit den abgeleiteten technischen Anforderungen gezeigt.

Tabelle 2-1: Beispiel für eine Nutzeranforderung

HALI-ReqID	USR-REC, HSR, MIS-12	**Verknüpfung mit anderer HALI-ReqID**	REC-FUN-25, REC-FUN-27, REC-FUN-28, REC-PER-29, REC-PER-30, REC-PER-31	**Erfüllungs-grad**	Teilweise	**Verfikations-methode**	T
Titel:	HALI-System Aktivierungsdauer bei ausgeschaltetem Galileo PRS Empfänger						
Anforderung:	Das HALI-System muss innerhalb von 30 sec vom Ruhemodus in den aktiven Betriebsmodus über gehen, unter der Vorraussetzung, dass der Galileo PRS Empfänger bei Aktivierung ausgeschaltet ist.						
Begründung:	Die HALI-Systemaktivierungszeit muss den Nutzerbedürfnissen bei einem ausgeschaltetem Galileo PRS Empfänger zum Zeitpunkt der Aktivierung entsprechen.						

AP 2200 Systemanforderungen (Airbus)

Airbus hat im AP2200 „Systemanforderungen“ die Nutzeranforderungen an das HALI-System geprüft und daraus die Systemanforderungen abgeleitet. Letztere wurden in Anforderungen an die Kommunikation zwischen Einsatzfahrzeug und HALI-Server, Lichtsignalanlage und HALI-Server und and die Positionierung unterteilt. Aus den Anforderungen an die Positionierung ergaben sich weitere Anforderungen an die Antenne des SatNav-Empfängers, den SatNav-Empfänger selbst und die Positionsrechnung im SatNav-Empfänger. Die Ergebnisse wurden im Dokument „Systemanforderungen“ zusammengefasst.
Insgesamt wurden 71 technische Anforderungen aus den 30 Nutzeranforderungen abgeleitet. Ein Beispiel für eine technische Anforderung findet sich in Tabelle 2-2.

Tabelle 2-2: Beispiel für eine abgeleitete technische Anforderung an den PRS-Empfänger

REC-PER-32		**Created from**	USR-REC-7, USR-HSR-28	**Compliance**	fully	**Verification method**	T
Title:	Galileo PRS Position Accuracy						
Requirement:	The HALI Receiver's horizontal position accuracy using PRS only under nominal conditions [HYP-1] shall be better than 2 m in 95% of the time (2-Sigma).						
Justification:	The positioning accuracy under the described conditions is deemed sufficient to validate the receivers proper functionality. To support positioning under harsher conditions such as the urban-canyon further requirements addressing satellite search strategies, integrity, multipath as well as IMU and Odometer assisted positioning are presented in this document.						

AP 2300 Fahrzeuganforderungen (FhG-IIS)

Im AP2300 hat FhG-IIS anhand der Nutzeranforderungen aus AP2100 Anforderungen des Fahrzeugs an das HALI-System abgeleitet. Dabei wurden die Anforderungen an die mechanische Integration, die elektrischen Schnittstellen und deren Stecker und die Leitungslängen in Bezug auf Antenne und den SatNav-Empfänger berücksichtigt. Diese wurden im Dokument „Fahrzeug-Anforderungen“ festgehalten:
Insgesamt wurden 29 Fahrzeuganforderungen aus den 30 Nutzeranforderungen abgeleitet. Ein Beispiel für eine abgeleitete Fahrzeuganforderung findet sich in Tabelle 2-3Tabelle 2-3.

Tabelle 2-3: Beispiel für eine Fahrzeuganforderung

VEH-GANT-1		Created from	USR-REC-9	Compliance	fully	Verification method	I
Title:	Size						
Requirement:	The antenna shall have a radius smaller than 155 mm to fit in the blue light housing.(tbc)						
Justification:	The housing of the blue light has E1 certificate. No E1 certified antennas are available for E6-signals. Therefore the antenna must fit in such a housing.						

AP 2400 LSA-Steuerungsinfrastruktur und HALI-Server (DLR)

Im AP 2400 wurden die Anforderungen an die LSA-Hardware, die LSA-Steuerung, den HALI-Server und die notwendigen Kommunikationsschnittstellen zwischen allen Komponenten definiert. Hardwaretechnisch bestanden die Anforderungen im Wesentlichen darin, dass die Lichtsignalanlagen über eine Kommunikationsschnittstelle und eine dedizierte Recheneinheit verfügen müssen, um die Schaltbefehle des HALI-Servers entgegennehmen und verarbeiten zu können. Die LSA-Steuerung war dabei so auszugestalten, dass sie in Abhängigkeit der aktuellen Fahrzeugpositionen und einer vorgeschlagenen Route alle LSA verkehrsabhängig und zum richtigen Zeitpunkt ansteuert. Der HALI-Server musste die Anforderungen erfüllen, dass die Fahrzeugpositionen empfangen, verarbeitet, zu Routenvorschlägen aufbereitet und zu Schaltbefehlen überführt und ausgesendet werden können. Dafür benötigte es einer sicheren Kommunikation mit den PRS-Empfängern und den LSA im Feld. Durch die Projektpartner wurden die entsprechenden Anforderungen, für die in deren Verantwortung liegenden Systembausteine und anderen Unterarbeitspakete in gleicher Weise erfasst, so dass alle Anforderungen hinsichtlich des HALI-Gesamtsystem erhoben werden konnten. Insgesamt wurden für die LSA-Infrastruktur und den HALI-Server 59 Anforderungen definiert.

Tabelle 2-4: Beispiel für eine Anforderung an die LSA-Steuerung

HALI-ReqID	TLN-FUN-21	Verknüpfung mit anderer HALI-ReqID	HSR-FUN-34	Erfüllungsgrad	Vollständig	Verfikations-methode	T
Titel:	LSA-Bevorrechtigungsphasen						
Anforderung:	LSA-Steuerung muss über Phasen verfügen, die es ermöglichen, den Bevorrechtigungsbefehl vom HALI-Server in konkrete Schaltbilder umzusetzen.						
Begründung:	Für Bevorrechtigung und Umsetzung der Schaltbefehle vom HALI-Server notwendig.						

AP 2500 Sicherheitsaspekte (IABG)

Das von IABG geleitete AP2500 „Sicherheitsaspekte“ war verantwortlich für die Analyse und Gewährleistung der Sicherheit, sowie das Key-Management im Projekt. Dabei wurde aufbauend auf die Nutzeranforderungen aus AP2100 die wesentlichen Sicherheitsanforderungen für die Einführung und den Betrieb von HALI bei den verschiedenen Nutzern, Firmen, Organisation und Behörden analysiert. Es beinhaltete aber auch den Transport der Schlüssel mit Hilfe des „Black Box Key Management Equipments“ (BBKME) und das Aufspielen der Schlüssel auf die Empfänger.

Es wurden insgesamt 15 Sicherheitsanforderungen aus den Nutzeranforderungen und der Analyse der Sicherheitsaspekte generiert. Ein Beispiel für eine solche Anforderung ist in Tabelle 2-5 gezeigt.

Tabelle 2-5: Beispiel für eine Sicherheitsanforderung mit Abhängigkeit zu anderen Anforderungen

HALI-ReqID	SEC-COM_T-10	**Association with other HALI-ReqID**	HSR-SEC-6, TLN-SEC-2	**Compliance**	P	**Verification method**	A, T
Title	Secure VPN						
Requirement	The VPN used for the COM subsystem must comply with the state of the art regarding key size, algorithm used and the handling of trusted certificates.						
Justification	Since an unsecure VPN is a vulnerable entry point for Denial of Service attacks to the whole receiver base, the VPN's already known vulnerabilities must be countered by the use of a secure VPN product.						

2.1.2.3 AP 3000 Entwicklung (FhG-IIS)

Die Arbeitspaketgruppe 3000 war für die Entwicklung des Gesamtsystems zur Priorisierung von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS-) Fahrzeugen an den Lichtsignalanlagen auf Grundlage der PRS-Signale technisch auf Basis der Anforderungen aus APG2000 zu entwickeln. Dabei musste die komplette Informationsübertragungskette vom Empfang der PRS-Signale in den Fahrzeugen, über die Kommunikation und Verarbeitung der darin enthaltenen Daten, bis hin zum Eingriff auf die Steuerung der einzelnen Lichtsignalanlage berücksichtigt werden. Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete näher erläutert.

AP 3100 Empfänger (Airbus)

Das AP3100 „Empfänger" war die Weiterentwicklung des PRS-Empfängers (PROOF) für die Automotive-Anwendung in Polizei und Feuerwehrfahrzeugen. Dafür musste der Empfänger zum einen hinsichtlich der Algorithmen optimiert werden. Dabei wurde besonders Augenmerk auf die Akquisitionsstrategie im Hinblick auf das städtische Umfeld mit vielen Abschattungen gelegt. Und es wurde auch die Signalverfolgung an das innerstädtische Mehrwegeszenario in Bezug auf die Erkennung von Nebenmaximas der BOC-Korrelationsfunktion und die „non-line-of-sight" (NLOS) Erkennung durch ARAIM angepasst. Außerdem sollte der Empfänger in der Lage sein, bei weniger als 4 PRS-Satelliten, eine PRS-OS-kombinierte PVT-Lösung zu rechnen. Diese Neuentwicklungen wurden im GALILEO-LAB von Fraunhofer vorab mit Testempfängern getestet.

AP 3200 Kommunikationsverbindung (FhG-IIS)

Damit die Position der Einsatzfahrzeuge sicher vom Empfänger im Fahrzeug an den HALI-Server und danach die Steuersignale an die Lichtsignalanlagen übertragen werden konnte, wurde in den Fahrzeugen, dem HALI-Server und den Lichtsignalanlagen Kommunikationsmodule installiert und eine Kommunikationsverbindung über ein VPN-Tunnel abhörsicher aufgebaut. Durch das DLR wurde dafür das Konzept für den Datenaustausch zwischen den PRS-Empfängern, dem HALI-Server, den Einsatzleitsystemen von Polizei und Feuerwehr und den Lichtsignalanlagen umgesetzt und die nachfolgenden Schritte durchgeführt: Zusammen mit den Projektpartnern wurden Schnittstellen konzipiert und implementiert. Mit der Polizei und der Feuerwehr wurden die Schnittstellen zu deren Einsatzleitsystemen abschließend geklärt. Die hausinterne Umsetzung am Einsatzleitsystem der Polizei nahm die Fa. Hexagon vor, welche dafür beauftragt wurde. Die Feuerwehr Berlin übernahm die hausinterne Umsetzung in Eigenregie. Die für die Kommunikation zwischen HALI-Server und Lichtsignalanlagen notwendigen VPN-Router wurden beschafft und für die Kommunikation im Feld vorbereitet. Ein Routing des Datenverkehrs zum HALI-Server wurde in diesem Zusammenhang eingerichtet und die VPN-Verbindung zusammen mit den Projektpartnern erfolgreich getestet.

AP 3300 Datenverarbeitung (FhG-IIS)

Im AP3300 wurde die Positionslösung der Fahrzeuge an der Schnittstelle des Kommunikationsmoduls bereitgestellt und übertragen und ein Fahrweg vom HALI-Server angefordert.

AP 3400 LSA-Steuerung (DLR)

Im AP3400 wurde die LSA-Steuerung und Einsatzwagenbevorrechtigung entwickelt. Dafür wurden zunächst die verkehrstechnischen Unterlagen aller 8 Lichtsignalanlagen im Testfeld von der Berliner Senatsverwaltung beschafft und analysiert. Anhand dieser Analyse wurden Schaltzeitpunkte für den Anstoß der Einsatzwagenbevorrechtigung an allen Lichtsignalanlagen im Testfeld bestimmt. Die Kenntnis der Schaltzeitpunkte war notwendig, um abgeleitet daraus Positionen zu definieren, an denen sich die Einsatzfahrzeuge befinden müssen, damit der Wechsel einer Phase eingeleitet bzw. diese verlängert wird. Das Konzept zur Bestimmung der korrekten Schaltzeitpunkte für den Anstoß der Bevorrechtigung wurde mit Hilfe einer SUMO-Verkehrssimulation schrittweise verfeinert. So wurden von der Berliner Senatsverwaltung beschaffte Verkehrsdaten in die Simulation eingepflegt, womit auch typische Rückstaulängen an den Testkreuzungen für die Bestimmung der Schaltzeitpunkte berücksichtigt werden konnten. Zudem wurde am Entwurf der LSA-Steuerungen für die Umprogrammierung der Anlagen im Testgebiet gearbeitet. Nach mehreren Arbeitstreffen und Abstimmungen mit der damaligen Verkehrslenkung Berlin (VLB), dem damaligen Generalübernehmer der Berliner Lichtsignalanlagen Alliander und dem damaligen Anlagenhersteller Siemens, wurde in diesem Zusammenhang die Art der vorzunehmenden Implementierung festgelegt. Die Bevorrechtigung war über die Hinterlegung von speziellen sog. „Feuerwehrplänen“ zu realisieren, die gleichermaßen für Polizei und Feuerwehr gelten. Diese Pläne werden bei der Annäherung der Einsatzfahrzeuge durch den HALI-Server anhand der zuvor bestimmten Schaltzeitpunkte rechtzeitig aktiviert und ermöglichen idealerweise eine Überfahrt bei Grün. Dabei wurden für jede Kreuzung im Testgebiet mehrere dieser Feuerwehrpläne realisiert, um die Bevorrechtigung für verschiedene Fahrrelationen zu ermöglichen.

Abbildung 2-4: SUMO-Simulationsmodell mit hinterlegten LSA-Schaltplänen und Verkehrsnachfrage (links) und entworfener Feuerwehrplan im Programm Siemens Sitraffic Office zur Bevorrechtigung (rechts)

AP 3500 HALI-Server (DLR)

Das AP 3500 beinhaltete den Konzeptentwurf für den HALI-Server, der anhand der Positionsdaten der Einsatzfahrzeuge die Priorisierung an den Lichtsignalanlagen auslöste. Damit diese Aufgabe erfüllt werden konnte, war eine Reihe von Entwurfsarbeiten notwendig. Zunächst musste ein generelles Server- und Sicherheitskonzept aufgestellt werden. Dieses beschreibt den Aufbau des HALI-Servers als virtuelle Instanz im gesicherten DLR-Rechenzentrum und die Netzwerkarchitektur, welche zwischen einem internen und externen Teilbereich unterscheidet. Dieser Aufbau basiert dabei auf einem zuvor entwickelten Sicherheitskonzept, welches die Anforderungen des IT-Sicherheitsgesetzes und der BSI-Kritisverordnung berücksichtigt, das HALI-Gesamtsystem gegen äußere Störungen absichert und damit die Forderungen der damaligen Verkehrslenkung Berlin (VLB), Polizei und Feuerwehr als notwendige Voraussetzung beachtet. Anschließend erfolgte der Entwurf des Datenbankkonzeptes, welches auf dem HALI-Server implementiert wurde. Dieses war notwendig, um die Informationen zu Einsatzfahrzeugen, Einsätzen, Lichtsignalanlagen im Testgebiet, etc. für die Verarbeitung und spätere Bewertung zwischenzuspeichern und

vorzuhalten. Das Datenschutzkonzept war integraler Bestandteil für die späteren Testläufe. Basierend auf dem Datenbankkonzept erfolgte dann im nächsten Schritt der Entwurf verschiedener Dienste, die diese Daten für die Services und damit die letztendliche Bevorrechtigung der Sondereinsatzfahrzeuge nutzten. Dazu zählen beispielsweise Module für die Einsatzverwaltung, die Priorisierung, die Kommunikation und vor allem die Umsetzung eines Routing-Dienstes, welcher anhand der Positionsdaten der Einsatzfahrzeuge und deren Einsatzzielpositionen die bestmögliche Route bestimmt, die entsprechenden Lichtsignalanlagen entlang dieser Route anspricht und die lokalen hinterlegten Feuerwehrpläne aktiviert. Auf Grundlage dieser Fahrtrouten wurden die Steuerungsstrategien entwickelt und insbesondere an die verkehrstechnischen Randbedingungen der Anlagen im Testgebiet angepasst. Ein simulativer Test der Steuerungsstrategie erfolgte in der Simulationsumgebung SUMO. So wurde ein virtuelles Einsatzfahrzeug in die Simulation eingesetzt und dessen Einsatzzielort an die entsprechenden Dienste übermittelt. Anhand dieser Informationen wurde dann eine Route berechnet und die Lichtsignalanlagen in der Simulation während der virtuellen Einsatzfahrt entsprechend angesteuert. Somit konnte die Funktionalität im Zusammenspiel einzelner Dienste getestet werden.

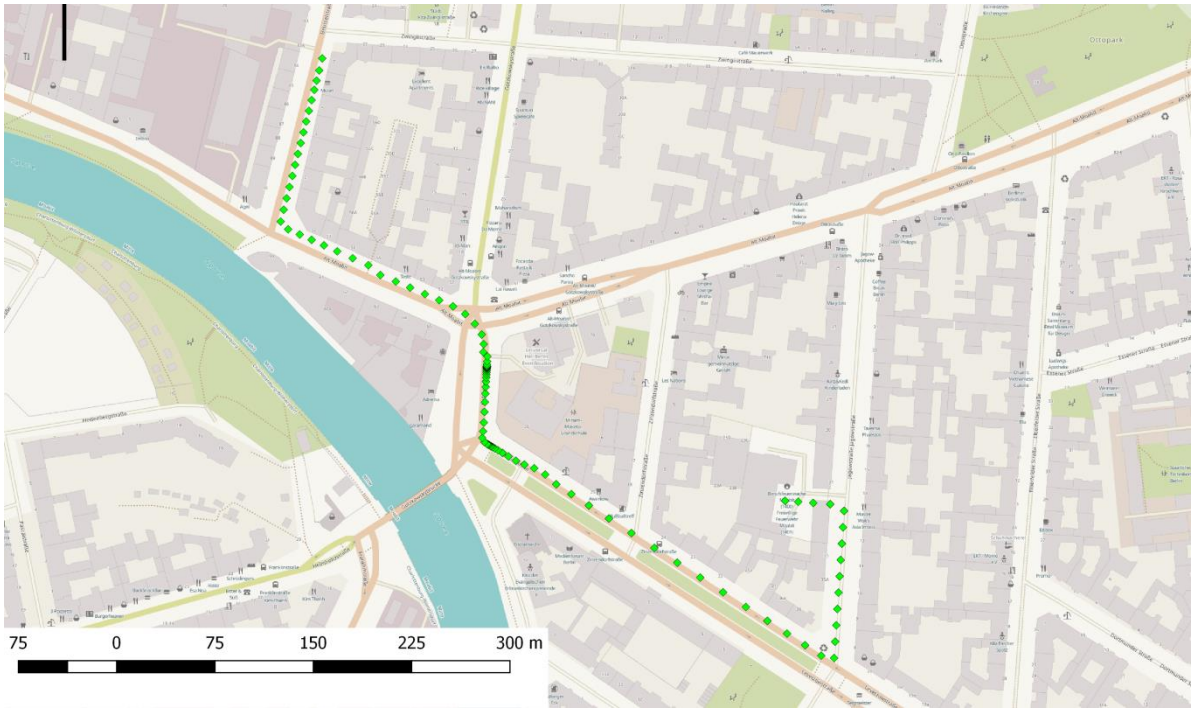


Abbildung 2-5: Tracking einer virtuellen Einsatzfahrt in der SUMO-Simulation, gematcht auf das Testgebiet in Berlin-Moabit zum Test von HALI-Serverdiensten

2.1.2.4 AP 4000 Installation und Validierung (DLR)

In der Arbeitspaketgruppe 4000 wurden die in der Arbeitspaketgruppe 3000 entwickelten Komponenten zum HALI-Gesamtsystem zusammengesetzt und für die anschließende Demonstration vorbereitet und zu kalibriert. D.h. es wurden die PRS-Empfänger in die Fahrzeuge installiert, die Serverinfrastruktur geschaffen und die notwendigen Komponenten für die Steuerung der Lichtsignalanlagen im Testfeld eingebaut.

AP 4100 Fahrzeug-Integration (SAG)

Siemens hat im AP4100 die PRS-Empfänger vibrationsarm eingebaut und elektrisch an die Fahrzeugelektronik angeschlossen. Dabei mussten die passenden Steckverbinder konfiguriert, eine Pegelanpassung durchgeführt und ein Überspannungsschutz und eine Spannungsglättung durchgeführt werden. Das sogenannte Montagekit musste vorbereitet werden und der PRS-Empfänger anhand der Zündspannung (Zündschlüssel) automatisch hoch- und runterfahren. Die PRS-Empfänger wurden auch mit dem CAN-Bus der Fahrzeuge verbunden, um die

Geschwindigkeit und den Stillstand des Fahrzeugs zu detektieren. Außerdem wurden GNSS- und Mobilfunkantenne, sowie eine IMU mit dem PRS-Empfänger verbunden und in den Fahrzeugen verbaut.

Durch die Änderungen am Empfänger-Gehäuse in Phase 2 und diversen Unfällen der SEF musste die Fahrzeug Integration für einige Fahrzeuge über die Projektlaufzeit mehrfach durchgeführt werden. Dies ist auf die lange Projektlaufzeit, sowie den prototypischen Status der Systeme zurückzuführen. Insgesamt sind die gewonnenen Erkenntnisse des operativen Betriebs eines PRS-Empfängers im Fahrzeug aber sehr wertvoll und werden in späteren „serienreifen“ Geräten entsprechend Einfluss finden.

Übersicht über die Komponenten und deren Verbindungen

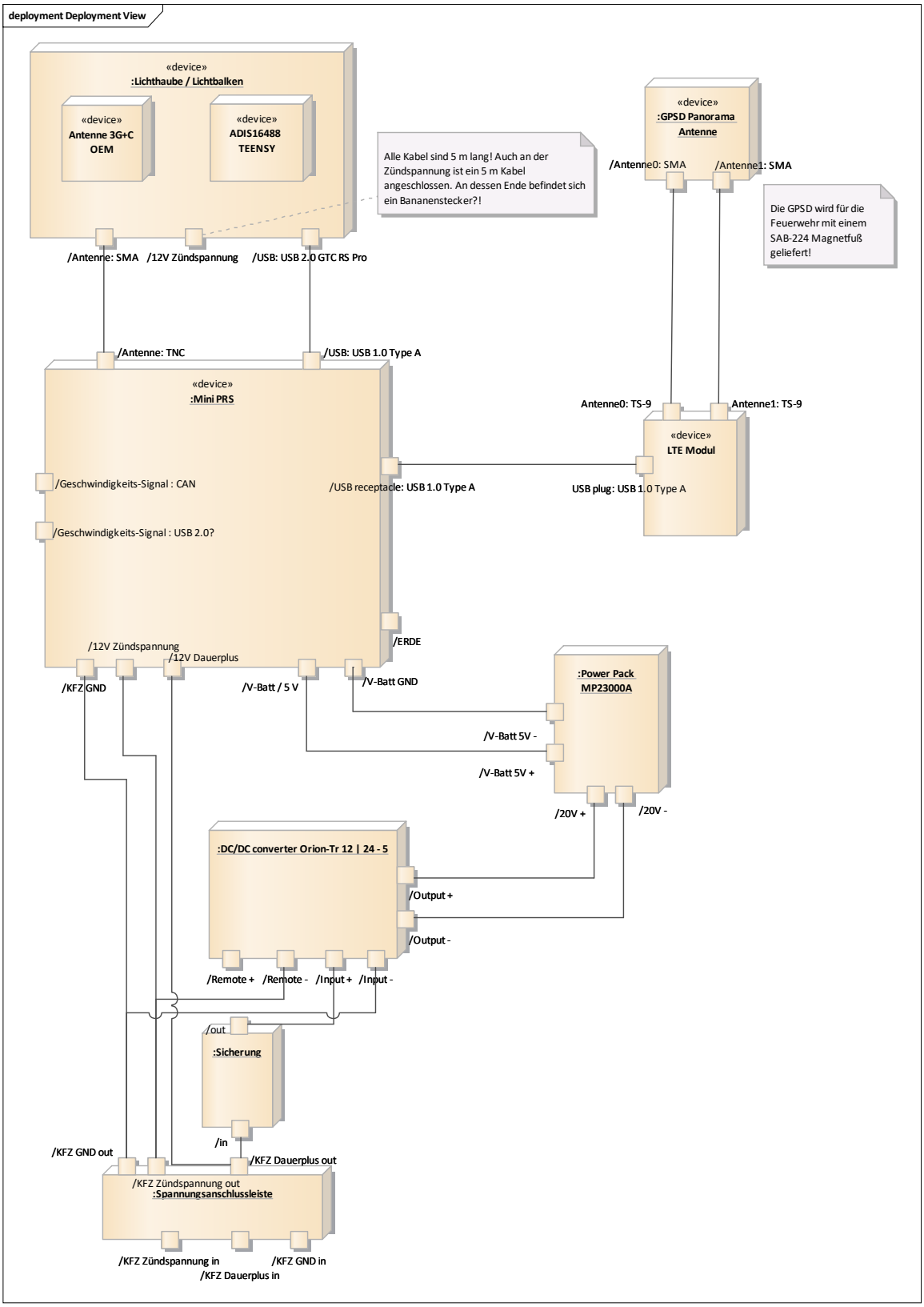


Abbildung 2-6: Komponenten des Fahrzeugeinbaus und deren Schnittstellen

Der miniPRS-Empfänger

Der miniPRS-Empfänger ist eine 4 kg schwere Aluminiumbox mit Kühlrippen und einer Größe von 272 x 143 x 150 mm³. Im normalen Betrieb verbraucht der Empfänger nominell 25 W Leistung. Im Standby sind es nur 350 mW. Beim Anlegen der Zündspannung schaltete sich der Empfänger vom Standby in den Normalbetrieb. Am Zündspannungseingang wurden dann die 25 W Leistung im Normalbetrieb verbraucht. Eine Dauerplusleitung versorgte den Empfänger im Standby. Dort wurden dann max. 350 mW verbraucht. Beide Anschlüsse sollten einen Tiefentladeschutz vorhalten. Weitere Details zur Stromaufnahme des Empfängers können aus Tabelle 2-6 entnommen werden.

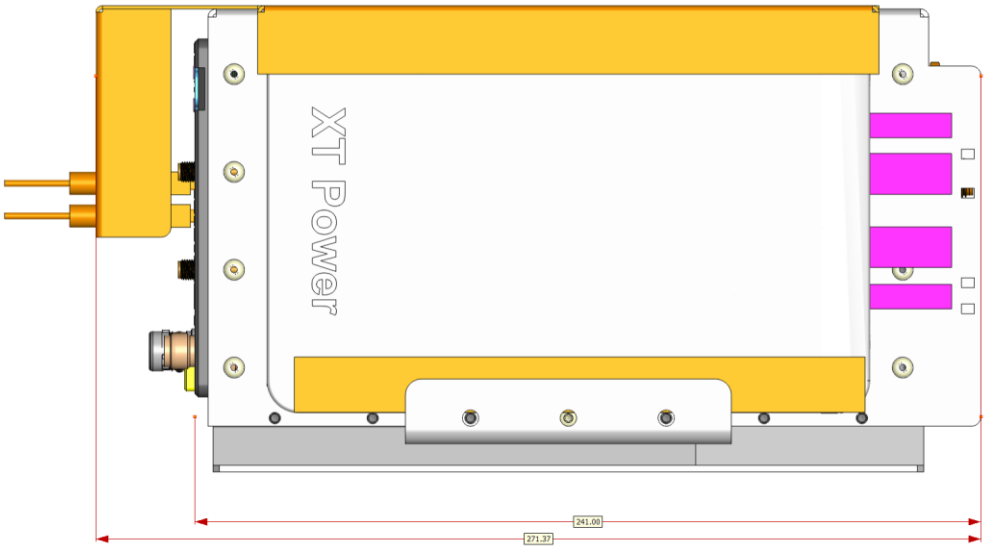


Abbildung 2-7: MiniPRS Seitenansicht

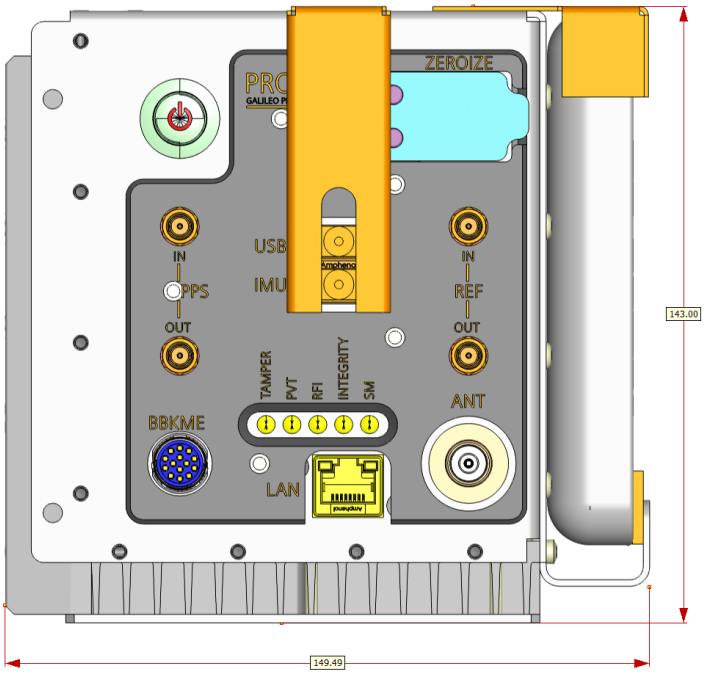


Abbildung 2-8: MiniPRS Frontansicht

Die Pufferung der Spannungsversorgung wurde über den Batteriepuffereingang realisiert. Sie wurde erst benötigt, wenn keine Spannung mehr am Gerät anlag (Zündung aus). Dann wurde der Batterieeingang über den Power Pack

versorgt. Der Power Pack wiederum wurde nur dann geladen, wenn die Zündung eingeschaltet war. Im StandBy verbrauchte der miniPRS 20 mA bei 24 V und 30 mA bei 12 V.

Abbildung 2-9: miniPRS-Empfänger

Tabelle 2-6: Stromaufnahme des miniPRS

Stromaufnahme des miniPRS						
	Power-Konnektor			Batterie-Konnektor		
Eingangsspannung [V]	6	12	24	5	12	24
Standby						
mit Caps (geladen) [mA]	54,0	29,4	19,3	49,7	46,3	46,3
mit Caps (ungeladen) [mA]	-	-	138,0	590,0	-	-
Eingangsleistung [mW]	324,0	352,8	463,2	248,5	555,6	1111,2
Leistungsabfall am Wandler [mW]	27	35,28	46,32	14,91	337,99	893,59
Standard						
Eingangsstrom [A]	4,1	2	1,1	-	-	-
Leistung [W]	24,6	24	26,4	-	-	-

LTE-Modul mit LTE-Antenne

Das LTE-Modul wurde über ein kurzes USB-Kabel mit dem miniPRS-Empfänger verbunden, damit es mit einer Schelle auf dem Kofferraumboden befestigt werden konnte. Die Spannungsversorgung des LTE-Moduls wurde durch den miniPRS über die USB-Schnittstelle gewährleistet. Die LTE-Antenne war die GPSD von Panorama-Antennas. Bei den Zafiras der Polizei wurde die Standard-GSM-Antenne durch diese konforme Antenne ersetzt. Bei den verschiedenen Feuerwehrautos wurde der Magnetfuß SAB-224 für die Montage auf dem Dach verwendet. Die Antenne wurde über zwei koaxial Kabel mit dem LTE-Modul verbunden. Das LTE-Modul war das K5150 von Huawei (siehe Abbildung 2-10Abbildung 2-10). Auf LTE-Modul-Seite waren zwei TS-9 Stecker, auf der Antennenseite 2 SMA-Plugs. Die Kabel wurden mit einem rechtwinkeligen Stecker mit dem LTE-Modul verbunden und durch einen Schrumpfschlauch gesichert.

Abbildung 2-10: LTE-Modul (links) und LTE-Antenne (rechts)

IMU und GNSS-Antenne

Die IMU bestand aus einer Analog Devices ADIS16488BMLZ und zur Aufnahme und Übertragung über USB einem Teensy-Board. Das Teensy-Board ist dem bekannteren RaspberryPi ähnlich. Es verfügt über einen kleinen Prozessor (72-MHz-Cortex-M4). Aufgrund der hohen Anlaufleistung des Analog Devices Sensors, konnte die IMU nicht allein über die USB-Schnittstelle mit Spannung versorgt werden, sondern brauchte eine Versorgung über die Zündspannung.

Abbildung 2-11: IMU bestehend aus ADIS (rechts) und TEENSY (oben, mitte)

Die GNSS-Antenne war die OEM-Version der 3G+C von navXperience (https://navxperience.com/product-range/). Der Anschluss erfolgte über einen SMA-Stecker.

Details zur Integration Empfänger/Antennen in das Polizeifahrzeug

Im Folgenden wird beschrieben, wie der miniPRS-Empfänger mit GNSS- und LTE Antennen sowie einer „Inertial Measurement Unit“ IMU in ein Polizeifahrzeug des Modells Opel Zafira eingebaut wurde.

Abbildung 2-12: Ein von insgesamt drei Einsatzfahrzeugen des Modells Opel Zafira

Einbauort miniPRS-Empfänger

Der miniPRS-Empfänger wurde im Kofferraumboden teilweise versenkt. Der Einbauort ist in Abbildung 2-13 zu sehen.

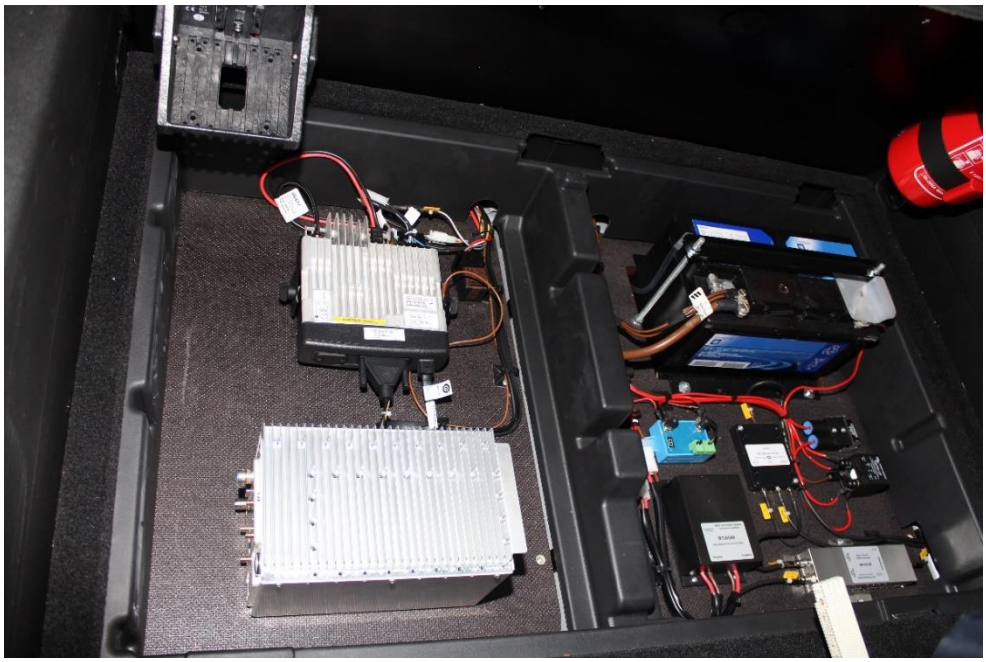


Abbildung 2-13: Einbauort miniPRS im Modell Opel Zafira

IMU, GNSS-Antenne und LTE-Antenne

IMU und GNSS-Antenne wurden im Lichtbalken auf der linken Fahrzeugseite verbaut. Die ursprüngliche GSM-Antenne wurde durch eine baugleiche LTE-Antenne ersetzt (GPSD von Panorama-Antennas; http://www.panorama-antennas.com/site/index.php?route=product/product&product_id=51).

Abbildung 2-14: Einbauort IMU und GNSS-Antenne

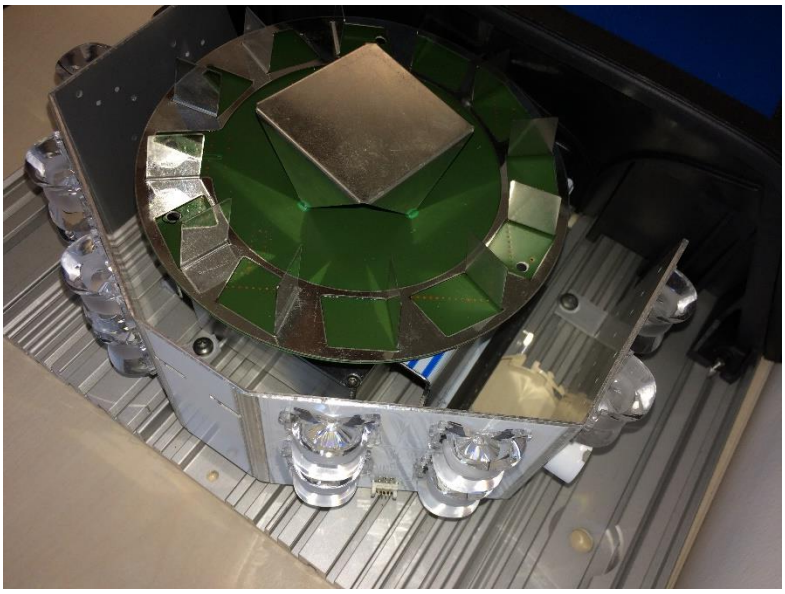


Abbildung 2-15: Einbauort von GNSS-Antenne und IMU in die Muster-Lichtsignalanlage bei Fraunhofer

In Abbildung 2-15 kann man unter der kreisförmigen, grünen GNSS-Antenne mit dem metallischen „Gartenzaun“ ein gebogenes Aluminiumblech als Halterung für die Antenne und darunter das Gehäuse der IMU erkennen.

Geschwindigkeitssignal

Zur Stillstands Erkennung wurde von jedem Fahrzeug das Geschwindigkeitssignal abgegriffen und ausgewertet.

Details zur Integration von Empfänger/Antennen in die Feuerwehrfahrzeuge

Für die ersten Tests im Oktober 2018 wurde der Empfänger vorerst nur in den Rettungswagen (B-2391) eingebaut. Dafür wurde der miniPRS-Empfänger hinter dem Fahrersitz des Rettungswagens mit Hilfe eines gebogenen Winkels platziert.
IMU und GNSS-Antenne wurden anders als im Polizeifahrzeug in einer Lichthaube Comet-M der Firma Hänsch verbaut (https://www.fg-haensch.de/produkte/einsatzgebiet-blau/kennleuchten/magnet/comet-led.html). Die Lichthaube wurde mit 3 Haftmagneten ausgeliefert und war bis zu einer Geschwindigkeit von 250 km/h geprüft.

Die Abbildungen zeigen die Comet Lichthaube in Transparent (Abbildung 2-16, die Lichthaube mit eingebauter IMU (Abbildung 2-17) und mit montierter GNSS-Antenne und den Anschlussleitungen (Abbildung 2-18). Die Länge der Leitungen war 5 m. Die Kabelführung ist durch den Fahrerkabinenboden vorgesehen. Von dort ging ein Kabelschacht zum Alkoven.

Abbildung 2-16: Lichthaube Comet

Abbildung 2-17: Lichthaube mit eingebauter IMU

Abbildung 2-18: Lichthaube mit oben montierter GNSS-Antenne

Für die verschiedenen Einsatzfahrzeuge der Feuerwehr wurden dieselben LTE-Antennen verwendet, wie bei der Polizei, allerdings wurde für die leichtere Montage zwischen Fahrzeugdach und Antenne ein Magnetfuß montiert. Der Magnetfuß ist der SAB-224 von Panorama-Antennas und ist in Abbildung 2-19 dargestellt. Das LTE-Modul wurde standardmäßig über ein kurzes USB-Kabel (ca. 30 cm) an den PRS-Empfänger angeschlossen. Der USB-Anschluss und die Anschlüsse zur LTE-Antenne werden durch einen Schrumpfschlauch gegen Herausrutschen gesichert.

Abbildung 2-19: LTE-Antenne mit Magnetfuß

LTE-Antenne und Lichthaube waren hinter dem Windschutz - Alkoven des Rettungsfahrzeugs magnetisch auf dem Dach der Fahrerkabine befestigt (siehe Abbildung 2-20.

Abbildung 2-20: Einbauort von LTE-Antenne und Lichthaube

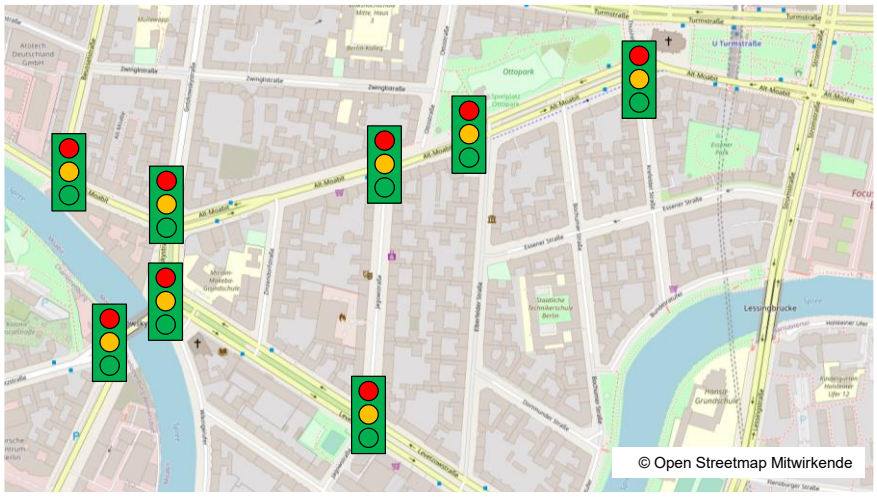
Die Feuerwehr hat einen Geschwindigkeitsimpuls hinter dem Fahrersitz bereitgestellt. Es wurden Radsignalimpulse mit 12V Gleichspannung aus dem PSM bei Bewegung erzeugt.

AP 4200 Server-Integration (DLR)

Im Unterarbeitspaket 4200 (Server-Integration) wurde daran gearbeitet die zuvor im Arbeitspaket 3500 entworfenen Komponenten auf dem HALI-Server zu implementieren und zu integrieren. Dafür wurden diese zunächst programmiert und auf dann den Server überführt. Auf Grundlage von in der HALI-Datenbank hinterlegten Daten wurden die einzelnen Dienste auf ihr Zusammenspiel serverseitig getestet. Hier werden Einsatzdaten (Fahrzeugzielpositionen) aus den Einsatzzentralen der Polizei und Feuerwehr empfangen und mit den Galileo-Positionsdaten der Receiver (Fahrzeugstartpositionen) verknüpft, so dass aufgrund dieser Informationen letztendlich die Priorisierung entlang einer zu aktivierenden Einsatzroute angestoßen werden kann. Weitere Details zum HALI-Server und dessen Funktionalitäten sind in der Beschreibung zum AP 4400 im Zuge des Gesamtsystems aufgeführt.

AP 4300 Testfeld/LSA-Integration (DLR)

Das AP 4300 hat sich schwerpunktmäßig mit der Implementierung der im AP 3400 entwickelten LSA-Steuerung sowie der notwendigen, zusätzlichen Hardware im Testfeld beschäftigt. Hierzu wurde zunächst ein IT-Whitepaper erstellt und abgestimmt sowie eine technische Unbedenklichkeitserklärung beschafft, welche für den Einbau der zusätzlichen Hardware in die Lichtsignalanlagen notwendig war. Bei dem damaligen Generalübernehmer der Berliner Lichtsignalanlagen Alliander wurden Angebote für die Einspielung der entwickelten LSA-Steuerungen und den Einbau der zusätzlichen Hardware in 8 Anlagen abgefragt und beauftragt. Auf den Wachen der Polizei und Feuerwehr wurden die Beamten über das Projekt informiert, damit sich diese als Endanwender auf den Testbetrieb vorbereiten konnten.



Kreuzung
Alt-Moabit/ Beusselstr.
Alt-Moabit/ Gotzkowskystr.
Alt-Moabit/ Jagowstr.
Alt-Moabit/ Elberfelder Str.
Alt-Moabit/ Krefelder Str.
Levetzowstr./ Gotzkowskystr.
Levetzowstr./ Jagowstr.
Helmholtzstr./ Franklinstr.

Abbildung 2-21: Kartendarstellung der umgerüsteten HALI-Testkreuzungen

In diesem Zusammenhang konnte die erste Kreuzung des Testfeldes im Mai 2019 für die Einsatzwagenbevorrechtigung eingerichtet und in Betrieb genommen werden. Dazu waren im Vorfeld die LSA-Steuerung inklusive der Pläne zur Bevorrechtigung im Verkehrsingenieurarbeitsplatz Siemens Sitraffic Office zu implementieren und mit dem damaligen LSA-Anlagenbauer Siemens abzustimmen. Anschließend erfolgte die Einreichung zur Genehmigung über den damaligen Berliner LSA-Generalübernehmer Alliander bei der damaligen Verkehrslenkung Berlin (VLB). Nach erfolgtem Hardwareeinbau und Einspielung der LSA-Steuerung vor Ort, konnte die Anlage erfolgreich mit einem Test der Bevorrechtigung und durch Abnahme durch die VLB in Betrieb genommen werden. Auf gleichem Wege wurden die verbleibenden 7 Lichtsignalanlagen des Testfeldes schrittweise umgerüstet und in Betrieb genommen.

Abbildung 2-22: Einbau und Inbetriebnahme der ersten Kreuzung (Levetzowstr. / Jagowstr.) mit einsatzbereiter HALI-Einsatzwagenbevorrechtigung

Die LSA-Beeinflussung wurde im Rahmen von mehrtägigen Testkampagnen im Zusammenspiel mit dem HALI-Server getestet. Dafür wurden Testeinsatzfahrten im HALI-Server angelegt und diese mit einem zivilen Testfahrzeug durchgeführt. Entlang der Routen wurde dann geprüft, ob die Lichtsignalanlagen in die entsprechende Freigabe gehen, dies in Abhängigkeit der Fahrzeugposition rechtzeitig erfolgt und die passenden Signalzeitenprogramme wie gewünscht einlaufen und wieder abgeworfen werden. Es wurde eine Vielzahl von Routenszenarien betrachtet und abgefahren, damit alle verfügbaren Bevorrechtigungsprogramme an allen 8 Anlagen testweise ausgelöst werden konnten. Bei diesen Testfahrten wurden iterative Verbesserungen und Kalibrierungen an der serverseitigen LSA-Signalsteuerung vorgenommen. Das LSA-Subsystem konnte so optimiert und einsatzbereit gemacht werden.

Abbildung 2-23: Durchführung von Testfahrten für die Erprobung der Bevorrechtigung

AP 4400 Gesamtsystem (FhG-IIS)

Unter der Leitung von FhG-IIS wurde im AP4400 das Gesamtsystem schrittweise in Betrieb genommen. Seitens des DLR beinhaltete dies die Bereitstellung des zuvor implementierten HALI-Servers inklusiver aller darauf notwendiger Services sowie die Aktivierung aller 8 Lichtsignalanlagen im Testfeld. Durch Vorabtests wurde die Kommunikation zwischen den einzelnen Systemkomponenten (Fahrzeug, HALI-Server, Lichtsignalanlagen) mit Hilfe von Mockups getestet. Danach wurde das Gesamtsystem aufgebaut und getestet. Der PRS-Empfänger im Fahrzeug teilte seine Position dem HALI-Server mit. Dieser berechnet die Route und gibt diese abhängig von der Fahrzeugposition an die Lichtsignalanlage weiter.

Die Architektur des HALI-Gesamtsystems mit allen Ports und Schnittstellen zwischen den Komponenten ist in Abbildung 2-24 dargestellt. Im Folgenden werden die einzelnen Komponenten detailliert beschrieben.

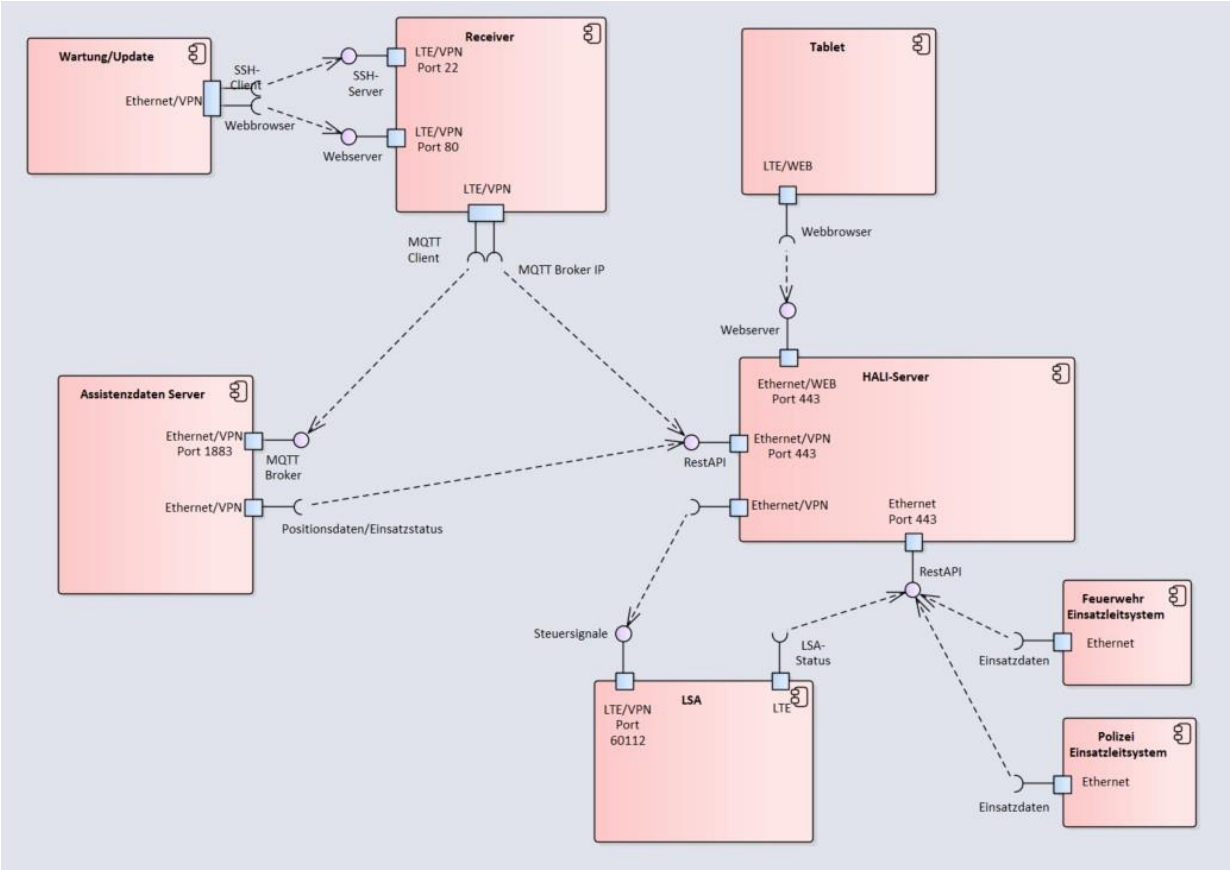


Abbildung 2-24: Architektur HALI Gesamtsystem

Hardware-Aufbau

Der Hardwareaufbau ist im AP 4100 beschrieben.

Kommunikation zum Assistenzdatenserver

Die Empfänger wurden mit einem LTE-Stick ausgerüstet und waren so ab Einschalten im HALI-IP-Netzwerk zu erreichen. Die Kommunikation zwischen Empfänger und Assistenzdatenserver erfolgte über eine MQTT-Verbindung. Als zentraler Knotenpunkt diente der auf dem Assistenzdatenserver realisierte MQTT-Broker. Beliebig viele Clients konnten sich mit dem Broker verbinden und dort, entweder Daten unter einem MQTT-Topic veröffentlichen, oder ein Topic abonnieren. Die Kommunikation erfolgt immer zentral über den Broker und nicht direkt zwischen einzelnen Clients. Die Funktionsweise ist in Abbildung 2-25 skizziert.

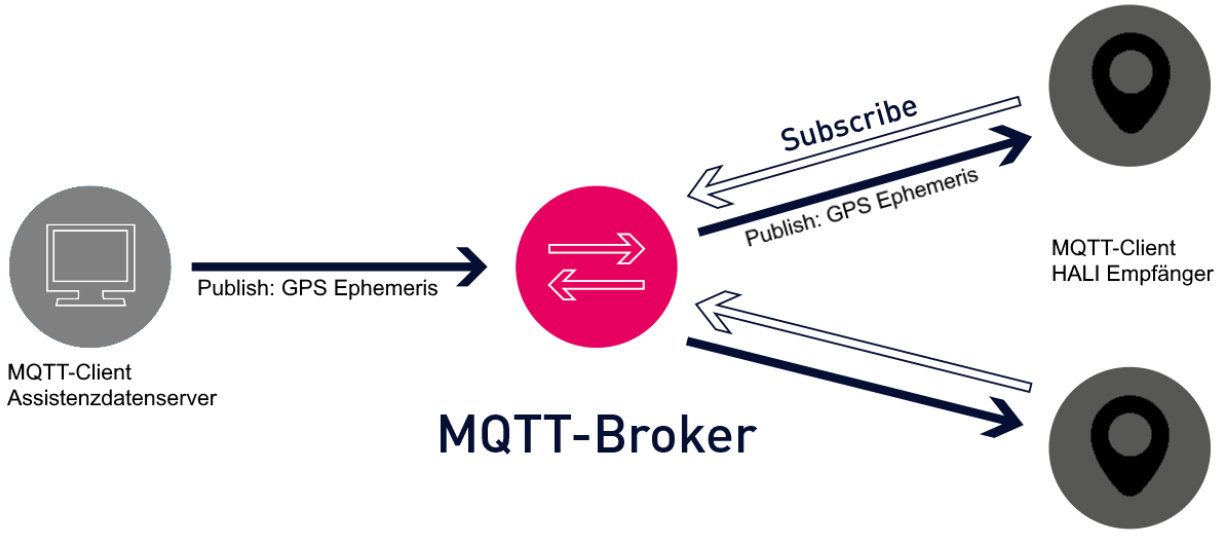


Abbildung 2-25: MQTT-Verbindung

Bei den veröffentlichten Daten war es sinnvoll, die Gültigkeit in Betracht zu ziehen. Die an den Broker veröffentlichten Daten wurden nur an Clients weitergeleitet, die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung das entsprechende Topic bereits abonniert hatten. Dies war vor allem für Messwerte, wie beispielsweise eine PVT, die nur zu einem bestimmten Zeitpunkt gültig war, gewünscht. Für Statuswerte war es hingegen sinnvoll, wenn der Broker die auf einem Topic veröffentlichten Daten speicherte. Die Daten wurden zum Zeitpunkt der Veröffentlichung an alle Clients weitergeleitet, die das entsprechende Topic abonniert hatten. Abonnierte ein Client das Topic zu einem späteren Zeitpunkt, so erhielt er die gespeicherten Daten zum Zeitpunkt des Abonnierens. Hierfür musste beim Veröffentlichen an den Broker das „Retain Flag“ gesetzt werden. Dies war zum Beispiel für Ephemeriden und Almanach Daten nützlich.
Auf dem Assistenzdatenserver war ein MQTT-Client implementiert, welcher die am Assistenzdaten-Server gewonnen Ephemeriden und Almanach Daten unter jeweils eigenen Topic an den MQTT Broker veröffentlichte. Sobald der Empfänger online ging, wurden die Ephemeriden und Almanach Topics abonniert. Die am MQTT-Broker abgelegten Daten, sowie alle folgenden Datensätze wurden daraufhin an den MQTT Client veröffentlicht.

Tabelle 2-7: Verwendete MQTT-Topics

Sender	Topic	Message	Retain	Letzter Wille	Bedingung	Beschreibung
Empfänger	[Mac-Adresse]/ IP	<IP-String>	Ja	-	On Connect	Empfänger IP
Empfänger	[Mac-Adresse]/ ReceiverStatus	<"Online"| "Gracefully Disconnected"| "Ungracefully Disconnect">	Ja	"Ungracefully Disconnect"	On Connect On Disconnect	Empfänger Status
Empfänger	[Mac-Adresse]/ pvt:data	<PVT Message>	Nein	-	On PVT	PVT Information
Server	[Mac-Adresse]/ pvt/config	<pvt:config>	Ja	-	Start der Servers Feuerwehr Status Änderung	PVT Konfiguration
Server	ephemeris/ <gnss>/<svid> / <signal>	<Ephemeris Message>	Ja	-	On Ephemeris Update	Ephemeriden
Server	almanac/ <gnss>/<svid> / <signal>	<Almanac Message>	Ja	-	On Almanc Update	Almanach
Server	ephemeris/ iono_klobuchar/ gps	<iono_klobuchar Message>	Ja	-	On Paramter Update	Ionosphären Parameter
Server	ephemeris/ iono_nequick/ galileo	<iono_nequick Message>	Ja	-	On Paramter Update	Ionosphären Parameter
Server	[Mac-Adresse]/ isCompressPvtOn	<true|True| false|False>	Ja	-	Server request	PVT Kompression
Server	[Mac-Adresse]/ publishPVTData	<true|True| false|False>	Ja	-	Server request	PVT Veröffentlichung

Wartung und Softwareupdate

Für die Wartung des HALI-Empfängers stand SSH zur Verfügung. Innerhalb des VPN konnte eine Verbindung zu den Empfängern aufgebaut werden. Über die SSH-Verbindung wurden Software Updates durchgeführt. Bei Problemen und für Debug-Zwecke konnten Log-Dateien heruntergeladen und zur Fehlersuche analysiert werden.

Für ein Softwareupdate wurden die folgenden Dateien auf der SD-Karte des Empfängers ersetzt und manuell ein Neustart des Empfängers durchgeführt:

- BOOT.BIN: Bootloader

- image.ub: Linux Dateisystem
- system.dtb: Device-Tree
- Release.txt: Release Information und MD5 Check-Summen

Die Empfänger in den Polizeifahrzeugen waren an die Zündung des Fahrzeuges angeschlossen. Deshalb durfte bei diesen nur in Absprache mit der Polizei-Wache ein Softwareupdate durchgeführt werden, um die SD-Karte nicht zu beschädigen.

Auf den Empfängern lief außerdem ein Webserver (Abbildung 2-26). Damit konnte der aktuelle Zustand des GNSS-Empfängers überprüft werden.

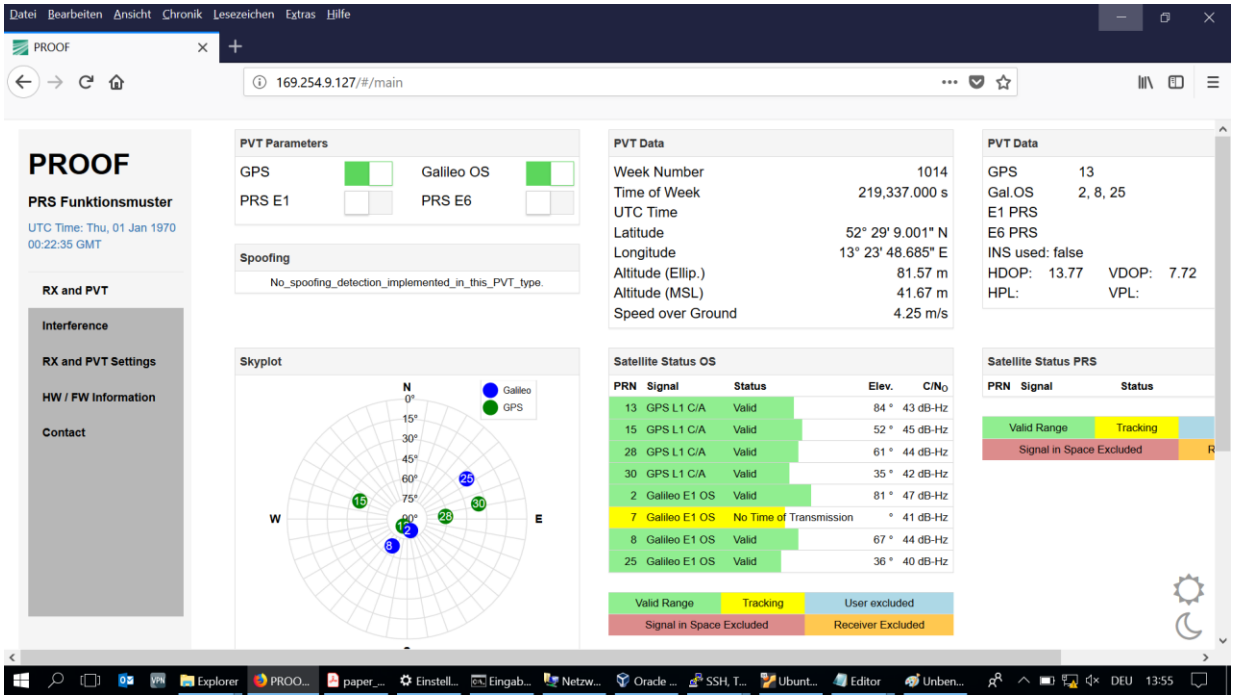


Abbildung 2-26: Web-GUI

Assistenzdatenserver

Der Assistenzdatenserver übernahm folgende Aufgaben im HALI-System:

- Bereitstellung von Ephemeriden und Almanach Daten für den HALI-Receiver
- Bereitstellung von Konfigurationen für den HALI-Receiver
- Weiterleitung der Empfänger Positionsdaten an den HALI-Server
- Monitoring der Empfänger

Für die Umsetzung dieser Aufgaben bestand der Assistenzdatenserver aus mehreren Komponenten. Diese waren:

- GNSS-Empfänger zur Gewinnung von gültigen Ephemeriden und Almanac Daten
- Rest Interface zur Kommunikation mit dem HALI-Server
- MQTT-Broker/Client zur Kommunikation mit den HALI-Receivern.

Bereitstellung von Ephemeriden und Almanach Daten für den HALI-Receiver

Der Assistenzdatenserver verfügte über einen eigenen GNSS-Empfänger. Der Empfänger verarbeitete die Signale Galileo OS und GPS L1C/A. Aus der Navigationsnachricht wurden die Ephemeriden und Almanach Daten der Signale gewonnen und für die HALI-Receiver bereitgestellt.

Für die Bereitstellung der Daten war ein MQTT-Client realisiert. Dieser veröffentlichte die Ephemeriden, Almanac und Ionosphären Parameter mit Retain-Flag. Die Genaue Topic Struktur ist in Tabelle 2-7 aufgelistet.

Die Ephemeriden haben eine Gültigkeit von insgesamt vier Stunden, können also über einen längeren Zeitraum, aber nicht endlos genutzt werden. Der realisierte MQTT-Client löschte die am MQTT-Broker abgelegten Daten nach vier Stunden. So war sichergestellt, dass der Empfänger keine veralteten Ephemeriden verwendete.

Bereitstellung von Konfigurationen für den HALI-Receiver

Die Konfiguration der Empfänger wurde vom Assistenzdatenserver über eine MQTT-Verbindung gesteuert. Für jeden Empfänger war die Konfiguration mit „Retain-Flag“ am MQTT-Broker abgelegt. Sobald der Empfänger seine Konfiguration abonnierte, stand ihm diese zur Verfügung. Dies passierte sofort nach einschalten des Gerätes.

Die Empfänger waren neben dem GNSS mit einer IMU und einem Odometer ausgestattet. Die Sensorik unterstützte dabei, eine kontinuierliche Positionierung im Urban-Canyon zu ermöglichen. Vorübergehender GNSS-Ausfall konnte so, bei bekannter Position und Orientierung durch IMU und Odometer, überbrückt werden. Die initiale Position und Orientierung konnten aus den GNSS-Messungen gewonnen oder per Konfiguration festgelegt werden.

Die eingesetzte Standardkonfiguration legte den PVT-Modus von GNSS, IMU und Odometer fest. Die Empfänger sollten die initiale Position und Orientierung aus dem GNSS-Signal gewinnen. Die fahrzeugabhängige Skalierung des Odometers wurde für jeden Empfänger separat festgelegt.

Für die Fahrzeuge der Feuerwehr gab es neben der Standardkonfiguration noch einen Sonderfall. Die Feuerwehrfahrzeuge parkten an der Wache immer an einer fest definierten Stelle. Die initiale Position und Orientierung waren somit bekannt. Sobald ein Fahrzeug zum Einsatz kommandiert wurde, wurde die Parkposition und Orientierung des Einsatzfahrzeuges dem Empfänger mitgeteilt. Es konnte so, trotz fehlender GNSS-Position am Parkplatz in der Wache, direkt mit der Positionierung begonnen werden.

Weiterleitung der Empfänger-Positionsdaten an den HALI-Server

Die Empfänger veröffentlichten ihre Fahrzeugpositionen an den MQTT-Broker. Auf dem Assistenzdatenserver wurden die Daten abonniert und auf das vorgegebene Format überprüft. Valide und gültige Positionen wurden über ein REST-Interface an den HALI-Server für die LSA-Steuerung weitergeleitet.

Monitoring der Empfänger

Der Empfänger veröffentlichte seinen operationellen Status, seine IP-Adresse und die PVT-Daten. Alle Daten wurden am Assistenzdatenserver für Monitoring-Zwecke für eine Dauer von sieben Tagen gespeichert.

Der operationelle Status zeigt auf, ob ein Gerät aktuell Online ist, bewusst ausgeschalten wurde, oder durch Defekt, oder durch Wegnehmen des Stroms ausgeschalten wurde. Letzteres wurde über ein spezielles Feature „Last Will“ von MQTT realisiert. War ein MQTT-Client über einen längeren Zeitraum nicht erreichbar, so veröffentlichte der MQTT-Broker das Last Will Topic.

Aus dem operationellen Status war ersichtlich, welcher Empfänger wann im Einsatz war. Waren Geräte über einen längeren Zeitraum nicht erreichbar, so konnten diese als vermutlich defekt identifiziert werden.

Die IP-Adresse des Empfängers konnte verwendet werden, um die GUI zu erreichen oder eine SSH-Verbindung zum Empfänger herzustellen. Um einen Empfänger im Netzwerk eindeutig identifizieren zu können, wurde diese vom Empfänger veröffentlicht.

Die gespeicherten PVT-Daten konnten für die Analyse der Systemperformance herangezogen werden. So konnten beispielsweise die Daten extrahiert und in ein KML-File zur graphischen Aufbereitung konvertiert werden. Die gewonnene Trajektorie konnte mit den Einsatzdaten abgeglichen und so auf Qualität, Konsistenz und Vollständigkeit geprüft werden.

HALI-Server

Das Projekt HALI-Berlin verfolgte das Ziel, mit Sonder- und Wegerechten verkehrende Sondereinsatzfahrzeuge an Lichtsignalanlagen (LSA) zu bevorrechtigen, um somit einen schnelleren und (verkehrs-)sicheren Verkehrsablauf zu erreichen. Die Koordinierung der LSA basierte auf den aktuellen Positionen der Einsatzfahrzeuge und ihren geplanten Fahrtrouten. Bei der Priorisierung sollten negative Effekte auf den übrigen Verkehr minimiert werden. Zu diesem Zweck wurde vom DLR ein HALI-Server mit verschiedenen Services konzipiert und aufgebaut, welcher die Koordinierung und Umsetzung der LSA-Priorisierung zentralenseitig durchführte. Einige Details zum HALI-Server wurden bereits in den vorstehenden Kapiteln beschrieben, werden hier im Zuge des Gesamtsystems aber nochmals detaillierter ausgeführt.

Hardware- / Software-Setup
Der HALI-Server bediente im Wesentlichen fünf elementare Dienste-Schnittstellen:

- Datenprovider: Über verschiedene, teils proprietäre Schnittstellen wurden (Verkehrs-)Daten von unterschiedlichen Datenprovidern empfangen und dem HALI-Server zur weiteren Verarbeitung und Veredelung zur Verfügung gestellt. Auf dieser Basis erfolgte die Bestimmung der verkehrsgünstigsten Route.
- Galileo-Receiver: Der HALI-Server band über eine Schnittstelle die in den in Einsatzfahrzeugen verbauten PRS-Receiver an und empfing kontinuierlich aktuelle Positionsdaten von den Einsatzfahrten. Diese Informationen dienten der zeitgenauen Aktivierung und Rücknahme der Priorisierung an den Lichtsignalanlagen.
- Lichtsignalanlage (LSA): Der HALI-Server verfügte über eine Schnittstelle, um Umschaltbefehle an LSA-Steuergeräte zu übermitteln. Weiterhin konnte der Server Informationen von den Steuergeräten entgegennehmen und somit den LSA-Status entsprechend in der Planung der Fahrtrouten berücksichtigen.
- Einsatzleitsystem (ELS): Die Einsatzleitsysteme von Polizei und Feuerwehr Berlin waren ebenfalls über Schnittstellen mit dem HALI-Server verbunden, um Daten über die Zielorte der Einsatzfahrten mit Sonder- und Wegerechten übertragen zu können.
- Tablet Endanwender: Eine Schnittstelle zur Routen- und Bevorrechtigungsdarstellung auf in den Einsatzfahrzeugen mitgeführten Tablets wurde vorgesehen, kam im Projektverlauf allerdings nicht zur Anwendung.

Die nachfolgende Abbildung 2-27 beinhaltet eine Übersicht über alle Module des HALI-Servers zur Bedienung der vorgenannten Schnittstellen.

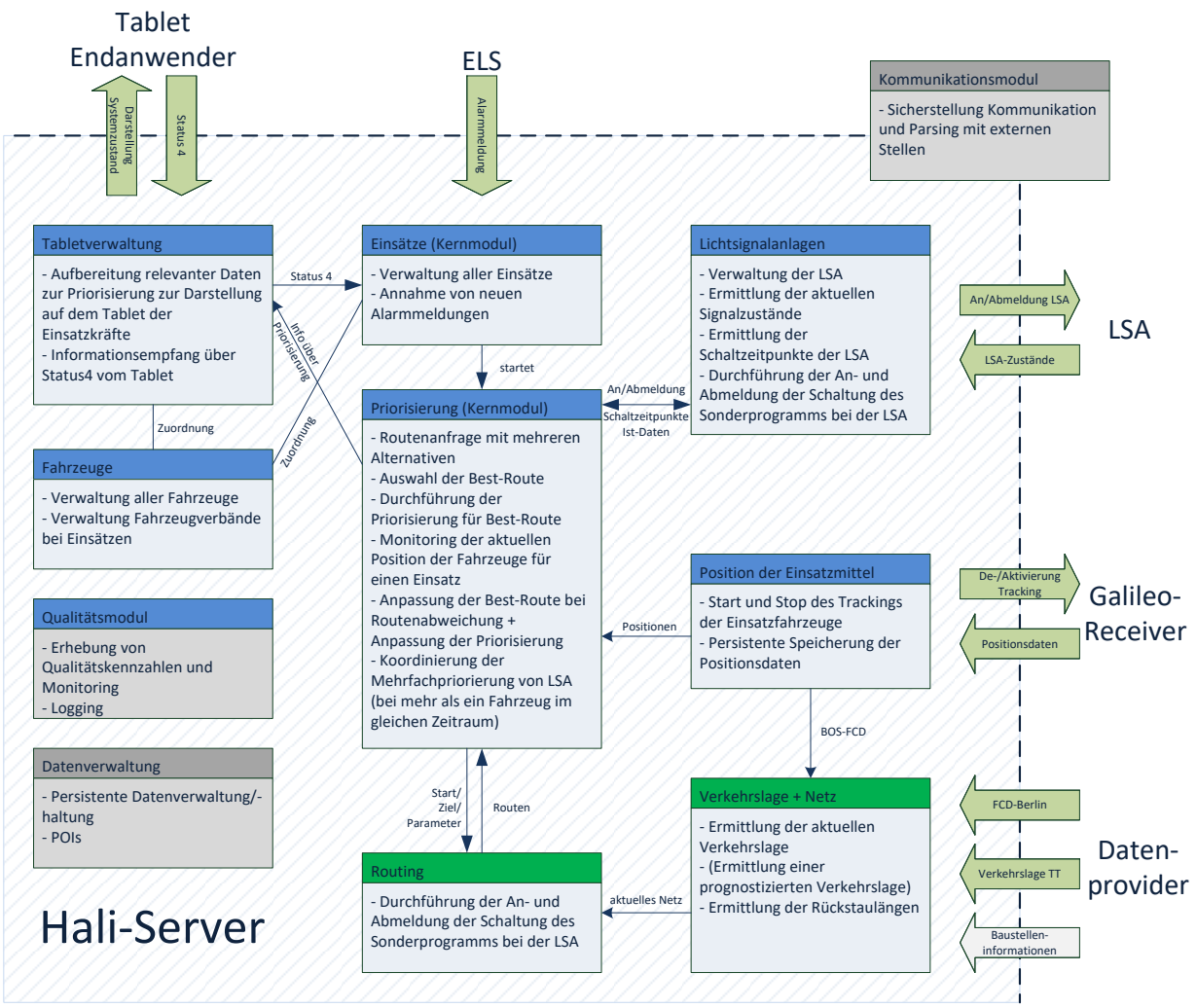


Abbildung 2-27: Übersicht der Service-Module auf dem HALI-Server

Die Hardwareplattform des HALI-Servers bestand aus mehreren Servern (Hosts) in einem Clusterverbund und einer dazugehörigen Speicherlösung (SAN) innerhalb der Virtualisierungsumgebung VMWare vSphere6. Der Betrieb des HALI-Servers erfolgte im Rechenzentrum des DLR, welches durch eine USV und Notstromversorgung den Betrieb auch bei Stromausfällen gewährleistete. Darüber hinaus war die Server-/SAN-Infrastruktur durch einen redundanten Aufbau vom Ausfall einer oder mehrerer Komponenten geschützt. Die Datenhaltung erfolgte in einer Postgres-Datenbank.

Algorithmen zur LSA-Steuerung und Routenplanung

Bei der Ermittlung optimaler Routen für die Einsatzfahrzeuge wurde die typische Verkehrslage, basierend auf Tagesganglinien berücksichtigt. Daraus ableiten ließen sich typische Rückstaulängen, die im Verkehrslage- und Netzmodul Verwendung fanden. Die hieraus resultierenden Kantengewichte wurden an das Routing-Modul übergeben. Zur Planung einer konkreten Fahrtroute wurden Start- und Zielparameter, sowie die berechneten Kantengewichte an das Routing-Modul übermittelt, welches die möglichen Routen berechnete und an das Modul Priorisierung zurückgibt. Zusätzlich verwaltete das Routing-Modul vorgegebene (strategische) Routen und führte das Map-Matching der Positions-Rohdaten durch. Nach Auswahl der geeignetsten Route wurde eine Priorisierung festgelegt und die Position des Fahrzeuges während der Einsatzfahrt stetig aktualisiert. Außerdem sendete das Priorisierungsmodul die Informationen über die An-/ Abmeldung der Schaltung des Sonderprogramms an die LSA und erhielt von dieser die Informationen über den genauen Schaltzeitpunkt. Das Modul staffelte die Ausgabe der Schaltbefehle an die einzelnen Lichtsignalanlagen zeitlich so, dass die jeweiligen Phasen in Abhängigkeit eines angenommenen Fahrtverlaufs der Einsatzfahrzeuge im korrekten zeitlichen Versatz geschaltet wurden.

Alle LSAs wurden im Lichtsignalanlagen-Modul des HALI-Servers verwaltet. Dieses konnte die Schaltung des Sonderprogramms an- und abmelden und ermittelte die aktuellen Zustände der LSAs. Die Informationen, welche LSAs entlang der Route zu schalten waren, erhält das Kernmodul zur Priorisierung. Standen die Schaltzeitpunkte der einzelnen LSAs fest, wurden diese der Priorisierung mitgeteilt.

Einsatzleitsysteme

Die Anbindung der Einsatzleitsysteme der beteiligten BOS diente der eindeutigen Zuordnung der in den Einsatzfahrzeugen verbauten Receiver, sowie der Übermittlung von Start- und Endpunkten von Fahrtrouten. Im Einsatzfall wurde von der Einsatzleitstelle (ELS) eine Alarmmeldung an das HALI-System gesendet. Diese Alarmmeldung ging im Kernmodul ein, welches alle neue Alarmmeldungen annahm und Einsätze verwaltete. Auf Basis des Einsatzes startete das Modul die Priorisierung. Jedem Einsatz wurden die beteiligten Fahrzeuge zugeordnet. War ein Einsatz beendet, erhielt das Modul diese Information von vom Einsatzleitsystem.

Im Vorfeld wurden die Funkkennungen der einzelnen HALI-Fahrzeuge mit Polizei und Feuerwehr abgestimmt und im HALI-Server als zentrale Schnittstelle zwischen Lichtsignalanlagen im Feld und Receivern in den Fahrzeugen hinterlegt. Somit mussten nur noch diese Kennungen und nicht die Fahrgestellnummern an den HALI-Server übertragen werden, was die Fehleranfälligkeit im Betrieb (z.B. bei Ersatz oder Werkstattaufenthalten einzelner Fahrzeuge) minimierte.

Besonderheit Einsatzleitsystem Feuerwehr

Da sich eine geplante Umstellung der Serverinfrastruktur bei Feuerwehr Berlin verzögerte, erfolgte die Anbindung des Einsatzleitsystems der Feuerwehr Berlin mittels einer speziellen Meldebox der Firma Alarm Dispatcher Systems. Diese Meldebox wurde auf der Feuerwache in Berlin-Moabit lokal betrieben und ermöglichte eine direkte Weiterleitung der Alarmierung an den HALI-Server. Es existierte in diesem Fall keine Schnittstelle, die den Funkmeldesystem-Status (FMS-Status) vom Einsatzleitsystem der Feuerwehr Berlin direkt zum HALI-Server übermittelte. Dieser Status wird allerdings für das Setzen der Initialposition (Feuerwache) des Receivers benötigt und musste daher simuliert werden. Im Falle einer Alarmierung sendete die Meldebox den Status 2 für das betreffende, auf der Wache befindliche Fahrzeug an den HALI-Server und setzte die Bevorrechtigungskette damit in Gang. Der Receiver reagierte ebenfalls auf den Empfang des Status 2 und setzt die Initialposition (Feuerwache). Der Status 3 wurde automatisiert eine Minute später an den HALI-Server versendet, da angenommen wurde, dass das Fahrzeug in Kürze ausrückt.

Tabelle 2-8: Funkmeldesystem-Status (FMS-Status) Feuerwehr Berlin

FMS-Status	Bedeutung
2	Fahrzeug ist frei und auf der Wache alarmierbar
3	Fahrzeug hat Einsatz übernommen und ist unterwegs zum Einsatzort
4	Fahrzeug ist am Einsatzort eingetroffen

Lichtsignalanlagen

Um die vom HALI-Server gesendeten Anforderungen von Sonderprogrammen an den 8 Lichtsignalanlagen (LSA) im Feld schalten zu können, mussten die Anlagen technisch erweitert werden. Dies umfasste die Herstellung einer gesicherten Verbindung zum HALI-Server und die Einspielung der Sonderprogramme selbst. Dafür wurde jede Lichtsignalanlage im Feld mit einem Industrie-Mini-PC (IPC) ausgestattet, welcher über eine VPN-geschütze Mobilfunkverbindung mit dem HALI-Server kommunizierte und Schaltwünsche zur Bevorrechtigung entgegennehmen konnte. Um die empfangenen Schaltwünsche an die Lichtsignalanlage weiterleiten zu können, wurde der IPC mit einem Modbus-Modul zur Herstellung einer Kommunikationsschnittstelle mit dem LSA-Steuergerät verbunden. Auf dem LSA-Steuergerät wurden jeweils verschiedene Sonderprogramme eingespielt, die die am häufigsten genutzten Fahrrelationen der Sondereinsatzfahrzeuge an einer Kreuzung abbildeten. Die Sonderprogramme wurden für jede Kreuzung im Testgebiet individuell erstellt und durch die damalige Verkehrslenkung Berlin (VLB) für den Einsatz freigegeben.

Der Informationsfluss zwischen dem HALI-Server und den Lichtsignalanlagen im Feld lief so ab, dass der HALI-Server für die einzelnen Kreuzungen entlang einer Route jeweils zeitlich gestaffelt den Wunsch für ein bestimmtes

Sonderprogramm sendete. Der IPC einer jeden Kreuzung nahm diesen Wunsch entgegen und setzte über das Modbus-Modul einen bestimmten Pin am LSA-Steuergerät. Das LSA-Steuergerät las diesen gesetzten Pin aus und ließ, je nachdem welcher Pin unter verschiedenen Möglichkeiten gesetzt wurde, das zugehörige Sonderprogramm für das nahende Sondereinsatzfahrzeug einlaufen. Über die gleiche Verbindung sendete das LSA-Steuergerät fortlaufend seinen Status (z.B. aktuelle Umlaufsekunde, aktueller Signalzeitenplan, etc.) an den HALI-Server für ein Monitoring und für die zeitlich gestaffelte Ansteuerung zurück. Sobald das Sondereinsatzfahrzeug eine Kreuzung gequert hatte, veranlasste der HALI-Server die Lichtsignalanlage wieder in den Normalzustand zuschalten.

AP 4500 Labordemonstration und Tests (FhG-IIS)

Im AP4500 wurden parallel zum AP4400 die Einzelkomponenten im Labor getestet und Effekte aus dem Feldtest nachvollzogen und behoben. Bei diesem iterativen Vorgehen konnten Fehler identifiziert und deren Ursachen entschärft werden. Im Bereich der LSA-Steuerung wurden durch das DLR verschiedene Testläufe mit den entwickelten Feuerwehrplänen und zusätzlich benötigter Hardware in der geschützten Laborumgebung durchgeführt. Dafür wurden die einzelnen Feuerwehrpläne zunächst im Verkehrsingenieurtool Siemens Sitraffic Office implementiert und anschließend in die Steuergeräte des LSA-Labors vom DLR eingespielt. Zusätzlich benötigte Hardware in Form von Industrie-Mini-PCs, wie sie im Testfeld zum Einsatz kamen, wurde ebenfalls konfiguriert. Mit diesem Aufbau konnte die Auslösung der Bevorrechtigung, wie sie dann später auch vom HALI-Server im Testfeld erfolgte, als ein Teil der gesamten Informationskette bereits im Labor demonstriert werden.

Abbildung 2-28: Labortests zu LSA-Steuerungen mit zusätzlicher Hardware, insbesondere Industrie-Mini-PCs

AP 4600 Einrichtung (Kalibrierung) Testfeld (DLR)

Im AP 4600 wurden Arbeiten zur Kalibrierung des Testfeldes durchgeführt. Hier wurden u.a. häufige Einsatzszenarien mit der Polizei und Feuerwehr abgestimmt. Diese waren für die Kalibrierung des Testfeldes dahingehend von Bedeutung, dass die zentrale HALI-Steuerung auf dem HALI-Server auf bestimmte Anforderungen der Einsatzkräfte angepasst werden sollte. So war beispielsweise die haltfreie Querung einer Kreuzung von Einsatzfahrzeugen im geschlossenen Konvoi von Interesse. Zudem wurde daran gearbeitet die typischen Annäherungszeiten der Einsatzfahrzeuge an die einzelnen Lichtsignalanlagen möglichst präzise zu bestimmen und im System einzupflegen. Dafür war eine Vielzahl von Testfahrten für verschiedene Routenverläufe notwendig. Damit konnte erreicht werden, dass die Schaltzeitpunkte für das Einlaufen den Feuerwehrprogramme stetig präzisiert wurden. Im Ergebnis konnte sich für die Einsatzfahrzeuge eine dynamische grüne Welle über mehrere Lichtsignalanlagen hinweg einstellen. Nach Verfügbarkeit des PRS-Receivers konnten diese Kalibrierungs- und Testläufe mit FhG-IIS vom anfänglichen OS- auf das PRS-Signal umgestellt werden.

2.1.2.5 AP 5000 Demonstration (DLR)

AP 5100 Kampagne (DLR)

Im AP 5100 haben zunächst Arbeitstreffen mit der Feuerwehr und Polizei stattgefunden, um den späteren Kampagnenbetrieb vorzubereiten. So hat eine 24-stündige Hospitation auf der Feuerwache Moabit stattgefunden, um

den Ablauf im Einsatzfall besser nachvollziehen und im HALI-Bevorrechtigungssystem berücksichtigen zu können. Auf dem Polizeiabschnitt A27 wurde das HALI-System vorgestellt, um ein Feedback der operativ eingebunden Beamten zum HALI-System und insbesondere zu dem geplanten Routing durch das Testgebiet zu erhalten. Für die Evaluierung wurde in diesem Zusammenhang vereinbart, während des Kampagnenbetriebs eine Sprechstunde auf dem Abschnitt einzurichten, um auf unbürokratische und für die Beamten aufwandsarme Weise eine Rückmeldung zum HALI-System zu erhalten. Ähnliches wurde bei der Feuerwehr durchgeführt. Zum Beginn des Kampagnenbetriebs wurden sowohl auf der Feuerwache als auch auf dem Polizeiabschnitt Informationsveranstaltungen für alle Beteiligten durchgeführt. Es wurden Informationsmaterialen erstellt und der Feuerwehr und Polizei zur Verfügung gestellt.

AP 5200 Evaluation Feldversuch (DLR)

Im Rahmen des AP 5200 erfolgte eine erste Auswertung der durch HALI priorisierten Einsatzfahrten im Zeitabschnitt vom 13. bis 16.06.2021. Der HALI-Server hat für die zu dieser Zeit fünf verfügbaren Einsatzfahrzeuge (3 Polizei + 2 Feuerwehr; Rettungswagen befand sich über einen längeren Zeitraum in der Werkstatt) insgesamt 119 Einsätze (68 Polizei und 51 Feuerwehr) empfangen und verarbeitet. Für 113 dieser Einsätze wurden Bevorrechtigungsanfragen auf dem HALI-Server angelegt und angestoßen. Davon wurden 53 Einsätze mit einer Bevorrechtigung regulär durchgeführt, d.h. die LSA im Feld geschaltet. 60 Einsätze wurden verworfen, z.B. weil sich Fahrzeugpositionen entweder nicht plausibel verändert haben oder die Einsatzrouten keine der ausgerüsteten LSA passierten. Auf die LSA 17083 (Levetzowstr./ Jagowstr., d.h. die südliche Ausfahrt der Feuerwache Moabit) sind in diesem Zeitraum beispielsweise 38 Bevorrechtigungen entfallen. Davon waren 26 Bevorrechtigungen von der Feuerwache kommend und 12 Bevorrechtigungen entlang der Levetzowstr. Diese enthalten entsprechend auch die Einsatzfahrten der Polizei. Das nachfolgende Histogramm stellt auf der x-Achse die Dauer des Anliegens der Feuerwehr-/Sonderprogramme (in Sekunden) dar und bildet auf der y-Achse die relative Häufigkeit dieser Dauern ab.

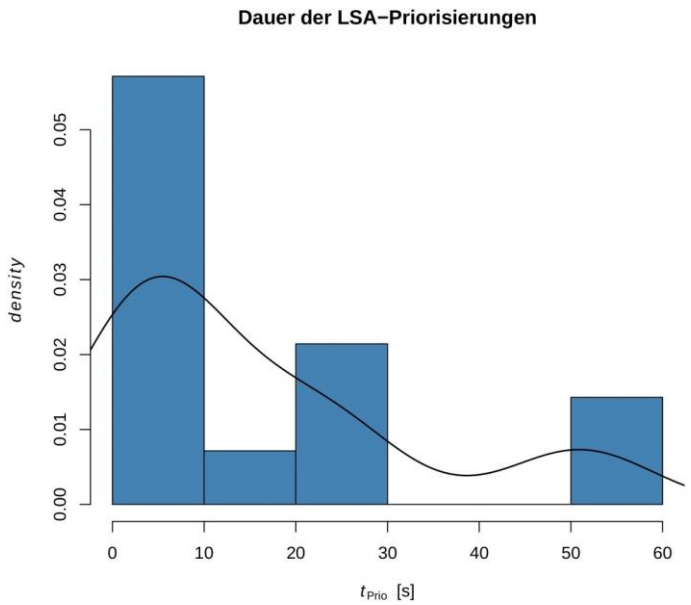


Abbildung 2-29: Häufigkeitsverteilung von Schaltdauern der Bevorrechtigungsprogramme

Diese Abbildung zeigt sehr gut die Wirksamkeit des Gesamtsystems aus der Ortung der Fahrzeuge und der Bestimmung des Umschaltzeitpunktes für die Eingriffe in die LSA-Schaltungen. Die große Mehrzahl der Priorisierungen dauert lediglich ca. 10 Sekunden, d.h. dass die Fahrzeuge punktgenau vor den Kreuzungen an- und nach dem Überqueren wieder abgemeldet werden konnten. Bei der Gruppe bis 30 Sekunden Sonderprogrammlaufzeit treten höchstwahrscheinlich verkehrliche Probleme auf dem hinführenden Armen der Kreuzungen auf, so dass die Programme etwas länger gehalten werden müssen. Allerdings ist die Häufigkeit wesentlich geringer als bei der ersten Gruppe. Die Gruppe ganz rechts im Diagramm mit Programmlaufzeiten zwischen 50 und 60 Sekunden deuten noch auf ein gewisses Optimierungspotential hin. Diese Programmlaufzeiten können bei Nutzung von Sonder- und

Wegerechten nicht mehr ausschließlich durch Störungen im Verkehrsfluss begründet werden. Die Abbruchzeit für das Halten der Sonderprogramme betrug 120 Sekunden.

Es folgten zum späteren Zeitpunkt weitere Auswertung der durch HALI priorisierten Einsatzfahrten. Die Daten dazu wurden für die fünf verfügbaren Einsatzfahrzeuge vom HALI-Server erfasst und hinsichtlich der Reisezeiten durch das Testgebiet analysiert. Beispielhaft wurden 40 Einsatzfahrten herausgefiltert, die eine sehr gute Analyse der Reisezeiten erlaubten. Davon haben 17 Fahrten eine Bevorrechtigung mit dem HALI-System erfahren, 23 weitere erfasste Einsatzfahrten waren ohne Bevorrechtigung unterwegs und dienten als Vergleichsbasis. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

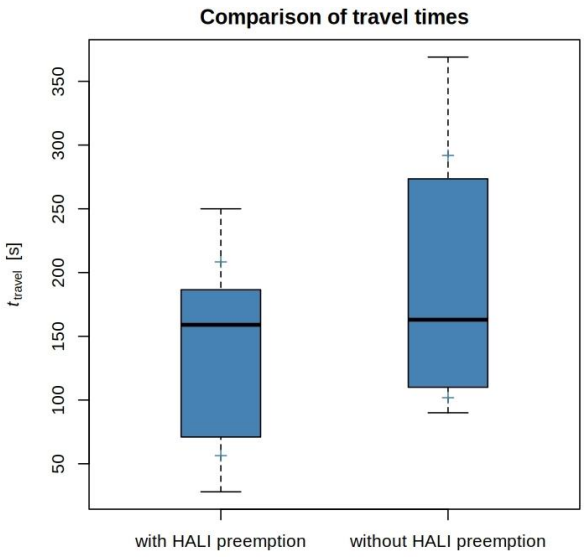


Abbildung 2-30: Reisezeitvergleich für Einsatzfahrzeuge mit und ohne HALI-Bevorrechtigung bei Fahrten durch das Testgebiet

Ersichtlich wird, dass die Reisezeiten für die Einsatzfahrzeuge bei aktiver HALI-Bevorrechtigung (with HALI preemption) prinzipiell geringer sind als ohne HALI-Bevorrechtigung (without HALI preemption). Die Varianz der Reisezeiten ist mit aktiver HALI-Bevorrechtigung ebenfalls geringer. Der Median der Reisezeiten unterscheidet sich zwischen beiden Fällen jedoch kaum voneinander, was an der zu diesem Zeitpunkt geringen Anzahl auswertbarer Einsatzfahrten lag (eingeschränkte Fahrzeug- und Receiververfügbarkeit).

AP 5300 Workshops für interessierte Anwender (FhG-IIS)

Im Rahmen von HALI organisierte die IABG einen zweitätigen PRS-Workshop für mögliche PRS-Anwender (inkl. Polizei, Feuerwehr, andere Einsatzkräfte) zusammen mit der DE-CPA und den HALI-Projektpartnern. Nach einer NfD-Unterweisung aller Teilnehmer folgten Fachvorträge zum Stand von Galileo, Galileo PRS sowie PRS-Einsatzszenarien. Anschließend wurde ein Sachstand zur PRS-Empfängertechnologie gegeben. Der zweite Workshoptag wurde von IABG geleitet und kümmerte sich um die Erhebung von Galileo PRS-Anforderungen für hoheitliche Anwendungen.

Am 12. August 2021 fand – unter COVID-Einschränkungen – die Zwischenabschlussdemonstration für die erste Phase HALI bei der Feuerwehr Berlin vor rund 30 Teilnehmern statt. Neben kurzen Fachvorträgen wurde erstmals HALI mit Galileo PRS live demonstriert. Dazu wurde ein SECRET CRYPTO eingestufter Galileo PRS Empfänger – unter ständiger Bewachung und Kontrolle eines VS-Kuriers – im Polizeifahrzeug vorgeführt. Auch eine Live-Demonstration einer Einsatzfahrt mit aktiver HALI-Bevorrechtigung an den Lichtsignalanlagen wurde durchgeführt. Im Rahmen der Veranstaltung wurde eine entsprechende Pressemeldung durch das DLR und die Partner veröffentlicht.

Abbildung 2-31: Teilnehmerinnen und Teilnehmer bei der HALI-Zwischenabschlussveranstaltung am 12.08.2021 auf der Feuerwache Berlin-Moabit.

2.1.2.6 AP 6000 Maintenance (DLR, FhG)

Das Ziel des AP6000 war es, das in der Projektphase 1 aufgebaute HALI-Gesamtsystem weiter zu betreiben und im Sinne der bisher nicht vollständig erreichten Projektziele zu erweitern und zu optimieren. Dies umfasste die Umrüstung der Galileo-Receiver in den Einsatzfahrzeugen von Open Service auf PRS und die Erhöhung der Systemrobustheit des HALI-Gesamtsystems. Nach Abschluss dieser Schritte startete der Dauertest, während dessen fortlaufend Daten zum HALI-Gesamtsystem erhoben und für eine wissenschaftliche Auswertung des Feldtests genutzt wurden. Die dabei ermittelten Ergebnisse sowie das HALI-Gesamtsystem selbst, wurden interessierten Anwendern wie z.B. anderen Polizeien und Feuerwehren sowie Kommunen, Infrastrukturbetreibern und LSA-Herstellern zum Abschluss im Rahmen der Dissemination vorgestellt.

AP 6100 Umrüstung PRS (SAG, FhG-IIS)

Durch die Verzögerungen der PROOF-Zulassung Ende 2022 konnte die geplante Einrüstung der PRS-PROOF-Empfänger erst in Phase 2 durchgeführt werden. Die Arbeiten von SAG in Phase 2 umfassten den HW-Umbau der Geräte (auf optisches Ethernet, bzw. optisches USB), Test der umgebauten Geräte mit und ohne Security Modul, Durchführung von Tempest Prüfungen, Schlüsselung beim BSI und die Einbauten vor Ort in Berlin.
Die Abstrahl-Prüfungen (TEMPEST) wurden in einem akkreditierten Labor bei SAG durchgeführt. Jeder Empfänger muss diese geforderte Sicherheitsprüfung bestehen, bevor die Geräte vom BSI in Bonn geschlüsselt werden. Dabei ist zu beachten, dass ein solcher Schlüsselungsprozess erstmalig durchgeführt wurde und entsprechend große Aufwände für beide Seiten verursacht wurden. Die hier gewonnen Erkenntnisse werden aber als Grundlage für einen zukünftigen „Serienprozess“ hergenommen.
Siemens und Fraunhofer waren für die Einrüstung mehrfach vor Ort in Berlin. Siemens hat dafür einen zweiten und dritten PROOF-Empfänger für die Installation vorbereitet (inkl. TEMPEST-Vermessung, Keying, etc.). Es wurden zwei Receiver in Polizeiwagen verbaut, der Dritte in einen Rettungswagen der Berliner Feuerwehr. Der Einbau in letzteren wurde von der Firma Fahrtec Systeme GmbH (Hersteller des Rettungswagens) begleitet.

Abbildung 2-32: PROOF-Gesamtsystem verbaut nahe der Zentralelektrik des Rettungswagens

Zwischenzeitlich hat sich herausgestellt, dass die PROOF-PRS-Empfänger als Uncla-even-when-keyed Version innerhalb der Zertifizierung als „CCI“ (COMSEC Controlled Item) eingestuft wurden, was den Betrieb in den Fahrzeugen in Berlin sehr schwierig machen würde, da nach der Zulassung „CCI“ als Kryptomittel zu verwalten ist. In Abstimmung mit den dt. Behörden wurde versucht einen alternativen Weg zu finden, die Einstufung auf „CI“ (Controlled Item) herabzustufen, um den Betrieb in den Fahrzeugen sicher zu stellen, ohne dass der PROOF als Krypto-Mittel zu verwalten ist. Die Herunterstufung wurde Q1 2023 von der DE-CPA bestätigt.

AP 6200 Erhöhung System-Robustheit (FhG-IIS, DLR)

Zur Erhöhung der System-Robustheit im Feld wurden in Phase 2 verschiedene Änderungen am Gesamtsystem durchgeführt. Zur Anbindung der IMU wurde aufgrund des neuen TEMPEST-Gehäuses ein USB-Glasfaser-Umsetzer eingebaut werden. Dieser wurde später aber aufgrund von Signalaussetzern durch einen externen uBlox-GNSS-Sensor auf einem Raspberry Pi 4, welcher durch Glasfaser-Ethernet angebunden werden konnte, ersetzt. Die angepasste Architektur wird in Abbildung 2-33 gezeigt. Zur Integration der neuen Datenquellen wurde eine Weiterleitung am Raspberry Pi implementiert und die Sensorfusion am Empfänger durch Airbus weiterentwickelt.

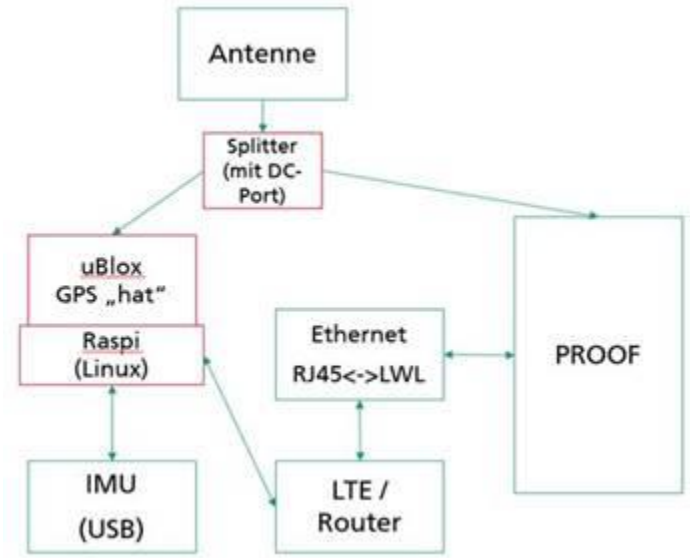


Abbildung 2-33: Angepasste Systemarchitektur für Phase 2

Fraunhofer konnte in der Folge mehrere Testfahrten zunächst mit OS, später auch mit PRS erfolgreich durchführen. Abbildung 2-34 zeigt die durch die Sensoren ermittelte Position während einer Testfahrt in der Satellitenansicht. Hierbei ist zu beobachten, dass eine kontinuierliche Verfolgung durchgeführt wurde und mögliche Ausreißer oder Positionsfehler durch die Sensorfusion ausgeschlossen wurden. Abbildung 2-35 zeigt die Positionen der gleichen Testfahrt nochmal zusätzlich in Bezug auf Zeit und Anzahl der für die Positionsbestimmung verwendeten Satelliten. Das Ergebnis der Testfahrten kann somit als sehr erfolgreich angesehen werden.

Abbildung 2-34: Plot der Positionsdaten einer Testfahrt in der Satellitenansicht

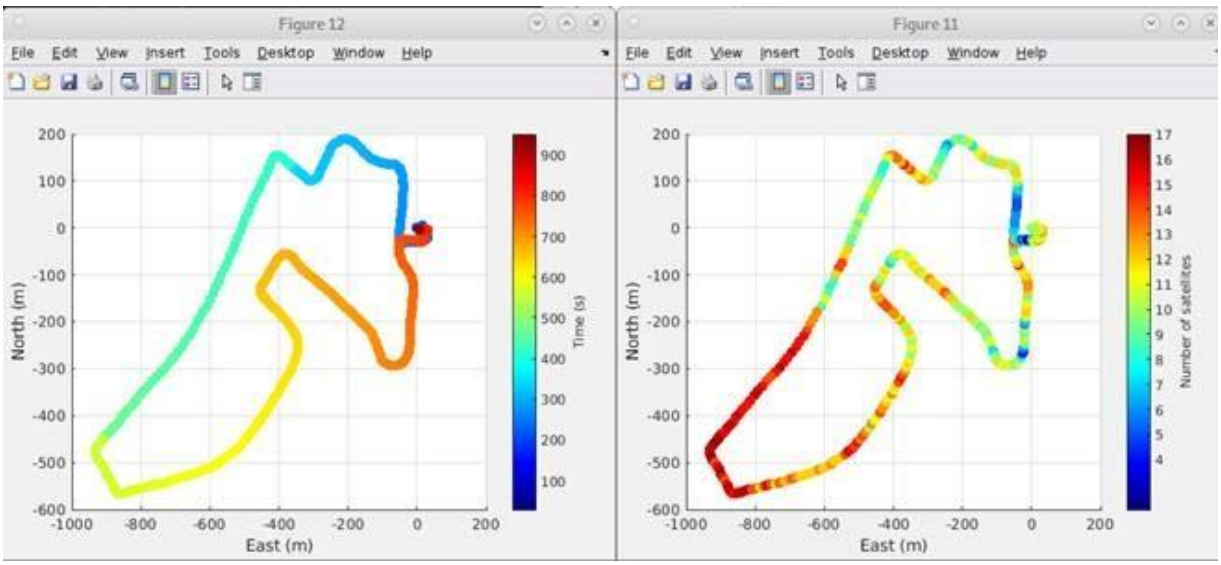


Abbildung 2-35: Plot der Positionsdaten einer Testfahrt in Bezug auf Zeit (links) und Anzahl der für die Positionsbestimmung verwendeter Satelliten (rechts)

Um die Zuverlässigkeit der lokalen HALI-Komponenten in den Lichtsignalanlagen zu erhöhen, wurden einige der in den Anlagen verbauten Industrie-Mini-PCs (IPCs) mit neuen Software-Versionen versorgt. Dieses Software-Update nahm eine Optimierung vorhandener Dienste vor und verbesserte insbesondere das Monitoring der Geräte. Auf Probleme und Ausfälle konnte somit schneller reagiert werden. Im Zuge dessen wurden zudem bei allen Geräten die vorhandenen USB-Mobilfunksticks durch neuere Modelle ersetzt. Diese Mobilfunksticks integrierten sich besser in das Linux-Betriebssystem der IPCs und haben die Verfügbarkeit der Kommunikation mit dem HALI-Server deutlich erhöht. Verbindungsabbrüche und Offline-Zustände waren seit dem Einsatz deutlich geringer geworden. Zudem verfügten die IPCs dann über eine verbesserte Restart-Funktion, sollte es doch zu einem Systemabsturz/ -einfrieren kommen. Parallel dazu wurde die Umstellung der Dienste des HALI-Servers von Java auf Python durchgeführt, um eine weitere Performance-Steigerung und eine Vereinfachung der Wartung zu erreichen.

AP 6300 Dauertest (FhG-IIS, DLR)

Ab dem in AP 6100 beschriebenen Einbau der UNCLA-even-when-keyed Receiver konnte im AP 6300 ein Dauertest unter realen Bedingungen durchgeführt und das Verhalten der Fahrzeuge, Receiver und Lichtsignalanlagen über mehrere Wochen gemonitort werden. Zum Zwecke des besseren Monitorings wurden einige Funktionen entwickelt, die eine vereinfachte Visualisierung der aufgezeichneten Einsatzfahrten ermöglicht. Damit konnte effektiver überprüft werden, ob die An- und Abmeldungen in Abhängigkeit der aktuellen Fahrzeugposition und der aktuellen LSA-Umlaufsekunde zum bestmöglichen Zeitpunkt erfolgten. Etwaige Latenzen und Ungenauigkeit ließen sich so identifizieren. Im Ergebnis konnten einige Parameter im Bevorrechtigungsalgorithmus auf dem HALI-Server angepasst werden.

AP 6400 Auswertung (DLR, FhG-IIS)

Die während des Dauertests aufgezeichneten Messdaten zeigen eine grundsätzlich positive Wirkung auf die Fahrtverläufe der ausgerüsteten Einsatzfahrzeuge beim Überqueren der Kreuzungen im Testfeld. Im Hinblick auf die Reisezeiten zeigt Abbildung 2-30 die festgestellte Reisezeitverteilung mit und ohne HALI-Bevorrechtigung. Während sich die Mittelwerte der Reisezeiten zwischen den priorisierten und den nicht-priorisierten Fällen nur sehr geringfügig unterscheiden (schwarze, horizontale Linie innerhalb der blauen Boxen), treten die Abweichungen bei den Ausreißern (Länge der gestrichelten, vertikalen Linien außerhalb der blauen Boxen) sehr deutlich zu Tage. Dabei ist zu beachten, dass sich die Auswertung nur auf denjenigen Teil der Einsatzfahrt bezieht, der durch den relativ kurzen Abschnitt des Testgebiets führte. Konkret bedeutet dies, dass nur maximal drei bis fünf Lichtsignalanlagen pro ausgewerteter Einsatzfahrt passiert werden und zum Ergebnis beitragen können. Hochgerechnet auf eine größere Anzahl von ausgerüsteter Lichtsignalanalgen entlang des Fahrtweges zum Einsatzort, würden sich mit

hoher Wahrscheinlichkeit deutlichere Effekte in Bezug auf eine Reisezeitersparnis erkennen lassen, da bei einem Teil der Kreuzungen auch bei nicht-aktiviertem HALI-System grün für die jeweilige Einsatzfahrt anliegen kann. Die hohen Ausreißer symbolisieren diejenigen Fahrten, in den die Einsatzfahrzeuge durch andere Verkehrsteilnehmer (mit und ohne HALI-Priorisierung) oder rote Ampeln (nur für die Fälle ohne HALI-Priorisierung) verlangsamt wurden. Entsprechend ergibt sich auch für relativ wenig Kreuzungen für diese Ausreißer bereits ein deutlich anderes Bild. Hinsichtlich der Wirkung für die Verkehrssicherheit aller Verkehrsteilnehmer konnten aufgrund der geringen räumlichen Ausdehnung des Testfeldes keine statisch signifikanten Aussagen abgeleitet werden.
Nachfolgend wird beispielhaft eine Einsatzfahrt beginnend in der Feuerwache Moabit (A) in Richtung Nord-Osten zur Stromstraße (B) betrachtet. Der Fahrtverlauf ist in Abbildung 2-36 dargestellt. Entlang dieser Einsatzfahrt können Fahrzeuge an drei ausgestatteten Kreuzung (Alt-Moabit/ Jagostr., Alt-Moabit/ Elberfelder Str., Alt-Moabit/ Krefelder Str., vgl. auch Abbildung 2-21) priorisiert werden.

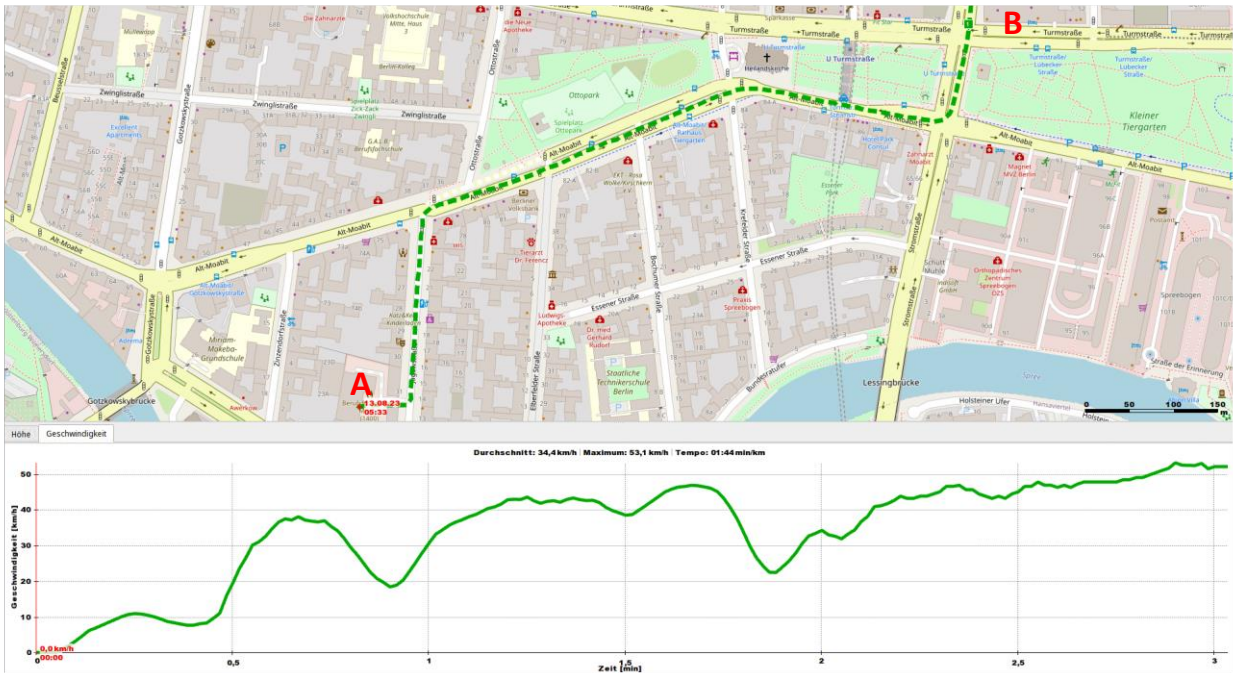


Abbildung 2-36: Fahrtverlauf und Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm einer beispielhaften Einsatzfahrt beginnend in der Feuerwache Moabit (A) in Richtung Nord-Osten zur Stromstraße (B).

Abbildung 2-37 beinhaltet einen Vergleich der theoretischen Trajektorie (hellgrün) mit den Trajektorien einer mit dem HALI-System priorisierten Einsatzfahrt (blau) sowie einer normalen, nicht priorisierten Einsatzfahrt (rot) für diese Fahrtstrecke. Der Punkt 1 stellt dabei den Start in der Feuerwache dar. Der Punkt 2 symbolisiert das Abbiegen an der ersten Kreuzung (Jagostraße/ Alt-Moabit) mit (ausgestatteter) Lichtsignalanlage. Bereits bei diesem Punkt ist die relative Nähe des theoretischen Optimalfalls (grün) mit dem Fall der HALI-Priorisierung (blau) entlang der x-Achse (Reisezeitverlauf) sowie die Abweichung zwischen dem Fall der HALI-Priorisierung (blau) und dem nicht-priorisierten Fall (rot) deutlich zu erkennen. Der Punkt 3 markiert die ausgestattete Kreuzung (Alt-Moabit/ Krefelder Str.) an Ende des Testfeldes. An diesem Punkt ist nur eine äußerst geringe Reduzierung der Geschwindigkeit für den Fall der HALI-Priorisierung vorhanden, während bei der Einsatzfahrt ohne HALI-Priorisierung die Geschwindigkeit um über 30 km/h auf etwa 10 km/h reduziert werden muss. Dies verdeutlicht nochmals die positive Wirkung des HALI-Systems auf die Durchführung von Einsatzfahrten.

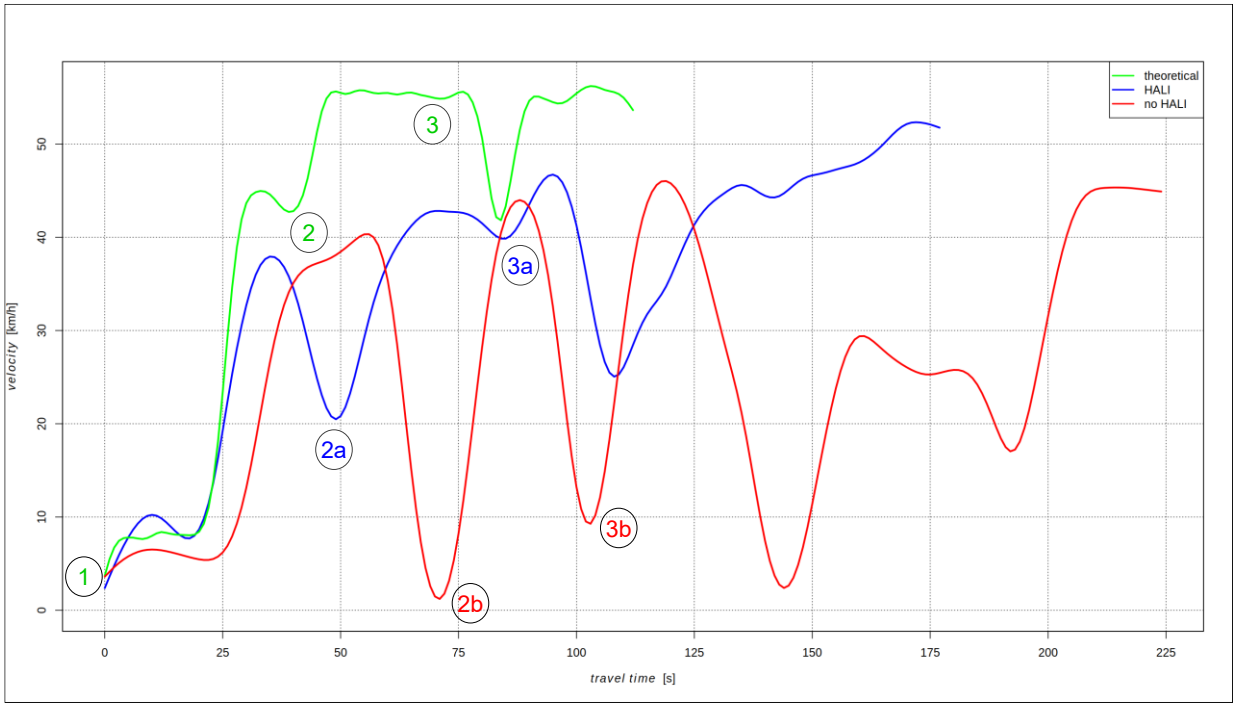


Abbildung 2-37: Gegenüberstellung der theoretischen Trajektorie (hellgrün) mit den Trajektorien einer mit dem HALI-System priorisierten Einsatzfahrt (blau) sowie einer normalen, nicht priorisierten Einsatzfahrt (rot) für die Strecke von der Feuerwache Moabit in Richtung Stromstraße.

AP 6500 Dissemination (DLR, FhG-IIS)

Am 19.12.2023 wurde das Gesamtsystem mit PRS- und „UNCLA-even-when-keyed"-Empfängern öffentlichkeitswirksam vor Vertretern von mehreren dt. Behörden, Polizei, Feuerwehr, dem Projektteam und dem Projektträger auf dem Abschnitt A27 der Berliner Polizei präsentiert und in der Praxis demonstriert. Dabei konnten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer, nach Erläuterung der Hintergründe und der im Projekt durchgeführten Arbeiten, in kleinen Gruppen in einem Einsatzfahrzeug der Polizei Berlin die Bevorrechtigung im Testgebiet live testen.

Abbildung 2-38: HALI-Abschlussveranstaltung am 12.08.2023 auf der Feuerwache Berlin-Moabit.

Während des Projektverlaufs hat ein fortlaufender Erfahrungsaustausch mit den Einstzkräften der Polizei Berlin und der Berliner Feuerwehr zum HALI-System stattgefunden. Es wurden dabei insbesondere Erkenntnisse zum Praxisbetrieb der Empfänger in den Fahrzeugen sowie zur wahrgenommenen Qualität der LSA-Bevorrechtigung

gesammelt. Diese Erkenntnisse konnten bei der Systemoptimierung genutzt werden. Im Projektverlauf wurde daneben fortlaufend extern über den Projektstand sowie die erzielten Ergebnisse berichtet. Dafür wurde eine Projektwebsite im Bereich der DLR-Verkehrsforschung angelegt, welche über www.hali-berlin.de bzw. https://verkehrsforschung.dlr.de erreichbar war. Es sind verschiedene Publikationen entstanden, darunter Konferenz- und Zeitschriftenartikel sowie ein TV-Beitrag. Aufgrund dieser Öffentlichkeitsarbeit konnte auch das Interesse anderer BOS geweckt werden, so z.B. das der Feuerwehren in Leipzig und Braunschweig, so das hier ein Erfahrungsaustausch aus Endanwendersicht stattfinden konnte, insbesondere was die Erwartungen an ein Bevorrechtigungssystem betreffen.

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die bewilligten Mittel wurden zweckgebunden für das HALI-Projekt eingesetzt. Neben den Kosten für das wissenschaftlich-technische Personal wurden seitens FhG-IIS Unteraufträge an IABG mbH, Airbus Defence und Space GmbH und Siemens AG vergeben. Seitens des DLR wurden Unteraufträge an Alarm Dispatcher Systems GmbH und Alliander Stadtlicht GmbH vergeben.

Die Personalkosten wurden planmäßig als Arbeitsstunden eingesetzt. Material-, Sach- und Reisemittel wurden zur Projekterfüllung gemäß Antrag verwendet. Eine genaue Aufstellung zu den einzelnen Posten kann den getrennten Verwendungsnachweisen der beiden Fördermittelempfänger entnommen werden.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Wie im Projektantrag beschrieben, bestand (und besteht) einerseits notwendiger Forschungsbedarf im Bereich der Optimierung der konventionellen PRS-Empfänger (z.B. PROOF miniPRS-Empfänger) sowie andererseits der Erkenntnisgewinn beim Einsatz von Galileo PRS Technologien bei den Endanwendern. Der in HALI-Berlin umgesetzte Anwendungsfall der Sondereinsatzwagenbevorrechtigung an Lichtsignalanlagen war sehr gut geeignet, um in beiden Bereichen wichtige Fortschritte zu erzielen.

Die im Antrag als notwendig erachteten Mittel standen im Einklang mit der geleisteten Arbeit sowie dem Arbeitsumfang einschließlich der Ergebnisse.

Die Durchführung des Vorhabens war daher sowohl notwendig als auch angemessen.

2.4 Voraussichtlicher Nutzen

PROOF miniPRS ist der erste europäische zugelassene Galileo PRS Empfänger. Der Zulassungsprozess war zwar sehr herausfordernd und sehr zeitintensiv, allerdings schlussendlich im November 2022 (in Zusammenarbeit mit entsprechenden nationalen Behörden und dem Zweit-Evaluierer aus Italien) erfolgreich. Seitdem läuft der Galileo PRS Empfänger „PROOF“ operationell geschlüsselt in Berliner Polizeiwagen und Feuerwehrfahrzeugen als „Unclassified-even-when-keyed“-Empfänger.

Damit gilt dies als die erste nachgewiesene zivile Anwendung von Galileo PRS in Europa und eröffnet viele Möglichkeiten in der Nutzung von Galileo PRS sowohl bei zivilen als auch militärischen Stellen. Das Thema „Dual-use“ ist weiterhin stark im Fokus, da der PROOF-Empfänger mit großer Unterstützung der Bundeswehr entwickelt wurde und wird nach dem Wissen des Projektteams auch vom deutschen Staat weiterhin gewollt und aktiv gefördert.

Abgesehen davon gab es viele Alltagsherausforderungen beim Einbau/Ausbau/Kommunikation mit ebenso vielen Erkenntnissen uns Lessons Learned, die für zukünftige Projekte aufgearbeitet und verwendet werden können. Einerseits haben die Prozesse für den konsequenten Einsatz von Galileo PRS-Technologie im zivilen Umfeld sehr viel Optimierungspotenzial (auf Anwenderseite sowie auf behördlicher Seite und im Empfänger-Handling). Andererseits ist politischer Support weiterhin zwingend erforderlich, um Galileo PRS als strategische Anwendung für Deutschland zum Einsatz bringen. Außerdem wurde im Projektverlauf festgestellt, dass Pilotinstitutionen selbst Ressourcen (Personal, Material, Verantwortlichkeit) einbringen müssen, um eine erfolgreiche Pilotstudie zu gewährleisten.

Im Bereich der Verkehrssteuerung konnten für und mit den Anwendern wichtige Erkenntnisse für den Aufbau und den Einsatz eines satellitengestützten Systems für die Bevorrechtigung von Sondereinsatzfahrzeugen gesammelt werden. Dies gilt sowohl für den anfänglichen OS-Einsatz, aber insbesondere für den späteren und eigentlichen PRS-Einsatz. Mit diesem Anwendungsfall konnte demonstriert werden, dass die PRS-Technologie sehr gut für BOS-Anwendungen geeignet ist, die die Einsatzkräfte zukünftig auf ihren Fahrten unterstützen kann.

Zusammengefasst gab es sehr viele hilfreiche Lerneffekte für Folgeprojekte (technisch, strategisch, Kommunikation, Galileo PRS Prozesse in Deutschland) und weiterhin hohen Forschungsbedarf, um die Technologie flächendeckend für zivile und militärische Applikationen zum Einsatz zu bringen. Der PROOF-Empfänger ist aktuell der einzige zugelassene Galileo PRS Empfänger in Deutschland und technologisch schon deutlich weiter hinsichtlich Leistungsaufnahme/Größe/Features als vergleichbare europäische Galileo PRS-Empfänger.

In Summe wird durch HALI eine Vielzahl wissenschaftlicher und wirtschaftlicher Anschlussverwendungen im Umfeld PRS-Folgeentwicklungen in verschiedenen Anwendungsfeldern ermöglicht und den technologischen Vorsprung gilt es in den kommenden Jahren zu nutzen.

2.5 Während der Durchführung bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen

Aufgrund der sehr langen Projektlaufzeit wurden im Laufe des Projekts auch in anderen Ländern Optimierungen an Galileo-PRS-Empfängern vorgenommen, deren konkrete Details allerdings weitestgehend unbekannt sind. Jedenfalls ist zu erwähnen, dass der PROOF miniPRS der erste zugelassene Galileo PRS Empfänger in Europa ist und nach dem Wissen des Projektteams (sowie der Miniaturisierung und Weiterentwicklung der Funktionen im von der Bundeswehr geförderten „ETB“-Projekt) einen deutlichen technologischen Vorsprung ggü. anderen PRS-Empfängern hat.

Da nach dem Wissen des Projektteams Deutschland als einziges europäisches PRS-Entwicklungsland auf zivile Anwendungen setzt, sind, abgesehen des oben Erwähnten, auch keine weiteren zivilen Anwendungen bekannt.

2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Folgende Veröffentlichungen und Berichte mit Außenwirkung sind im HALI-Projekt entstanden:

- Oertel, Robert und Wesemeyer, Daniel (2018) *HALI Berlin – Always green for emergency vehicles with GALILEO PRS.* SUMO User Conference 2018, 2018-05-14 - 2018-05-16, Berlin, Germany.
- Oertel, Robert und Nippold, Ronald und Dütsch, Nikolas und Overbeck, Matthias und Rügamer, Alexander und Schuster, Jürgen und Waelkens, Andre und Weigel, Ronald (2018) *HALI Berlin - Bevorrechtigung von Sondereinsatzfahrzeugen an Lichtsignalanlagen mit Galileo PRS.* POSNAV 2018 - Positionierung und Navigation für Intelligente Transportsysteme, 2018-11-15 - 2018-11-16, Berlin, Germany.

- Osenberg, Hendrik und Oertel, Robert (2021) *Retten auf der grünen Welle - Freie Fahrt für Einsatzfahrzeuge dank innovativer Galileo-Satellitennavigationstechnologie.* DLR COUNTDOWN, 02/21 (41), Seiten 79-87. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). ISSN 2190-7072.

- Oertel, Robert und Nippold, Ronald und Rügamer, Alexander und Schmidt, Willi und Schuster, Jürgen und Wendel, Jan (2022) *HALI-Berlin: Emergency vehicle preemption with Galileo PRS.* In: ITS European Congress. 14th ITS European Congress, 2022-05-30 - 2022-06-01, Toulouse, France.

- TV-Wissensendung "Einfach Genial“, Mitteldeutschen Rundfunk (MDR), Sendung vom 05.07.2022, Titel “E-Auto löschen, Spezial-Brille für Feuerwehrleute und freie Fahrt für Rettungskräfte" Beitrag zu HALI-Berlin (*https://www.mdr.de/einfach-genial/lebensretter-rettungseinsatz-feuer-loeschen-100.html*)

- Nippold, Ronald (2023): *HALI-Berlin: Emergency vehicle preemption with Galileo PRS.* Munich Satellite Summit 2023, 2023-03-13 – 2023-03-15, Munich, Germany

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart Schlussbericht
3a. Titel des Berichts **“ALWAYS GREEN** FOR **EMERGENCY VEHICLES WITH GALILEO PRS“ (HALI BERLIN)**	
3b. Titel der Publikation	

4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Miksovsky, Christoph Nippold, Ronald; Oertel, Robert, Overbeck, Matthias; Rügamer, Alexander; Zink, Mathias	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.12.2023
	6. Veröffentlichungsdatum
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n))	7. Form der Publikation

8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) Institut für Verkehrssystemtechnik Rutherfordstraße 2 12489 Berlin Fraunhofer-Gesellschaft Zur Förderung der angewandten Forschung e.V. Postfach 20 07 33 80007 München	9. Ber.Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 50NP1702 (DLR) 50NP1703 (FhG)
	11a. Seitenzahl Bericht 56
	11b. Seitenzahl Publikation
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Deutsche Raumfahrtagentur im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Königswinterer Str. 522-524 53227 Bonn	12. Literaturangaben 6
	14. Tabellen 8
	15. Abbildungen 41

16. Zusätzliche Angaben

17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)

Deutsche Raumfahrtagentur im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Bonn
28.06.2024

18. Kurzfassung

Galileo PRS (Public Regulated Service) ist ein spezieller, kryptographisch geschützter Navigationsdienst, welcher ausschließlich behördlichen und von Behörden autorisierten Nutzern zur Verfügung steht. Durch eine leistungsstarke Verschlüsselung ist die absichtliche Verfälschung von Zeit und Position (Spoofing) nicht möglich. Darüber hinaus erschwert Galileo PRS durch die Verwendung unterschiedlicher Frequenzen auch die Unterbrechung bzw. Überdeckung der Navigationssignale durch eine Störquelle (Jamming). Auf diese Weise lässt sich eine Vielzahl sicherheitskritischer und anspruchsvoller Anwendungen realisieren, die mit anderen Navigationsdiensten in dieser Form nicht möglich sind.

Die genannten Eigenschaften wurden im Forschungsvorhaben HALI-Berlin genutzt, um Sondereinsatzfahrzeugen (SEF) von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) den potenziellen Fahrweg an Kreuzungen mit Lichtsignalanlagen (LSA) freizuschalten. Damit die für eine Freischaltung notwendige Positionsbestimmung der SEF zuverlässig in innerstädtischen Umgebungen funktioniert und dieser Dienst nicht missbraucht werden kann, erfolgte die Ortung mit Hilfe der geschützten Galileo PRS-Signale. Für diesen Zweck wurde der PROOF miniPRS-Empfänger für die Verwendung in verschiedenen SEF der Polizei Berlin und der Berliner Feuerwehr unter realen Einsatzbedingungen weiterentwickelt. Darüber hinaus wurden eine Anzahl von acht LSA in einem verkehrlich hoch belasteten, innerstädtischen Bereich Berlins für die Kommunikation mit einem zentralen HALI-Server technisch umgerüstet sowie die Signalprogramme entsprechend angepasst. Auf diese Weise wurde die Umsetzbarkeit der Priorisierung von SEF an LSA auf Basis von Galileo PRS praktisch demonstriert und der dadurch erzielbare verkehrliche und volkwirtschaftliche Nutzen gezeigt.

19. Schlagwörter
Galileo, Public Regulated Service (PRS), Sondereinsatzfahrzeug, Lichtsignalanlage, Bevorrechtigung

20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. Type of Report Final project report
3a. Report Title **“ALWAYS GREEN** FOR **EMERGENCY VEHICLES WITH GALILEO PRS“ (HALI BERLIN)**	
3b. Title of Publication	

4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s)) Miksovsky, Christoph Nippold, Ronald; Oertel, Robert, Overbeck, Matthias; Rügamer, Alexander; Zink, Mathias	5.End of Project 31.12.2023
	6. Publication Date
4b. Author(s) of the Publication (Family Name, First Name(s))	7. Form of Publication

8. Performing Organization(s) (Name, Address) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) Institut für Verkehrssystemtechnik Rutherfordstraße 2 12489 Berlin Fraunhofer-Gesellschaft Zur Förderung der angewandten Forschung e.V. Postfach 20 07 33 80007 München	9. Originator’s Report No.
	10. Reference No. 50NP1702 (DLR) 50NP1703 (FhG)
	11a. No. of Pages Report 56
	11b. No. of Pages Publication
13. Sponsoring Agency (Name, Address) Deutsche Raumfahrtagentur im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Königswinterer Str. 522-524 53227 Bonn	12. No. of References 6
	14. No. of Tables 8
	15. No. of Figures 41

16. Supplementary Notes

17. Presented at (Title, Place, Date)

Deutsche Raumfahrtagentur im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Bonn
28.06.2024

18. Abstract

Galileo PRS (Public Regulated Service) is a special, cryptographically protected navigation service that is only available to official users and users authorised by the authorities. Thanks to powerful encryption, the deliberate falsification of time and position (spoofing) is not possible. Furthermore, by using different frequencies, Galileo PRS also makes it more difficult for the navigation signals to be interrupted or covered up by a source of interference (jamming). In this way, a large number of safety-critical and demanding applications can be realised that are not possible in this form with other navigation services.

The aforementioned properties were used in the HALI-Berlin research project to enable emergency vehicles from authorities and organisations with security tasks for a preemption at traffic lights. To ensure that the positioning of the emergency vehicles, required for activation of the traffic light preemption works reliably in inner-city environments and that this service cannot be misused, positioning was carried out using the protected Galileo PRS signals. For this purpose, the PROOF miniPRS receiver was further developed for use in various emergency vehicles of the Berlin police and the Berlin fire brigade under real operating conditions. In addition, eight traffic lights in a busy inner-city area of Berlin were technically upgraded for communication with a central HALI server and the signal control programmes were adapted accordingly. In this way, the feasibility of prioritising emergency vehicles at traffic lights on the basis of Galileo PRS was demonstrated in practice and the resulting traffic and economic benefits were shown.

19.Keywords
Galileo, Public Regulated Service (PRS), emergency vehicle, traffic light, preemption

20. Publisher	21. Price