

Beitrag zur

**POSNAV 2018 – Positionierung und Navigation für Intelligente
Transportsysteme**

15.-16. November 2018, Berlin

**HALI_Berlin – Bevorrechtigung von Sondereinsatzfahrzeu-
gen an Lichtsignalanlagen mit Galileo PRS**

**Robert Oertel^{1*}, Ronald Nippold¹, Nikolas Dütsch², Matthias Overbeck³,
Alexander Rügamer³, Jürgen Schuster⁴, Andre Waelkens⁵ und Ronald Weigel⁴**

1. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR),

Institut für Verkehrssystemtechnik,

Rutherfordstr. 2, 12489 Berlin

*E-Mail: robert.oertel@dlr.de

*Telefon: +49 (0)30 670 55 - 650

2. IABG mbH,

Einsteinstr. 20, 85521 Ottobrunn

3. Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen (IIS),

Nordostpark 84, 90411 Nürnberg

4. Siemens AG – DF FA APS DES,

Breslauer Str. 5, 90766 Fürth

5. Airbus Defence and Space GmbH,

Robert-Koch-Str. 1, 82024 Taufkirchen

Abstract

Die Steuerung von Lichtsignalanlagen (LSA) hat einen wichtigen Einfluss auf die Qualität, die Sicherheit und die Umweltverträglichkeit des Verkehrsablaufs in städtischen Straßennetzen. Zu diesem Zweck kommen verschiedene Steuerungsansätze [1], [2] und Systeme zur Anwendung, die z.B. auch die Bevorrechtigung der Sondereinsatzfahrzeuge (SEF) von Polizei und Feuerwehr an Lichtsignalanlagen unterstützen sollen. Ziel dieser Systeme ist es, die Einsatzkräfte möglichst schnell (Einhaltung von Hilfsfristen) und sicher (keine Überfahrt roter Signale) an ihren Einsatzort zu bringen. Dabei weisen diese Systeme bisher allerdings noch einige Nachteile auf. So ist die zur Bevorrechtigung notwendige Positionsbestimmung der Fahrzeuge in dicht bebauten Innenstadtbereichen aufgrund von Mehrwegeausbreitung und plötzlich auftretenden Abschattungen der Satellitensignale oftmals nicht hinreichend präzise. Die Positionssignale können zudem durch manipulative Eingriffe gestört (Jamming) oder verfälscht (Spoofing) werden. Im Bereich der LSA-Steuerung besteht zudem das Problem, dass sich die Bevorrechtigung oftmals nur auf die unmittelbar nächste Kreuzung beschränkt, anstatt flexibel entlang einer Einsatzroute zur Verfügung zu stehen. Außerdem werden häufig alle nicht durch das Sondereinsatzfahrzeug genutzten Zufahrten einer Kreuzung gesperrt, obwohl hier kein Konflikt mit dem Einsatzfahrzeug besteht. Daraus ergeben sich unnötige Stauungen für den allgemeinen Verkehr und ggf. nachfolgende Einsatzfahrten. Das Ziel des Forschungsprojektes „HALI Berlin“ ist es daher, diese bestehenden Einschränkungen zu adressieren und eine Einsatzwagenbevorrechtigung entlang dynamischer LSA-Routen auf Basis des Europäischen Satellitennavigationssystems Galileo und des PRS-Dienstes (Public Regulated Service) unter den realen Bedingungen eines komplexen, innerstädtischen Testfeldes zu demonstrieren.

Galileo PRS ist ein spezieller, kryptographisch geschützter Navigationsdienst, der u.a. Anwendern und Behörden mit Sicherheitsaufgaben zur Verfügung steht. Das PRS-Signaldesign sowie die eingesetzte Verschlüsselung sorgen dabei für einen sehr hohen Schutz gegenüber Störung und Verfälschung, was die Umsetzung einer Reihe sicherheitskritischer Anwendungen ermöglicht, welche mit anderen Navigationsdiensten in dieser Form nicht umsetzbar sind. Um die Anforderungen für den Realbetrieb zu erfüllen, werden die existierenden „PROOF miniPRS-Receiver“ [3], [4], [5] aktuell hinsichtlich Zuverlässigkeit und Robustheit gegenüber Interferenzen und Genauigkeit der Positionierung im Projekt weiterentwickelt, bevor sie in einer Reihe von Sondereinsatzfahrzeugen zum Einsatz kommen. Der bisherige Entwicklungsstand zielte nur auf die Verarbeitung des Open Service (OS) und des PRS-Signals unter Laborbedingungen und in statischen Szenarien unter idealen Empfangsbedingungen ab.

Parallel dazu werden momentan mehrere Lichtsignalanlagen im Berliner Testgebiet im Stadtteil Moabit technisch so angepasst, dass sie die Schaltwünsche der Einsatzfahrzeuge empfangen können. Grundlage ist der HALI¹-Ansatz aus Finnland [6], welcher auf deutsche Verhältnisse adaptiert wird. Dafür ist es notwendig, einen zentralen HALI-Server aufzubauen, der die Positionen der Fahrzeuge empfängt und zusammen mit deren bekannten Zielorten eine verkehrlich optimierte Routenempfehlung berechnet. Entlang dieser vorgeschlagenen Einsatzroute werden die einzelnen Lichtsignalanlagen in Abhängigkeit aktueller Fahrzeugpositionen dynamisch und über mehrere Knotenpunkte hinweg vom HALI-Server dezentral geschaltet, wobei auch auf Abweichungen vom Routenvorschlag reagiert werden kann. Eine Information über die vorgeschlagene Route zusammen mit der geschalteten Bevorrechtigung wird den Einsatzkräften zudem ins Fahrzeug übertragen. Im Rahmen des mehrmonatigen Testbetriebs wird das HALI-Gesamtsystem hinsichtlich verkehrlicher und sicherheitstechnischer Aspekte evaluiert, mit dem Ziel, dieses in den Regelbetrieb zu überführen.

¹ HALI ist eine Abkürzung des Finnischen „HälytysAjoneuvojen Llikennevaloetuudet“, was „Ampelsteuerung für Einsatzfahrzeuge“ bedeutet.

1 Einleitung und Motivation von „HALI_Berlin“

In Deutschland werden seit fast 100 Jahren Lichtsignalanlagen (LSA) zur Steuerung des Straßenverkehrs an Kreuzungen eingesetzt. Dabei wird als primäres Ziel eine Erhöhung der Verkehrssicherheit für alle (auch nicht-motorisierte) Verkehrsteilnehmer angestrebt. Außerdem soll auf diese Weise der Verkehrsfluss auch in Nebenrichtungen stetig am Laufen gehalten werden. Somit üben LSAs einen großen Einfluss auf die Sicherheit, Qualität, und Umweltverträglichkeit des Verkehrsablaufs insbesondere in Städten mit einem verdichteten Verkehrsnetz aus.

Das Ziel des Projektes „HALI_Berlin“ ist es, diese Funktionen von LSAs besser auf die Anforderungen von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) abzustimmen. Sondereinsatzfahrzeuge (SEF) müssen Kreuzungen bei Einsatzfahrten unter Nutzung von Sonder- und Wegerechten jederzeit auch bei rotem Signal für ihre Fahrtrichtung überqueren können. Damit verbunden sind jedoch die in Abbildung 1 beispielhaft dargestellte Verringerung der Geschwindigkeit der SEF und gleichzeitig eine wesentliche Erhöhung der Gefährdung aller Verkehrsteilnehmer. In der Literatur ist in diesem Zusammenhang von einem ca. zehnfachen Anstieg des Unfallrisikos die Rede [7]. Mit der im Projekt „HALI_Berlin“ verfolgten, dynamischen Priorisierung von SEF (d.h. Grünfreigabe für die jeweilige Fahrtrichtung) an Knotenpunkten soll einerseits eine Reduzierung der Reisezeiten als integraler Bestandteil der Hilfsfristen insbesondere in verkehrlich stark belasteten Bereichen des Straßennetzes erreicht werden. Andererseits kann durch eine solche Priorisierung und die damit verbundene, signaltechnisch gesicherte Überfahrt über Knotenpunkte auch eine wesentliche Erhöhung der Verkehrssicherheit aller Verkehrsteilnehmer erfolgen. Damit werden nicht nur Menschenleben geschützt, sondern auch Sachschäden vermieden, was zu einer Reduzierung der Kosten (insb. der volkswirtschaftlichen Folgekosten von Unfällen) für Einsatz- und Rettungsdienste führt. Gleichzeitig lassen sich auf diese Weise die Einsatzbereitschaft und Verfügbarkeit von Einsatzkräften erhöhen.



Abbildung 1: Behinderung von Einsatzfahrten durch dichten Verkehr trotz Sonder- und Wegerechte. Bild: Thomas Banneyer, Quelle: <https://www.express.de/bonn/rtw-stecken-im-stau-fest-bus-chaos-bringt-bonner-retter-in-not-3543224>, aufgerufen: 09.05.2018.

In Deutschland existieren bereits kommerziell verfügbare Systeme zur Bevorrechtigung der SEF. Diese weisen allerdings systembedingt Schwächen und Nachteile auf, welche ein vol-

les Ausschöpfen der Potenziale einer Einsatzmittelbevorrechtigung in einem hochverdichteten innerstädtischen Verkehrsnetz verhindern:

1. Die zur Bevorrechtigung notwendige Positionsbestimmung von SEF ist insbesondere in dicht bebauten Innenstadtbereichen aufgrund von Mehrwegeausbreitung und plötzlich auftretenden Abschattungen der Satellitensignale oftmals nicht hinreichend präzise und kontinuierlich verfügbar. Zusätzlich weisen die bislang im nicht-militärischen Bereich verfügbaren Ortungssysteme eine Anfälligkeit für manipulative Eingriffe wie Signalstörung (Jamming) oder -verfälschung (Spoofing) auf. Diese Eingriffsmöglichkeiten müssen jedoch im Fall sicherheitskritischer Anwendungen weitestgehend ausgeschlossen werden.

Aufgrund des Signaldesigns bietet der so genannte Public Regulated Service (PRS) des europäischen Satellitennavigationssystems Galileo eine prinzipiell erhöhte Verfügbarkeit und Genauigkeit auch bei schwierigen Umgebungsbedingungen. Außerdem gewährleistet die eingesetzte Verschlüsselung eine sehr hohe Datenintegrität sowie einen gesteigerten Schutz gegenüber Störung und Verfälschung der Ortungssignale und ermöglicht somit sicherheitskritischen Anwendungen wie eine Bevorrechtigung von SEF an Kreuzungen.

2. Darüber hinaus weisen am Markt existierende Lösungen zur Einsatzmittelbevorrechtigung noch weitere verkehrliche Beschränkungen auf. Die Bevorrechtigung erfolgt bei Kreuzungen, z.B. in der Nähe von Feuerwachen oder Krankenhäusern, nur statisch, d.h. zeitabhängig nach einer Aktivierung und unabhängig davon, ob die SEF die Kreuzung bereits oder tatsächlich überquert haben. Somit bleiben diese Knotenpunkte für den allgemeinen Verkehr unnötig lange gesperrt, was zum Teil massive Staus zur Folge hat. Außerdem beschränken sich die bisherigen Systeme auf Einzelknoten; eine Koordinierung über mehrere hintereinander befindliche Knotenpunkte findet nicht statt. Somit besteht kein zeitlicher Vorlauf zur Auswahl bzw. Anpassung der Signalprogramme. Dadurch kann einerseits eine Überfahrt des SEF bei Grün nicht verlässlich gewährleistet werden. Andererseits kann kein Abbau von Staus auf der Zufahrt zur Kreuzung und damit zur Räumung des Fahrtweges für das SEF erfolgen. Weiterhin arbeiten diese Systeme mit einer kompletten Sperrung aller Verkehrsströme einer Kreuzung außer der Fahrtrichtung des SEFs. Dieses Vorgehen führt zu einer erheblichen Staubildung und einem massiven Anstieg von Warte- und Verlustzeiten für alle weiteren Verkehrsteilnehmer und damit i.d.R. auch für nachfolgende Einsatzfahrten.

Bei „HALI_Berlin“ sollen alle LSA in eine Koordinierung einbezogen werden. Der Schaltzustand der Anlagen und damit auch die Möglichkeiten, das richtige Signalprogramm mit entsprechendem Vorlauf für die SEF dynamisch zu aktivieren, wird vom HALI-Server überwacht und bei der Bestimmung der optimalen Fahrtroute berücksichtigt. Durch die genaue Ortung und Nachverfolgung der SEF ist es zudem möglich, Signalprogramme so passgenau zu schalten, dass einerseits die das SEF hemmenden Fahrzeuge vor der Kreuzung abfließen können. Andererseits werden die entsprechenden Signalprogramme und damit die Sperrung des Knotenpunktes nur solange aufrechterhalten, wie für eine sichere Überfahrt der SEF notwendig ist. Darüber hinaus analysiert der HALI-Ansatz auch die Fahrbeziehung an den Knotenpunkten und den weiteren Routenverlauf der SEF und lässt die so genannten nicht-feindlichen Verkehrsströme, welche nicht mit der Fahrt der SEF in Konflikt stehen, weiter fließen. Auf diese Weise werden die Verkehrssicherheit erhöht und die negativen Eingriffe und Folgewirkungen von Fahrten mit Sonder- und Wegerechten minimiert.

Das Forschungsprojekt „HALI_Berlin“ demonstriert die Vorteile des Verfahrens in einem komplexen innerstädtischen und verkehrlich hoch belasteten Testfeld in Berlin-Moabit. Eine Praxiserprobung wird dabei unter realen Einsatzbedingungen in Zusammenarbeit mit der Berufsfeuerwehr und Polizei Berlin durchgeführt. Anschließend erfolgt eine Evaluation der Ergebnisse, welche neben den verkehrlichen und einsatztaktischen Wirkungen auch das Potenzial für eine Übertragung auf andere Städte in Deutschland beleuchten soll.

2 HALI-Gesamtsystem

Das im Rahmen des Forschungsprojekts aufgebaute Gesamtsystem besteht aus drei Teilkomponenten, wie in Abbildung 2 dargestellt. Diese sind im Einzelnen:

1. eine Flotte von SEF der Berufsfeuerwehr und Polizei Berlin, welche mit „PROOF miniPRS-Receiver“ ausgestattet sind und bei Einsätzen ihre Positionen mittels VPN-Verbindung über Mobilfunk an einen zentralen HALI-Server übertragen;
2. ein Netzwerk von beeinflussbaren LSAs, die ebenfalls mittels VPN-Verbindung über Mobilfunk vom zentralen HALI-Server gesteuert werden;
3. ein zentraler HALI-Server, der basierend auf den von den Einsatzfahrzeugen empfangenen Positions-, Geschwindigkeits- und Zeitinformationen und unter Berücksichtigung der aktuellen Verkehrslage eine optimale Anfahrtsroute bestimmt und die entsprechenden LSA so schaltet, dass die Fahrzeit zum Einsatzort sowie die Nebeneffekte auf den übrigen Verkehr minimiert werden.

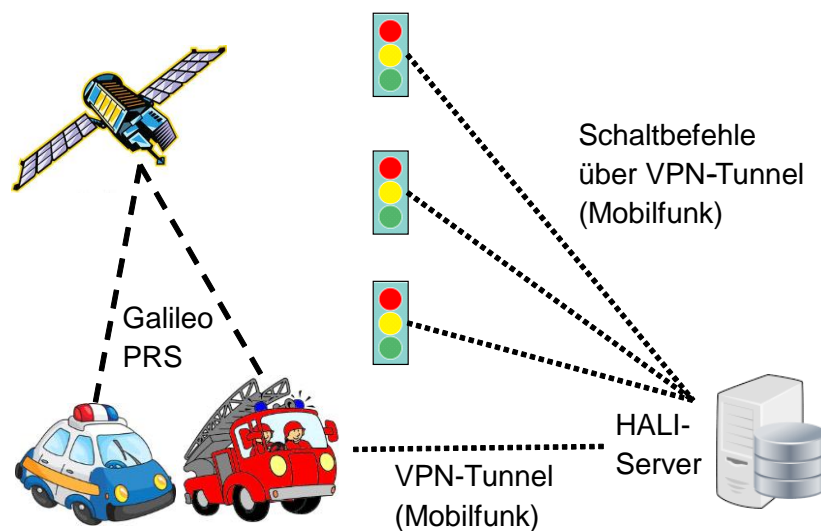


Abbildung 2: Darstellung der Komponenten des HALI-Gesamtsystems.

Die Positionsbestimmung der SEF von Berufsfeuerwehr und Polizei erfolgt dabei durch einen nicht-öffentlichen, verschlüsselten Ortungsdienst des europäischen Satellitennavigationssystems Galileo, welcher als Public Regulated Service (PRS) bezeichnet wird. Vor Beginn einer Einsatzfahrt wird mit diesem Dienst die Position eines SEFs verlässlich bestimmt und gesichert über einen VPN-Tunnel an einen zentralen HALI-Server übertragen. Weiterhin empfängt der HALI-Server von der Rettungsleitstelle der Feuerwehr die Koordinaten des Notfallortes nach einer Alarmierung. Bei der Polizei erfolgt die Aktivierung direkt über eine Schnittstelle zur Einsatzleitzentrale. Der HALI-Server verknüpft die Startposition der SEF mit den vom Einsatzleitsystem übermittelten Zielkoordinaten und bestimmt unter Berücksichtigung der aktuellen Verkehrslage sowie der aktuellen Schaltzustände aller auf der Strecke befindlichen (und ausgestatteten) LSAs eine optimale Anfahrtsroute. Dabei ermittelt das System, zu welchem Zeitpunkt welche Signalprogramme an den LSA zu schalten bzw. zu verlängern sind, um eine möglichst verzögerungsfreie Durchfahrt der SEF zu gewährleisten. Die ermittelte Route wird wiederum gesichert an das SEF zurückübertragen und mittels eines Tablets angezeigt. Dabei erfolgt nicht nur die Visualisierung der eigentlichen Fahrtroute, sondern auch eine Darstellung des Zustands der LSA-Priorisierung an den entsprechenden Kreuzungen sowie der Integrität der GNSS-Informationen. Während der Fahrt wird die Fahrzeugposition kontinuierlich nachverfolgt und die LSAs entlang der Route entsprechend dem Fahrtfortschritt des SEF bei Annäherung auf Grün geschaltet. Auf diese Weise fließen vor den Kreuzungen wartende Fahrzeuge ab, so dass das SEF diese Kreuzungen sowohl zügiger errei-

chen als auch signaltechnisch gesichert und ohne Stopp und behindernde Verkehrsströme überqueren kann. Der Ansatz von „HALI_Berlin“ analysiert weiterhin die Situation an den Knotenpunkten und definiert die in Bezug zur gewählten Fahrtroute konfliktfreien, nicht-feindlichen Verkehrsströme. Diese können auch während der Einsatzfahrt weiterhin verkehren und auf diese Weise z.B. Staus auf den Zufahrten der Knotenpunkte abbauen. Dies minimiert in Summe die verkehrlichen Folgewirkungen von Einsatzfahrten wie Staus und lange Wartezeiten für alle Verkehrsteilnehmer und explizit auch für ggf. nachfolgende Einsatzfahrten. Wenn ein SEF während der Fahrt von der vorher berechneten, optimalen Route abweicht, wird unmittelbar eine neue Anfahrtsroute bestimmt, an das SEF zurückgemeldet und die LSAs auf dieser Route entsprechend beeinflusst. Sollten weitere Einsatzfahrten (auch anderer Organisationen) im Nahbereich des jeweiligen SEF erfolgen, wird eine entsprechende Warnung ausgegeben.

3 Galileo PRS und PRS-Receiver

Der Galileo Public Regulated Service (PRS) ist ein spezieller, kryptografisch geschützter Navigationsdienst [3], der nur für staatliche oder offiziell autorisierte Nutzer verfügbar ist. Eine leistungsfähige Verschlüsselung verhindert effizient die absichtliche Verfälschung von Zeit und Position (Spoofing). Darüber hinaus vermindert Galileo PRS durch die Verwendung unterschiedlicher Frequenzbänder (E1A und E6A) auch die Unterbrechung oder Überlagerung 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 für nichtmilitärische Nutzer nicht möglich sind. Dieser Vorteil kann für eine robuste Ortung speziell in Krisensituationen entscheidend sein, da die frei verfügbaren OS-Signale von GPS und Galileo dann teilweise blockiert, künstlich verschlechtert oder überhaupt nicht mehr verfügbar sein könnten. Außerdem bieten das spezielle Signaldesign und die Verwendung verschiedener Frequenzen bei Galileo PRS maßgebliche Vorteile unter schwierigen Umgebungsbedingungen wie innerstädtische Häuserschluchten mit Abschattungen oder Mehrwegeausbreitungen der Satellitensignale.

Zu Projektbeginn wurden zunächst Nutzeranforderungen der beteiligten BOS an eine Positionsbestimmung der SEF ermittelt. Diese Anforderungen betreffen im Wesentlichen die Verfügbarkeit, Störfestigkeit und Genauigkeit der Positionierung in innerstädtischen Bereichen sowie die zu erwartenden Betriebsbedingungen bei einem Fahrzeugeinsatz (Temperatur, Witterung, Stöße und Beschleunigungen). Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, erfolgte durch die Siemens AG in Zusammenarbeit mit Fraunhofer IIS und Airbus eine Anpassung und Weiterentwicklung des in Abbildung 3 dargestellten „PROOF miniPRS-Receiver“ [4, 5, 6], welcher aus dem von der Bundeswehr/WTD81 finanzierten Forschungs- und Entwicklungsprojekt „PROOF – Funktionsmuster“ hervorgegangen ist.



Abbildung 3: „PROOF miniPRS-Receiver“ zur Positionsbestimmung mit Galileo PRS.

Dieser Receiver unterstützt sowohl die ungeschützten GPS L1 C/A und Galileo E1 OS-Signale mit 24 Kanälen als auch die kryptographisch geschützten Galileo PRS-Signale auf E1A und E6A mit ebenfalls 24 Kanälen. Der Receiver kann eine kombinierte GPS/Galileo Positionslösung berechnen, welche auch mit externer Sensorik (z.B. Inertialnavigationssystem (IMU) und Odometer) gestützt werden kann. Für den Empfang der PRS-Signale ist eine breitbandige GNSS-Antenne für mindestens die Frequenzbänder E1A (1575.42 MHz, 40 MHz) und E6A (1278 MHz, 40 MHz) notwendig.

Da PRS-Receiver einen extrem hohen Schutzbedarf haben, muss der „PROOF miniPRS-Receiver“ vor dem Einsatz im Projekt HALI_Berlin auf Basis der PRS-Regularien noch eine Sicherheitszertifizierung nach Common Criteria (CC) durchlaufen. Neben dem PRS-Receiver selbst stehen die Entwicklungslabore und die Fertigung von Siemens in Fürth sowie die Entwicklungsprozesse zur Hard- und Softwareherstellung auf dem Prüfstand. Dabei muss ein PRS-Receiver die Prüfstufe EAL4+ mit der Ergänzung AVA_VAN.5 (vollständige Missbrauchsanalyse und hohes Angriffspotential) erreichen. Dies entspricht einem sehr hohen Stand der Vertrauenswürdigkeit nach nationalem und internationalem Standard. Neben dieser Sicherheitszertifizierung nach den standardisierten CC-Regularien muss ein PRS-Receiver zusätzlich die Zulassung durch die nationale Sicherheitsbehörde (BSI) auf Basis einer „Crypto Device Evaluierung (CDE)“ erhalten. Aufgrund der Nutzung des PRS-Receiver in Fahrzeugen wird auch eine ECE Kennzeichnung, welche vom Kraftfahrt-Bundesamt vergeben wird, benötigt. Damit ist es möglich, dass der „PROOF miniPRS-Receiver“ auch ohne speziellen Eintrag in die Fahrzeugpapiere betrieben werden kann.

Die beabsichtigte Verwendung des PRS-Receiver bei echten Einsatzfahrten bedeutet für die Entwicklung darüber hinaus, dass die Hardware physisch Wetter-, Stoß- und Beschleunigungsvorgängen im oder am Fahrzeug widerstehen können muss. Da bei den bisherigen Entwicklungen für den PRS-Receiver eine reine Funktionalität mit den OS- und PRS-Signalen unter Laborbedingungen sowie in statischen Szenarien im Fokus stand, erfolgte eine entsprechende Härtung der Geräte, um diese physisch widerstandsfähig zu machen und eine verlässliche Verbindung mit Satelliten unter den Bedingungen im Fahrzeugeinsatz zu gewährleisten. Weiterhin wurden neue Algorithmen für eine schwierige innerstädtische Umgebung entwickelt und implementiert, die trotz Abschattungs- und Signalmehrwegeffekten durch Reflexionen eine robuste und präzise Positionsbestimmung mit hoher Verfügbarkeit ermöglichen. Darüber hinaus wurden notwendige Schnittstellen für eine Anbindung an die Fahrzeugsensorik bereitgestellt. Durch den Einsatz eines Inertialnavigationssystems und Sensoren zur Entfernungsmessung lässt sich eine definierte Systemleistung in Bezug auf die Kontinuität im Betrieb auch dann gewährleisten, wenn die Galileo-Signale durch Brücken, Tunnel oder ähnliche Hindernisse temporär nicht verfügbar sind. Abschließend wurden die angepassten „PROOF miniPRS-Receiver“ noch hinsichtlich der notwendigen Leistungsaufnahme bei Betrieb und Standby, der Startzeiten bis zur ersten Positionsmeldung sowie des Platzbedarfs entsprechend optimiert. Die Ergebnisse dieser Optimierung stellt Abbildung 4 beispielhaft dar. Die Abbildung zeigt den in einen Warnlichtgehäuse für Einsatzfahrzeuge integrierten Radiator der NavXperience 3G+C zusammen mit einer IMU. Dieses Modul wird auf den SEF der beteiligten BOS während des HALI-Feldtests montiert.

Mit diesem aktuellen Entwicklungsstand der PRS-Hardware für den Fahrzeugeinsatz wurden Funktionstests in zivilen Messfahrzeugen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Funktionstests stellt Abbildung 5 dar. Der Receiver erreicht auch bei Signalabschattung durch hohe Gebäude eine für die Navigation in Straßennetzen absolut hinreichende Positionsgenauigkeit.



Abbildung 4: Galileo-PRS fähige Multiband-GNSS-Antenne mit integrierter Inertialsensorik.

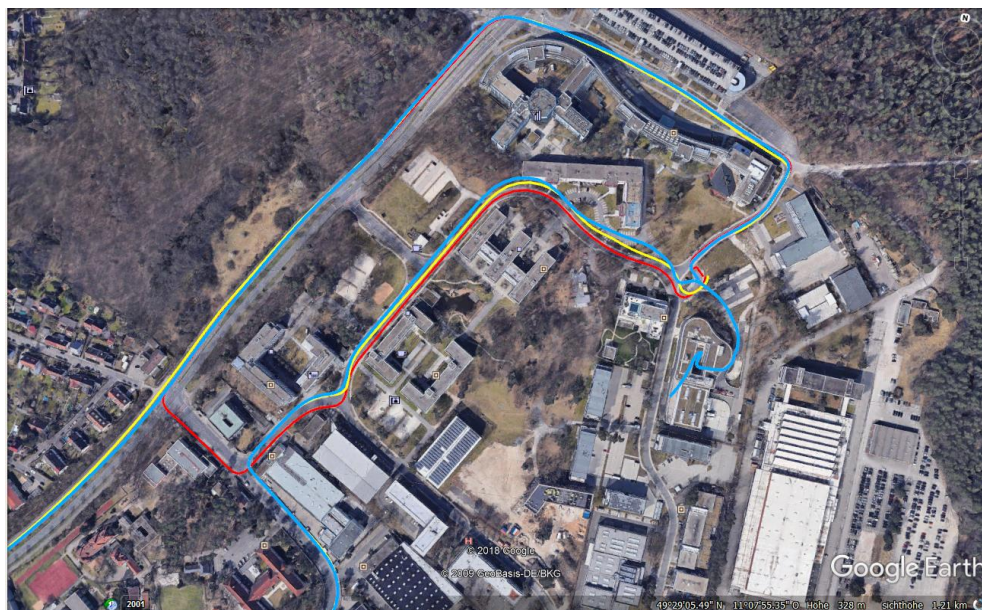


Abbildung 5: Ergebnisse erster Fahrzeugtests des weiterentwickelten Galileo OS/PRS „PROOF miniPRS-Receiver“ mit IMU-Sensorfusion. Die Farben in der Darstellung repräsentieren die Rohdaten unterschiedlicher Versuchsfahrten verschiedener Länge mit derselben Hardware. Visualisierungsgrundlage: Google Earth.

4 HALI-Server und LSA-Beeinflussung

Weltweit sind verschiedene Systeme zur Priorisierung von Einsatzfahrzeugen an lichtsignal-gesteuerten Knotenpunkten im Einsatz. In Deutschland konnten sich diese Systeme bisher jedoch aufgrund verschiedener Nachteile weder langfristig noch flächendeckend etablieren. Eine dynamische Koordination mehrerer Kreuzungen entlang von Streckenzügen kann in Anbetracht der Ungenauigkeiten und stellenweisen Ausfällen bei der Positionsbestimmung in innerstädtischen Gebieten durch Abschattungen und Mehrwegeausbreitungen nicht sehr zuverlässig erfolgen. Außerdem erschwert die Inkompatibilität der installierten LSA-Steuerungen verschiedener Hersteller den Einsatz dieser Systeme wesentlich. Aus diesen

Gründen beschränkt sich die Anwendung von Bevorrechtigungssystemen in Deutschland i.d.R. auf einzelne Knoten in unmittelbarer Nähe von Feuerwachen oder großen Krankenhäusern. Obwohl es in Deutschland Systeme gibt, die auch eine Koordination mehrerer LSA für diesen Anwendungszweck ermöglichen, sind diese oft komplex im Aufbau, an die Technologie eines einzigen Herstellers und seines zentralen Verkehrsrechners gebunden und daher sehr teuer. Der Einsatz dieser Systeme erfordert daher unter Umständen – je nach installierter Verkehrssteuerungshardware in der jeweiligen Kommune – den Austausch großer Teile dieser Infrastruktur. Ein weiterer Nachteil ergibt sich aus den sehr geringen Vorlaufzeiten, welche einen dynamischen Einsatz mit einem verkehrsadaptiven Routing verhindern.

Um diese Nachteile zu umgehen und eine einfache Möglichkeit zur Priorisierung von SEF zu ermöglichen, passt das Projekt „HALI_Berlin“ den HALI-Ansatz aus Finnland [6] an die Gegebenheiten deutscher Städte an. Dies betrifft in erster Linie die eingeschränkten oder fehlenden Zugriffsmöglichkeiten auf einen zentralen Verkehrsrechner zur Steuerung der LSAs. Als Lösung wird der so genannte HALI-Server verwendet, der kostengünstig und herstellerunabhängig ist und die zentrale Steuerungs- und Informationsinstanz des Gesamtsystems darstellt. Seine Hauptaufgaben bestehen in der Berechnung einer optimalen Fahrtroute sowie der Bestimmung und zeitgenauen Schaltung der erforderlichen Signalprogramme (d.h. An- und Abmeldung der SEF an den LSA) in Abhängigkeit der aktuellen Fahrzeugpositionen. Zu diesem Zwecke stellt der HALI-Server Kommunikationsschnittstellen zu den Einsatzleitsystemen der beteiligten BOS bereit, empfängt die Positionsdaten der ausgestatteten SEF und bewertet die aktuelle Verkehrssituation auf Basis unterschiedlicher Eingabedaten wie kommunale Sensoren, Taxi-FCD oder weitere kommerzielle Verkehrsdaten als Grundlage für die Routenberechnung. Für die Bewertung der Verkehrssituation ist außerdem im Vorfeld eine Analyse der Hauptfahrrichtungen der BOS, der zur erwartenden Verkehrsmengen und Rückstaulängen pro Fahrbeziehung sowie der ggf. bereits vorhandenen Priorisierung für z.B. ÖV an den Kreuzungen notwendig. Dabei müssen die Spuranzahl und die Belegung der Spuren vor den Knotenpunkten detailliert ausgewertet werden, um einerseits ein reibungsloses Abfließen der sich vor dem SEF befindlichen Fahrzeuge und andererseits eine besondere Behandlung nicht-feindlicher Verkehrsströme zu gewährleisten.

Für die Entwicklung und den Test des HALI-Servers wurde eine Verkehrssimulation des Testfelds mit der DLR-Verkehrssimulationssoftware „SUMO“ [8] erstellt, die Abbildung 6 zeigt. Gleichzeitig wurde ein Konzept für die Umsetzung der Kommunikationsarchitekturen des HALI-Servers mit den Einsatzleitsystemen der beteiligten BOS sowie der PRS-Receiver mit besonderer Beachtung von Sicherheitsaspekten abgeleitet.



Abbildung 6: SUMO-Simulationsmodell mit hinterlegten LSA-Schaltplänen und Verkehrsnachfrage (links) und entworfener Feuerwehrplan im Programm Siemens Sitraffic Office zur Bevorrechtigung (rechts).

Das virtuelle Testfeld in der Verkehrssimulation beinhaltet alle notwendigen verkehrstechnische Parameter (Signalprogramme, Spuranzahl und -belegung, Vorfahrtregelungen, Tags- und Wochengänge der mittleren Verkehrsmengen) sowie die aus der Kommunikationsarchitektur hervorgehenden Latenzen in Übereinstimmung mit der realen Situation.

An einem Verkehrsingenieurarbeitsplatz erfolgte die verkehrstechnische Planung und Anpassung der Lichtsignalanlagen im Testfeld in Berlin-Moabit. Die an den einzelnen LSAs im Testfeld vorhandenen Signalprogramme bzw. -programmgruppen wurden analysiert und für eine Bevorrechtigung der SEF aus verschiedenen Anfahrts- und Zielrichtungen angepasst. Das Ziel bestand dabei in der Sicherstellung eines Signalprogrammwechsels innerhalb eines möglichst geringen, vordefinierten Zeitfensters sowie in der geringstmöglichen Beeinträchtigung der übrigen, nicht-feindlichen Verkehrsströme. Zur Erhöhung der Übertragbarkeit der Lösungen auf andere deutsche Kommunen sollen die LSAs im Testfeld nicht über einen zentralen Verkehrsrechner angesprochen werden. Aus diesem Grund wurden eine Hardware-Lösung sowie eine Schnittstelle konzipiert und umgesetzt, welche den Empfang der Schaltwünsche und die Aktivierung der entsprechenden Signalprogramme zur Bevorrechtigung der SEF lokal an den LSAs ermöglicht. Die entwickelten und angepassten Signalprogramme zur Priorisierung der SEF wurden anschließend mit Hilfe der Verkehrssimulation getestet und weiter im Hinblick auf die realen Einsatzbedingungen und -besonderheiten optimiert. Abbildung 6 zeigt bereits deutlich den freien Fahrweg für das SEF sowie das signaltechnisch gesicherte Überqueren (grüner Signalgeber), so dass ein sicheres und behinderungsfreies Passieren von Kreuzungen ermöglicht wird.

Weiterhin wurden Schnittstellen zur Übertragung und Darstellung der Informationen über die vorgeschlagene Route und den Status der geschalteten Bevorrechtigung in die SEF auf ein Tablet umgesetzt. Nachfolgende Abbildung 7 verdeutlicht die Nachverfolgung einer simulierten Einsatzfahrt durch den HALI-Server sowie die dabei auftretenden Verzögerungen an den Knotenpunkten (unter Berücksichtigung einer mittleren Verkehrsmenge).

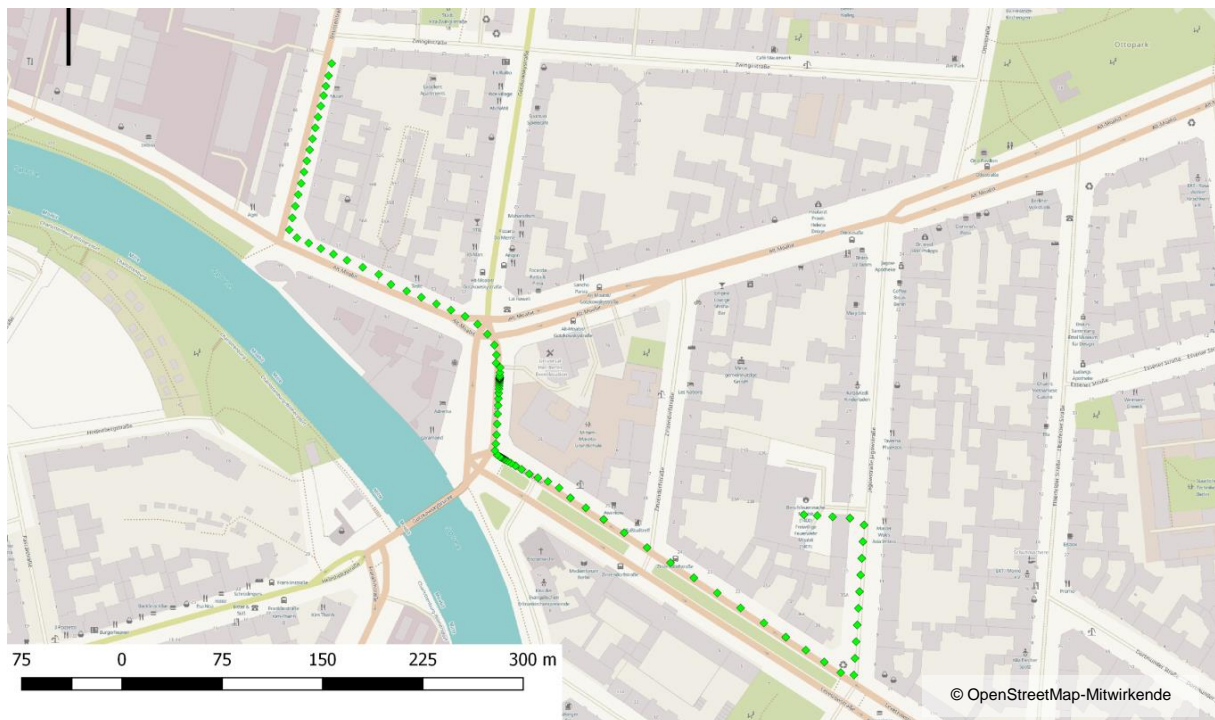


Abbildung 7: Nachverfolgung einer virtuellen Einsatzfahrt in der SUMO-Simulation, abgebildet auf das Testgebiet in Berlin-Moabit zum Test von HALI-Serverdiensten.

Nach diesem logischen Funktionsnachweis schlossen sich eine Reihe von Tests im DLR-LSA-Labor an. Diese dienen der Sicherstellung der korrekten und beeinflussungsfreien Funktionen aller Algorithmen und Kommunikationsverbindungen auf realer Verkehrssteuerungshardware. Abbildung 8 veranschaulicht dabei die Einbausituation der entwickelten Komponenten.

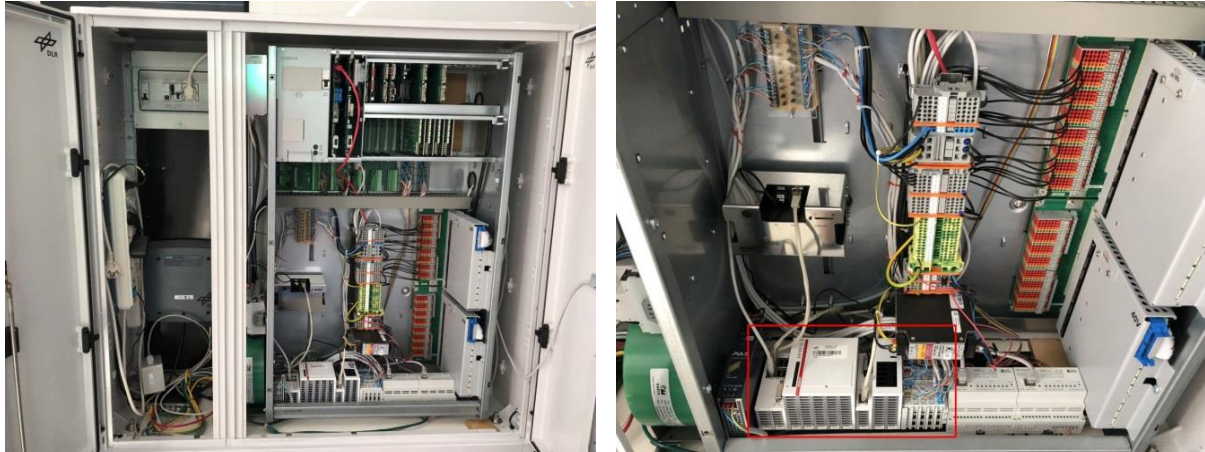


Abbildung 8: Durchführung von Labortests zur Bevorrechtigung mittels Feuerwehrplänen mit LSA-Steuergerät (links) und Industrie-Mini-PC (rechts) im DLR-LSA-Labor.

5 Testfeld und Validierung

Nach erfolgreichem Abschluss der funktions- und sicherheitstechnischen Vortests bzgl. des weiterentwickelten „PROOF miniPRS-Receiver“ sowie des neu entwickelten HALI-Servers wird in den nächsten Monaten die verkehrstechnische Umrüstung des Testfelds in Berlin-Moabit erfolgen. Abbildung 9 stellt das Testfeld, den Bereich der durch „HALI_Berlin“ beeinflussbaren LSAs (blau hervorgehoben) sowie die Lage der im Gebiet befindlichen Feuerwache und der Polizeidirektion dar.

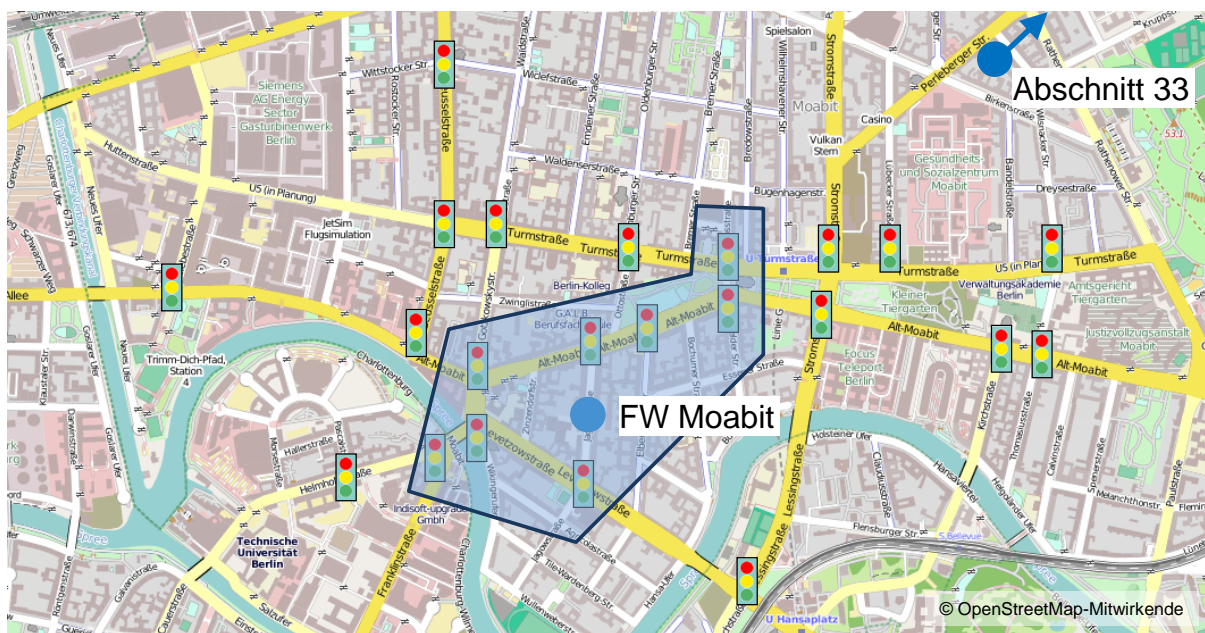


Abbildung 9: Erweitertes HALI-Testgebiet (blau umrandet) in Berlin-Moabit.

Das Testfeld umfasst eine Gruppe von insgesamt neun LSAs in Berlin-Moabit im Bereich der der Feuerwache Levetzowstraße und in der Nähe der Dienststelle der Polizeidirektion 3 – Abschnitt 33. Es stellt einen verkehrlich hoch belasteten Abschnitt des Berliner Straßennetzes dar: Unter anderem durchqueren ein Autobahnzubringer sowie der Zubringer zum Flughafen Tegel vom Innenstadtbereich aus das Testfeld. Die damit verbundene, hohe Verkehrsnachfrage führt teilweise zu Rückstaus über mehrere Kreuzungen insbesondere zur Nachmittagsspitze. Diese Situation stellt die Einsatzkräfte regelmäßig vor Herausforderungen. Außerdem weist das Testfeld durch die dichte Bebauung unmittelbar an den Straßenrändern und die tiefen Häuserschluchten die Merkmale eines so genannten „urban canyons“ auf und stellt somit auch für eine genaue und zuverlässig verfügbare Positionsbestimmung eine Herausforderung dar.

Die Einrichtung des HALI-Testfelds in der Berliner Innenstadt setzt eine teilweise Modernisierung der dort installierten Verkehrssteuerungssysteme voraus. Dabei werden neun LSA technisch so erweitert, dass sie Informationen über die Annäherung von Einsatzfahrzeugen und die damit verbundene Prioritätsanforderung empfangen und verarbeiten können. Zusätzlich müssen SEFs der Berliner Polizei und der Berliner Berufsfeuerwehr mit den weiterentwickelten „PROOF miniPRS-Receiver“ und den dazugehörigen Antennen ausgestattet werden.

Nach Abschluss dieser Arbeiten wird die Leistungsfähigkeit des gesamten HALI-Systems über einen längeren Zeitraum im Praxiseinsatz durch Feuerwehr und Polizei Berlin bewertet. Die Auswertung der dabei gesammelten Einsatz- und Verkehrsdaten soll unter anderem über statistische Zeitgewinne während der Einsatzfahrten zu unterschiedlichen Verkehrssituationen sowie über die Unfall- und Stauraten im Vergleich zum Zustand mit deaktiviertem HALI-System informieren. Das Ziel ist die Beurteilung des Nutzens des HALI-Systems für Einsatzfahrzeuge von Polizei und Feuerwehr bezogen auf die Reisezeit zu ihren Einsatzorten. Zusätzlich kann das Potenzial zur Reduzierung von Unfallkosten entlang der Einsatzroute quantifiziert werden.

6 Bearbeitungsstand

Aktuell sind alle Vorarbeiten wie die Implementierung der HALI-Server-Instanz und die Schaffung der notwendigen Schnittstellen zu den Einsatzleitsystemen der BOS sowie den „PROOF miniPRS-Receiver“ weitestgehend abgeschlossen. Die Algorithmen zur Routenberechnung und Signalprogrammwahl sind entwickelt und deren Funktionsweise in einer Verkehrssimulation untersucht und nachgewiesen. Die Typzulassungen der Receiver stehen kurz vor dem Abschluss, der Fahrzeugeinbau der Receiver ist mit den beteiligten BOS und entsprechenden Fachwerkstätten abgestimmt. Erste Tests der PRS-Hardware in Fahrzeugen des Projektpartners Fraunhofer IIS verliefen erfolgreich. Im nächsten Schritt wird die Umrüstung bzw. Ertüchtigung der Verkehrssteuerungsinfrastruktur im Testfeld sowie der Einbau der „PROOF miniPRS-Receiver“ in je drei SEF der Berufsfeuerwehr und Polizei Berlin erfolgen. Nach abschließenden Funktionstests kann die Praxiserprobung im Testfeld in Berlin-Moabit über einen Zeitraum von mehreren Monaten beginnen.

7 Zusammenfassung

Das vorliegende Dokument beschreibt das im Projekt „HALI_Berlin“ entwickelte Gesamtsystem für eine aufwandsarme und herstellerunabhängige Bevorrechtigung von Sondereinsatzfahrzeugen (SEF) der Organisationen und Behörden mit Sicherheitsaufgaben (BOS). Ein wesentliches Hemmnis von derzeit am Markt verfügbaren Systemen zur Einsatzmittelbevorrechtigung ist die Unsicherheit bei der Positionsbestimmung der SEF im fließenden Verkehr, insbesondere in den für Navigationsanwendungen schwierigen innerstädtischen Bereichen. Daher wird der Ansatz verfolgt, den so genannten Public Regulated Service (PRS) des europäischen Navigationssystems Galileo für diese Zwecke zu nutzen. PRS ist ein spezieller, kryptografisch geschützter Navigationsservice ausschließlich für staatliche oder offiziell autori-

sierte Nutzer mit gesteigerten Sicherheitsanforderungen. Auf dieser Basis wurde ein Gesamtsystem konzipiert und entwickelt, welches mit Hilfe eines so genannte HALI-Servers als zentrales Steuerungselement die dynamische und zeitgenaue Priorisierung von SEF an LSA entlang der gesamten Fahrtroute zum Zielort unabhängig von der vorhandenen Verkehrssteuerungsinfrastruktur ermöglicht.

Danksagung

Die Autoren möchten dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) für die Förderung des Projektes (Förderkennzeichen 50NP1703) und dem Land Berlin, der Polizei Berlin und der Feuerwehr Berlin für die Bereitstellung des Testfeldes und der Fahrzeuge sowie die stets sehr gute Zusammenarbeit danken.

Quellen

1. Oertel, R., Erdmann, J., Mann, A., Trumpold, J., Wagner, P., 2016. *VITAL - Vehicle-Actuated Intelligent Traffic Signal Control: Validation of two new Control Approaches in the Field*. In: Proceedings - 11th ITS European Congress. ITS European Congress 2016, 06.-09. June 2016, Glasgow, Schottland.
2. Oertel, R., Erdmann, J., Hesse, T., Markowski, R., Trumpold, J., and Wagner, Peter (2017). *VITAL: traffic signal control based on C2I communication data – application and results from the field*. In: Proceedings - mobil.TUM 2017 - Intelligent Transport Systems in Theory and Practice, 04.-05. Jul. 2017, München, Deutschland.
3. Wendel, J., Schubert, F., Rügamer, A., Neumaier, P., Garzia, F., Sommer, P., Rohmer, G., Sgammini, M., Konovaltsev, A., Meurer, M. and Baumann, S. (2013). *BaSE: Development of a Galileo PRS Receiver*. In: Proceedings of the 6th European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing, München, Deutschland.
4. Rügamer, A., Neumaier, P., Sommer, P., Garzia, F., Rohmer, G., Konovaltsev, A., Sgammini, M., Meurer, M., Wendel, J., Schubert, F., and Baumann, S. (2014). *BaSE-II: A Robust and Experimental PRS Receiver Development Platform*. In Proceeding of ION GNSS+ 2014. The Institute of Navigation. 27th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2014), 8.-12. Sept. 2014, Tampa, Florida, the USA.
5. Rügamer, A., Stahl, M., Lukčín, I., and Rohmer, G. (2014). *Privacy protected localization and authentication of georeferenced measurements using Galileo PRS*. 2014 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium - PLANS 2014, Monterey, CA, 2014, pp. 478-486.
6. Talvi, J. (2015). *Always green for emergency vehicles*. TRAFIK & VEJE, Sep. 2015, pp. 32-34.
7. Bockting, Stephan: Verkehrsunfallanalyse bei der Nutzung von Sonder- und Wegerechten gemäß StVO. Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege - BGW, 2007
8. Krajzewicz, D., Erdmann, J., Behrisch, M., and Bieker, L. (2012). *Recent Development and Applications of SUMO - Simulation of Urban Mobility*. International Journal On Advances in Systems and Measurements, no. 5, pp. 128–138.